



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Luciana Guimarães de Andrade

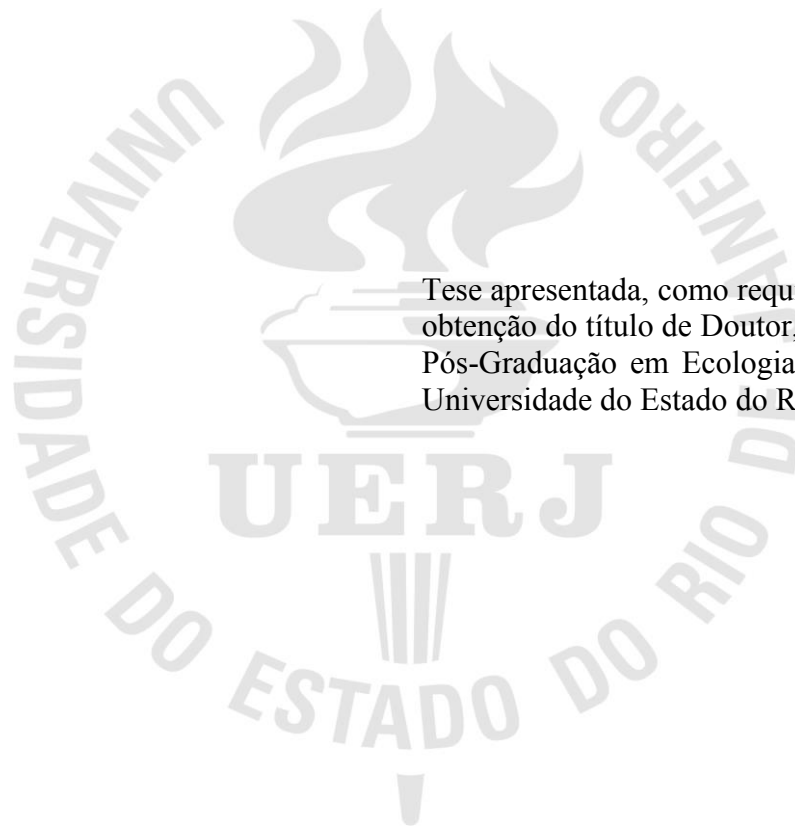
**Emissões sonoras de *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) na
Baía de Guanabara (RJ), sudeste do Brasil**

Rio de Janeiro

2016

Luciana Guimarães de Andrade

Emissões sonoras de *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) na Baía de Guanabara (RJ), sudeste do Brasil



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Freitas Azevedo

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

A553 Andrade, Luciana Guimarães de.
Emissões sonoras de *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) na Baía de Guanabara (RJ), sudeste do Brasil/ Luciana Guimarães de Andrade. – 2016.
164 f. :il.

Orientador: Alexandre de Freitas Azevedo.
Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.

1 . Boto – Comportamento - Teses. 2. Boto - Baía de Guanabara (RJ) - Teses. I. Azevedo, Alexandre de Freitas. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. III. Título.

CDU599.53(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Luciana Guimarães de Andrade

Emissões sonoras de *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) na Baía de Guanabara (RJ), sudeste do Brasil

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Aprovada em 07 de Janeiro de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre de Freitas Azevedo (Orientador)

Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof. Dr. José Lailson Brito Júnior

Faculdade de Oceanografia–UERJ

Prof.^a Dra. Neuza Rejane Wille Lima

Universidade Federal Fluminense

Prof.^a Dra. Patrícia Alves Abrunhosa

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Tatiana Lemos Bisi

Faculdade de Oceanografia – UERJ

Rio de Janeiro

2016

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a todas as pessoas que me ajudaram de alguma forma na realização desse trabalho e aos botos-cinza da Baía de Guanabara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Alexandre de Freitas Azevedo por me acompanhar e orientar durante toda a minha jornada acadêmica. Pela orientação, pelo incentivo, sugestões, paciência e por todas as oportunidades de estudo e trabalho dentro do MAQUA.

Aos botos-cinza da Baía de Guanabara que foram a fonte de estudo e inspiração.

