

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

Sarah Stutz Reis

**CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES SONORAS DO BOTO-CINZA *Sotalia guianensis*  
(VAN BENÉDÉN, 1864) (CETACEA: DELPHINIDAE) E A INVESTIGAÇÃO DO AMBIENTE  
ACÚSTICO NA BAÍA DE BENEVENTE, ES**

Juiz de Fora  
2013

Sarah Stutz Reis

**CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES SONORAS DO BOTO-CINZA *Sotalia guianensis*  
(VAN BENÉDÉN, 1864) (CETACEA: DELPHINIDAE) E A INVESTIGAÇÃO DO AMBIENTE  
ACÚSTICO NA BAÍA DE BENEVENTE, ES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Mestrado em Comportamento e Biologia Animal como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Artur Andriolo

Juiz de Fora  
2013

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

Stutz Reis, Sarah.

CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES SONORAS DO BOTO-CINZA *Sotalia guianensis* (VAN BENÉDÉN, 1864) (CETACEA: DELPHINIDAE) E A INVESTIGAÇÃO DO AMBIENTE ACÚSTICO NA BAÍA DE BENEVENTE, ES / Sarah Stutz Reis. -- 2013.  
70 p. : il.

Orientador: Artur Andriolo

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Comportamento Animal, 2013.

1. *Sotalia guianensis*. 2. Emissões sonoras. 3. Ruído antropogênico . 4. Distintos contextos acústicos. 5. Diferenças no comportamento acústico . I. Andriolo, Artur, orient. II. Título.

**Caracterização das emissões sonoras do boto-cinza *Sotalia guianensis* (van Benédén, 1864) (Cetacea: Delphinidae) e a investigação do ambiente acústico na baía de Benevente, ES**

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

Aprovada em 01 de fevereiro de 2013.

**BANCA EXAMINADORA**



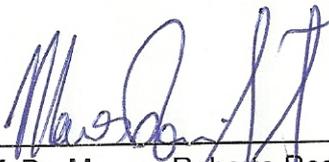
---

Prof. Dr. Artur Andriolo (Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora



---

Prof. Dr. Daniel Danilewicz  
Universidade Estadual de Santa Cruz



---

Prof. Dr. Marcos Roberto Rossi-Santos  
Unijorge - Salvador

Aos mestres em amar: vovó Zizinha e vovô Adacyr,  
com gratidão e saudade...

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela dádiva da existência e aos amigos protetores pelo amparo e pela persistência do auxílio.

Em segundo, e não menos importante, agradeço aos meus avós Zizinha e Adacyr, Celina e Geraldo que, além dos exemplos de dignidade, fé e coragem deixaram neste plano um legado de amor e união.

Vó Zizinha e vô Adacyr, lembro-me daqueles momentos em que sonhamos juntos com esta conquista. E vocês fizeram questão de nos incentivar mesmo quando tinham suas forças abaladas. Eram exemplos de fé e amor confiantes. E isto era tão importante para vocês que o guerreiro Adacyr só deixou a armadura instantes depois de saber que fomos aprovadas. Jamais me esquecerei tal companheirismo e por isso dedico esta vitória a vocês.

Agradeço também à querida Didi, por persistir em sua luta representando no hoje o que de melhor existe do nosso passado.

Agradeço também aos meus amados pais, Júlio e Suely, pelo esforço e dedicação para fazer-nos seres humanos integrais, mostrando-nos o caminho da caridade, da fraternidade, do trabalho honesto e do respeito à vida em todas as suas manifestações.

Aos meus irmãos, “Minks” e “Zaninha”, agradeço pela paciência, pelo incentivo e companheirismo. Obrigada pelos momentos de alegria e pelas bobagens que me deixaram mais leve mesmo quando o relógio mostrava que não havia mais tempo. Sei que não foi fácil conviver comigo nos dias difíceis!

Ao querido Gustavo: anjo da guarda, amigo, amor, cúmplice, gentil, carinhoso, paciente, solucionador de tantos problemas de informática e acústica! Compreendeu com tanta ternura a minha ausência. Sem dúvida o maior dos presentes que recebi de Deus, depois da minha família.

Ao Ronaldo, Ana e família, continuação de minha família, pelo carinho e apoio sem medidas que foi condicional para esta pesquisa se tornar realidade.

Aos queridos tios e primos, que gentilmente compreenderam a tão repetitiva ausência nas reuniões de família. Em especial à Tia Santa, que fez questão de mudar algumas datas destas reuniões para que eu e Suzana pudéssemos compartilhar estes momentos preciosos. E também à Tia Helena que nos propiciou tantos momentos felizes durante os períodos de trabalho árduo em Piúma.

Em especial ao primo Ébano que com tanta doçura cedeu seu pouco tempo longe da distante Paris para trazer música e alegria nos dias em que a mente estava exausta de tanta bioacústica!

À querida Dedé, minha segunda mãe, que sempre exemplificou solidariedade e humildade cuidando com tanto esmero de nosso lar e de nossos corações. Nunca diferenciou o amor dedicado a nós daquele dedicado aos seus filhos de sangue.

À amiga Franzoca pela paciência e solidariedade infinitos! Quantas vezes você foi o ombro que recebeu minhas lágrimas, a voz lúcida de conselhos sábios, a risada doce de besteiras e alegrias, a presença simples que encheu meu coração? Incalculável, insubstituível e prazeroso de retribuir... Difícil é fazer isto à mesma altura!

À amiga “ridi”, ou melhor, Dani, que tanto me ajudou com seus conhecimentos “Arcgísicos” e bons conselhos, mesmo quando era ela que precisava dos meus! Com certeza é uma das preciosas “bagagens” que a vida me deixou trazer de Cananéia, juntamente com os queridos Dhi, Jaum, Lê, Luiz, Pedrinho, seu Zé Carlos, Gica e tantos “Ipequianos” e caiçaras não menos importantes!

Às companheiras de aventuras Suzi e Naty pelas alegrias e os inúmeros “perrengues” compartilhados em campo! Estes também se tornaram mais divertidos devido à ajuda de muita gente bacana: Sarah (xará), Gu, Fellipe, Biá, Bruna, Samara, Ju, Gabi, Jéssica, Raiane, Rafa, Kássio e Guilherme.

Ao Luiz Muri que não só acreditou no nosso trabalho, mas também investiu apoio incondicional para que ele se tornasse realidade, abrindo as portas da Windive para nós. Mais que exemplo de profissional e de vida, o Luiz se tornou um amigo caro ao coração.

Aos amigos da Windive, que fizeram dos momentos de trabalho bons momentos de alegria e de amizade: Pâmela, Tainara, Tarcísio, Seu César, Erivelto e Clô.

Aos bons amigos de longa data que sempre me incentivaram a concluir esta jornada, mesmo nos poucos momentos em que pude desfrutar de suas doces companhias: Higor, Kali, Mayna, Fernanda, Tati, Hannah, Quel, Bira, Bibs, Fraga, Lalá, Léo e Bráulio.

Em especial à amiga Claudinha, exemplo de companheirismo, persistência e competência. Mesmo distante, jamais se permitiu estar ausente de nossas vidas.

Aos amigos do laboratório, do mestrado e do Instituto Aqualie pelos tantos momentos de aprendizado e amizade: Mari Frias, Giovane, Vivi, Tati, Mara, Joana, Vinícius, Fernanda, Mari Rossi, Thiago, Daniel, Alê, Marco Aurélio, Ygor, Federico e Guilherme.

Ao amigo “Nem” (Thiago) pelas inúmeras aulas de “Raven”, pelos maravilhosos momentos juntos na Cornell e nas ruas de New York! E também pela incrível experiência acústica com os botos e tucuxis na Amazônia!

À mãe Mônica, ao pai Daniel, ao Rafa, Mila e Ângela por terem se tornado minha família no distante país dos Yankees e por serem exemplos de família, amor e bondade.

Ao Bill Rossiter da *Cetacean Society International*,(CSI) e ao Dr. Chris Clark (*Cornell Lab of Ornithology*) pela vaga no Workshop de Análise de som e novamente ao Bill Rossiter e equipe pelo financiamento do mesmo.

Aos professores do *Cornell Lab of Ornithology, NY, EUA* (Russ Charif, Ann Warde, Tim Krein e Liz Rowland) e à professora Kate Stafford (*Washington University, Seattle, EUA*) pelas técnicas de análise de som e sugestões para este projeto.

Ao professor Alexandre Azevedo e aos amigos do MAQUA (UERJ): Lu, Isabela, Sarinha, Lis e Rafael pelos bons momentos de aprendizado e amizade.

Ao primo Fernando e família que com tanto carinho me hospedaram em seu lar quando precisei estudar no Rio de Janeiro.

Ao professor Roberto da Gama pela imensa dedicação ao Programa de Pós-Graduação e seus alunos de mestrado.

À notável boa vontade da Rita Hasters ao se empenhar para ajudar os mestrandos em qualquer aspecto: pessoal, burocrático ou financeiro.

Ao secretário Osmar por tantas soluções providenciadas de imediato e à Tia Rô pelo cuidado de nosso ambiente de trabalho e pelos bolinhos deliciosos!

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência Biológicas, Comportamento e Biologia Animal por permitir esta formação.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudo concedida.

Ao Instituto Aqualie pelo apoio profissional e logístico.

Ao amigo e orientador Artur Andriolo pela dedicação e parceria no trabalho e pela compreensão e apoio incondicionais na vida. E também, por ter propiciado uma das melhores experiências que já tive, ao permitir que compartilhasse com ele e com sua querida família (Gi, Ian e Aruã) tantos momentos mágicos em Seattle, EUA. Serei eternamente grata por tudo isto.

A todos que contribuíram de alguma maneira, seja ela material ou espiritual, e que acidentalmente não se encontram nesta lista (devido a uma mente cansada), o meu sincero muito obrigada!

“Mundo-Escola, teu endereço é o Sistema Solar  
Orbe Terceiro, és nave de águas e terras  
E fogos, e ares e homens  
Mundo-Escola, sob o Bem toda a vida evolui  
Contra o mal que se oculta  
Anjos-meninos são livres para escolher  
Todos têm o seu destino e o seu tempo de chegar  
A mão divina vem segar e quebrar bezerros de ouro  
E após prantos de redenção haverá um verdadeiro altar  
Dentro de nós, Terra a regenerar  
Mundo-Escola, teus grãos maduros já vão germinar  
Pela aprendida humildade  
Na rotação-translação do amor, tu serás  
Bendita esfera da vida, universidade da paz”

Música: Mundo-escola  
Intérpretes: Tim e Vanessa  
Autores: Gladston e Tim

## RESUMO

Os delfínídeos exibem grande plasticidade de sinais acústicos e são capazes de adequar suas emissões sonoras frente à diferentes circunstâncias. Atualmente, a poluição sonora dos oceanos constitui uma ameaça aos cetáceos e esta questão tem sido pouco estudada em relação ao boto-cinza (*Sotalia guianensis*). Logo, seus sinais acústicos representam um aspecto biológico importante a ser compreendido. Neste contexto, este estudo visou caracterizar o repertório sonoro e investigar o ambiente acústico dos botos-cinza que utilizam a baía de Benevente, ES. As gravações foram realizadas utilizando-se hidrofone Cetacean Research C54XRS acoplado a gravador digital Fostex FR-2 LE gravando a 96kHz/24bits. Os dados coletados entre dezembro de 2011 e julho de 2012 totalizaram 27horas e 55minutos de esforço de gravação. Foram analisados 69 assobios, 42 sons pulsantes explosivos e 33 cadeias de cliques. Dentre os assobios o contorno mais comum foi o do tipo ascendente (N=37; 53%), seguido pelos tipos ascendente-descendente (N=15; 22%), múltiplo (N=13; 19%). A frequência fundamental dos assobios variou entre 3,51 kHz e 37,56 kHz. Os parâmetros analisados foram: duração, pontos de inflexão, frequências inicial, final, mínima, máxima, variação e frequências a 1/4, 1/2 e 3/4 da duração. A duração média destes sinais foi 0,298 segundos (DP= 0,147). Quanto aos sons pulsantes explosivos, o sinal do tipo “bray call” (N=36) foi mais comum e mais longo que o “buzz sound”(N=6). Estes dois tipos ocorreram imediatamente após ou próximos a cliques de ecolocalização. Em relação a estes, 33 cadeias foram analisadas e estas apresentaram 36,45 cliques (DP= 43,47) e 11,404 (DP= 21,226) segundos de duração, em média. Os intervalos entre cliques (ICI) duraram 0,308s (DP= 0,301), em média. Verificou-se dois padrões temporais distintos entre os ICIs: 81% (N=946) dos intervalos duraram entre 0,001 e 0,400 segundos e os 19% (N=224) restantes duraram entre 0,401 e 1,246 segundos. A maioria das médias dos parâmetros de frequência dos assobios foram superiores aos valores verificados em estudos com *S. guianensis* ao sul da área de estudo e inferiores aos valores de populações ao norte. Isto pode estar relacionado aos diferentes limites de frequência destes trabalhos e/ou à hipótese de que a frequência aumenta do sul para o norte. Os sons explosivos observados foram verificados anteriormente para *S. guianensis* e outros odontocetos. Além de apresentarem função social, também podem estar relacionados à obtenção de presas. A distribuição dos valores de ICI em padrões temporais distintos já foi observada para *S. guianensis* e outras espécies de golfinhos, podendo representar as distintas funções dos cliques de ecolocalização. O boto-cinza ocorreu em áreas onde existia um ruído antropogênico de baixa frequência. Na presença deste ruído ocorreram alterações no comportamento acústico que possivelmente expressam uma tentativa de compensar o efeito de mascaramento para manter a comunicação eficiente em um ambiente acusticamente poluído.

Palavras-chave: Repertório sonoro. Assobios. Sons pulsantes. Parâmetros acústicos. *Sotalia guianensis*. Ruído antropogênico.

## ABSTRACT

The Delphinidae exhibits great plasticity of acoustic signals and adapts their sound emission according to circumstances. Currently, ocean noise pollution is a threat to cetaceans and this issue has not been well studied in relation to the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*). Therefore, their acoustic signals represent an important biological aspect to be understood. In this context, this study aimed to characterize the sound repertoire and investigate the acoustic environment of estuarine dolphin in Benevente Bay, ES, Brazil. The recordings were performed using hydrophone Cetacean Research C54XRS coupled to digital recorder Fostex FR-2 LE recording at 96kHz/24bits. Data collected between December 2011 and July 2012 totaled 27 hours and 55 minutes of effort recording. We evaluated 69 whistles, 42 burst sounds and 33 clicks' train. Among the whistles contour the most common type was ascending (N = 37, 53%), followed by ascending-descending (N = 15, 22%) and multiple (N = 13, 19%) types. The fundamental frequency of whistles ranged between 3.51 kHz and 37.56 kHz. The frequency parameters analyzed were: start, end, minimum, maximum, range and frequencies at 1/4, 1/2 and 3/4 of the duration. The duration and inflection points were also analyzed. The average duration of whistles was 0.298 second (SD = 0.147). About the burst pulse sounds the sign "bray call" (N = 36) was more common and longer than the "buzz sound" (N = 6). These two types occurred immediately after or near echolocation clicks. On these, 33 trains were analyzed and presented 36.45 (SD = 43.47) clicks and 11.404 (SD = 21.226) seconds, in average length. The interval between clicks or "Inter-click interval" (ICI) lasted 0.308 (SD = 0.301) seconds in average. It was also found two distinct temporal patterns for ICIs: 81% (N = 946) intervals lasted between 0.001 and 0.400 seconds and 19% (N = 224) lasted between 0.401 and 1.246 seconds. Most of the frequency parameters' average from whistles were higher than those observed in studies with *S. guianensis* at south of the study area and lower than populations at north. This could be related to different frequency limits and/or the assumption that the frequency increases from south to north. The burst sounds observed were previously cited for *S. guianensis* and other odontocetes. Besides presenting a social function, these sounds may be related to obtaining prey. The distribution of the ICIs' values in distinct temporal patterns was also reported for *S. guianensis* and other species of dolphins, which may represent the different functions of echolocation clicks. The estuarine dolphin occurred in the presence of a low-frequency anthropogenic noise. On this occasion there was a change in the acoustic behavior that possibly expresses an attempt to compensate for the effect of masking to maintain effective communication in an acoustically polluted environment.

Keywords: Sound Repertory. Whistles. Pulsed sounds. Acoustic parameters. *Sotalia guianensis*. Anthropogenic noise.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Hz- Hertz

kHz- KiloHertz

ICI – Intervalo entre cliques

IUCN - International Union for the Conservation of Nature

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

MMA – Ministério do Meio Ambiente

CSU- Companhia Siderúrgica de Ubú

HP- *Horse Power*, cavalo de força em português.

Freq. – Frequência

PI- Ponto de Inflexão

ASC - Ascendente

ASC-DESC - Ascendente Descendente

DESC-ASC - Descendente Ascendente

MULTI – Múltiplo

CONST – Constante

DP- Desvio Padrão

CV- Coeficiente de Variação

MinF- Frequência Mínima

MaxF- Frequência Máxima

DeltaF- MaxF menos MinF

StartF- Frequência Inicial

EndF- Frequência Final

1/4F- Frequência a 1/4 da Duração

1/2F- Frequência a 1/2 da Duração

3/4F - Frequência a 3/4 da Duração

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da Baía de Benevente em relação à costa brasileira, no litoral sul do Espírito Santo. ....	28
<b>Figura 2.</b> Baía de Benevente, ES. Pontos vermelhos representam seus limites: Ponta dos Castelhanos (Anchieta) ao norte e Ponta do Espigão (Itapemirim) ao sul. ....	28
<b>Figura 3.</b> Rota pré-definida através de transecções na Baía de Benevente, ES. Pontos de coleta. ....	30
<b>Figura 4.</b> Parâmetros acústicos verificados para cada assobio analisado. O quadrado, o triângulo e o círculo sobre o contorno do assobio representam as frequências a 1/4; 1/2 e 3/4 da duração, respectivamente. A sigla PI representa ponto de inflexão. ....	31
<b>Figura 5.</b> Categorias gerais de contorno visual verificadas entre os 69 assobios analisados. ....	34
<b>Figura 6.</b> Frequências relativas dos assobios nas categorias de contorno visual. asc = ascendente; asc_desc = ascendente descendente; desc_asc = descendente ascendente; multi = múltiplo; const= constante. A categoria ascendente foi significativamente mais frequente ( $\chi^2=59,33$ ; $gl=4$ ; $*p<0,001$ ). ....	35
<b>Figura 7.</b> Sons pulsantes explosivos verificados no repertório de <i>S. guianensis</i> . A: <i>bray calls</i> ; B: <i>buzz sound</i> indicado pela seta. ....	38
<b>Figura 8.</b> Cliques de <i>S. guianensis</i> . A: menor taxa de repetição (ICI= 0,820s); B maior taxa de repetição (ICI = 0,029s). ....	40
<b>Figura 9.</b> Distribuição da duração dos intervalos inter cliques (ICI) em dois padrões temporais: 81% (N=946) dos intervalos duraram entre 0,004 e 0,360 segundos e os 19% (N=224) restantes duraram entre 0,459 e 1,246 segundos. ....	41
<b>Figura 10.</b> Frequências relativas dos tipos de emissões sonoras do boto-cinza verificadas neste estudo. Os cliques foram significativamente mais frequentes (N=82; $\chi^2=62,97$ ; $gl=2$ ; $*p<0,001$ ). ....	41
<b>Figura 11.</b> Presença de ruído de baixa frequência proveniente de fonte antropogênica desconhecida (indicado pela seta). ....	42
<b>Figura 12.</b> A: sobreposição de assobio do boto-cinza com harmônicos de um ruído antropogênico. Setas amarelas indicam as sobreposições e as setas vermelhas indicam o ruído e os harmônicos deste. B: assobios do boto-cinza com maiores frequências e sem sobreposição com o ruído (indicado pela seta vermelha). ....	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados gerais sobre a coleta de dados na Baía de Benevente. Tamanho, composição de grupo e número de filhotes (com valores de média $\pm$ desvio padrão, mínimo e máximo). Esforço de coleta e gravação. ....	33
<b>Tabela 2.</b> Pontos de inflexão do conjunto total de assobios (N=69): os assobios sem ponto de inflexão foram significativamente mais recorrentes ( $\chi^2=98,58$ ; $gl=5$ ; $p<0,001$ ). ....	35
<b>Tabela 3.</b> Estatística descritiva (média $\pm$ desvio padrão, mediana, mínimo e máximo) dos parâmetros acústicos para as categorias de contorno visual dos assobios. Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos. ....	36
<b>Tabela 4.</b> Estatística descritiva do conjunto total de assobios (N=69): média, desvio padrão (DP), mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV). Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos. ....	37
<b>Tabela 5.</b> Estatística descritiva para os dois tipos de sons pulsantes explosivos: média $\pm$ desvio padrão, mínimo e máximo. Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos. ....	39
<b>Tabela 6.</b> Estatística descritiva (média, $\pm$ desvio padrão, mediana, mínimo e máximo) dos parâmetros temporais das cadeias de cliques. Tempo em segundos. ....	40
<b>Tabela 7.</b> Médias, desvios padrões (DP), valores mínimo e máximo dos parâmetros acústicos do ruído de fonte antropogênica desconhecida. Variáveis de frequência em kHz. ....	43
<b>Tabela 8.</b> Médias e desvios padrões (DP) dos parâmetros acústicos dos assobios em duas condições distintas: na presença e na ausência do ruído de fonte antropogênica desconhecida. Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos. Valores do teste de Mann-Whitney.....	44

## SUMÁRIO

<b>1. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
1.1. Acústica e os Cetáceos	13
1.2. Classificação das emissões sonoras dos odontocetos	15
1.3. As emissões sonoras do boto-cinza	16
1.4. Os cetáceos e a poluição sonora nos oceanos	20
<b>2. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1. Área de estudo	27
3.2. Coleta de dados	29
3.3. Análise dos dados	30
3.4. Análise estatística	32
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
5.1. O repertório sonoro do boto-cinza: assobios tonais	45
5.2. O repertório sonoro do boto-cinza: sons pulsantes explosivos	47
5.3. O repertório sonoro do boto-cinza: cliques de ecolocalização	49
5.4. O ambiente acústico na Baía de Benevente: presença de ruído antropogênico	51
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>

## 1. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1. Acústica e os Cetáceos

A bioacústica é a ciência que estuda os sons emitidos pelos animais. Estes sons representam sinais de comunicação e têm, portanto, um papel muito importante no comportamento das espécies que os utilizam (VIELLIARD; SILVA, 2007).

A comunicação envolve a emissão de sinais especialmente modelados para modificar o comportamento daqueles que os captam. Estes sinais são limitados pelo ambiente, de forma que a utilidade dos diferentes canais sensoriais depende das restrições impostas pelos hábitos e habitats das espécies (KREBS; DAVIES, 1996).

No ambiente marinho o som pode se propagar por grandes distâncias, com altas velocidades e sem grandes perdas energéticas (XAVIER, 2005). Isto faz com que a comunicação acústica seja um meio rápido e eficiente de transmissão de sinais a longas distâncias (STEWART, 2005). Portanto, um dos métodos mais eficazes para um animal investigar um ambiente submarino é através da utilização de sons subaquáticos ou sinais acústicos (AU; NACHTIGALL, 1997).

A audição é o principal sentido de orientação dos cetáceos, visto que, através da percepção dos sons de fontes naturais (por exemplo, ondas, ventos e geleiras) ou biológicas (emitidos por outras espécies ou por membros de sua própria espécie) estes animais obtêm informações de seu ambiente que propiciam a sobrevivência e as relações intra e interespecíficas (RICHARDSON et al., 1995; CRANFORD et al., 2008a). Atualmente, a ordem Cetacea (baleias, botos e golfinhos) é composta por cerca de 80 a 86 espécies de mamíferos extremamente adaptados ao modo de vida aquático que estão distribuídos em duas subordens: Mysticeti, da qual fazem parte as baleias verdadeiras ou baleias de cerdas bucais e Odontoceti, representada pelos cetáceos com dentes (SICILIANO et al., 2006; JEFFERSON et al., 2008).

Pode-se visualizar quão importante é a percepção acústica para estes animais quando são consideradas as espécies que habitam águas profundas ou turvas como rios, estuários e baías, onde a visibilidade não atinge um metro. E mesmo em condições de boa visibilidade, esta é limitada a dezenas de metros (AU, 1993; 2000). Sendo assim, nesses ambientes a capacidade auditiva permite aos cetáceos a navegação precisa, a captura de presas (por ecolocalização) e a comunicação (PARSONS; DOLMAN, 2004). No processo conhecido como ecolocalização os odontocetos emitem pulsos sonoros e analisam os ecos que retornam dos obstáculos em seu ambiente criando uma imagem tridimensional dos mesmos (AU; NACHTIGALL, 1997).

Baleias e golfinhos emitem diferentes tipos de sons que podem variar entre frequências de 15 Hz (baleia azul) até mais de 100.000 Hz (golfinhos) (AU, 2000). A percepção auditiva dos cetáceos envolve a participação de tecidos gordurosos especiais na mandíbula associados a ossos da cabeça que transmitem a vibração até o ouvido interno (AU, 2000).

O mecanismo responsável pela geração e transmissão do som nos golfinhos é formado primariamente por estruturas de origem nasal (sacos aéreos) e ossos do crânio. Os sons são produzidos através da contração de uma musculatura especial que faz com que o ar passe sob pressão através das vias nasais e dos sacos aéreos da cabeça até o orifício respiratório (CRANFORD et al., 2008b). Músculos específicos (bursas e lábio fonético) associados a estas estruturas permitem modular a frequência, o tempo e a intensidade das emissões sonoras. O som é ampliado e direcionado graças ao tecido lipídico do melão, situado na parte frontal e proeminente da cabeça (MACKAY; LIAW, 1981; AU, 2000).

Determinar a direção e a fonte de um som pode ser vital para localizar coespecíficos e presas durante a ecolocalização (MOONEY et al., 2008). A direcionalidade da audição odontocete foi investigada através de uma variedade de métodos experimentais (AU; MOORE, 1984; BRILL et al., 2001; BRANSTETTER; MERCADO, 2006; RYABOV, 2010) que revelaram um sofisticado sistema auditivo que usa escala de tempo, filtragem espectral (de frequências) e percepção de amplitudes para determinar as posições de origem da fonte sonora dentro de um ambiente aquoso onde o som se propaga rapidamente.

Nos golfinhos as ondas sonoras são captadas principalmente pela maxila inferior, onde existe um canal preenchido por corpos lipídicos (BRILL et al., 2001; DUGGAN et al., 2009) que se ramifica e termina em diversos forâmens. Estes com seus respectivos canais mandibulares funcionam como pavilhão auricular e condutores auditivos externos, se comparados aos mamíferos terrestres (RYABOV, 2010). Os sons são conduzidos através dessas estruturas lipídicas para a parede lateral do osso timpânico, que com sua fina espessura desempenha o papel de membrana timpânica e transmite a vibração acústica para o martelo do ouvido médio (KOOPTMAN et al., 2006). No ouvido interno os sinais sonoros são convertidos em pulsos elétricos que são enviados através do nervo auditivo ao sistema nervoso central. As diferentes frequências sonoras são discriminadas pela membrana basilar no interior da cóclea. Essa membrana é revestida por células ciliadas que ao vibrarem transformam a energia acústica (mecânica) em energia elétrica. (TYACK, 2000). Embora os odontocetos consigam discriminar uma extraordinária gama de frequências, eles apresentam maior sensibilidade às frequências mais altas, acima de 20 kHz (ultrassônicas) (TYACK, 2000).

Golfinhos da família Delphinidae são mamíferos extremamente sonoros e seus sinais acústicos desempenham um papel importante na mediação de interações sociais

(HERZING, 2000). Neste contexto, eles podem exibir grande plasticidade de sinais comunicativos, sendo capazes de adequar suas emissões sonoras às diferentes circunstâncias (RICHARDSON et al., 1995).

O golfinho nariz-de-garrafa, *Tursiops truncatus*, exibe mudanças conspícuas nas suas características sonoras sob diversos contextos. Ele pode alterar o padrão temporal e a frequência dos assobios em resposta ao estresse provocado por capturas de curta duração (ESCH et al., 2009) ou para ajustar-se a mudanças em seu ambiente (MORISAKA et al., 2005a;. MAY-COLLADO; WARTZOK, 2008). E ainda, existem evidências de que podem realizar comunicação acústica interespecífica: MAY-COLLADO (2010) encontrou menor capacidade de discriminação dos sons de *T. truncatus* e de botos-cinza *Sotalia guianensis* (van Bénédén, 1864) quando indivíduos dessas duas espécies interagiram em grupos coesos. Isto ocorreu porque nestas ocasiões os assobios analisados apresentaram valores mais semelhantes de frequência e duração, ao passo que, em grupos formados exclusivamente por uma ou outra espécie os sons foram facilmente discriminados, sendo que *T. truncatus* emitiu assobios com parâmetros de frequência significativamente menores e de maior duração do que aqueles verificados para *S. guianensis*.

Embora sejam necessários estudos com tecnologias de acústica passiva e direcional para esclarecer tal fato (MAY-COLLADO, 2010) é possível que este tipo de convergência de sinais ocorra entre golfinhos, visto que associações interespecíficas são muito comuns entre os cetáceos (HERZING et al., 2003; PSARAKOS et al., 2003; MELILLO et al., 2009; ROSSI-SANTOS et al., 2009; COSCARELLA; CRESPO, 2010). Existem diversas sugestões sobre a funcionalidade dessas interações que combinam: estratégias sociais de forrageio, de reprodução (hibridização) ou de defesa (PSARAKOS et al., 2003; ACEVEDO-GUTIERREZ et al., 2005; COSCARELLA; CRESPO, 2010).

## 1.2. Classificação das emissões sonoras dos odontocetos

Os odontocetos produzem diversos tipos de sons relacionados à navegação e à comunicação, e suas emissões acústicas podem ser classificadas quanto à sua estrutura e função. Estruturalmente estes sons são divididos em duas categorias: tonais (ou contínuos) e pulsados (POPPER, 1980; RICHARDSON et al., 1995). Sons pulsados como as cadeias de cliques, estão funcionalmente associados à navegação e ecolocalização (HERZING; DOS SANTOS, 2004) ao passo que, sons pulsantes explosivos (*burst sounds*, em inglês) e assobios tonais, este último aparentemente exclusivo dos delfínídeos (PODOS et al., 2002) e comumente mais estudado (DÍAZ LÓPEZ, 2010), são utilizados em diversos contextos comportamentais, inclusive para o reconhecimento individual e para comunicação

subaquática a fim de manter e coordenar a coesão social (JANIK; SLATER, 1998). Contudo, apesar da extrema sensibilidade auditiva para frequências ultrassônicas exibida por todas as espécies de golfinhos, a atual falta de conhecimento sobre as propriedades das bandas largas de frequência dos assobios e dos sons explosivos torna questionável a concepção plena de que estes sinais foram modelados exclusivamente para comunicação (LAMMERS et al., 2003).

Os assobios produzidos pelos golfinhos geralmente apresentam frequências fundamentais na faixa audível pelos humanos (abaixo de 20 kHz). Estes assobios também têm harmônicos (componentes integrais dos sinais tonais produzidos por emissões de ondas em um padrão sinusoidal) que ocorrem em números inteiros e podem ultrapassar a faixa de audição humana. No espectrograma - representação gráfica do som, com domínios de tempo, frequência e energia - eles aparecem como “repetições” do componente principal do assobio, porém em frequências maiores. Até o momento, pouco se sabe sobre o significado funcional dos harmônicos ou porque estão presentes em alguns assobios, mas não em outros. Pouco também é conhecido sobre as propriedades dos sons explosivos, pois suas características espectrais, temporais e de amplitude foram escassamente analisadas (LAMMERS et al., 2003).

Os sinais de ecolocalização das diferentes espécies de odontocetos apresentam variações de estrutura, frequência, intensidade e taxa de repetição dos pulsos (HERZING; DOS SANTOS, 2004). Essas diferenças interespecíficas podem ser explicadas pelo fato dos animais especializarem-se em dietas distintas (AU, 1993). Contudo, algumas análises comparativas demonstraram que outros aspectos como o comportamento de forrageio e a física da produção sonora podem ser fatores modeladores mais importantes na evolução dos sinais ecolocalizadores dos odontocetos do que somente as propriedades acústicas das presas (MADSEN et al., 2004). Além disso, a constatação de similaridades nos sinais ecolocalizadores de espécies filogeneticamente distantes e que ocupam habitats semelhantes (KAMMINGA et al., 1993) sugere que as propriedades acústicas do meio também podem atuar na evolução destes sons, de forma a otimizar a transmissão de sinais e a comunicação entre os indivíduos (MORISAKA et al., 2005a).

### 1.3. As emissões sonoras do boto-cinza

Atualmente, sabe-se que o gênero *Sotalia* compreende duas espécies originalmente descritas: o tucuxi, *Sotalia fluviatilis* (Gervais, 1853) para a Bacia Amazônica e o boto ou boto-cinza, *Sotalia guianensis* (van Bénédén, 1864) para a costa Atlântica (MONTEIRO-FILHO et al., 2006). Esta definição foi embasada por estudos que utilizaram

análise morfométrica geométrica (MONTEIRO-FILHO et al., 2002) e genética molecular (CUNHA et al., 2005) de exemplares marinhos e fluviais.

O boto-cinza, *S. guianensis*, é um golfinho tipicamente costeiro e o extremo norte de sua distribuição fica em Honduras, na América Central (DA SILVA; BEST, 1996). Na costa brasileira é encontrado desde o município de Oiapoque, no Estado do Amapá (4°12'N; 51°34'W), até a Baía Norte em Florianópolis, Santa Catarina, no sul do Brasil (27°35'S; 48°34'W) (SIMÕES-LOPES, 1988; DA SILVA et al., 2010). A espécie geralmente ocorre em ambientes de desembocaduras de rios e estuários (SICILIANO et al., 2006) e, por isto, está sujeita a diversos impactos resultantes de atividades antrópicas, como: capturas acidentais por redes de pesca, contaminações por poluição de efluentes (SICILIANO et al., 2006), perda de habitat (DI BENEDETTO et al., 2001), redução dos estoques pesqueiros (LODI, 2003a) e poluição sonora resultante dos motores de embarcações e de outras atividades comerciais costeiras e oceânicas.

Esses golfinhos apresentam a coloração dorsal acinzentada, a nadadeira dorsal é pequena e triangular e o ventre pode ser esbranquiçado ou em tons rosados (HETZEL; LODI, 1993). O comprimento dos adultos da espécie é em média 190 cm e os filhotes nascem medindo entre 91,2cm e 106 cm (ROSAS et al., 2003). Estima-se que a idade máxima seja 30 anos e sua taxa de crescimento é relativamente alta. Aparentemente não há dimorfismo sexual na espécie e a maturidade sexual ocorre aos sete anos de idade para os machos e para as fêmeas ocorre entre cinco e oito anos (ROSAS; MONTEIRO-FILHO, 2002).

Diversos estudos populacionais mostraram que *S. guianensis* é uma espécie gregária que apresenta estrutura de grupo instável, variando de acordo com o habitat ocupado pela população (MONTEIRO-FILHO, 2000; LODI, 2003b; SANTOS; ROSSO, 2007, 2008; DIAS et al., 2009).

O boto-cinza se alimenta principalmente de peixes pelágicos e demersais (Clupeidae e Sciaenidae); lulas (Loliginidae) e crustáceos (Penaeidae) (OLIVEIRA et al., 2008) e segundo Monteiro-Filho (1991), estes cetáceos apresentam grande variedade de comportamentos de pesca.

A grande capacidade acústica dos golfinhos motiva vários estudos que enfatizam o registro e a análise de suas emissões sonoras (HERZING, 1996). No entanto, no Brasil ainda são escassos os estudos sobre as emissões sonoras do gênero *Sotalia* (MONTEIRO-FILHO et al., 2006) e os efeitos dos ruídos antrópicos sobre seu comportamento e ecologia.

As emissões sonoras do boto-cinza (*S. guianensis*), foram investigadas somente a partir da década de 90 e em poucas populações na costa brasileira (AZEVEDO, 2005), portanto, as informações sobre os sons pulsantes desta espécie ainda são raras.

Um estudo pioneiro comparou os sinais ecolocalizadores do boto-cinza (*S. guianensis*), do tucuxi, (*S. fluviatilis*) e do boto-vermelho Amazônico (*Inia geoffrensis*) e

constatou que existem mais semelhanças entre sinais de ecolocalização de botos-vermelho e tucuxis, do que entre estes e os botos-cinza (KAMMINGA et al., 1993). Embora o fato não tenha sido esclarecido neste estudo, é provável que esta convergência de sinais acústicos esteja relacionada à adaptação a ambientes acústicos semelhantes (MONTEIRO-FILHO et al., 2006).

A dificuldade de acessar precisamente as informações sobre as cadeias de cliques se deve à natureza da formação/propagação destes sons no complexo nasal e na cabeça dos animais. NORRIS; HARVEY (1974) encontraram evidências de que o melão (saliência na parte frontal da cabeça dos golfinhos formada principalmente por tecido gorduroso) composto por diferentes tecidos, e com diferentes propriedades acústicas, poderia gerar um gradiente de velocidade que auxiliaria na formação de canais de propagação nos planos verticais e horizontais.

Desde então, diversos estudos têm mostrado que os odontocetos produzem feixes de cliques de ecolocalização que se propagam em diferentes planos e angulações (AU et al., 1999; AU et al., 2006; CRANFORD et al., 2008b; LAMMERS; CASTELLOTE, 2009). E devido a isto, Au e Hastings (2008) alertam que, a fim de evitar qualquer distorção nos dados referentes aos cliques, é necessário que o hidrofone seja posicionado exatamente sobre o maior eixo da emissão do feixe. E para isto, é necessário utilizar equipamentos que permitam a captação de som e imagem simultaneamente, atentando para o fato de que todo o espectro de frequência destes sinais deve ser registrado. Entretanto, tais exigências não são fáceis de empregar em estudos na natureza, principalmente em habitats turvos como os que são utilizados pelo boto-cinza.

Sauerland e Dehnhardt (1998) em um estudo realizado em cativeiro fizeram testes de audição e análises de audiogramas do boto-cinza e concluíram que o limiar inferior da espécie é em torno de 4 kHz e o limiar superior fica além de 135 kHz, ocorrendo a maior sensibilidade auditiva entre 64 e 105 kHz, que é uma faixa de frequência mais estreita e mais alta do que as observadas para outras espécies de odontocetos. Tais resultados convergem com os dados obtidos a partir de estudos de *S. guianensis* em seu ambiente natural (KAMMINGA et al., 1993).

No Brasil, sob condições naturais do estuário de Cananéia-SP, Monteiro-Filho (1991) iniciou a pesquisa do repertório sonoro do boto-cinza relacionado a estratégias de pesca e constatou a ocorrência de sons pulsantes e tonais, sendo que os assobios (tonais) foram o tipo de emissão mais comum. Nesta mesma localidade e através de um estudo de longa duração (10 anos) Monteiro-Filho e Monteiro (2001) verificaram que estes golfinhos exibem grande diversidade acústica (assobios, gritos, gargarejos e estalidos) e que o tipo de som emitido está relacionado ao contexto comportamental (deslocamento, pesca, socialização) e ao tipo de estrutura social adotada. Por exemplo, assobios são mais comuns durante deslocamentos em grupo; gritos são recorrentes durante estratégias de pesca em

grupo e gargarejos ocorrem sempre na presença de filhotes. Outro estudo que analisou a taxa de emissão dos assobios emitidos por botos-cinza na Baía de Sepetiba-RJ, confirmou a influência do comportamento e da estrutura social sobre o padrão de emissão sonora (ERBER; SIMÃO, 2004).

Durante atividades que apresentam maior coesão grupal (deslocamento e pesca cooperativa) são detectadas as maiores taxas de emissão de assobios pelos botos-cinza (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; ERBER; SIMÃO, 2004). Isto provavelmente ocorre porque estes sons possuem funções sociais relacionadas à manutenção da coesão de grupo e ao reconhecimento individual (JANIK; SLATER, 1998).

Os assobios emitidos por *S. guianensis* podem apresentar amplas variações na duração e nas modulações de frequência. Entretanto, está bem documentado para a espécie que os mais comuns são os ascendentes (com frequência crescente) e aqueles com menor duração e complexidade de forma (no espectrograma) - quando comparados aos de outras espécies de delfínídeos (AZEVEDO; SIMÃO, 2002; ERBER; SIMÃO, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009). Estes diferentes tipos de assobios podem estar relacionados a funções específicas em contextos comportamentais distintos (ERBER; SIMÃO, 2004; MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001). Uma dessas funções pode ser a de identificação individual através de assobios-assinaturas, como já foi sugerido para *S. guianensis* na Baía de Sepetiba, RJ (FIGUEIREDO, 2000).

Existem evidências de que os assobios emitidos pelo boto-cinza possam ser tão elaborados quanto aqueles verificados para *T. truncatus*, podendo inclusive ocorrer interações vocais complexas entre indivíduos (duetos), nas quais um dos animais “imita” o assobio-assinatura do outro, produzindo no espectrograma (representação gráfica do som) um assobio composto por dois componentes simultâneos e muito semelhantes (FIGUEIREDO, 2000).

Outro aspecto que tem sido abordado, é a questão das diferenças nos padrões sonoros entre populações de boto-cinza. Azevedo e Van Sluys (2005), através de análises quantitativas e comparativas de diversos parâmetros acústicos dos assobios, investigaram a variação destes sons ao longo da costa do Brasil, dividindo as populações em duas grandes regiões separadas por cerca de 3000 Km: Norte (três áreas analisadas) e Sul (cinco áreas). Estes autores encontraram diferenças significativas na estrutura dos assobios entre as duas regiões, sendo que as populações do norte apresentaram frequências mais altas de assobios. A magnitude dessas diferenças foi maior entre populações distantes entre si do que as adjacentes. Contudo, algumas análises pareadas demonstraram maior similaridade de assobios entre populações não adjacentes do que entre adjacentes, sugerindo que fatores além do fluxo gênico e da separação geográfica podem afetar as características dos assobios desta espécie.

A fim de tornar estas questões mais claras, Rossi-Santos e Podos (2006) analisaram a variação de parâmetros acústicos dos assobios entre 10 populações de *S. guianensis* ao longo de uma transecção norte-sul de aproximadamente 4000km na costa do Brasil. Este estudo revelou dados consistentes com os resultados apresentados por Azevedo e Van Sluys (2005), demonstrando que as frequências iniciais e mínimas dos assobios nas áreas ao sul foram significativamente menores que aquelas ao norte. Além disso, evidenciou-se uma correlação positiva entre a distância geográfica e a variação de três dos seis parâmetros analisados. Contudo, alguns parâmetros dos assobios não apresentaram tal correlação e foram mais distintos nas extremidades da transecção norte-sul, formando grupos estatisticamente distintos. Estes autores afirmaram que poderia haver diversas explicações ecológicas e evolutivas para estes resultados e que a mais provável seria a de evolução cultural aleatória, tendo em vista que o reconhecimento grupal entre os golfinhos ocorre através dos assobios e que, portanto, as divergências entre grupos poderiam ser favorecidas pela seleção cultural ao facilitar interações sociais (ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006).

Mais tarde, a tendência no aumento da frequência dos assobios de *S. guianensis* no sentido sul-norte foi reforçada pelo estudo de May-Collado e Wartzok (2009). Estes autores constataram frequências ainda mais altas nos sons emitidos por botos-cinza da Costa Rica do que aquelas observadas para as populações do Brasil. Contudo, ressaltaram que os equipamentos utilizados nos estudos brasileiros eram muito limitados (limiar superior de frequência de até 24 kHz) e poderiam ter subestimado o real padrão sonoro exibido pelas populações analisadas. Estes autores reiteraram a necessidade da investigação dos padrões sonoros do boto-cinza com equipamentos sensíveis a bandas de frequência mais largas visto que, as emissões sonoras desta espécie comumente atingem frequências de 48kHz.