Agradeço a toda equipe do Laboratório de Mamíferos Aquáticos e Bioindicadores pela experiência, trabalho em equipe no campo e pelo bom convívio no laboratório, em especial ao Professor José Lailson, que há 11 anos me deu a oportunidade de fazer parte dessa equipe.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da UERJ - PPGEE pela oportunidade de estudar e participar de disciplinas enriquecedoras para a minha formação acadêmica. Em especial, agradeço aos coordenadores do curso, Rosana Mazzoni e Carlos Frederico Duarte da Rocha e ao Henrique, Sônia e Verusca da secretaria da pós-graduação por todo apoio e ajuda durante a realização do Doutorado.

À equipe da Área de Proteção Ambiental de Guapimirim (APA de Guapimirim), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio pela a utilização da área da APA para a realização das atividades de campo.

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, pelo apoio aos Projetos de Pesquisa do MAQUA/UERJ.

Ao Iate Clube Jardim Guanabara pelo suporte logístico para a realização das saídas de campo.

Ao professor José Lailson Brito Júnior por revisar o trabalho, contribuindo com sugestões para o enriquecimento da tese.

Aos professores componentes efetivos da banca examinadora Dr. José Lailson Brito Júnior, Dra. Neuza Rejane Wille Lima, Dra. Patrícia Alves Abrunhosa e Dra. Tatiana Lemos Bisi e aos professores suplentes Dra. Haydée Andrade Cunha e Dr. Luciano Neves dos Santos pela disponibilidade e pelo interesse na participação de avaliação da tese e por todas as sugestões que contribuíram para o enriquecimento da versão final.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo recurso recebido durante todo o meu Doutorado, incluindo a bolsa de estudo para realizar o Doutorado sanduíche.

À Sônia da secretaria do PPGEE e a equipe do DCARH/SR2 da UERJ por me ajudarem no processo de submissão do projeto para a obtenção da bolsa de estudo do Doutorado Sanduíche.

Ao professor John Hildebrand e à Dra. Simone Baumann-Pickering pela oportunidade de realizar parte do meu doutorado no *Scripps Whale Acoustic Lab, Scripps Institution of Oceanography*, na Universidade da Califórnia San Diego. Por todo tempo disponibilizado para me ensinarem novas técnicas de análises acústicas, pelo aprendizado de novas técnicas para análises das emissões sonoras de cetáceos, pela agradável saída de campo e a oportunidade única de avistar uma baleia-azul.

À Anne Simones por todo tempo que passou comigo para me ensinar sobre o *MATLAB* e sobre os momentos que passamos juntas para o desenvolvimento das análises dos sons pulsantes.

À professora Marie A. Roch, Sean Wiggings, Rachel Gottlieb, Martin Gassmann, Regina Gazzo, Alexa Alldredge, Beve Kennedy, Bruce Thayre e Frank Chang pelos bons momentos e por me ajudarem com as análises, documentação, com o hidrofone e boas conversas no laboratório durante seis meses.

À Marina, Erich e Adriana, amigos que me ajudaram muito durante todo tempo que fiquei em San Diego e pelos bons momentos e conversas juntos. À Inês Salgado e sua família por me ajudarem nos primeiros dias em San Diego. À Janet Hawkins por me receber em sua casa e pela boa companhia durante os seis meses do meu Doutorado sanduíche.

Ao Rafael Ramos de Carvalho pelo trabalho em equipe, durante o campo e atividades do laboratório.

À Isabela Seabra Lima, pelos bons momentos no trabalho de campo e no laboratório, pelas conversas e sugestões.

Ao engenheiro Orlando de Jesus Ribeiro Afonso do Instituto de Pesquisa da Marinha do Brasil, pelo apoio e ajuda com a calibração dos equipamentos.

Ao Dan Burle Rosado que me ajudou com as dúvidas finais no *MATLAB*.

Aos amigos Sara e Danilo por todo apoio, por sempre me receberem em casa quando precisei, pelas conversas e bons momentos juntos durante o Doutorado.

À Dayse e Fernanda pelos bons momentos no laboratório, conversas, apoio e amizade.

Às amigas Cinthia, Ivy, Isis, Joice, Marcela, Nathalia e Yvaga pela amizade de longa data e bons momentos juntas.

À minha família, em especial meu pai André e minha mãe Sônia, pela a educação, pelo apoio e incentivo e por todo o amor, as minhas irmãs Li e Le por todos os bons momentos e companheirismo e ao Matt pelo carinho e apoio durante o meu doutorado. Agradeço pelo amor, carinho, apoio e pela compreensão principalmente durante os momentos difíceis e que estive ausente.

Aos meus “amigos” que sempre estiveram ao meu lado com incentivos e companheirismo e a Deus pela oportunidade de vida.

O presente é a consequência do passado e a preparação do futuro.

Léon Denis

RESUMO

ANDRADE, Luciana Guimarães de. *Emissões sonoras de Sotalia guianensis (Cetartiodactyla: Delphinidae) na Baía de Guanabara, sudeste do Brasil*. 2016. 164 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

A comunicação acústica desempenha um importante papel nas interações sociais das espécies de delfínídeos. Entretanto, informações a respeito da relação entre a emissão de assobios e sons pulsantes com os estados comportamentais ainda são restritos a algumas espécies. A tese apresenta a revisão sobre o conhecimento existente para esse tópico e novos conhecimentos sobre assobios e sons pulsantes emitidos por *Sotalia guianensis*, em diferentes contextos sociais. O Capítulo 1 apresenta a revisão dos estudos da relação entre a comunicação acústica e contextos sociais em diferentes espécies de delfínídeos. O Capítulo 2 reporta a variação dos assobios de *S. guianensis*, gravados na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, entre 2010 e 2014. As gravações dos assobios foram realizadas com um gravador digital *Fostex FR-2*, com taxa de amostragem de 192 kHz e um hidrofone C54XRS omnidirecional. A taxa de emissão e 16 parâmetros acústicos dos assobios de *S. guianensis* foram comparados entre estados comportamentais e composição de grupo. No total, 664 assobios foram analisados e comparados entre estados comportamentais e composição de grupo. Onze parâmetros acústicos diferiram entre os estados comportamentais. A duração média dos assobios foi curta ($280 \pm 121,8$ ms). *S. guianensis* emitiu assobios com frequências com até 66,7 kHz, o máximo registrado para essa espécie. Os assobios foram mais frequentes durante socialização do que alimentação e deslocamento (*Tukey test*, $p < 0,05$). Três parâmetros acústicos contribuíram para as diferenças entre comportamentos: frequência a $\frac{1}{2}$ da duração, modulação de frequência e ponto de inflexão. A taxa de emissão dos assobios foi alta em grupos com filhote e comparações entre grupos apresentaram diferenças na frequência máxima e quantidade de *steps* (*Mann-Whitney Test* ($p < 0,05$)). O Capítulo 3 caracterizou os sons pulsantes emitidos por *S. guianensis* gravados na Baía de Guanabara entre 2013 e 2014. As análises dos sons pulsantes foram realizadas com rotinas elaboradas no *MATLAB* e no *Triton software*. As análises envolveram três etapas: gravações por dia em um mesmo arquivo LTSA (*Long-Term Spectral Average*), detecções dos sons pulsantes e análises dos parâmetros acústicos. Oito variáveis acústicas foram analisadas para cada som pulsante: duração, número de pulsos, duração do pulso, intervalo entre cliques, pico de frequência, frequência central, comprimento de banda de frequência a -3dB e -10dB. Sons pulsantes foram emitidos em grupos com filhote durante socialização e alimentação. A taxa de emissão foi de oito sons pulsantes/minuto/indivíduo. No total, 197 sons pulsantes foram analisados, e apresentaram em média, 168 pulsos, com duração de cada pulso de 0,3 ms. Os sons pulsantes apresentaram curto intervalo entre cliques (0,2 a 2 ms) e um largo alcance de frequência, de 3 kHz e acima de 96 kHz. Valores médios de frequência central e pico de frequência foram de 29,3 kHz e 28,0 kHz respectivamente. Os valores de comprimento de banda de frequência a -3dB variaram de 2,8 kHz a 39,2 kHz ($15 \pm 7,5$ kHz) e os valores de comprimento de banda de frequência a -10dB variaram de 6,1 kHz a 78,7 kHz ($14,3 \pm 41$ kHz).

Palavras-chave: Boto-cinza. Comunicação acústica. Estados comportamentais. Variação dos assobios. Sons pulsantes.