#### 1.4. Os cetáceos e a poluição sonora nos oceanos

Nos oceanos, os níveis de ruído ambiental são gerados por muitas fontes, incluindo as naturais e as fontes artificiais. Ruídos naturais são tipicamente gerados por processos físicos ou biológicos, como por exemplo, atividade tectônica (sísmica) na crosta da Terra, vulcões, terremotos, ventos e ondas. Ao passo que os ruídos biológicos são as emissões sonoras de mamíferos marinhos e peixes (PARSONS et al., 2004).

Com o crescimento da economia global e a expansão das atividades industriais e comerciais o nível de ruído antropogênico nos oceanos aumentou consideravelmente nas últimas décadas (RICHARDSON et al., 1995). Conseqüentemente, no cenário mundial

também houve o incremento da preocupação acerca dos impactos dos ruídos antropogênicos sobre os mamíferos marinhos (PARKS et al., 2007).

Diversas atividades humanas em regiões costeiras e marinhas produzem ruídos que caracterizam a poluição sonora que pode afetar os mamíferos marinhos. Tais atividades podem ser transientes ou contínuas, como por exemplo: transporte por navios, exploração de hidrocarbonetos ou minerais, levantamentos geofísicos, sonares, explosões, estudos oceânicos e outros (RICHARDSON et al., 1995).

O som é de vital importância na vida dos odontocetos como mediador de orientação e comunicação (NORRIS; MØHL, 1983) e, portanto, a audição é o principal sentido dos cetáceos (PARSONS et al., 2009). Sendo assim, os ruídos antropogênicos podem constituir uma séria ameaça no ambiente marinho (PARSONS et al., 2008) e, por isto, deveriam ser incluídos com mais frequência nas avaliações de impacto ambiental (CROLL et al., 2001).

Estudos que investigaram os efeitos dos sons antrópicos sobre os cetáceos demonstraram que a poluição sonora provoca alterações comportamentais (BAILEY et al., 2010), atrapalha a manutenção da coesão de grupo - ao dificultar a comunicação entre os indivíduos (VAN PARIJS; CORKERON, 2001) - e pode, inclusive, prejudicar comportamentos reprodutivos dependentes de sinalização acústica, e interferir no crescimento populacional dessas espécies (SOUSA-LIMA; CLARK, 2008; 2009).

Simmonds et al. (2004) em um extenso relatório sobre a poluição sonora marinha e seus efeitos sobre os cetáceos enumeram uma grande variedade de respostas comportamentais de curto e de longo prazo induzidos por ruídos antropogênicos. Dentre estas pode-se destacar a cessação de atividades de alimentação, de socialização e de produção de sons, mudanças no comportamento de mergulho, bem como evitação ou atração pela fonte produtora do ruído. Além disso, a poluição sonora também tem sido documentada como causadora de evasão de habitats chaves ou preferenciais.

De forma convergente a isto, diversos estudos têm demonstrado que odontocetos e misticetos podem apresentar respostas comportamentais breves ou duradouras a sons de origem antropogênica e que as consequências disto podem ser muito diversas e difíceis de avaliar (WANG et al., 1995; VAN PARIJS; CORKERON, 2001; BUCKSTAFF, 2004; PARKS et al., 2007; 2010; PARSONS et al., 2008; SOUSA-LIMA; CLARK, 2008; 2009; DI IORIO; CLARK, 2009; BAILEY et al., 2010; ROLLAND et al., 2012; RISCH et al., 2012). Entre as respostas verificadas estão as mudanças do comportamento acústico que podem representar tentativas de compensação à redução da eficiência na comunicação devido ao ambiente ruidoso. Dentre estas pode-se destacar: aumento da intensidade do sinal, mudança do tipo de emissão sonora, aumento/diminuição da modulação de frequência, aumento/diminuição da duração dos sinais ou da taxa de emissão destes.

Embora estes estudos recentes busquem compreender os possíveis impactos de ruídos antrópicos produzidos no ambiente marinho e suas relações com os cetáceos, pouco

se sabe a respeito destes impactos sobre o boto-cinza. Rezende (2008) verificou que o boto-cinza, em Cananéia-SP, pode apresentar alterações acústico-comportamentais em função da atividade de embarcações motorizadas. Os botos-cinza diminuem a taxa de emissão de sinais quando um motor de embarcação em funcionamento emite ruídos que alcançam faixas de frequência e energia próximas ou iguais às utilizadas pelos animais. Os motores de popa movidos à gasolina e de alta rotação produzem ruídos que mascaram os sinais acústicos do boto-cinza, ao passo que motores movidos a diesel e localizados no centro da embarcação provavelmente causam menos impactos do que os anteriores. Tais resultados sugerem que o tipo de embarcação utilizado nas áreas de ocorrência do boto-cinza exerce influência sobre seu comportamento, podendo inclusive prejudicar a comunicação entre indivíduos. Isto faz com que estas informações sejam de grande valor para a conservação da espécie. Contudo, são necessários estudos adicionais direcionados para esta questão a fim de se chegar a uma conclusão mais clara acerca dos impactos da poluição acústica sobre o boto-cinza.

## 2. INTRODUÇÃO

Os cetáceos utilizam a percepção sonora para obter a maior parte das informações de seu ambiente, seja através dos sons naturais, daqueles emitidos por outras espécies ou por membros de sua própria espécie (RICHARDSON et al., 1995). A capacidade de localizar fontes sonoras no ambiente marinho permite evitar obstáculos, evitar predadores, detectar presas e coespecíficos (CRANFORD et al., 2008a).

Atualmente, as baleias, os botos e os golfinhos são agrupados na ordem Cetartiodactyla, que compreende cerca de 86 espécies de mamíferos adaptados exclusivamente ao modo de vida aquático e que estão distribuídos em duas subordens: Mysticeti, da qual fazem parte as baleias verdadeiras ou baleias de cerdas bucais e Odontoceti, que é representada pelos cetáceos com dentes, entre os quais estão os golfinhos e as pequenas baleias (JEFFERSON et al., 2008; SICILIANO et al., 2006). Contudo, Cetacea é a classificação anterior - e mais tradicional - desta ordem e, por isso, ainda é amplamente utilizada para se referir a odontocetos e misticetos.

Os odontocetos são capazes de navegar e detectar presas com muita precisão e o reconhecimento de objetos submersos ocorre através de um processo conhecido como ecolocalização. Neste processo os animais emitem sons em sequências de pulsos e analisam os ecos que retornam dos obstáculos em seu ambiente criando uma imagem tridimensional dos mesmos (AU; NACHTIGALL, 1997).

Além dos pulsos de ecolocalização, os odontocetos exibem um vasto repertório de emissões sonoras que são utilizadas em diversos contextos comportamentais e que são de grande importância para as relações intraespecíficas (RICHARDSON et al., 1995). Estes sons podem ser classificados quanto à sua estrutura e função. Estruturalmente as emissões sonoras são divididas em duas categorias amplas: sons tonais contínuos (assobios) e sons pulsantes (cadeias de cliques e sons explosivos, *burst sounds* em inglês) (EVANS, 1967; RICHARDSON et al., 1995; AU; HASTINGS, 2008).

As cadeias de cliques geralmente são produzidas durante a navegação e a detecção/obtenção de presas (HERZING; DOS SANTOS, 2004), ao passo que os sons pulsantes explosivos podem ser classificados como sons sociais, pois, assim como os assobios, são exibidos em diversos contextos de interações intraespecíficas (HERZING, 1996; AU; HASTINGS, 2008). A maior parte dos estudos sobre os sons sociais se restringiram aos assobios, enquanto poucos trabalhos investigaram os sons explosivos.

A principal explicação para esta particularidade é, provavelmente, o fato dos assobios ocorrerem geralmente na faixa de frequência sônica (audível para os humanos, entre 2 Hz e 20 kHz) e isto facilitar a gravação por equipamentos portáteis como gravadores do tipo DAT ou de fita. Todavia, estudos mais recentes têm demonstrado que algumas

espécies de golfinhos podem emitir assobios que atingem frequências ultrassônicas (acima de 20 kHz), enquanto outras nem mesmo produzem assobios (MAY-COLLADO; WARTZOK, 2007; AU; HASTINGS, 2008).

Os assobios são sons contínuos que apresentam modulação de frequência e esta geralmente ocorre em uma banda estreita de frequência. Além disso, podem exibir harmônicos que são componentes integrais da onda sonora com frequências múltiplas da frequência fundamental (MAY-COLLADO et al., 2007). Funcionalmente os assobios desempenham um papel social importante na mediação de relações intraespecíficas, inclusive para o reconhecimento individual e para manutenção e coordenação da coesão de grupo (JANIK; SLATER, 1998; TYACK, 2000).

Diferentemente dos assobios, os sons pulsantes apresentam modulação de amplitude e podem variar quanto à taxa de repetição de pulsos. Sons explosivos e os cliques de ecolocalização podem ser distinguidos através dos intervalos inter pulsos (ou intervalos inter cliques, ICI) e da intensidade. No entanto, a determinação da intensidade requer um conhecimento da distância da fonte emissora ao hidrofone, e esta característica não é fácil de avaliar em estudos de animais livres (AU; HASTINGS, 2008).

Entre golfinhos e baleias com dentes os sons explosivos são caracterizados por uma elevada taxa de repetição (maior do que 300 pulsos por segundo) ou intervalos inter pulsos pequenos (menos do que cerca de 3ms). Para o ouvido humano estes sons se assemelham a gritos, rangidos, grasnos, zumbidos e gemidos (AU; HASTINGS, 2008).

Golfinhos da família Delphinidae apresentam um repertório de emissões sonoras diverso e a plasticidade e complexidade acústico-comportamental que apresentam podem ser confirmadas através da variada produção sonora frente às distintas circunstâncias: em perigo, em perseguição à presa, em indicações de território ou de posição social (RICHARDSON et al., 1995; HERZING, 1996; TYACK, 2000).

O boto-cinza, *Sotalia guianensis* (Van Benédén, 1864), é um delfínido tipicamente gregário e aparentemente vive em sociedades de fissão-fusão (SANTOS; ROSSO, 2008). A estrutura de grupo é instável, variando de acordo com o contexto comportamental e o habitat ocupado pela população. Em áreas mais protegidas a média de tamanho de grupo é em torno de 12 indivíduos, mas este número pode oscilar entre dois e até centenas de animais. Indivíduos solitários raramente são vistos (MONTEIRO-FILHO, 2000; LODI, 2003; SANTOS; ROSSO, 2007, 2008; DIAS et al., 2009).

O limite norte da distribuição desta espécie fica em Honduras, na América Central (DA SILVA; BEST, 1996), e o limite sul fica no estado de Santa Catarina, Brasil (SIMÕES-LOPES, 1988). O boto-cinza geralmente ocorre associado a ambientes de desembocaduras de rios e estuários (SICILIANO et al., 2006) e isto faz com que esteja vulnerável aos impactos de diversas atividades humanas (ROSAS; MONTEIRO-FILHO, 2002). Uma ameaça comum neste tipo de ambiente é a poluição sonora resultante de ruídos

antropogênicos (PARSONS et al., 2008) que pode provocar alterações comportamentais nos golfinhos (BAILEY et al., 2010).

No Brasil ainda são escassos os estudos sobre as emissões sonoras do gênero *Sotalia* (MONTEIRO-FILHO et al., 2006) e os efeitos dos ruídos antrópicos sobre seu comportamento e ecologia. Parte desta realidade pode ser explicada pelo fato das emissões sonoras do boto-cinza (*S. guianensis*) terem sido investigadas somente a partir da década de 90 e em poucas populações na costa brasileira (AZEVEDO, 2005). E estas pesquisas mostram que *S. guianensis* apresenta um repertório acústico diverso (assobios, cliques, gargarejos e gritos) e que o tipo de som emitido depende do contexto comportamental (deslocamento, pesca, socialização) e da estrutura social adotada (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; ERBER E SIMÃO, 2004).

Alguns estudos acerca dos assobios do boto-cinza realizaram análises qualitativas e quantitativas de diversos parâmetros acústicos e demonstraram que este tipo de emissão sonora pode apresentar grande diversidade de modulações de frequência e que o tipo mais comum para a espécie são os assobios mais simples, sem pontos de inflexão ou com apenas um e que apresentam frequência crescente (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; AZEVEDO; SIMÃO, 2002; ERBER; SIMÃO, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; PRIVARI; ROSSO, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009).

Outro aspecto que tem sido investigado acerca destas emissões sonoras é a variabilidade intraespecífica ao longo das populações de boto-cinza na costa brasileira (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006). Azevedo e Van Sluys (2005) mostraram que para alguns parâmetros acústicos dos assobios as diferenças foram mais conspícuas entre as populações distantes entre si do que entre as adjacentes. E neste estudo as populações ao norte exibiram parâmetros de frequência mais elevados do que as populações ao sul.

Rossi-Santos e Podos (2006) também encontraram relações significativas entre as características dos assobios do boto-cinza e a variação geográfica e sugeriram que uma das explicações para a descontinuidade destas características entre as regiões norte e sul poderia estar associada à evolução cultural aleatória.

Neste sentido, é notório que o estudo dos padrões de emissões sonoras de uma espécie pode ser útil para diferenciar populações, ou mesmo, para distinguir grupos sociais dentro de uma população (MORISAKA et al., 2005b). Adicionalmente, Vielliard e Silva (2007) destacam que além de ser uma ferramenta de apoio a estudos sistemáticos, de conservação e de ecologia, o repertório sonoro também representa uma valiosa informação sobre o comportamento de uma espécie.

Os estudos publicados que investigaram o repertório sonoro do boto-cinza no Brasil e que foram considerados neste trabalho apresentaram um limite superior de frequência de até 24 kHz. No entanto, May-Collado e Wartzok (2009) alertaram para a necessidade de se utilizar um sistema de gravação com banda-larga de frequência para registrar esta espécie, visto que, na Costa Rica estes autores encontraram considerável amplitude de frequência entre os assobios do boto-cinza (1,38 a 48,40 kHz).

Diante deste contexto e considerando que *S. guianensis* ainda permanece nas categorias “insuficientemente conhecida” da Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas (União Internacional para a Conservação da Natureza, IUCN, 2012; SECCHI, 2012) e “dados deficientes” do Plano de Ação para os Mamíferos Aquáticos do Brasil (IBAMA, 2001), o presente estudo teve como objetivo registrar as emissões sonoras do boto-cinza com um sistema de gravação de banda de frequência mais ampla (48 kHz) para então: a) descrever de forma qualitativa e quantitativa as emissões sonoras do boto-cinza na Baía de Benevente, Espírito Santo, sudeste do Brasil b) investigar potenciais diferenças nas emissões sonoras dos animais associadas a distintos contextos do ambiente acústico.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a Baía de Benevente localizada ao sul do Estado do Espírito Santo (18°22'S - 21°19'S) (Fig.1). Este está situado na costa sudeste do Brasil e seu território ocupa uma área de 45.597km<sup>2</sup> e apresenta uma linha de costa de 521 km de extensão, aproximadamente. A região marítima do estado situa-se numa zona de transição entre ecossistemas de recifes biogênicos ao norte (0° 52'N-19°S) e rochosos ao sul (20°S-28°S) (FLOETER et al., 2001). O clima da região é característico de regiões intertropicais, com intensas e prolongadas chuvas no verão e um período de estiagem que vai de abril a setembro. Os ventos predominantes são de leste a nordeste, contudo, no inverno há a ocorrência de ventos sul e sudeste (NIMER, 1989).

A Baía de Benevente é aberta e tem seu maior eixo no sentido Nordeste-Sudeste com comprimento de 26 Km. Seus limites são a Ponta dos Castelhanos (município de Anchieta) ao norte e a Ponta do Espigão (Itapemirim) ao sul. A baía também compreende o Balneário de Iriri, Piúma, Itaoca e o distrito de Itaipava (20 ° 49' 35" Latitude e 40 ° 41' 20" Longitude) (MMA, 2011) (Fig. 2).

A região recebe influência de duas bacias hidrográficas que formam os rios Benevente (Anchieta) e Itapemirim (entre Marataízes e Itapemirim). Estes rios em períodos muito chuvosos, aliado aos fortes ventos de inverno, promovem o aumento da turbidez da água e a suspensão de material particulado (PINHEIRO, 2010).

Na baía encontram-se diversas ilhas, dentre elas a Ilha dos Franceses, que representa uma área proposta para a criação de uma Unidade de Conservação Marinha, por ser considerada uma área de importância biológica e de prioridade de ação (estudos e manejo) extremamente alta pelo governo brasileiro (MMA, 2007).

Em contraste, a região apresenta atividades econômicas importantes e potencialmente impactantes. Anchieta é o maior município do entorno e sua economia baseia-se no turismo e na pelotização do minério de ferro, que é exportado através do porto de Ubú (a 8km ao norte da área de estudo, aproximadamente). E atualmente a região encontra-se em franco desenvolvimento, estando previsto para os próximos anos a instalação de grandes empreendimentos no município, como a Companhia Siderúrgica de Ubú (CSU) e o porto da Petrobras S.A. (PREFEITURA DE ANCHIETA, 2011).



**Figura 1.** Localização da Baía de Benevente em relação à costa brasileira, no litoral sul do Espírito Santo.



**Figura 2.** Baía de Benevente, ES. Pontos vermelhos representam seus limites: Ponta dos Castelhanos (Anchieta) ao norte e Ponta do Espigão (Itapemirim) ao sul.

### 3.2. Coleta de dados

As gravações das emissões sonoras de *S. guianensis* na Baía de Benevente ocorreram entre dezembro de 2011 e julho de 2012 através de quatro coletas mensais, em média, e à bordo de uma embarcação de madeira com motor de centro (14m de comprimento) ou de uma embarcação menor (até 4m) com motor de popa (15 ou 40hp). As gravações foram realizadas em rotas pré-definidas na área de uso dos animais (no início, meio e fim de 11 transecções, Fig.3) ou em rotas resultantes da movimentação dos grupos de animais (em perseguição). Nas duas situações após a avistagem de um ou mais indivíduos de boto-cinza era feita a aproximação lenta para evitar reações de fuga. O barco era posicionado de acordo com a localização dos animais, a uma distância de pelo menos 50m. Quando os sons tornavam-se fracos, a gravação era interrompida e o barco reposicionado.

Cada sessão de gravação (arquivo de som) durou de 3 a 15 minutos e todas foram realizadas em condições semelhantes de estado de mar (*Beaufort*  $\leq 2$ ) com o motor da embarcação desligado e monitoradas em tempo real através de fones de ouvido.

O sistema de gravação foi composto por um hidrofone Cetacean Research™ C54XRS (resposta de frequência: 0,006 a 203 kHz, +3/- 20 dB, - 185 dB re: 1V/ $\mu$ Pa) acoplado diretamente a gravador digital Fostex® FR-2 LE, gravando a 96kHz/24bits.



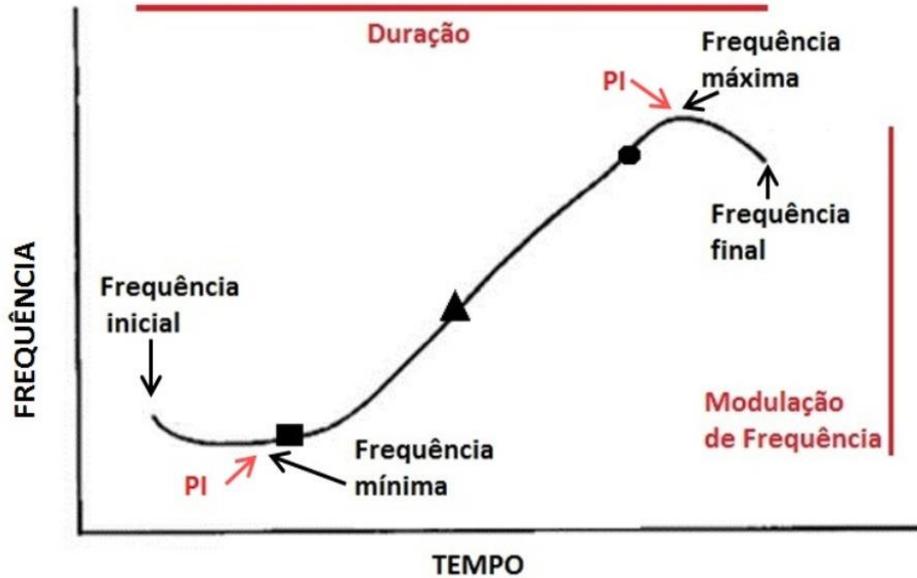
**Figura 3.** Rota pré-definida através de transecções na Baía de Benevente, ES. Pontos vermelhos representam os locais de coleta dos dados.

### 3.3. Análise dos dados

Os arquivos de som (formato .WAV) foram analisados através de espectrogramas (representações gráficas do som que combinam domínios de tempo, frequência e energia) com configuração de DFT 1024 pontos, 50% *overlap* e *Hann window* de 512 pontos ou através de gráficos de forma de onda (tempo e amplitude), ambos gerados pelo programa *Raven Pro 1.4* (Cornell Laboratory of Ornithology, Cornell University, NY, USA).

Para cada assobio que apresentou qualidade suficiente para ser analisado, isto é, com início e final bem definidos, os seguintes parâmetros foram medidos: duração, frequências inicial, final, mínima, máxima, variação ou modulação (freq. máxima menos freq. mínima) e frequências a 1/4, 1/2 e 3/4 da duração do sinal (Fig.4). Além disso, foram verificados o tipo de contorno visual (modulação de frequência) do assobio e a presença de pontos de inflexão (PI - ponto onde o contorno varia de descendente para ascendente ou vice-versa). Para evitar uma amostra tendenciosa de indivíduos ou de grupos os assobios foram analisados aleatoriamente (RENDELL et al., 1999) e foi estabelecido um limite de número de assobios analisados por grupo como duas vezes o tamanho do grupo (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005). Estes critérios foram escolhidos por já terem sido

aplicados em outros estudos com *S. guianensis* e outras espécies de odontocetos (BAZUÁ-DURÁN, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ANSMAN et al., 2007; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009).



**Figura 4.** Parâmetros acústicos verificados para cada assobio analisado. O quadrado, o triângulo e o círculo sobre o contorno do assobio representam as frequências a 1/4; 1/2 e 3/4 da duração, respectivamente. A sigla PI representa ponto de inflexão.

Em relação aos sons pulsantes, estes foram divididos em duas categorias amplas: cliques de ecolocalização e sons pulsantes explosivos. Os sons pulsantes explosivos foram analisados quanto à duração, frequências mínima, máxima e variação (freq. máxima menos freq. mínima), frequência de pico (frequência onde ocorre a máxima energia) e frequência central (frequência onde a energia é dividida em duas partes iguais).

Os cliques de ecolocalização foram analisados quanto ao número de cliques nas cadeias, a duração dos intervalos entre cliques (ICI) e a duração das cadeias. Foram analisadas somente cadeias que não apresentavam sobreposição de cliques ou outro tipo de som pulsante.

Quanto ao ambiente acústico, foi verificado nesta baía um ruído de fonte antropogênica desconhecida que foi analisado quanto à sua frequência. Adicionalmente, os parâmetros de frequência dos assobios dos animais foram comparados quanto à presença e ausência desta fonte sonora desconhecida. Nas análises, as variáveis de frequência foram medidas em kHz e o tempo em segundos.

Os mapas georreferenciados da área de estudo foram construídos através do programa ArcGis (*ERSI software, version 9.3*).

### 3.4. Análise estatística

A estatística descritiva para as variáveis acústicas incluiu valor mínimo, valor máximo, média aritmética, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação.

O teste do Qui-Quadrado de proporções esperadas iguais foi utilizado para identificar se a distribuição dos assobios nas categorias de modulação de frequência e de pontos de inflexão ocorreram de forma significativamente diferente. Além disso, este teste também foi empregado para saber se os tipos de emissões sonoras se distribuíram de maneira esperada entre as categorias observadas nesta amostra.

O teste não paramétrico de *Mann-Whitney* foi empregado para verificar se existiam diferenças significativas na duração dos assobios e em cada parâmetro de frequência destes em relação à presença e à ausência do ruído antropogênico e, assim, determinar se há alguma tendência de aumento ou redução na modulação da frequência dos assobios quando este ruído está presente.

Os valores médios dos dez parâmetros acústicos dos assobios analisados na Baía de Benevente foram comparados com as médias dos mesmos parâmetros obtidos por Azevedo e Van Sluys (2005) em oito populações de *S.guianensis* ao longo da costa brasileira.

As análises foram realizadas no programa Bioestat 5.0 e a significância estatística foi estabelecida com  $\alpha = 0,05$  (ZAR, 1999).

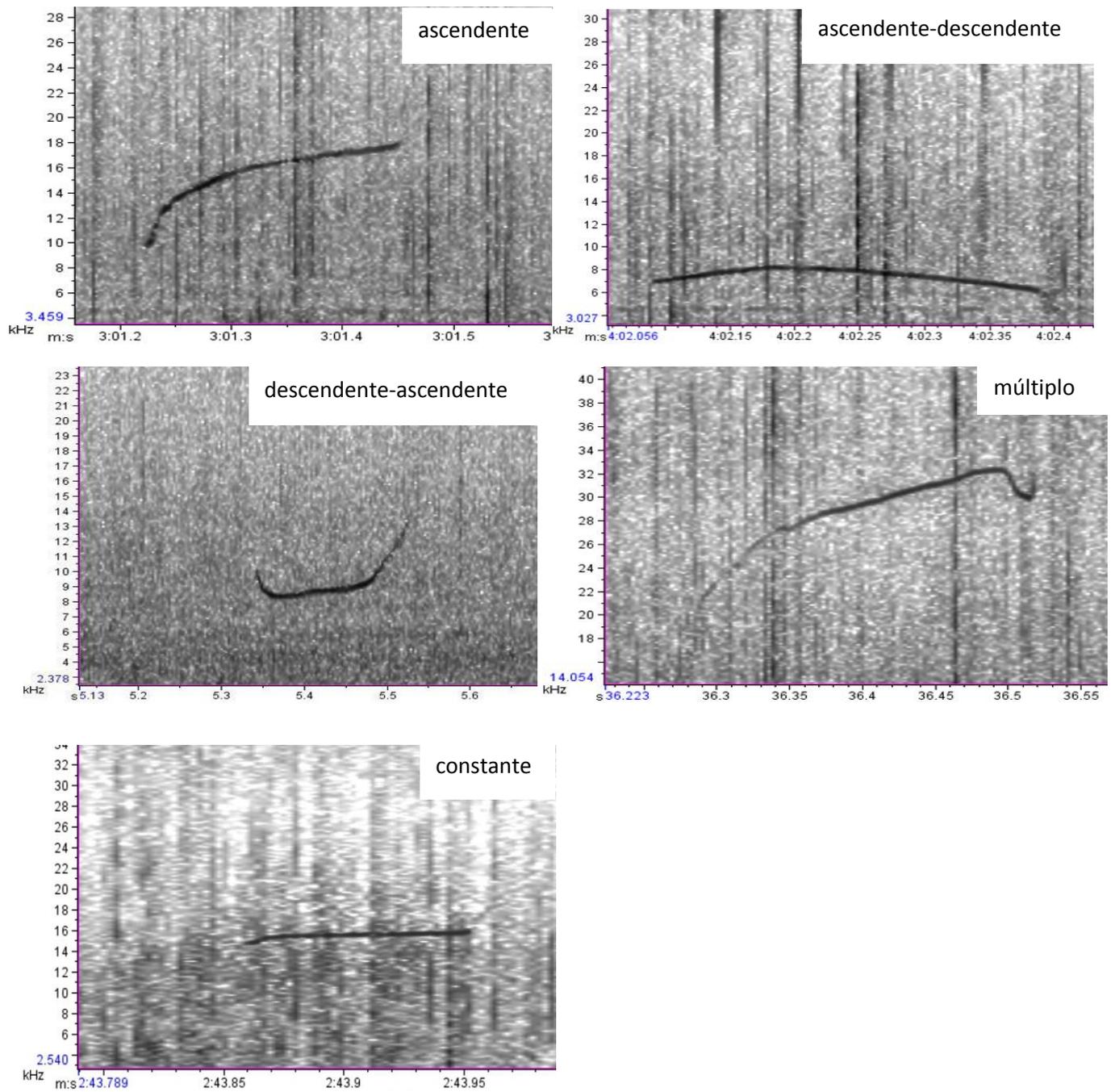
#### 4. RESULTADOS

Os resultados gerais sobre esforço de gravação, tamanho e composição de grupo de botos-cinza encontram-se na Tabela 1. Durante o período das gravações foram registrados 25 encontros com botos-cinza entre rotas aleatórias (N=12) e pré-definidas (N=13). Em um total de 27 horas e 55 minutos de esforço de gravação foi possível analisar 69 assobios, 42 sons pulsantes explosivos e 33 cadeias de cliques (totalizando 1203 cliques).

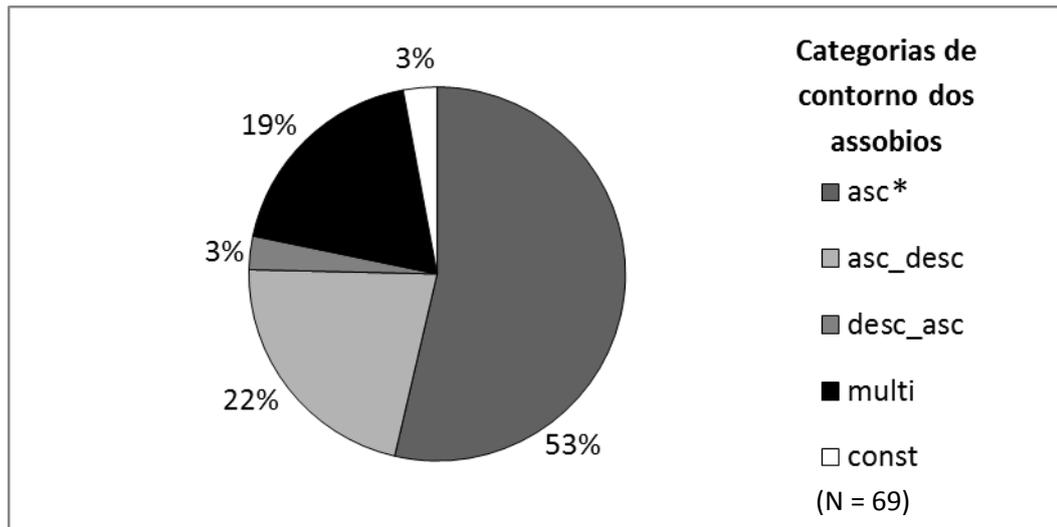
**Tabela 1.** Dados gerais sobre a coleta de dados na Baía de Benevente. Tamanho, composição de grupo e número de filhotes (com valores de média  $\pm$  desvio padrão, mínimo e máximo). Esforço de coleta e gravação.

Baía de Benevente					
	Tamanho de grupo	Composição	Número de filhotes	Nº de dias de coleta	Esforço de gravação
média $\pm$ DP	5,24 $\pm$ 3,25	Adulto, juvenil e filhote	1,03 $\pm$ 1,29	33	27h55m
mínimo - máximo	1 - 12		0 - 5		

Entre os assobios analisados foram encontradas cinco categorias gerais de contorno visual ou modulação de frequência: ascendente (frequência crescente, sem pontos de inflexão), ascendente-descendente (inicia com frequência crescente apresenta um ponto de inflexão e termina com frequência descendente), descendente-ascendente (inicia com frequência decrescente apresenta um ponto de inflexão e termina com frequência crescente), constante (a frequência varia até 1000 Hz durante mais de 90% da duração do assobio) e múltiplo (assobios com vários pontos de inflexão que não se enquadram em nenhuma das categorias citadas) (Fig. 5). A categoria ascendente (N=37; 53%) foi significativamente mais frequente ( $\chi^2=59,33$ ; gl=4;  $p<0,001$ ), seguido pelos tipos ascendente-descendente (N=15; 22%), múltiplo (N=13; 19%), descendente-ascendente (N=2; 3%) e constante (N=2; 3%) (Fig. 6). Embora já tenham sido registrados em outros estudos com a espécie, os assobios de contorno descendente não foram verificados nesta amostra.



**Figura 5.** Categorias gerais de contorno visual verificadas entre os 69 assobios analisados.



**Figura 6.** Frequências relativas dos assobios nas categorias de contorno visual. asc = ascendente; asc\_desc = ascendente descendente; desc\_asc = descendente ascendente; multi = múltiplo; const= constante. A categoria ascendente foi significativamente mais frequente ( $X^2=59,33$ ;  $gl=4$ ;  $*p<0,001$ ).

Os assobios sem ponto de inflexão (N=39; 57%) foram significativamente mais recorrentes ( $X^2=98,58$ ;  $gl=5$ ;  $p<0,001$ ) seguidos por aqueles com apenas um ponto (N=17; 25%) e até cinco pontos de inflexão foram verificados (N=1; 1%) (Tabela 2). Os parâmetros analisados para cada classe de contorno estão representados na Tabela 3.

Analisando-se o conjunto total de assobios verificou-se que a frequência fundamental destes sinais permaneceu entre 3,51 kHz e 37,56 kHz e a máxima variação foi de 15,55 kHz com média de 7,22 kHz (DP= 3,76) (Tabela 4). O tempo de duração dos assobios oscilou entre 0,033 e 0,795 segundos com média de 0,298 segundos (DP= 0,147) (Tabela 4).

**Tabela 2.** Pontos de inflexão do conjunto total de assobios (N=69): os assobios sem ponto de inflexão foram significativamente mais recorrentes ( $X^2=98,58$ ;  $gl=5$ ;  $p<0,001$ ).

Pontos de inflexão	Nº de Assobios (N=69)	Frequência relativa (%)	Qui-Quadrado
0	39	57%	$X^2=98,58$ $gl=5$ $p<0,001$
1	17	25%	
2	10	15%	
3	1	1%	
4	1	1%	
5	1	1%	

**Tabela 3.** Estatística descritiva (média  $\pm$  desvio padrão, mediana, mínimo e máximo) dos parâmetros acústicos para as categorias de contorno visual dos assobios. Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos.

Parâmetros Acústicos	ASC (N = 37)	ASC/DESC (N = 15)	DESC/ASC (N = 2)	MULTI (N = 13)	CONST (N = 2)
Frequência Inicial	8,79 $\pm$ 4,48 7,63 3,51 - 25,03	10,29 $\pm$ 8,12 7,09 4,96 - 35,56	8,59 $\pm$ 2,04 8,59 7,15 - 10,03	14,29 $\pm$ 7,46 12,46 6,63 - 29,97	11,33 $\pm$ 4,26 11,33 8,31 - 14,34
Frequência Final	17,12 $\pm$ 5,79 15,30 9,29 - 35,02	13,21 $\pm$ 8,80 12,08 5,62 - 34,95	13,87 $\pm$ 0,93 13,87 13,21 - 14,52	20,79 $\pm$ 6,93 19,57 8,65 - 31,85	12,63 $\pm$ 4,48 12,63 9,46 - 15,80
Frequência Mínima	8,79 $\pm$ 4,48 7,63 3,51 - 25,03	9,83 $\pm$ 8,17 6,23 4,96 - 34,95	7,08 $\pm$ 1,44 7,08 6,06 - 8,10	13,87 $\pm$ 7,90 12,46 4,14 - 29,97	11,33 $\pm$ 4,26 11,33 8,31 - 14,34
Frequência Máxima	17,12 $\pm$ 5,79 15,30 9,29 - 35,02	14,97 $\pm$ 9,09 13,90 7,95 - 37,56	13,99 $\pm$ 1,09 13,99 13,21 - 14,76	21,27 $\pm$ 7,39 19,57 8,65 - 33,02	12,63 $\pm$ 4,48 12,63 9,46 - 15,80
Variação de Frequência	8,33 $\pm$ 3,34 8,46 1,74 - 15,55	5,14 $\pm$ 3,58 3,24 1,72 - 12,43	6,91 $\pm$ 2,53 6,91 5,11 - 8,70	7,39 $\pm$ 4,15 7,64 1,75 - 13,56	1,30 $\pm$ 0,22 1,30 1,15 - 1,46
Frequência a 1/4	12,09 $\pm$ 4,70 10,36 6,71 - 27,06	12,53 $\pm$ 8,48 9,17 7,37 - 36,91	7,53 $\pm$ 1,10 7,53 6,76 - 8,31	16,65 $\pm$ 8,21 14,75 7,38 - 31,24	12,15 $\pm$ 4,58 12,15 8,92 - 15,39
Frequência a 1/2	13,97 $\pm$ 5,20 11,66 7,28 - 29,91	13,33 $\pm$ 8,71 10,18 7,68 - 37,00	8,60 $\pm$ 0,19 8,60 8,47 - 8,74	17,41 $\pm$ 8,67 16,01 4,47 - 31,00	12,07 $\pm$ 4,81 12,07 8,66 - 15,47
Frequência a 3/4	15,39 $\pm$ 5,63 13,19 7,63 - 32,24	13,73 $\pm$ 9,13 11,77 7,09 - 37,02	10,70 $\pm$ 2,00 10,70 9,28 - 12,12	19,06 $\pm$ 8,45 17,61 8,07 - 31,47	12,17 $\pm$ 4,82 12,17 8,76 - 15,58
Duração	0,311 $\pm$ 0,131 0,334 0,033 - 0,520	0,280 $\pm$ 0,110 0,277 0,080 - 0,487	0,196 $\pm$ 0,019 0,196 0,182 - 0,209	0,281 $\pm$ 0,183 0,213 0,079 - 0,795	0,426 $\pm$ 0,465 0,426 0,097 - 0,754
Pontos de inflexão	0	1 $\pm$ 0 1 - 1	1 $\pm$ 0 1 - 1	2,46 $\pm$ 0,97 2,00 2 - 5	0

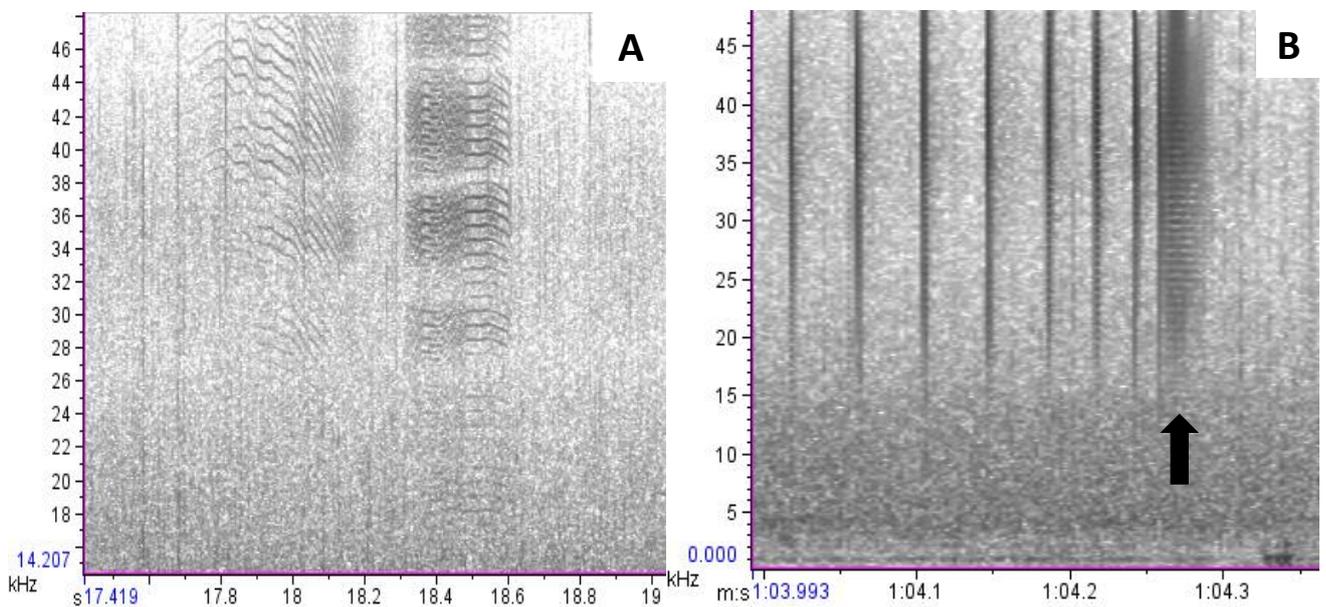
**Tabela 4.** Estatística descritiva do conjunto total de assobios (N=69): média, desvio padrão (DP), mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV). Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos.

Estatística	MinF	MaxF	DeltaF	StartF	EndF	1/4F	1/2F	3/4F	Duração	IP
Média(DP)	10,00 (6,30)	17,21 (7,06)	7,22 (3,79)	10,22 (6,23)	16,73 (7,01)	12,86 (6,49)	14,27 (6,84)	15,44 (7,11)	0,298 (0,147)	0,71 (1,03)
Mín.	3,51	7,95	1,15	3,51	5,62	6,71	4,47	7,09	0,033	0
Máx.	34,95	37,56	15,55	35,56	35,02	36,91	37,00	37,02	0,795	5
C.V.(%)	60,00%	41,04%	52,48%	60,93%	41,90%	50,46%	47,92%	46,06%	49,24%	145,10%
N= 69										

MinF= frequência mínima, MaxF= frequência máxima, DeltaF= (MaxF – MinF), StartF= frequência inicial, EndF= frequência final, 1/4F= frequência a 1/4 da duração, 1/2F= frequência a 1/2 da duração, 3/4F = frequência a 3/4 da duração, IP= pontos de inflexão.

Com base na literatura e nas características espectrais os sons pulsantes explosivos foram classificados em duas categorias gerais como: “*bray calls*” e “*buzz sounds*” (Fig.7). Os sinais do tipo “*bray call*” foram os mais comuns nesta amostra (N=36) e caracterizam-se como um chamado de banda larga de frequência e com maior taxa de repetição de pulsos e duração média mais longa do que o “*buzz sound*” (N=6), que por sua vez, apresenta também amplo espectro de frequência (Tabela 5).

Os nomes destas categorias de sons não foram traduzidos a fim de homogeneizar as nomenclaturas e facilitar a compreensão e a comparação com tipos de chamados já verificados para *S. guianensis* e para outras espécies de odontocetos.



**Figura 7.** Sons pulsantes explosivos verificados no repertório de *S. guianensis*. A: *bray calls*; B: *buzz sound* indicado pela seta.

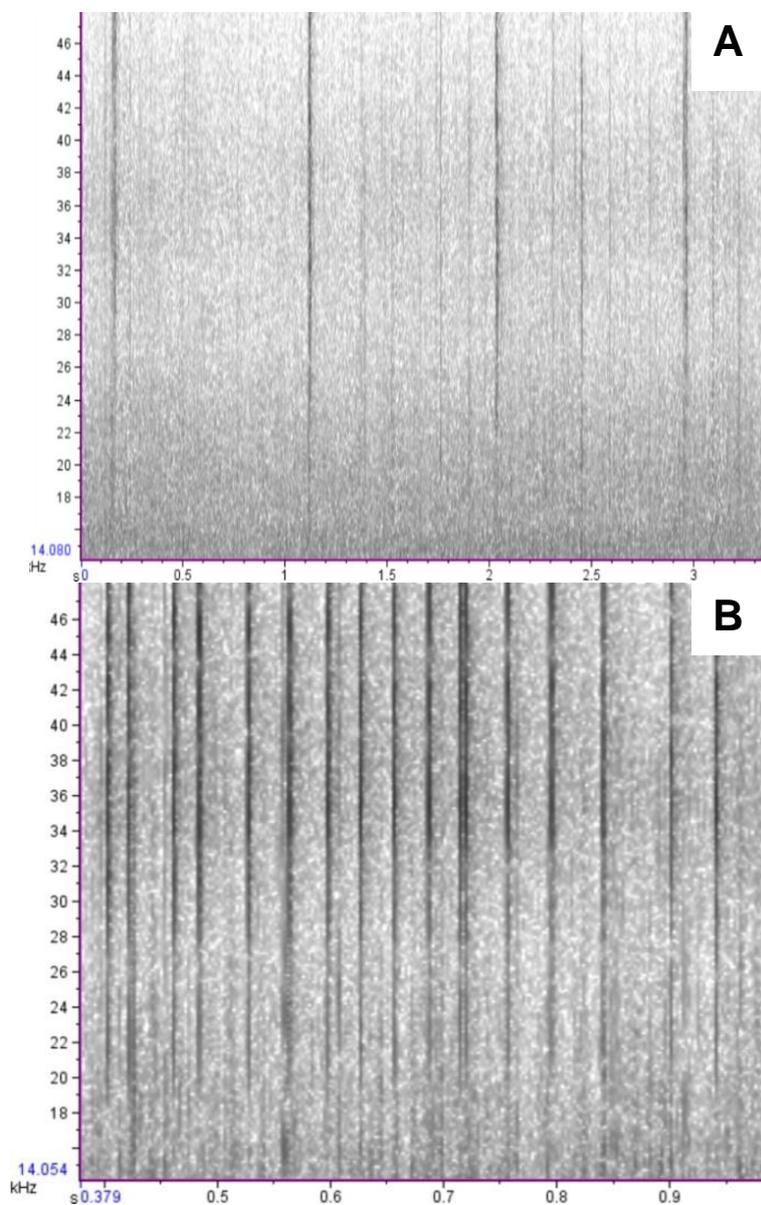
**Tabela 5.** Estatística descritiva para os dois tipos de sons pulsantes explosivos: média  $\pm$  desvio padrão, mínimo e máximo. Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos.