ABSTRACT

ANDRADE, Luciana Guimarães de. *Sound emissions of Sotalia guianensis (Cetartiodactyla: Delphinidae) in Guanabara Bay, southeastern of Brazil*. 2016. 164 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Acoustic communication plays an important role in the social interactions of delphinid species. However, information about the relationship between whistle and burst-pulsed sound emissions and behavioral states is still restricted to a few delphinid species. This dissertation provides a summary of existing knowledge on this topic, and presents new findings for Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) emission sound communication. Chapter 1 is a review of studies on the relationship between the acoustic communication and social behavior in different delphinid species. Chapter 2 reports on the variation of the *S. guianensis* whistles in Guanabara Bay, Rio de Janeiro State, between 2010 and 2014. Recordings of Guiana dolphin whistles were made with a Fostex FR-2 digital recorder, with sampling rate of 192 kHz and an omnidirectional C54XRS hydrophone. Whistle rates and sixteen acoustic parameters of the Guiana dolphin whistles were compared between behavioral states and group composition. A total of 664 whistles were analyzed and eleven acoustic parameters differ between behavioral states. The whistle duration was short (280 ± 121.8 ms). Guiana dolphin produces whistles with a high frequency, up to 66.7 kHz, the maximum value reported to this species. Guiana dolphins emitted whistles more frequently while socializing than while foraging or traveling (Tukey test, $p < 0.05$). Three acoustic parameters contribute to the difference between behaviors: frequency at $\frac{1}{2}$ of duration, delta frequency and inflection point. Whistle rate was high in groups with calves and comparisons between groups with and without calves were different in maximum frequency and number of step (Mann-Whitney Test ($p < 0.05$)). Chapter 3 characterizes Guiana dolphin burst-pulsed sounds recorded in Guanabara Bay between 2013 and 2014. Burst-pulsed sound analysis was performed using custom routines in MATLAB and the Triton software package. Burst-pulse analyses involved three steps: recordings per day in a single file (Long-Term Spectral Average), burst-pulsed sound detections, and acoustic parameter analysis. Eight variables were analyzed for each burst pulse: duration, number of pulses, pulse duration, interclick interval, peak frequency, center frequency and frequency bandwidth of -3dB and frequency bandwidth of -10 dB. Burst pulses were emitted by groups with calves of Guiana dolphin during socializing and feeding. Burst-pulse emission rate was as high as 8 burst pulses per minute per individual. A total of 197 burst-pulse sounds were analyzed, with an average number of pulses of 168 and an average pulse duration of 0.3 ms. The interclick interval was short (0.2 to 2 ms). Burst pulses exhibited a broad frequency range, from 3 kHz to 96 kHz. Mean values for center frequency and peak frequency were 29.3 kHz and 28.0 kHz respectively. The ranges of -3dB bandwidth and -10dB bandwidth frequency values were 2.8 kHz to 39.2 kHz (15 ± 7.5 kHz) and 6.1 kHz to 78.7 kHz (14.3 ± 41 kHz) respectively.

Keywords: Guiana dolphin. Acoustic communication. Behavioral states. Whistle variation. Burst-pulsed sounds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	<i>Sotalia guianensis</i> (boto-cinza) na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil.....	22
Figura 2 –	Mapa da área de estudo, Baía de Guanabara (22°50'S, 43°10'W), na costa do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.....	28
Figura 3 –	Espectrograma das emissões sonoras dos delfínídeos.....	38
Figura 4 –	Mapa da área de estudo, Baía de Guanabara (22°50'S, 43°10'W), na costa do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, com locais das gravações das emissões sonoras de <i>Sotalia guianensis</i> realizadas entre 2010 e 2014.....	76
Figura 5 –	Contornos dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i>	79
Figura 6 –	Espectrograma de dois assobios de <i>Sotalia guianensis</i> com os parâmetros acústicos.....	81
Figura 7 –	Espectrograma de três assobios de alta frequência emitidos por <i>Sotalia guianensis</i>	86
Figura 8 –	Distribuição dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> em cada categoria de forma de contorno.....	89
Figura 9 –	Taxa de emissão dos assobios (assobios/minuto/número de indivíduos no grupo) de <i>Sotalia guianensis</i> durante os três estados comportamentais.....	90
Figura 10 –	Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo.....	91
Figura 11 –	Valores médios das variáveis canônicas para a comparação pareada entre os assobios de <i>Sotalia guianensis</i> nos diferentes estados comportamentais.....	101
Figura 12 –	Distribuição dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> em cada categoria de forma de contorno para grupos com a presença e ausência de filhotes.....	104
Figura 13 –	Taxa de emissão dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF).....	105
Figura 14 –	Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo.....	106