Parâmetros	"Bray calls" (N =36)	"Buzz sounds" (N = 6)
Frequência mínima	21,34 $\pm$ 9,37	17,39 $\pm$ 3,16
	2,91 - 31,47	14,04 - 22,35
Frequência máxima	47,90 $\pm$ 0,21	48,00 $\pm$ 0,00
	47,21 - 48,00	48,00 - 48,00
Variação de Frequência (Freq. Máx.- Freq. Mín.)	26,56 $\pm$ 9,38	30,61 $\pm$ 3,16
	16,26 - 45,09	25,65 - 33,96
Frequência de Pico	33,00 $\pm$ 9,79	39,30 $\pm$ 7,60
	7,97 - 47,91	27,84 - 47,91
Frequência central	34,66 $\pm$ 6,43	37,44 $\pm$ 3,50
	12,56 - 41,53	30,75 - 40,97
Duração	0,179 $\pm$ 0,285	0,105 $\pm$ 0,127
	0,006 - 1,621	0,027 - 0,361

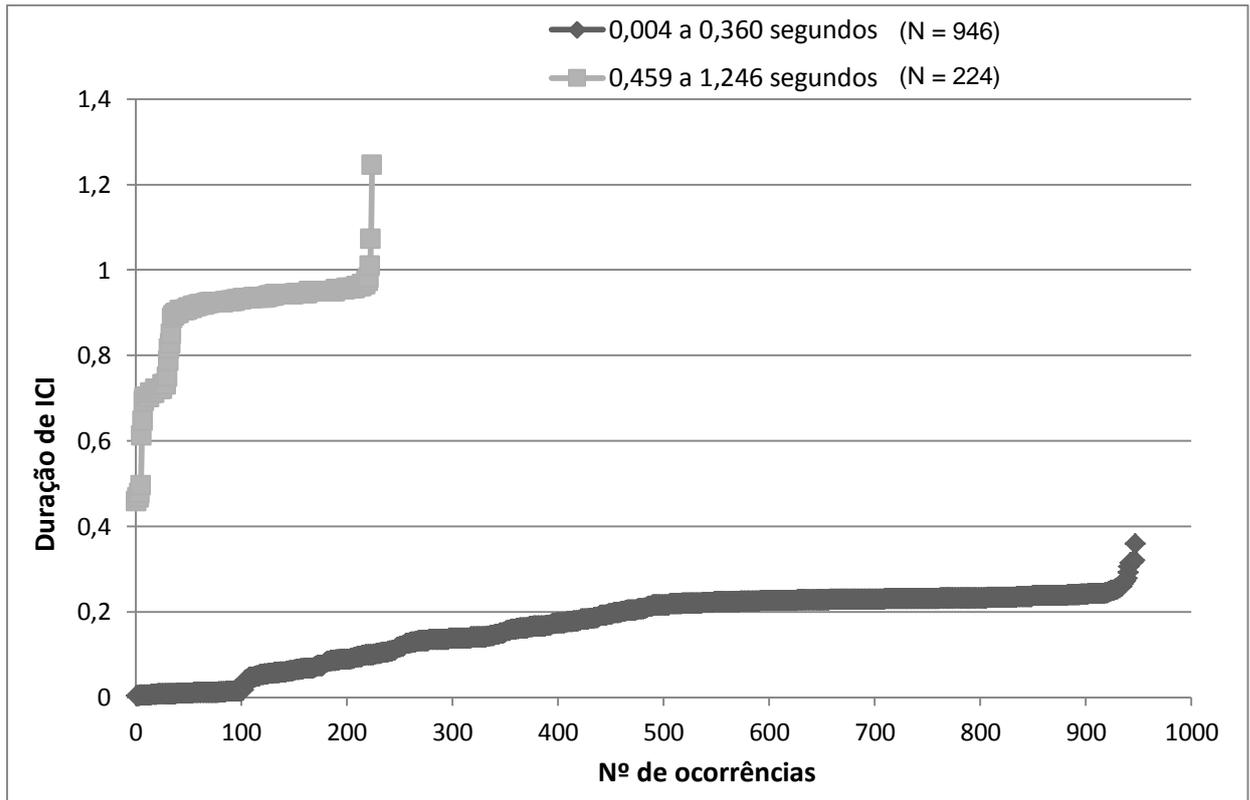
Em relação aos cliques de ecolocalização foram analisadas 33 cadeias que apresentaram de sete a 216 cliques com média de 36,45 cliques (DP= 43,47). A duração média dessas cadeias foi de 11,404 (DP= 21,226) segundos com a máxima duração sendo 106,530 segundos (Tabela 6). Os intervalos entre cliques (ICI) duraram em média 0,308s (DP= 0,301) e oscilaram entre 0,004 e 1,246 segundos (Tabela 6). Verificou-se também que as durações dos ICIs apresentaram dois padrões temporais distintos devido a diferentes taxas de repetição dos cliques (Fig.8): 81% (N=946) dos intervalos duraram entre 0,001 e 0,360 segundos e os 19% (N=224) restantes duraram entre 0,459 e 1,246 segundos (Fig. 9).

**Tabela 6.** Estatística descritiva (média,  $\pm$  desvio padrão, mediana, mínimo e máximo) dos parâmetros temporais das cadeias de cliques. Tempo em segundos.

Duração da cadeia (N=33)			Número de cliques por cadeia (N=1203)			Intervalos Inter cliques (ICI) (N=1170)		
11,404	$\pm$	21,226	36,45	$\pm$	43,47	0,308	$\pm$	0,301
		1,981			22			0,225
0,193	-	106,530	7,00	-	216,00	0,004	-	1,246

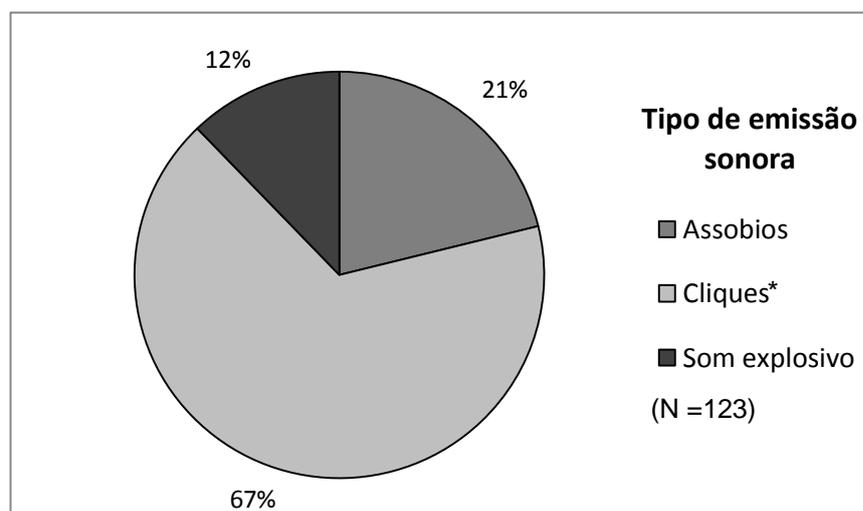


**Figura 8.** Cliques de *S. guianensis*. A: menor taxa de repetição (ICI= 0,820s); B maior taxa de repetição (ICI = 0,029s).



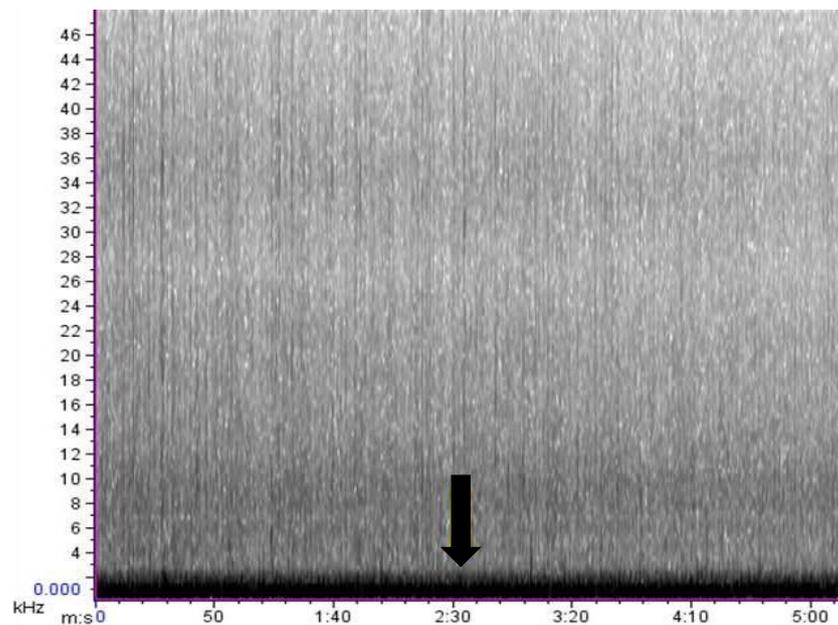
**Figura 9.** Distribuição da duração dos intervalos inter cliques (ICI) em dois padrões temporais: 81% (N=946) dos intervalos duraram entre 0,004 e 0,360 segundos e os 19% (N=224) restantes duraram entre 0,459 e 1,246 segundos.

Para cada arquivo de som que apresentou sinais acústicos dos animais (N=123) foi verificada a presença de cada tipo de emissão sonora (assobio, cliques ou som explosivo). A análise das frequências de cada categoria de emissão sonora mostrou que nesta amostra os cliques de ecolocalização (N=82) foram significativamente mais frequentes (N=82;  $X^2=62,97$ ;  $gl=2$ ;  $p<0,001$ ) do que assobios (N=26) e sons explosivos (N=15) (Fig. 10).



**Figura 10.** Frequências relativas dos tipos de emissões sonoras do boto-cinza verificadas neste estudo. Os cliques foram significativamente mais frequentes (N=82;  $X^2=62,97$ ;  $gl=2$ ;  $*p<0,001$ ).

Em relação ao ambiente acústico, foi identificada na Baía de Benevente uma fonte sonora desconhecida e de origem antropogênica. Este ruído apresenta baixa frequência e considerável quantidade de energia (Tabela 7) que pode ser percebida no espectrograma através da coloração escura (Fig. 11). Quanto mais energia apresentar um sinal, mais escuro ele será representado no espectrograma.



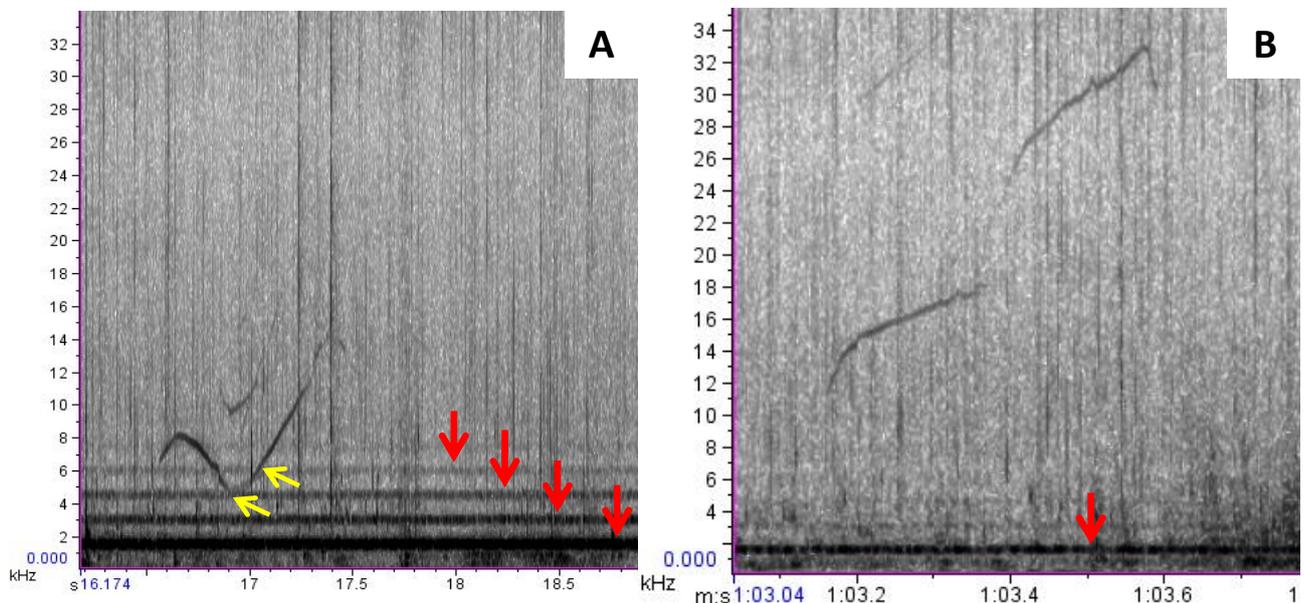
**Figura 11.** Presença de ruído de baixa frequência proveniente de fonte antropogênica desconhecida (indicado pela seta).

Esta fonte sonora desconhecida apresentou uma frequência fundamental média (média aritmética das frequências máxima e mínima) de 851,47 Hz (DP= 511,65) sendo, portanto, um ruído de baixa frequência (Tabela 7). Contudo, alguns harmônicos (componentes integrais de onda cuja presença pode indicar que se trata de uma onda sinusoidal pura) atingiram valores de até 6.290,8 Hz. Logo, foi possível registrar algumas sobreposições de frequências desta fonte sonora antropogênica com a frequência dos sons emitidos pelo boto-cinza (Fig.12).

**Tabela 7.** Médias, desvios padrões (DP), valores mínimo e máximo dos parâmetros acústicos do ruído de fonte antropogênica desconhecida. Variáveis de frequência em kHz..

Ruído antropogênico de origem desconhecida (N=139)			
	Frequência média (kHz)	Frequência mínima (kHz)	Frequência máxima (kHz)
média ± DP	0,85 ± 0,51	0,38 ± 0,53	1,33 ± 0,55
mínimo	0,17	0	0,34
máximo	4,01	2,74	5,27
CV%	60%	139%	41%

\*Frequência média: média aritmética das frequências máxima e mínima do ruído verificado em 139 arquivos de som analisados.



**Figura 12.** A: sobreposição de assobio do boto-cinza com harmônicos de um ruído antropogênico. Setas amarelas indicam as sobreposições e as setas vermelhas indicam o ruído e os harmônicos deste. B: assobios do boto-cinza com maiores frequências e sem sobreposição com o ruído (indicado pela seta vermelha)

Constatado este fato, foi feita a comparação dos parâmetros acústicos dos assobios do boto-cinza em relação à presença e à ausência do ruído para investigar uma possível mudança no comportamento acústico dos animais na presença do ruído antropogênico.

Do total de assobios analisados (N=69), 20 (~29%) eram provenientes de gravações em que não foi verificada a presença de ruído artificial, ao passo que os 49 (~71%) assobios restantes encontravam-se em gravações onde este ruído existia. Portanto,

a fim de homogeneizar o tamanho destas amostras foram escolhidos, aleatoriamente, 20 assobios do grupo em que o ruído ocorreu (N=49).

O teste de *Mann-Whitney* foi escolhido devido às distintas condições de gravação ao longo do período de coleta e à impossibilidade de se afirmar que se tratava dos mesmos animais. O resultado deste teste mostrou que a modulação da frequência (ou variação) e a duração foram significativamente maiores na amostra em que o ruído artificial estava presente (Tabela 8).

**Tabela 8.** Médias e desvios padrões (DP) dos parâmetros acústicos dos assobios em duas condições distintas: na presença e na ausência do ruído de fonte antropogênica desconhecida. Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos. Valores do teste de Mann-Whitney \* $p < 0,05$ .

	Ruído de Fonte Antropogênica Desconhecida				<i>Mann-Whitney</i>
	Ausente (N=20)		Presente (N=20)		
	médias	DP	médias	DP	
Frequência Inicial	11,73	± 6,79	10,06	± 5,56	U= 168 $p = 0,387$
Frequência Final	18,19	± 6,65	17,46	± 7,58	U= 189 $p = 0,766$
Frequência Mínima	11,63	± 6,83	10,75	± 6,06	U= 186 $p = 0,705$
Frequência Máxima	18,30	± 6,63	18,44	± 7,73	U= 172 $p = 0,449$
Variação de Frequência	6,67	± 3,58	9,09	± 3,40	U= 105 $p = 0,010^*$
Frequência a 1/4	12,81	± 6,93	14,09	± 6,50	U= 186 $p = 0,705$
Frequência a 1/2	15,20	± 6,76	15,68	± 6,94	U= 182 $p = 0,626$
Frequência a 3/4	15,40	± 7,78	16,67	± 7,43	U= 180 $p = 0,588$
Pontos de inflexão	0,75	± 1,29	0,80	± 1,15	U= 186,5 $p = 0,715$
Duração	0,284	± 0,134	0,406	± 0,169	U= 115 $p = 0,021^*$

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. O repertório sonoro do boto-cinza: assobios tonais

Golfinhos do gênero *Sotalia* apresentam um repertório de assobios diverso. Neste estudo foram encontradas cinco categorias gerais de contorno e os assobios mais simples, contendo zero ou um ponto de inflexão, foram mais numerosos (N=39) principalmente devido à predominância do contorno do tipo ascendente, isto é, com frequência crescente (N=37). Este mesmo padrão já foi observado para *S. guianensis* em estudos anteriores (AZEVEDO; SIMÃO, 2002; ERBER; SIMÃO 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; PIVARI; ROSSO, 2005) e também para *S. fluviatilis* (WANG et al., 2001; PODOS et al., 2002; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2010).

Sabe-se que *S. guianensis* vivem em grupos sociais estruturados, porém instáveis (MONTEIRO-FILHO, 2000) e May-Collado et al., (2007) mostraram que a complexidade dos assobios (mensurada através de pontos de inflexão) pode ser influenciada por componentes de socialidade como a estrutura e o tamanho de grupo. De forma mais específica, estes autores verificaram que a simplicidade desses sinais está concentrada em espécies mais solitárias enquanto a distribuição filogenética dos assobios complexos e espécies mais sociais se sobrepõem grandemente.

A maioria das médias dos parâmetros de frequência analisados para os assobios do boto-cinza na Baía de Benevente foram superiores aos valores médios encontrados por estudos anteriores que avaliaram alguns ou todos estes parâmetros em outras regiões do país (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; AZEVEDO; SIMÃO, 2002; ERBER; SIMÃO 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; PIVARI; ROSSO 2005, Anexo I). Contudo, em relação a uma população ao norte da distribuição brasileira, na Costa Rica (MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009), todos os valores dos parâmetros foram inferiores, exceto pela duração dos assobios e número de pontos de inflexão (Anexo I).

Estas diferenças entre os estudos brasileiros anteriores, o presente estudo e o da Costa Rica poderiam estar, em parte, relacionadas aos distintos limites de frequência estabelecidos pelos equipamentos utilizados em cada um destes estudos. Monteiro-Filho e Monteiro (2001) captaram sons de até 8kHz. Azevedo e Simão (2002) e Privari e Rosso (2005) apresentaram um limite superior de 18kHz, enquanto Erber e Simão (2004) e Azevedo e Van Sluys, (2005) utilizaram o mesmo limite de 24kHz.

No presente estudo o limite foi de 48kHz e o trabalho da Costa Rica apresentou a banda mais larga: 200-250 kHz. No entanto, é possível que os estudos que utilizam

bandas de frequência de pelo menos 48 kHz sejam capazes de registrar uma parte significativa da faixa de frequência utilizada por *S. guianensis* em seus assobios visto que, May-Collado e Wartzok (2009), com um limite superior de frequência mais de quatro vezes maior do que o limite deste estudo, verificaram uma média de frequência máxima pouco superior (21,21kHz) ao que foi encontrado na Baía de Benevente (17,21 kHz) (Anexo I).

Embora possa haver alguma influência dos sistemas de gravação nas diferenças verificadas (Anexo I) outras hipóteses também podem explicar esta variação intraespecífica entre as populações de boto-cinza. Uma delas é a de que a frequência dos assobios de *S. guianensis* aumenta do sul de sua distribuição para o norte. De fato, alguns resultados corroboram esta hipótese (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009) e a fim de verificá-la comparou-se os valores encontrados por este estudo com aqueles demonstrados por Azevedo e Van Sluys (2005) (ver Anexo II). Estes autores apresentaram dados de oito populações de *S. guianensis* distribuídas ao longo da costa brasileira e sugeriram estudos na região média da costa brasileira (Estado do Espírito Santo, por exemplo) a fim de averiguar com mais detalhe se esta tendência de aumento da frequência no sentido sul-norte é confirmada nesta região também (Anexo II).

A comparação entre estes dois estudos mostrou que (exceto nas frequências final, máxima e variação) a maioria das médias dos parâmetros de frequência dos assobios do boto-cinza no Estado do Espírito Santo foi superior aos valores médios encontrados nas populações ao sul deste Estado e inferiores às populações ao norte (Anexo II). Tais resultados também reforçam as evidências a favor desta teoria.