Figura 15 –	Representação gráfica dos sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i>	131
Figura 16 –	Detecção dos sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i>	132
Figura 17 –	Segunda detecção dos sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i>	133
Figura 18 –	Histograma da taxa de emissão de sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i>	135
Figura 19 –	Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i>	137
Figura 20–	Espectrogramas de quatro sons pulsantes emitidos por <i>Sotalia guianensis</i>	142
Figura 21–	Exemplo de quatro sons pulsantes emitidos por <i>Sotalia guianensis</i>	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Total de assobios de <i>Sotalia guianensis</i> analisados entre 2010 e 2014.....	84
Tabela 2 –	Tamanho de grupo e número de assobios analisados para cada categoria de comportamento observada durante as gravações dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro.....	85
Tabela 3 –	Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> de acordo com o estado comportamental: alimentação, socialização e deslocamento.....	87
Tabela 4 –	Parâmetros acústicos dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> que apresentaram diferença entre os três estados comportamentais.....	99
Tabela 5 –	Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> de acordo com a composição de grupo: grupos com a presença e ausência de filhote.....	102
Tabela 6 –	Taxa de amostragem e alcance de frequência dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> reportados por estudos com a espécie na Costa Rica e no Brasil, incluindo o presente estudo.....	114
Tabela 7 –	Gravações dos sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i>	134
Tabela 8 –	Parâmetros acústicos dos sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i>	141
Tabela 9 –	Parâmetros acústicos de quatro sons pulsantes emitidos por <i>Sotalia guianensis</i> , ilustrados na Figura 21.....	143
Tabela 10 -	Característica dos sons pulsantes de espécies de delfínídeos.....	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estudos da emissão de assobios das espécies de delfínídeos em diferentes contextos comportamentais no ambiente natural.....	44
Quadro 2 – Estudos que reportaram a emissão de sons pulsantes de delfínídeos durante diferentes contextos sociais.....	53
Quadro 3 – Definições dos estados comportamentais observados durante as gravações dos assobios de <i>Sotalia guianensis</i> na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, segundo Azevedo (2005).....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BG	Baía de Guanabara
FC	Frequência Central
FI	Frequência Inicial
FF	Frequência Final
FMín.	Frequência Mínima
FMáx.	Frequência Máxima
F1/4	Frequência a $\frac{1}{4}$ da duração
F1/2	Frequência a $\frac{1}{2}$ da duração
F3/4	Frequência a $\frac{3}{4}$ da duração
F1Q	Frequência no 1° quartil
F3Q	Frequência no 3° quartil
GCF	Grupo com filhote
GSF	Grupo sem filhote
MF	Modulação de frequência
PF	Pico de frequência
PI	Ponto de inflexão

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	17
1	ESPÉCIE ESTUDADA	20
1.1	Emissões sonoras de <i>Sotalia guianensis</i>	23
2	ÁREA DE ESTUDO	26
3	REFERÊNCIAS	29
4	COMUNICAÇÃO ACÚSTICA EM DELFINÍDEOS: RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE ASSOBIOS E SONS PULSANTES EM DIFERENTES CONTEXTOS SOCIAIS	37
	INTRODUÇÃO	37
4.1	Técnicas para Análise dos assobios e sons pulsantes	40
4.2	Características dos assobios dos delfinídeos	41
4.2.1	<u>Assobios emitidos em diferentes contextos sociais</u>	42
4.2.2	<u>Variação da emissão de assobios em função das características de grupo</u>	47
4.2.3	<u>Assobios Assinatura</u>	48
4.3	Características dos sons pulsantes dos delfinídeos	49
4.3.1	<u>Sons pulsantes emitidos em diferentes contextos comportamentais</u>	51
5	CONCLUSÃO	58
6	REFERÊNCIAS	59
7	VARIAÇÃO INTRAESPECÍFICA DOS ASSOBIOS DE <i>Sotalia guianensis</i> (Cetartiodactyla: Delphinidae) NA BAÍA DE GUANABARA (RJ)	71
	INTRODUÇÃO	71
8	OBJETIVO	74
9	MATERIAL E MÉTODOS	75
9.1	Gravação dos assobios	75
9.2	Análise dos assobios	78
9.3	Análise Estatística	81
9.3.1	<u>Comparação dos assobios entre os estados comportamentais e composição de grupo</u>	82