Diversos estudos já mostraram que as variações acústicas intraespecíficas também podem ser resultantes de adaptação às diferentes condições ecológicas e/ou de isolamento genético e geográfico entre grupos ou populações (BÁZUA-DURÁN; AU, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; MORISAKA et al., 2005b; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; BARON et al., 2008; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2008). Outro cenário de argumentos destacado por Rossi-Santos e Podos (2006) baseia-se na evolução cultural aleatória. Sabe-se que os golfinhos usam assobios para reconhecimento específico, grupal e até mesmo individual (JANIK; SLATER, 1998), portanto as divergências entre grupos podem facilitar interações sociais e, assim, serem favorecidas pela seleção cultural (ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006). Estes autores ainda ressaltam que é possível que os assobios dos botos-cinza, nas regiões norte e sul do Brasil, tenham divergido em direções aleatórias, mas com suficiente continuidade dentro de regiões para manter similaridade entre locais adjacentes.

Adicionalmente, May-Collado et al. (2007) afirmam que a variação nestes sinais acústicos pode ocorrer em uma escala mais fina, tal como em um mesmo indivíduo, entre sexos ou grupos sociais. Estes autores destacam também que os distintos parâmetros acústicos dos sinais tonais dos delfínidos variam de maneira diferente intra e inter especificamente. Por exemplo, parâmetros acústicos como a duração e a modulação da frequência (variação) tendem a variar intra especificamente (BÁZUA-DURÁN; AU 2002, 2004; MORISAKA et al., 2005b; BARON et al., 2008) ao passo que componentes de frequência tendem a variar entre as espécies (RENDELL et al., 1999; OSWALD et al., 2003). Em congruência com isto, entre os trabalhos comparados nos anexos I e II pode-se perceber que os parâmetros de duração e modulação de frequência (representada pela variação ou  $\Delta F$  e por pontos de inflexão) apresentaram os mais altos valores de coeficientes de variação.

Neste contexto pode-se concluir que a variação latitudinal da frequência dos assobios de *S. guianensis* pode ser resultante de uma combinação complexa de fatores evolutivos, ecológicos e individuais.

## 5.2. O repertório sonoro do boto-cinza: sons pulsantes explosivos

Apesar das diversas observações e relatos sobre sons pulsantes explosivos na literatura, existe uma escassez de descrição quantitativa dessas emissões sonoras. A maior parte das descrições destaca o papel social destes sinais e os contextos comportamentais em que são exibidos, como por exemplo, durante comportamentos de corte, de sincronização do nado em grupo ou em interações agonísticas (HERZING, 1996; AU; HASTINGS, 2008).

Provavelmente, uma parte da explicação para esta realidade pode ser atribuída à natureza de banda larga desses sons em comparação com a frequência dos componentes fundamentais dos assobios, que são principalmente na faixa auditiva humana (AU; HASTINGS, 2008). Sons de pulsos explosivos podem ter componentes de frequência que se estendem além de 100 kHz (LAMMERS; AU, 1996; LAMMERS et al., 2003).

A descrição bem sucedida do repertório sonoro de uma espécie depende da utilização de sistemas de gravação adequados ao seu comportamento acústico (BOISSEAU, 2005). Portanto, a dificuldade em obter equipamentos de gravação e hidrofones que consigam captar o amplo espectro destes sons pode ter limitado os

pesquisadores na investigação deste tipo de sinal. Contudo, é necessário transpor esta barreira e investir no conhecimento destes sons, visto que alguns estudos (KAMMINGA et al., 1993, LAMMERS; AU, 1996; LAMMERS et al., 2003; BOISSEAU, 2005) mostraram que os sons pulsantes constituem uma parte importante do repertório de emissões sonoras dos golfinhos e podem executar um papel tão fundamental quanto o dos assobios na comunicação entre os animais.

Neste estudo os sons pulsantes explosivos foram divididos em duas categorias: “*bray calls*” e “*buzz sounds*”. Estas denominações foram escolhidas por já terem sido citadas na literatura como sons de odontocetos (JOHNSON et al., 2006; KÜSEL et al., 2011; STAFFORD et al., 2012), de delfínídeos (DOS SANTOS et al., 1995; HERZING, 1996; JANIK, 2000; VAN PARIJS et al., 2000; MADSEN et al., 2004) e inclusive de *S. guianensis* (PRIVARI, 2004). No entanto, os sons do tipo “*bray calls*” podem ser semelhantes aos sons denominados “*squawks*” ou “*squeaks*” na literatura (HERZING, 1996; VAN PARIJS et al., 2000), já que a falta de denominação específica faz com que as nomenclaturas refiram-se à percepção auditiva humana destes sinais.

Os dois tipos de sons explosivos verificados no presente estudo apresentaram bandas de frequências mais largas do que aquelas verificadas em chamados semelhantes emitidos pelo golfinho *T. truncatus* (JANIK, 2000). E embora não tenha apresentado análises quantitativas destes sons, Privari (2004) mostrou espectrogramas de “*bray calls*” emitidos pelo boto-cinza durante comportamento alimentar em Cananéia, SP, que apresentaram bandas de frequência tão largas quanto as que foram verificadas neste estudo. Esta autora destacou também que este tipo de som ocorreu, mais especificamente, ao final de uma sequência rápida de cliques de ecolocalização que foi chamada de fase de aprisionamento. Os 42 sons explosivos gravados na Baía de Benevente também ocorreram imediatamente após ou próximos de uma cadeia de cliques de ecolocalização (Fig.7).

De maneira similar, Janik (2000) encontrou uma forte associação entre “*bray calls*” e o comportamento alimentar do golfinho *T. truncatus* e sugeriu que este poderia ser um comportamento exibido para atrair coespecíficos através da sinalização da presença de alimento ou ainda, que este seria um comportamento capaz de provocar desorientação em cardumes de peixe, facilitando assim a captura dos mesmos.

Esta correlação entre cliques e sons explosivos também já foi relatada por diversos estudos com várias espécies de odontocetos (MILLER et al., 2004; MADSEN et al., 2005; JOHNSON et al., 2006; STAFFORD et al., 2012). Miller et al. (2004) em um estudo com cachalotes (*Physeter macrocephalus*) verificaram a ocorrência de “*buzzes*”

ao final de cadeias de cliques de ecolocalização e também sugeriram que este som poderia estar associado à tentativa de captura de presas.

É possível que esses sons possam ter função de ecolocalização (LAMMERS et al., 2004) visto que, um tipo de som pode mesclar ao outro durante uma sequência de emissões de pulsos. E ainda é discutida a hipótese de que os odontocetos podem utilizar sons pulsantes de grande amplitude e intensos para facilitar a captura de suas presas, já que este tipo de som pode ser capaz de atordoar, debilitar ou até mesmo matar a presa (NORRIS; MØHL, 1983; MARTEN et al., 2001).

Alguns estudos mostraram que algumas espécies de peixes são capazes de reconhecer sons ultrassônicos, semelhantes aos que são produzidos por odontocetos durante a ecolocalização (MANN et al., 2001; WILSON, B.; DILL, 2002; POPPER et al., 2004, WILSON, M. et al., 2011). Popper et al. (2004) em uma revisão sobre o tema, mostraram que espécies de peixes que são potenciais presas de odontocetos apresentam respostas comportamentais anti-predatórias quando são expostas a sons ultrassônicos e que estas respostas variam de movimento não direcional (com sons menos intensos) à fuga orientada da fonte (sob sons com maior intensidade). Confirmando isto, Wilson, M. et al. (2011) observaram que o peixe sável (*Alosa alosa*) responde rapidamente a cliques simulados de delfínido quando estes são reproduzidos em alta taxa de repetição, representando a aproximação de um golfinho. Contudo, esta hipótese é controversa e deve ser melhor investigada, pois em alguns experimentos de exposição a sons explosivos, simulados de odontocetos, as presas exibiram comportamento de desorientação ou mesmo morte após a exposição, ao passo que, em outros estudos as presas não exibiram nenhuma resposta comportamental mensurável (MARTEN et al., 2001; BENOIT-BIRD et al., 2006; WILSON, M. et al., 2007).

### 5.3. O repertório sonoro do boto-cinza: cliques de ecolocalização

São raros os estudos publicados que apresentam informações sobre os sons pulsantes emitidos por golfinhos do gênero *Sotalia*. Recentemente, May-Collado e Wartzok (2010) investigaram as emissões sonoras do golfinho tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) em dois rios do Equador e encontraram resultados distintos dos que foram verificados pelo presente estudo. Estes autores mostraram que as cadeias de cliques emitidas pelos tucuxis foram menos duradouras que as observadas para *S. guianensis* na Baía de

Benevente. Contudo, os golfinhos de rio apresentaram uma taxa de repetição de cliques muito maior do que a verificada para o boto-cinza neste estudo.

Apesar da proximidade filogenética entre as espécies *S. guianensis* e *S. fluviatilis* é provável que distintas pressões seletivas moldadas pelas diferenças ecológicas entre os habitats costeiro e fluvial tenham sido capazes de promover diferenças conspícuas entre os comportamentos acústicos dessas duas espécies, ao longo da evolução.

Também em uma comparação interespecífica, Kamminga et al. (1993) verificaram semelhanças entre sons pulsantes de *Inia geoffrensis* e *S. fluviatilis* simpátricos em rios do Brasil, Peru e Colômbia, e sugeriram que, embora fossem pouco relacionadas filogeneticamente, a simpatria entre *I. geoffrensis* e *S. fluviatilis* poderia ter sido responsável pela convergência de características acústicas verificada entre estas espécies. Isto ficou claro quando os autores compararam padrões de cliques de ecolocalização das duas espécies simpátricas com cliques de botos-cinza (*S. guianensis*) costeiros da Colômbia. Nesta ocasião os autores verificaram maior semelhança entre sons pulsantes das espécies simpátricas de habitat fluvial (*I. geoffrensis* e *S. fluviatilis*) do que entre as espécies do mesmo gênero (*S. guianensis* e *S. fluviatilis*).

Na Baía de Benevente os cliques de *S. guianensis* apresentaram amplo espectro de frequência, que excedeu o limite de gravação (48 kHz), e os intervalos entre cliques (ICI) mostraram dois padrões temporais. Características semelhantes também foram verificadas por Privari (2004): os cliques de *S. guianensis* gravados em Cananéia durante comportamento alimentar também exibiram banda larga de frequência e mostraram dois padrões temporais de repetição de cliques: um durante a perseguição (ICI ~ 30 ms) e outro durante a apreensão da presa (ICI ~ 6ms). No entanto, estes valores de ICI foram inferiores aos observados pelo presente estudo provavelmente porque a autora registrou apenas emissões sonoras durante comportamentos alimentares, onde se espera que o intervalo entre cliques seja menor.

Adicionalmente, a cadeia de cliques de maior duração encontrada neste estudo (106, 53s) também apresentou a maior média de ICI (0,945s). De forma semelhante, Privari (2004) encontrou sequências de cliques com mais de 2 minutos de duração e afirmou que estas cadeias provavelmente estavam relacionadas ao período de busca da presa que antecede a localização e apreensão da mesma exibindo, portanto, maiores intervalos entre cliques. Caldwell e Caldwell (1970) estudando o tucuxi (*S. fluviatilis*) em cativeiro, também constataram que os intervalos entre os cliques emitidos durante o período de procura pela presa são significativamente superiores ao intervalo entre cliques durante as fases de localização e investida.

Segundo Au et al. (1987) estes padrões ocorrem porque a taxa de repetição dos cliques varia de acordo com a sua finalidade. Assim, intervalos mais longos entre os cliques podem ser relacionados à exploração do ambiente ou navegação, enquanto intervalos menores proporcionam informações mais detalhadas sobre o alvo, que neste caso é a presa.

#### 5.4. O ambiente acústico na Baía de Benevente: presença de ruído antropogênico

A preocupação acerca do impacto dos ruídos antropogênicos sobre os mamíferos marinhos têm aumentado nas últimas duas décadas (PARKS et al., 2007). A poluição sonora que pode afetar os mamíferos marinhos é produzida por diversas atividades humanas nos oceanos ou próximos a eles que podem ser transientes ou contínuas: transporte, exploração de hidrocarbonetos ou minerais, levantamentos geofísicos, sonares, explosões, estudos oceânicos e outros (RICHARDSON et al., 1995).

Diversos estudos têm demonstrado que tanto os odontocetos quanto os misticetos podem apresentar respostas comportamentais de curto e de longo prazo a sons de origem antropogênica. Estas respostas podem ser percebidas através do aumento/diminuição dos hormônios de stress ou através de comportamentos de evitação ou de compensação ao aumento do ruído ambiental, como por exemplo: aumento da intensidade do sinal, mudança do tipo de emissão sonora, aumento/diminuição da modulação de frequência, aumento/diminuição da duração dos sinais ou da taxa de emissão destes. (VAN PARIJS; CORKERON, 2001; BUCKSTAFF, 2004; PARKS et al., 2007; PARSONS et al., 2008; REZENDE, 2008; BAILEY et al., 2010; DI IORIO; CLARK, 2010; PARKS et al., 2010; ROLLAND et al., 2012).

Embora muitos estudos recentes busquem compreender os possíveis impactos da poluição sonora sobre os cetáceos, pouco se conhece a respeito destes impactos sobre o boto-cinza. Rezende (2008) através de um estudo em Cananéia-SP, verificou que o boto-cinza pode apresentar alterações acústico-comportamentais em função da atividade de embarcações motorizadas. Os resultados mostraram que os animais diminuem a taxa de emissão de sinais quando um motor de embarcação em funcionamento emite ruídos que alcançam faixas de frequência e de energia próximas ou iguais àsquelas utilizadas pelos botos.

Em relação à Baía de Benevente, existem evidências de que *S. guianensis* frequenta as áreas de ocorrência do ruído antropogênico. Contudo, são necessários

estudos a longo prazo que investiguem o perfil acústico da baía e o padrão de movimento dos botos nesta área para verificar, de forma consistente, se existe ou não algum tipo de resposta comportamental evasiva em determinadas condições acústicas.

A investigação de questões como estas é de grande relevância, visto que inúmeros estudos já mostraram que odontocetos e mysticetos podem evitar fontes antrópicas de ruído, como barcos e navios em movimento ou atividades humanas que geram sons intensos (FINLEY et al., 1990; KARCZMARSKI et al., 1997, 1998; MORTON; SYMONDS, 2002; STONE; TASKER, 2006; SOUSA-LIMA; CLARK, 2008, 2009; FILLA; MONTEIRO-FILHO, 2009; BAILEY et al., 2010; CERCHIO et al., 2010). Exemplificando isto, Morton e Symonds (2002) verificaram a evasão de orcas (*Orcinus orca*) de duas áreas adjacentes na Columbia Britânica, Canadá, após ter sido implementado um sistema emissor de som para evitar focas (*Phoca vitulina*) predadoras de salmões. De forma semelhante, Stone e Tasker (2006) observaram que os pequenos odontocetos evitaram imediatamente e com mais intensidade a proximidade de navios de prospecção sísmica com *airguns* ativos (canhões de ar comprido que produzem explosões de grande intensidade sonora e baixas frequências) do que os mysticetos.

As respostas comportamentais dos golfinhos aos ruídos antropogênicos também podem variar com a distância do animal em relação à fonte do ruído. Bailey et al. (2010) sugerem que em alguns delfínidos os distúrbios comportamentais podem ocorrer quando estes animais se encontram em um raio de até 70km de distância de um bate-estaca que produz ruídos de baixa frequência (até 10 kHz). Contudo, acentuados comportamentos de evitação podem ocorrer em um raio de 20km desta fonte. Em relação à Baía de Benevente, a fonte produtora do ruído antropogênico é desconhecida, portanto, não foi possível avaliar se existe alguma variação na resposta comportamental do boto-cinza em relação às diferentes distâncias da fonte.

Outra recente ameaça aos mamíferos marinhos é o efeito de mascaramento produzido pelos ruídos antropogênicos nos oceanos (CLARK et al., 2009). Este efeito ocorre quando um indivíduo receptor deixa de perceber ou de decifrar com precisão os sinais de interesse que chegam até ele, devido à interferência de outra fonte sonora de considerável energia. Clark et al. (2009) demonstraram, através de uma combinação de modelos em escala espacial, espectral (de frequências) e temporal, que o espaço de comunicação das baleias francas do norte (*Eubalaena glacialis*) encontra-se seriamente comprometido pelo ruído resultante do tráfego de navios comerciais no Atlântico Norte.

Em relação ao presente estudo, é possível que a presença do ruído antropogênico, com uma quantidade considerável de energia (percebida pela cor negra no espectrograma, Fig. 11), seja suficiente para promover o efeito de mascaramento ao

reduzir, em algum nível, a eficiência da transmissão ou da detecção das emissões sonoras dos botos-cinza que utilizam a Baía de Benevente. Se assim for, é esperado que os animais apresentem algum tipo de resposta comportamental evasiva ou de adequação como tentativa de suplantar este efeito. Uma maneira possível de se fazer isto é alterando o comportamento acústico durante a exposição a este tipo de ruído.

Na área investigada, foi observado o aumento significativo na modulação de frequência e na duração dos assobios do boto-cinza quando o ruído antropogênico estava presente. É possível que estas mudanças sejam parte da estratégia adotada pelos animais para otimizar a transmissão/percepção de informações sonoras, em termos de frequência e de tempo, a fim de manter a comunicação eficaz em um ambiente acusticamente poluído. Corroborando estes resultados, Findley et al. (1990) não observaram aumentos das frequências dos chamados de belugas (*Delphinapterus leucas*) expostas a ruídos de grandes navios, todavia, estes autores mostraram que alguns tonais específicos iniciaram em frequências baixas e cobriram bandas mais amplas de frequência. É possível que tais alterações na modulação da frequência sejam uma tentativa de tornar a comunicação mais eficiente, tendo em vista que este tipo de modulação em chamados tonais pode limitar a degradação a longas distâncias ou em ambientes ruidosos (RICHARDS; WILEY, 1980).

Outros estudos têm mostrado algumas alternativas que os odontocetos utilizam para evitar o efeito de mascaramento e aumentar a detectabilidade de seus sinais acústicos: Lesage et al. (1999) verificaram que as belugas (*D. leucas*) que utilizam o estuário de *Saint Lawrence*, no Canadá, aumentaram as frequências de seus chamados quando foram expostas a ruídos de balsas e de outras embarcações com motor de popa. De forma semelhante, Wang et al. (1995) relataram o aumento das frequências e da duração dos assobios de golfinhos nariz-de-garrafa (*T. truncatus*) em áreas com elevado ruído de fundo.

Em relação ao boto-cinza, Andrade (2010) ao comparar vários parâmetros acústicos de assobios gravados em três baías do Estado do Rio de Janeiro, verificou que as mais altas médias de frequências dos parâmetros analisados ocorreram na baía em que o ruído de fundo apresentou maior frequência ( $748,62 \pm 626,52\text{Hz}$ ) e maior intensidade devido, principalmente, ao tráfego intenso de diversos tipos de embarcações (Baía de Guanabara). A autora também justificou o aumento das frequências como uma estratégia para otimizar a comunicação entre os indivíduos.

Mudanças nos padrões de frequência dos sinais frente ao aumento da poluição sonora também têm sido documentadas para os mysticetos. Parks et al. (2007) comparando dados históricos e contemporâneos observaram que nas últimas três

décadas as baleias franca do norte (*Eubalaena glacialis*) e as do sul (*Eubalaena australis*) aumentaram as médias das frequências fundamentais de seus chamados e diminuíram a taxa de emissão dos mesmos. Estas mudanças foram atribuídas principalmente ao aumento do tráfego de navios neste período.

Adicionalmente, já se sabe que as baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) podem alterar a produção de sons nas áreas reprodutivas em resposta a ruídos antropogênicos, como os que são produzidos por embarcações, por levantamentos sísmicos e sonares de uso militar (CERCHIO et al., 2010; RISCH et al., 2012). Confirmando isto, Sousa-Lima e Clark (2008, 2009) mostraram que o ruído gerado pelo tráfego de embarcações de observação de baleias no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, no Brasil, pode mascarar aspectos importantes da comunicação entre as baleias jubarte. Os machos desta espécie cantam para atrair as fêmeas e, possivelmente, para demarcar territórios e evitar outros machos (PAYNE; MCVAY 1971, WINN; WINN, 1978). Portanto, estas evidências reiteram a necessidade de se investigar as potenciais influências do ruído antropogênico no sucesso reprodutivo e no crescimento desta e de outras populações de cetáceos.

Em conjunto, estes resultados alertam para o fato de que pode haver entre muitas espécies de cetáceos, inclusive entre as muito ameaçadas (como a baleia franca do norte), diferentes níveis de respostas comportamentais ao aumento gradual e crônico do nível de ruído antropogênico nos oceanos. Embora estes animais sejam capazes de modificar seu comportamento acústico como tentativa de suplantar esta crescente poluição sonora, ainda não é possível avaliar se essas modificações são (e até quando serão) suficientes para manter a comunicação em um ambiente acusticamente poluído. Além disso, é importante ressaltar que se estes distúrbios forem de curta duração talvez não sejam necessariamente significativos. No entanto, se são muito repetidos ou apresentam longa duração, eles podem causar debilitação, *stress* e até mesmo mortalidade dos animais (SIMMONDS et al., 2004).

## 6. CONCLUSÕES

O repertório sonoro do boto-cinza na Baía de Benevente é diversificado e apresenta assobios tonais, sons pulsantes explosivos e cliques de ecolocalização. Os assobios tonais exibem cinco categorias de contorno e os mais comuns são aqueles sem pontos de inflexão ou com apenas um. A forma de contorno mais frequente é a do tipo ascendente, corroborando com dados obtidos por estudos anteriores com outras populações de *S. guianensis* ao longo da costa brasileira.

Em geral, os valores médios dos parâmetros de frequência dos assobios do boto-cinza em Benevente foram maiores do que as médias destes parâmetros verificados anteriormente para populações ao sul da área de estudo e foram menores do que os valores das populações ao norte. Embora possa haver alguma influência dos diferentes limites de frequência destes estudos, é provável que a frequência apresente uma tendência de aumento do sul para o norte (da distribuição de *S. guianensis*).

São raras as informações sobre os sons pulsantes produzidos pelo gênero *Sotalia*. Os sons explosivos investigados por este estudo foram semelhantes ao que foi documentado para *S. guianensis* em um estudo do comportamento acústico durante alimentação. Além de serem relatados como componentes de contextos sociais diversos, aparentemente estes sons estão relacionados às etapas finais do processo de ecolocalização.

Em relação aos cliques de ecolocalização, os diferentes padrões temporais observados por este estudo também já foram verificados para *S. guianensis* e para outros odontocetos. O padrão da taxa de emissão de cliques depende da função que estes sinais desempenham.

O boto-cinza esteve presente nas áreas de ocorrência do ruído antropogênico detectado na baía. Portanto, são necessários estudos a longo prazo que verifiquem, de forma consistente, se existe ou não algum tipo de resposta comportamental evasiva em determinadas condições acústicas.

O ruído antropogênico apresenta, em média, baixa frequência. Todavia, foram observados harmônicos com frequências mais altas que se sobrepõem às frequências utilizadas pelo boto-cinza em alguns assobios.

As mudanças do comportamento acústico do boto-cinza (aumento da modulação de frequência e da duração dos assobios) na presença do ruído antropogênico podem representar uma estratégia de compensação ao efeito de mascaramento a fim de manter a comunicação eficiente em um ambiente acusticamente poluído.

## REFERÊNCIAS

ACEVEDO-GUTIÉRREZ, A.; DIBERARDINIS, A.; LARKIN, S.; LARKIN, K.; FORESTELL, P. Social interactions between tucuxis and bottlenose dolphins in Gandoca-Manzanillo, Costa Rica. **L. Am. J. Aquat. Mamm.**, v.4, p.49–54. 2005.

ANDRADE, L. G. **Assobios do boto-cinza, *Sotalia guianensis*, (Cetacea, Delphinidae) em três áreas de concentração na costa do Rio de Janeiro**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 68p. 2010.

ANSMANN, I. C.; GOOLD, J. C.; EVANS, P.G.H.; SIMMONDS, M.; KEITH, S. G. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, v. 87, p. 19–26. 2007.

AU, W. W. L. **The sonar of dolphins**. New York: Springer-Verlag. 277p. 1993.

\_\_\_\_\_. Hearing in whales and dolphins: an overview. In: AU, W. W. L., POPPER, A. N., FAY, R. R. (Eds.). **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer. 2000.

AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. **Principles of marine bioacoustics**. New York: Springer. 2008.

AU, W. W. L.; KASTELEIN, R. A.; RIPPE, T.; SCHOONEMAN, N. M. Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). **J. Acoust. Soc. Am.**, v.106, p.3699–705. 1999.

AU, W. W. L.; KASTELEIN, R. A.; BENOIT-BIRD, K. J.; CRANFORD, T. W.; MCKENNA, M. F. Acoustic radiation from the head of echolocating harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). **J. Exp. Biol.**, v.209 p.2726–33. 2006.

AU, W. W. L.; MOORE, P. W. B. Receiving beam patterns and directivity indices of the Atlantic bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.75, p. 255–262. 1984.

AU, W. W. L.; NACHTIGALL, P. E. Acoustics of echolocating dolphins and small whales. **Mar. F. Behav. Phys.**, v.29, p. 127–162. 1997.

AU, W. W. L.; PENNER, R. H.; TURL, C. A. Propagation of beluga echolocation signals, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.82, p.807–813. 1987.

AZEVEDO, A. F. **Comportamento e uso do espaço por *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) na Baía de Guanabara (RJ) e variação geográfica dos assobios da espécie ao longo da costa do Brasil**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 175p. 2005.

AZEVEDO, A. F.; SIMÃO, S. M. Whistles produced by marine Tucuxi dolphins *Sotalia fluviatilis* in Guanabara Bay, southeastern Brazil. **Aquat. Mamm.**, v.28, p.261-266. 2002

AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. Whistles of tucuxi dolphins *Sotalia fluviatilis* in Brazil: comparisons among populations. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.117, p.1456–1464. 2005.

BAILEY, H.; SENIOR, B.; SIMMONS, D.; RUSIN, J.; PICKEN, G.; THOMPSON, P. Assessing underwater noise levels during pile-driving at an offshore wind farm and its potential effects on marine mammals. **Mar. Pol. Bul.**, v.60, p.888-897. 2010.

BARON, S. C.; MARINEZ, A.; GARRISON, L. P.; KEITH, E. O. Differences in acoustic signals from delphinids in the western North Atlantic and northern Gulf of Mexico. **Mar. Mamm. Sci.**, v.24, p.42–56. 2008.

BÁZUA-DURÁN, M. C.; AU, W. W.L. Whistles of Hawaiian spinner dolphins. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.112, p.3064–3072. 2002.

\_\_\_\_\_. Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the main Hawaiian Islands. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.116, p.3757–3769. 2004.

BENOIT-BIRD, K. J.; AU, W. W. L.; KASTELEIN, R. Testing the odontocete acoustic prey debilitation hypothesis: no stunning results. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.120, p.1118-1123. 2006.

BOISSEAU, O. Quantifying the acoustic repertoire of a population: the vocalizations of free-ranging bottlenose dolphins in Fiordland, New Zealand. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.117, p.2318-2329. 2005.

BRANSTETTER, B. K.; MERCADO, E. I. Sound localization by cetaceans. **Int. J. Comp. Psychol.**, v.19, p. 25 – 61. 2006

BRILL, R. L.; MOORE, P. W. B.; DANKIEWICZ, L. A. Assessment of dolphin (*Tursiops truncatus*) auditory sensitivity and hearing loss using jawphones. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.109, p.1717–1722. 2001.

BUCKSTAFF, K. C. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida, **Mar. Mamm. Sci.**, v.20, p.709–725. 2004.

CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K. Echolocation-types signals by two dolphins, Genus *Sotalia*. **Quart. Jour. Florida Acad. Sci.**, v.33. n.2, p.124-131. 1970.

CERCHIO, S.; COLLINS, T.; STRINDBERG, S.; BENNETT, C.; ROSENBAUM, H. Humpback whale singing activity off northern Angola: an indication of the migratory cycle, breeding habitat and impact of seismic surveys on singer number in Breeding stock B1. **Int. Whal. Comm.**, pSC62/SH12. 2010.

CLARK, C. W.; ELLISON, T. E.; SOUTHALL, B. L.; HATCH, L.; VAN PARIJS, S. M.; FRANKEL, A.; PONIRAKIS, D. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v.395, p.201 – 222. 2009.

COSCARELLA, M.; CRESPO, E. Feeding aggregation and aggressive interaction between bottlenose (*Tursiops truncatus*) and Commerson's dolphins (*Cephalorhynchus commersonii*) in Patagonia, Argentina. **J. Ethol.**, v.28, p.183-187. 2010.

CRANFORD, T. W.; MCKENNA, M.; SOLDEVILLA, M. S.; WIGGINS, S. M.; GOLDBOGEN, J. A.; SHADWICK, R. E.; KRYSL, P.; LEDGER, J. A. ST.; HILDEBRAND, J. A. Anatomic geometry of sound transmission and reception in Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*). **Anat. Rec.**, v.291, p. 353–378. 2008a.

CRANFORD, T. W.; KRYSL, P.; HILDEBRAND, J. A. Acoustic pathways revealed: simulated sound transmission and reception in Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*). **Bioinsp. Biomim.** v.3, p.01-10. 2008b.

CROLL, D. A.; CLARK, C. W.; CALAMBOKIDIS, J.; ELLISON, W. T.; TERSHY, B. R. Effect of anthropogenic low-frequency noise on the foraging ecology of *Balaenoptera* whales. **Anim. Conserv.**, v.4, p.13–27. 2001.

CUNHA, H. A.; SILVA, V. M. F.; BRITO, J. R. J. L.; SANTOS, M. C. O.; FLORES, P. A. C.; MARTIN, A.; AZEVEDO, A. F.; FRAGOSO, A. B. L.; ZANELATTO, R. C.; SOLE-CAVA, A. M. Riverine and marine *Sotalia* (Cetacea: Delphinidae) are different species. **Mar. Biol.**, v.148, p.449–457. 2005.

DA SILVA, V. M. F.; BEST, R. C. *Sotalia fluviatilis*. **Mamm. Sp.**, v.527, p.1-7. 1996.

DA SILVA, V. M. F.; FETTUCCIA, D.; RODRIGUES, E. S.; EDWARDS, H.; MORENO, I. B.; MOURA, J. F.; WEDEKIN, L. L.; BAZZALO, M.; EMIN-LIMA, N. R.; CARMO, N. A. S.; SICILIANO, S.; UTRERAS B., V. Report of the Working Group on Distribution, Habitat Characteristics and Preferences, and Group Size. **Latin American Journal of Aquatic Mammals.** v. 8, n. 1-2, p. 31-38. 2010.

DI BENEDITTO, A. P. M.; RAMOS, R. M. A.; LIMA, N. R. W. **Os golfinhos: origem, classificação, captura acidental, hábito alimentar.** Porto Alegre: Cinco Continentes. 2001.

DIAS, L. A.; HERZING, D.; FLACH, L. Aggregations of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, south-eastern Brazil: distribution patterns and ecological characteristics. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, v. 89, n. 5, p. 967-973, 2009.

DÍAZ LÓPEZ, B. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behaviour. **Mamm. Biol.**, v.76, p.180-189. 2010.

DI IORIO, L.; CLARK, C. W. Exposure to seismic survey alters blue whale communication. **Biol. Let.**, v.6, p.51 – 54. 2009.

DOS SANTOS, M. E.; FERREIRA, A. J.; HARZEN, S. Rhythmic sound sequences emitted by aroused bottlenose dolphins in the Sado estuary, Portugal. In: KASTELEIN, R. A.; THOMAS, J. A.; NACHTIGALL, P. E. (Eds.), **Sensory Systems of Aquatic Mammals**. p. 325-334. Woerden, the Netherlands: De Spil Publishers. 1995.

DUGGAN, Z.; KOOPMAN, H.; BUDGE, S. Distribution and development of the highly specialized lipids in the sound reception systems of dolphins. **J. Comp. Physiol. B.**, v.179, p.783-798. 2009.

ERBER, C.; SIMÃO, S. M. Analysis of whistles produced by the Tucuxi dolphin *Sotalia fluviatilis* from Sepetiba Bay, Brazil. **Ann. Braz. Acad. Sci.**, v.76, p. 381-385. 2004.

ESCH, H. C.; SAYIGH, L. S; BLUM, J. E.; WELLS, R. S. Whistles as potential indicators of stress in Bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **J. Mamm.**, v.90, n.3, p.638-650. 2009.

EVANS, W. E. Vocalization among marine animals. In: TAVOLGA, W. N. (Ed.). **Marine Bioacoustics**. v.2. New York: Pergamon, p. 159–186. 1967.

FIGUEIREDO L. D. **Hipótese do assobio-assinatura: estudo da ocorrência de tal fenômeno junto à população de *Sotalia fluviatilis* (Cetacea, Delphinidae) da Baía de Sepetiba (RJ)**. 2000. Dissertação de Mestrado. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2000.

FIGUEIREDO L. D.; SIMÃO, S. M. Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 126, n. 3, p. 1563-1569, 2009.

FILLA, G. F.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Monitoring tourism schooners observing estuarine dolphins (*Sotalia guianensis*) in the estuarine Complex of Cananéia, south-east Brazil. **Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.**, v.19, p.772-778. 2009.

FINLEY, K. J.; MILLER, G. W.; DAVIS, R. A.; GREENE, C. R. Reactions of belugas, *Delphinapterus leucas*, and narwhals, *Monodon monoceros*, to ice-breaking ships in the Canadian high Arctic. **Canad. J. Fish. Aquat. Sci.**, v.224, p.97-117. 1990.

FLOETER, S. R.; GUIMARÃES, R. Z. P.; ROCHA, L. A.; FERREIRA, C. E. L.; RANGEL, C. A.; GASPARINI, J. L. Geographic variation in reef fish assemblages along the Brazilian coast. **Glob. Ecol. Biogeo.**, v.10, p.423-431. 2001.

HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) and bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Aquat. Mamm.**, v.22, n.2, p.61–79. 1996.

HERZING, D. L. Acoustics and social behaviour of wild dolphins: Implications for a sound society. In: AU, W. W. L.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds). **Hearing by Whales and Dolphins**. New York: Springer. 2000.

HERZING, D. L.; DOS SANTOS, M. E. Functional aspects of echolocation in dolphins. In: J. THOMAS; C. F. MOSS; M. VATER (Eds.). **Echolocation in Bats and Dolphins**. Chicago: Chicago University Press. 2004.

HERZING, D. L.; MOEWE, K.; BRUNNICK, B. J. Interspecies interactions between Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, on Great Bahama Bank, Bahamas. **Aquat. Mamm.**, v.29, p.335-341. 2003.

HETZEL, B.; LODI, L. **Baleias, botos e golfinhos: guia de identificação para o Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 279p. 1993.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Mamíferos Aquáticos do Brasil: Plano de Ação, versão II**. 2ª ed. Brasília: IBAMA. 2001.

IUCN *International Union for Conservation of Nature*. **Red List of Threatened Species**. Versão 2012.2. 2012. Disponível em: <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)> Acesso em 10 de Janeiro de 2013.

JANIK, V. M. Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). **Proc. R. Soc. Lond. B.**, v.267, p.923-927. 2000.

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

JEFFERSON, T. A.; WEBBER, M. A.; PITMAN, R. L. **Marine Mammals of the World: a Comprehensive Guide to their Identification**. San Diego: Academic Press. 2008.

JOHNSON, M.; MADSEN, P. T.; ZIMMER, W. M. X.; AGUILAR DE SOTO, N.; TYACK, P. L. Foraging Blainville's beaked whales (*Mesoplodon densirostris*) produce distinct click types matched to different phases of echolocation. **J. Exp. Biol.** v.209, p.5038–5050. 2006.

KAMMINGA, C.; VAN HOVE, M. T.; ENGELSMA, F. J.; TERRY, R. P. Investigation on cetacean sonar x: A comparative analysis of underwater echolocation clicks of *Innia spp.* and *Sotalia spp.* **Aquat. Mamm.**, v.19, p.31–43. 1993.

KARCZMARSKI, L.; COCKCROFT, V. G.; MCLACHLAN, A.; WINTER, P. E. D. Recommendations for the conservation and management of humpback dolphins *Sousa chinensis* in the Algoa Bay region, South Africa. **Koedoe**, v.41, p.121-129. 1998

KARCZMARSKI, L.; THORNTON, M.; COCKCROFT, V. G. Description of selected behaviours of humpbacked dolphins, *Sousa chinensis*. **Aquat. Mamm.**, v.23, p.127-133. 1997.

KOOPMAN, H. N.; BUDGE, S. M.; KETTEN, D.R.; IVERSON, S. J.. The topographical distribution of lipids inside the mandibular fat bodies of odontocetes: Remarkable complexity and consistency. **J. Ocean. Eng.**, Special Issue on Effects of Sound in the Marine Environment, v.31,p. 95–106. 2006.

KREBS, J. R.; DAVIES, N. B. **Introdução à ecologia comportamental**. São Paulo: Atheneu. 1996.

KÜSEL, E. T.; MELLINGER, D. K.; THOMAS, L.; MARQUES, T. A.; MORETTI, D.; WARD, J. A. Cetacean population density estimation from single fixed sensors using passive acoustics. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.129, p.3610–3622. 2011.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L. Broadband recording of social acoustic signals of the Hawaiian spinner and spotted dolphins. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.100, p.2609. 1996.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L.; AUBAUER, R.; NACHTIGALL, P. E. A comparative analysis of echolocation and burst-pulse click trains in *Stenella longirostris*. In: THOMAS, J.; MOSS, C.; VATER, M. **Echolocation in Bats and Dolphins**, Chicago: University of Chicago Press, p. 414 – 419. 2004.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L.; HERZING, D. L. The broad band social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.114, p.1629–1639. 2003.

LAMMERS, M.O.; CASTELLOTE, M., The beluga whale produces two pulses to form its sonar signal. **Biol. Let.**, v.5, p.297–301. 2009.

LESAGE, V.; BARRETTE, C.; KINGSLEY, M. C. S.; SJARE, B. The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River Estuary, Canada. **Mar. Mamm. Sci.**, v.15, n.1, p.65-84. 1999.

LODI, L. A conservação do boto-cinza na Baía de Paraty. **Ciência Hoje**, v.34, n.199. p. 66-69. 2003a.

\_\_\_\_\_. Tamanho e composição de grupo dos botos-cinza, *Sotalia guianensis* (van Bénéden, 1864) (Cetacea, Delphinidae), na Baía de Paraty, RJ, Brasil. **Atlântica**, v.25 n.2, p.135-146. 2003b.

MACKAY, R. S.; LIAW, H. M. Dolphin vocalization mechanisms. **Science**, v.212, p.676–678. 1981.

MADSEN, P. T.; JOHNSON, M.; AGUILAR DE SOTO, N.; ZIMMER, W. M. X.; TYACK, P. Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*), **J. Exp. Biol.**, v.208, p.181–194. 2005.

MADSEN, P.; KERR, I.; PAYNE, R. Echolocation clicks of two free-ranging, oceanic delphinids with different food preferences: false killer whales, *Pseudorca crassidens*, and Risso's dolphins, *Grampus griseus*. **J. Exp. Biol.**, v.207, p.1811-1823. 2004.

MANN, D. A.; HIGGS, D.; TAVOLGA, W. N.; SOUZA, M.; POPPER, A. N. Ultrasound detection by clupeiform fishes. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.109. p. 3048-3054. 2001.

MARTEN, K.; HERZING, D.; POOLE, M.; ALLMAN, K. N. The acoustic predation hypothesis: linking underwater observations and recordings during odontocete predation and observing the effects of loud impulsive sounds on fish. **Aquat. Mamm.**, v.27, n.1. p.56-66. 2001.

MAY-COLLADO, L. J. Changes in whistle structure during interspecific associations. **Ethology**, v.116, p.1065-1074. 2010.

MAY-COLLADO, L. J.; AGNARSSON, I.; WARTZOK, D. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. **BMC Evol. Biol.**, v.7, p.136. 2007.

MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. The freshwater dolphin *Inia geoffrensis* produce high frequency whistles, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.121, p.1203–1212. 2007.

\_\_\_\_\_. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic Ocean: factors promoting whistle variation. **J. Mamm.**, v.89, n.5, p.1229-1240. 2008.

\_\_\_\_\_. A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.125, n.2, p.1202-1213. 2009.

\_\_\_\_\_. Sounds produced by tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) from the Napo and Aguarico Rivers of Ecuador. **L. Am. J. Aquat. Mamm.**, Special Issue. v.8, n.1-2, p.131-136. 2010.

MELILLO, K. E.; DUDZINSKI, K. M.; CORNICK, L. A. Interactions between Atlantic spotted (*Stenella frontalis*) and bottlenose (*Tursiops truncatus*) dolphins off Bimini, The Bahamas, 2003-2007. **Aquat. Mamm.**, v.35, p.281-291. 2009.

MILLER, P. J. O.; JOHNSON, M. P.; TYACK, P. L. Sperm whale behaviour indicates the use of echolocation click buzzes 'creaks' in prey capture. **Proc. R. Soc. Biol. Sci.**, v.271, p.2239–2247. 2004.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas prioritárias para conservação no Brasil**. 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.montaeidEstrutura=72eidMenu=3812>> Acesso em em 11 de abril de 2011.

\_\_\_\_\_. **Mapas e Geoprocessamento**. 2011. Disponível em <<http://www.mapas.mma.gov.br/i3geo>> Acesso em 11 de abril de 2011.

MOONEY, T. A.; NACHTIGALL, P. E.; CASTELLOTE, M.; TAYLOR, K. A.; PACINI, A. F.; ESTEBAN, J. A. Hearing pathways and directional sensitivity of the beluga whale, *Delphinapterus leucas*. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, v.362, p.108–116. 2008.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A. 1991. **Comportamento de caça e repertório sonoro do golfinho *Sotalia brasiliensis* (Cetacea: Delphinidae) na região de Cananéia, Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Brasil. 1991.

\_\_\_\_\_. Group organization of the dolphin *Sotalia fluviatilis guianensis* in an estuary of southeastern Brazil. *Ciência e Cultura. J. Braz. Ass. Adv. Sci.*, v.52, p.97–101. 2000.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; FILLA, G. F.; ROSSI-SANTOS, M. R.; DOMIT, C.; OLIVEIRA, L. V.; SPINOLA, J. L. Gênero *Sotalia* (Gray, 1866) In: MONTEIRO-FILHO, E.L.A.; ARANHA, J.M.R. (Eds.). **Revisões em Zoologia I: volume comemorativo dos 30 anos do Curso de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Federal do Paraná**. p. 305-314. Curitiba: M5 Gráfica e Editora, 2006.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; MONTEIRO, K. D. K. A. Low frequency sounds emitted by *Sotalia fluviatilis guianensis* (Cetacea:Delphinidae) in an estuarine region in southeastern Brazil. **Can. J. Zool.**, v.79, p. 59-66. 2001.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; MONTEIRO, L. R.; REIS, S.F. Skull shape and size divergence in dolphins of the genus *Sotalia*: a tridimensional morphometric analysis. **J. of Mamm.**, v.83, p.125–134. 2002.

MORISAKA, T.; SHINOHARA, M.; NAKAHARA, F.; AKAMATSU, T. Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. **J. of Mamm.**, v.86, n.3, p.541-546. 2005a.

\_\_\_\_\_. Geographic variation in the whistles among three Indo-Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. **Fish. Sci.**, v.71, p. 568-576. 2005b.

MORTON, A. B.; SYMONDS, H. K. Displacement of *Orcinus orca* (L.) by high amplitude sound in British Columbia, Canada. **ICES J. Mar. Sci.**, v.59, p.71–80. 2002.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE. 1989.

NORRIS, K. S.; HARVEY, G. W. Sound transmission in the porpoise head. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.56, p.659-664. 1974.

NORRIS, K. S.; MØHL, B. Can odontocetes debilitate prey with sound? **Am. Nat.**, v.122, p.85–104. 1983.

OLIVEIRA, M. R.; ROSAS, F. C. W.; PINHEIRO, P. C.; DOS SANTOS, R. A. Alimentação. In: MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; MONTEIRO, K. D. K. A. (Eds.), **Biologia, Ecologia e Conservação do Boto-Cinza**. São Paulo: Páginas e Letras S.A. p. 91-101. 2008.

OSWALD, J. N.; BARLOW, J.; NORRIS, T. F. Acoustic identification of nine delphinids species in the eastern tropical Pacific Ocean. **Mar. Mamm. Sci.**, v.19, p.20–37. 2003.

PARKS, S. E.; CLARK, C. W.; TYACK, P. L. Short and long-term changes in right whale calling behavior: The potential effects of noise on communication, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.122, p.3725–3731. 2007.

PARKS, S. E.; JOHNSON, M.; NOWACEK, D.; TYACK, P. L. Individual right whales call louder in increased environmental noise. **Biol. Lett.**, v.7, p.33 – 35. 2010.

PARSONS, E. C. M.; DOLMAN, S. J. Noise as a problem for cetaceans. In: SIMMONDS, M.; DOLMAN, S.; WEILGART, L. (Eds). **Oceans of noise**. A WDACS Scientific Report, p. 53–62. 2004. Disponível em: <[http://www.wdacs.org/submissions\\_bin/OceansofNoise.pdf](http://www.wdacs.org/submissions_bin/OceansofNoise.pdf)> Acesso em fevereiro de 2012.

PARSONS, E. C. M.; DOLMAN, S. J.; JASNY, M.; ROSE, N. A.; SIMMONDS, M. P.; WRIGHT, A. J. A critique of the UK's JNCC seismic survey guidelines for minimising acoustic disturbance to marine mammals: Best practice? **Mar. Pol. Bul.**, v.58, p.643-651. 2009.

PARSONS, E. C. M.; DOLMAN, S. J., WRIGHT, A. J.; ROSE, N. A.; BURNS, W. C. G. Navy Sonar and Cetaceans: Just how much does the gun need to smoke before we act? **Mar. Pol. Bul.**, v.56, p.1248–57. 2008.

PARSONS, E. C. M.; SWIFT, R.; DOLMAN, S. J. Sources of Marine Noise In: SIMMONDS, M.P.; DOLMAN, S.J.; WEILGART, L.S. (Eds.). **Oceans of noise**. A WDACS Scientific Report. 164p. 2004. Disponível em: <[http://www.wdacs.org/submissions\\_bin/OceansofNoise.pdf](http://www.wdacs.org/submissions_bin/OceansofNoise.pdf)> Acesso em fevereiro de 2012.

PAYNE, R. S.; MCVAY, S. Songs of humpback whales. **Science**, v.173. n.3997. p.585–597. 1971.

PINHEIRO, H. T. **Peixes recifais da Ilha dos Franceses: composição, distribuição espacial e conservação**. 2010. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 71p. 2010.

PODOS, J.; DA SILVA, V. M. F; ROSSI-SANTOS, M. R. Vocalizations of Amazon River Dolphins, *Inia geoffrensis*: Insights into evolutionary origins of Delphinidae whistles. **Ethology**, v.108, p.1-12. 2002.

POPPER, A. N. Sound emission and detection by delphinids. In: HERMAN, L. M. (Ed). **Cetacean Behavior: Mechanisms and Functions**. New York: Wiley. 1980.

POPPER, A. N.; PLACHTA, D. T. T.; MANN, D. A.; HIGGS, D. Response of clupeid fish to ultrasound: a review. **J. Mar. Sci.**, v.61, p.1057–1061. 2004

PREFEITURA DE ANCHIETA. 2011. Disponível em <[://www.anchieta.es.gov.br/mat\\_vis.aspx?cd=6500](http://www.anchieta.es.gov.br/mat_vis.aspx?cd=6500)> Acesso em 11 de abril de 2011.

PRIVARI, D. **Caracterização das emissões sonoras de *Sotalia fluviatilis* (Gervais, 1853) (Cetacea, Delphinidae) durante o comportamento alimentar em duas praias do estuário de Cananéia, São Paulo**. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 120p. 2004.

PRIVARI, D.; ROSSO, S. Whistles of small groups of *Sotalia fluviatilis* during foraging behavior in southeastern Brazil, **J. Acoust. Soc. Am.**, v.118, p.2725–2731. 2005.

PSARAKOS, S.; HERZING, D. L.; MARTEN, K. Mixed species associations between Pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) and Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) off Oahu, Hawaii. **Aquat. Mamm.**, v.29, p.390–395. 2003.

RENDELL, L. E.; MATTHEWS, J. N.; GILL, A.; GORDON, J. C. D.; MACDONALD, D. W. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation. **J. Zool.**, v.249, p.403–410. 1999.

REZENDE, F. Alterações acústico-comportamentais. In: MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; MONTEIRO, K. D. K. A. (Eds.). **Biologia, Ecologia e Conservação do Boto-Cinza**. São Paulo: Páginas e Letras S.A. 2008.

RICHARDS, D. G.; WILEY, R. H. Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in forests: implications for animal communication. **Americ. Natur.**, v.11, n.5. p.381-399. 1980.

RICHARDSON, W. J.; GREENE, C. R. J.; MALME, C. I.; THOMSON, D. H.; MOORE, S. E.; WURSIG, B. **Marine Mammals and Noise**. New York: Academic Press. 1995.

RISCH, D.; CORKERON, P. J.; ELLISON, W. T.; VAN PARIJS, S. M. Changes in humpback whale song occurrence in response to an acoustic source 200 km away. **PLoS ONE** 7, v.29741. 2012.

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. **Proc. R. Soc. Biol. Sci.**, v. 279. n.1737, p. 2363-2368. 2012.

ROSAS, F. C. W.; BARRETO, A. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Age and growth of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*) (Cetacea, Delphinidae) on the Paraná coast, southern. **Fish. Bul.**, v.101, p. 377-383. 2003.

ROSAS, F. C. W.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Reproduction of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*) on the coast of Paraná, southern Brazil. **J. Mamm.**, v.83, n.2, p.507-515. 2002.

ROSSI-SANTOS, M. R.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia fluviatilis*. **Behaviour**, v.143, p.347-364. 2006.

ROSSI-SANTOS, M. R.; SANTOS-NETO, E.; BARACHO, C. G. Interspecific cetacean interactions during the breeding season of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) on the north coast of Bahia State, Brazil. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, v.89, p. 961 – 966. 2009.

RYABOV, V. Role of the mental foramens in dolphin hearing. **Natur. Sci.**, v.2, p.646-653. 2010.

SANTOS, M. C. O.; ROSSO, S. Ecological aspects of marine tucuxi dolphins (*Sotalia guianensis*) based on group size and composition in the Cananéia estuary, southeastern Brazil. **L. Am. J. Aquat. Mamm.**, v.5, p.71–82. 2007.

\_\_\_\_\_. Social organization of marine tucuxi dolphins, *Sotalia guianensis*, in the Cananéia estuary of southeastern Brazil. **J. Mamm.**, v.89, p.347–355. 2008.

SAUERLAND, M.; DEHNHARDT, G. Underwater audiogram of a tucuxi (*Sotalia fluviatilis guianensis*). **J. Acoust. Soc. Am.**, v.103, p.1199–1204. 1998.

SECCHI, E. 2012. *Sotalia guianensis*. In: IUCN 2012. **IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2012.2. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Acesso em 10 de Janeiro de 2013.

SICILIANO, S.; MORENO, I. B.; SILVA, E. D.; ALVES, V. C. **Baleias, botos e golfinhos da Bacia de Campos**. Rio de Janeiro: ENSP/FIOCRUZ. 2006.

SIMÕES-LOPES, P. C. Ocorrência de uma população de *Sotalia fluviatilis* Grevais, 1853, (Cetacea, Delphinidae) no limite Sul de sua distribuição, Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, v.1, p. 57-62. 1988.

SIMMONDS, M. P.; DOLMAN, S. J.; WEILGART, L. S. (Eds.). **Oceans of noise: A WDCCS scientific report**. A report of the Whale and Dolphin Conservation Society. 164p. 2004. Disponível em: <[http://www.wdcs.org/submissions\\_bin/OceansofNoise.pdf](http://www.wdcs.org/submissions_bin/OceansofNoise.pdf)> Acesso em fevereiro de 2012.

SOUSA-LIMA, R. S.; CLARK, C. W. Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. **Can. Acoust.**, v.36, n.1. p.174-181. 2008.

\_\_\_\_\_. Whale sound recording technology as a tool for assessing the effects of boat noise in a Brazilian Marine Park. **Par. Sci.**, v.26, p.59–63. 2009.

STAFFORD, K. M., LAIDRE, K. L.; HEIDE-JØRGENSEN, M. P. First acoustic recordings of narwhals (*Monodon monoceros*) in winter. **Mar. Mamm. Sci.**, v.28, p.E197–E207. 2012.

STEWART, R. H. **Introduction to Physical Oceanography**. Department of Oceanography, Texas A&M University. 2005. Disponível em: <[http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng\\_textbook/contents.html](http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/contents.html)> Acesso em 18 de agosto de 2008.

STONE, C. J.; TASKER, M. L. The effect of seismic airguns on cetaceans in UK waters. **J. Cetacean Res. Manage.**, v.8, n.3, p.255-263. 2006.

TYACK, P. L. Functional aspects of cetacean communication. In: MANN, J.; CONNER, R. C.; TYACK, P. L.; WHITEHEAD, H. (Eds.) **Cetacean societies: field studies of dolphins and whales**. p. 270–307. Chicago, IL: The University of Chicago Press. 2000.

VAN PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Boat traffic affects the acoustic behavior of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, v.81, p.533-538. 2001.

VAN PARIJS, S. M.; PARRA, G. J.; CORKERON, P. J. Sounds produced by Australian Irrawaddy dolphins, *Orcaella brevirostris*. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.108, p.1938–1940. 2000.

VIELLIARD, J. M. E.; SILVA, M. L.. A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em comportamento animal. In: ASSIS, G.; BRITO, R.; LEE MARTIN, W. (Eds.). **Estudos do Comportamento II**. Belém: Editora da UFPA. 2007.

XAVIER, B. C. **Modelos de Propagação Acústica em Águas Rasas**. 2005. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

WANG, D.; WÜRSIG, B.; EVANS, W. E. Whistles of bottlenose dolphins: comparisons among populations. **Aquat. Mamm.**, v.21, p.65-77. 1995.

WANG, D.; WÜRSIG, B.; LEATHERWOOD, S. Whistles of boto, *Inia geoffrensis*, and tucuxi, *Sotalia fluviatilis*. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.109, p.407–414. 2001.

WILSON, B.; DILL, L. M. Pacific herring respond to simulated odontocete echolocation sounds. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, v.59, p. 542-553. 2002.

WILSON, M.; HANLON, R. T.; TYACK, P. L.; MADSEN, P. T. Intense ultrasonic clicks from echolocating toothed whales do not elicit anti-predator responses or debilitate the squid *Loligo pealeii*. **Biol. Lett.**, v.3, p.225-227. 2007.

WILSON, M.; SCHACK, H. B.; MADSEN, P. T.; SURLYKKE, A.; WAHLBERG, M. Directional escape behavior in allis shad (*Alosa alosa*) exposed to ultrasonic clicks mimicking an approaching toothed whale. **J. Exp. Biol.**, v.214, p. 22–29. 2011.

WINN, H. E.; WINN, L. K. The song of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the West Indies. **Mar. Biol.**, v.47. p.97-114. 1978.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. New Jersey, USA: Prentice-Hall International Editions. 1999.

**ANEXOS**

Anexo I. Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios do boto-cinza obtidos por diversos estudos: média ± desvio padrão, variação (mínimo – máximo) e coeficiente de variação em porcentagem. Variáveis de frequência em kHz e tempo em segundos.

Estudo	Limite superior(kHz)	Estatística	MinF	MaxF	DeltaF	StartF	EndF	Freq1/4	Freq 1/2	Freq 3/4	Duração	IP
<b>Monteiro-Filho e Monteiro (2001)</b> Cananéia,SP Sul do Brasil, (Durante vários comportamentos)	8	Média±DP Variação CV% n=214	0,3	6	–	–	–	–	–	–	0,07–0,21	–
<b>Azevedo e Simão (2002)</b> Baía de Guanabara, RJ Brasil (Durante vários comportamentos)	18	Média±DP Variação CV% n=5086	–	–	–	7,9±2,9	12,7±4,5	–	–	–	0,102,5±0,08	–
<b>Erber e Simão (2004)</b> Baía de Sepetiba RJ, (Durante vários comportamentos)	24	Média ±DP Variação CV% n=3350	<b>10,521</b> ±4,518 1,031–10,98 42,9%	13,312 ±4,85 1,171–17,49 27,7%	<b>12,803</b> ±7,05 1–7,21 177,5%	<b>10,704</b> ±4,97 1,03–11,06 46,5%	13,312 ±5,863 3,2–16,83 34,8%	11,11 ±4,72 2,74–12,07 39,1%	13,66 ±6,186 2,33–15,11 45,3%	15,368 ±6,441 2,053–21,7 41,9%	<b>0,789</b> ±3,12 0,09–2,28 395,3%	<b>1,3</b> ±1 0–9 110,5%
<b>Azevedo e Van Sluys (2005)</b> Sul e Norte do Brasil (Durante vários comportamentos)	24	Média ±DP Variação CV% n=696	9,22 ±3,44 1,34–20,3 37,3%	<b>19,05</b> ±2,97 9,23–23,89 15,6%	<b>9,83</b> ±4,03 0,21–22,20 41%	9,57 ±3,76 1,34–21,93 39,3%	<b>18,82</b> ±3,10 9,23–23,75 16,5%	11,73 ±3,53 3,9–21,7 30,1%	13,85 ±3,58 5,7–23,4 25,8%	<b>15,99</b> ±3,43 7,4–23,6 21,5%	<b>0,308</b> ±,137 0,038–1,064 44,6%	0,37 ±1,02 0-8 75,7%
<b>Pivari e Rosso (2005)</b> Cananéia,SP (Durante forrageio)	18	Média ±DP Variação CV% n=3235	7,97 ±2,89 1,0–15,80 36,20%	14,46 ±2,88 2,2–17,90 19,91%	6,48 ±3,13 0–16,30 48,29%	8,15 ±3,0 1,0–16,0 36,77%	14,35 ±3,0 2,0–17,9 21,20%	–	–	–	0,229 ±0,110 0,038–0,627 47,87%	0,17 ±0,51 0–4 294,7%
<b>May-Collado e Wartzok (2009)</b> Gandoca-Manzanillo, Costa Rica (Durante vários comportamentos)	200–250	Média ±DP Variação CV% n=422	<b>12,31</b> ±5,16 1,38–35,75 41,90%	<b>21,21</b> ±5,82 3,0–48,40 27,45%	<b>9,02</b> ±5,71 0,95–29,30 59,14%	<b>13,83</b> ±6,16 1,13–47,36 44,59%	<b>19,51</b> ±6,36 1,52– 32,62%	<b>15,37</b> ±5,35 1,10– 34,88%	<b>16,60</b> ±5,33 1,13–37,60 32,18%	<b>17,60</b> ±5,36 5,37–39,06 30,45%	0,200 ±0,187 0,007–1,027 93,52%	0,440 ±1,03 0–8 234,57%
<b>Este estudo (Brasil)</b> Baía de Benevente,ES (Durante vários comportamentos)	48	Média ±DP Variação CV% n=69	10,00 ±6,30 3,51-34,95 60%	17,21 ±7,06 7,95-37,56 41,04%	7,22 ±3,79 1,15-15,55 52,48%	10,22 ±6,23 3,51-35,56 60,93%	16,73 ±7,01 5,62-35,02 41,90%	12,86 ±6,49 6,71-36,91 50,46%	14,27 ±6,84 4,47-37,00 47,92%	15,44 ±7,11 7,09-37,02 46,06%	0,298 ±0,147 0,033-0,795 49,24%	0,87 ±1,03 0-5 145,10%

Legenda: MinF= frequência mínima, MaxF= frequência máxima, DeltaF= (MaxF – MinF), StartF= frequência inicial, EndF= frequência final, Freq1/4= frequência a 1/4 da duração, Freq1/2= frequência a 1/2 da duração, Freq3/4 = frequência a 3/4 da duração. IP= pontos de inflexão. Valores destacados em azul foram superiores aos valores verificados por este estudo. Adaptado de May-Collado e Wartzok, (2009).

Anexo II. Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios do boto-cinza em cada área de estudo no Brasil. Os valores são: mínimo – máximo, média (desvio padrão) e coeficiente de variação em porcentagem. Variáveis de frequência em kHz e tempo em milissegundos.

Parâmetros Acústicos	Sul do Brasil					Norte do Brasil			Espírito Santo
	Baía Norte (N=117)	Guaraqueçaba (N=65)	Cananéia (N=150)	Puruba (N=52)	Guanabara (N=65)	Fortaleza (N=91)	Marapanim (N=95)	Rio Pacajá (N=61)	Este Estudo (N=69)
<b>Frequência Inicial</b>	2,94–16,96 7,58 (2,80) 36,9%	4,61–13,79 8,25 (1,87) 26,7%	2,60–21,93 8,68 (3,52) 40,6%	4,48–16,51 9,58 (3,15) 32,9%	1,34–17,19 7,56 (2,84) 37,6%	2,44–21,82 <b>12,60</b> (4,09) 32,5%	5,20–20,59 <b>11,61</b> (3,39) 29,2%	5,19–20,62 <b>11,36</b> (3,81) 33,5%	3,51–35,56 10,22(6,23) 60,93%
<b>Frequência Final</b>	10,09–23,53 <b>18,87</b> (3,17) 16,8%	13,28–23,01 <b>18,65</b> (2,61) 14,0%	9,23–23,02 <b>18,12</b> (3,39) 18,7%	10,40–22,98 <b>18,75</b> (3,27) 17,4%	10,38–23,75 <b>19,42</b> (3,13) 16,1%	12,62–23,64 <b>18,99</b> (2,70) 14,2%	10,52–23,48 <b>18,90</b> (3,36) 17,8%	12,30–23,07 <b>19,63</b> (2,41) 20,7%	5,62–35,02 16,73 (7,01) 41,90%
<b>Frequência Mínima</b>	2,94–16,84 7,39 (2,48) 33,6%	4,63–13,78 8,22 (1,91) 23,2%	2,60–18,34 8,43 (3,22) 38,2%	4,48–16,51 8,87 (2,52) 28,4%	1,34–17,19 7,21 (2,62) 36,3%	2,44–20,30 <b>12,37</b> (3,76) 30,4%	5,20–20,01 <b>10,85</b> (3,03) 27,9%	5,19–18,88 <b>10,93</b> (3,39) 31,0%	3,51–34,95 10,00(6,30) 60%
<b>Frequência Máxima</b>	13,09–23,53 <b>19,04</b> (2,85) 15,0%	13,28–23,01 <b>18,68</b> (2,62) 14,0%	9,23–23,02 <b>18,40</b> (3,28) 17,8%	10,40–23,00 <b>18,88</b> (3,17) 16,8%	11,40–23,75 <b>19,50</b> (2,96) 15,2%	12,62–23,84 <b>19,24</b> (2,74) 14,2%	10,52–23,89 <b>19,38</b> (3,05) 15,7%	12,30–23,87 <b>19,95</b> (2,43) 12,2	7,95–37,56 17,21(7,06) 40,04%
<b>Variação Frequência</b>	2,95–19,52 <b>11,65</b> (3,80) 32,6%	2,53–17,67 <b>10,44</b> (3,16) 30,3%	1,0–17,8 <b>9,97</b> (3,91) 39,2%	1,5–16,1 <b>10,01</b> (4,18) 41,8%	3,2–22,20 <b>12,29</b> (3,90) 31,7%	0,21–18,0 6,87 (3,62) 52,7%	1,0–19,5 <b>8,52</b> (3,39) 39,8%	1,9–15,2 <b>9,02</b> (3,59) 39,8%	1,15–15,55 7,22 (3,79) 52,48%
<b>Frequência a 1/4 da duração</b>	4,28–18,58 10,01 (2,50) 25,0%	6,3–14,5 10,24 (1,70) 16,6%	5,4–18,8 11,13 (3,33) 29,9%	5,7–20,4 11,51 (3,09) 26,8%	3,9–17,9 9,40 (3,16) 33,6%	6,4–21,4 <b>15,01</b> (3,26) 21,7%	7,0–21,5 <b>13,10</b> (3,16) 24,1%	6,9–21,7 <b>13,74</b> (3,59) 26,1%	6,71–36,91 12,86 (6,49) 50,46%
<b>Frequência a 1/2 da duração</b>	8,14–19,42 12,79 (2,67) 20,9%	7,29–18,49 12,94 (2,30) 17,8%	6,2–21,3 13,01 (3,59) 27,6%	6,9–20,6 13,03 (3,08) 23,6%	5,7–21,4 11,75 (3,61) 30,7%	9,2–23,2 <b>16,51</b> (3,12) 18,9%	9,1–23,2 <b>15,05</b> (3,66) 24,3%	8,0–23,4 <b>15,99</b> (3,39) 21,2%	4,47–37 14,27 (6,84) 47,92%
<b>Frequência a 3/4 da duração</b>	8,63–21,37 15,25 (2,78) 18,2%	10,04–21,53 <b>15,92</b> (2,70) 17,0%	8,10–22,73 15,14 (3,53) 23,3%	7,6–20,3 14,99 (3,28) 21,9%	7,4–23,6 15,22 (3,99) 26,2	12,1–23,4 <b>17,62</b> (3,06) 17,4%	9,0–23,2 <b>16,86</b> (3,70) 21,9%	10,3–23,4 <b>17,47</b> (3,06) 17,5%	7,09–37,02 15,44 (7,11) 46,06%
<b>Duração</b>	90–620 291,1 (108,6) 37,3%	86–578 <b>300,3</b> (119,8) 39,9%	80–810 <b>318,4</b> (120,6) 37,9%	101–1064 <b>325,7</b> (177,2) 54,4%	54–1015 <b>300,3</b> (170) 56,6%	38–520 250,2 (107,1) 42,8%	64–774 <b>321,4</b> (133,1) 41,4%	67–814 <b>381</b> (172,1) 45,2%	33–795 298 (147) 49,24%
<b>Pontos de inflexão</b>	0–4 0,46 (1,22) 265,2%	0–3 0,12 (0,55) 458,3%	0–5 0,17 (0,61) 358,8%	0–8 <b>0,77</b> (2,00) 259,7%	0–4 0,38 (0,95) 250,0%	0–4 0,22 (0,49) 222,7%	0–5 0,61 (1,21) 198,4%	0–3 0,44 (0,74) 168,2%	0–5 0,71 (1,03) 145,10%

Legenda: valores destacados em azul foram superiores aos valores verificados por este estudo. Adaptado de Azevedo e Van Sluys (2005).