10	RESULTADOS	84
10.1	Comparação dos assobios entre estados comportamentais	89
10.2	Comparação dos assobios entre composição de grupo	101
11	DISCUSSÃO	113
12	CONCLUSÃO	120
13	REFERÊNCIAS	121
14	CARACTERIZAÇÃO DOS SONS PULSANTES EMITIDOS POR <i>Sotalia guianensis</i> (Cetartiodactyla: Delphinidae) NA BAÍA DE GUANABARA (RJ)	126
	INTRODUÇÃO	126
15	OBJETIVO	127
16	MATERIAL E MÉTODOS	128
16.1	Gravações dos sons pulsantes	128
16.2	Análise dos sons pulsantes	128
16.2.1	<u>Taxa de emissão dos sons pulsantes de <i>Sotalia guianensis</i></u>	128
16.2.2	<u>Análise dos Parâmetros Acústicos</u>	129
17	RESULTADOS	134
18	DISCUSSÃO	144
19	CONCLUSÃO	150
20	REFERÊNCIAS	151
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
	RECOMENDAÇÕES	157
	REFERÊNCIAS	158
	ANEXO - Artigo referente à parte dos resultados da tese	160

INTRODUÇÃO GERAL

Os sinais sonoros produzidos pelas espécies de odontocetos (cetáceos dentados) desempenham diferentes funções, como por exemplo, navegação, orientação e comunicação, que são importantes para a vida no ambiente aquático (RICHARDSON et al. 1995). Estes sinais são classificados em três categorias gerais: assobios, sons pulsantes e cliques de ecolocalização (RICHARDSON et al. 1995). Assobios e sons pulsantes são emissões sonoras envolvidas com a comunicação acústica entre indivíduos durante contextos sociais (JANIK; SLATER 1998; HERZING, 2000; LAMMERS; AU; HERZING, 2003), enquanto, os cliques de ecolocalização estão associados à navegação e busca por alimento (AU, 1993).

Estudos das emissões sonoras dos odontocetos foram realizados em sua maioria com espécies da família Delphinidae e caracterizaram principalmente duas categorias de emissões sonoras: os assobios (e.g. ANSMANN et al. 2007; AZEVEDO et al. 2007a; OSWALD; BARLOW; NORRIS, 2003) e os cliques de ecolocalização (e.g. AU, 1993; AU, 2004; FINNERAN et al. 2010; AU; MARTIN, 2012).

Variações intraespecíficas e interespecíficas dos assobios foram reportadas para algumas espécies de delfínidos (e.g. WANG; WURSIG; EVANS, 1995; RENDELL et al. 1999; BAZÚA-DURÁN; AU, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; BARON et al. 2008; ANDRADE et al. 2015a), no entanto, estudos da relação entre os diferentes contextos sociais e os assobios, ainda são restritos a poucas espécies (e.g. orca, *Orcinus orca* (Linnaeus, 1758), SIMON; MCGREGOR; UGARTE, 2007; golfinho-nariz-de-garrafa, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), DÍAZ-LÓPEZ, 2011). Possivelmente, a limitação da observação de espécies em ambiente natural e dos comportamentos restritos à superfície dificulta a obtenção de informações e a relação das emissões sonoras com os contextos sociais.

Novas técnicas de gravação estão sendo empregadas para relacionar os sinais sonoros e os contextos sociais em ambiente natural (e.g. THOMAS; FRISTRUP; TYACK, 2002; RANKIN et al. 2007; QUICK; RENDELL; JANIK, 2008). A aplicação da acústica passiva, por exemplo, vem sendo empregada atualmente nos estudos das emissões sonoras dos delfínidos para a localização de grupos e a associação de comportamentos (e.g. JANIK, 2000; QUICK; RENDELL; JANIK, 2008). Sistemas acústicos compostos por redes de hidrofones são utilizados para localizar grupos e indivíduos, por meio da diferença do tempo de chegada do som em cada hidrofone (QUICK; RENDELL; JANIK, 2008). Adicionalmente, sistemas acústicos autônomos têm sido empregados para o monitoramento e identificação de

diferentes espécies de delfínídeos (ROCH et al. 2007). Esses sistemas apresentam alta capacidade de armazenamento de dados, possibilitando a realização de gravações contínuas durante dias a meses (ROCH et al. 2007).

Adicionalmente, estudos da caracterização e função dos cliques de ecolocalização foram realizados para diferentes espécies de delfínídeos (*e.g.* AU, 2004; SOLDEVILLA et al. 2008). No entanto, poucos estudos têm abordado a caracterização dos sons pulsantes dos delfínídeos, possivelmente devido à grande variação na estrutura física desse tipo de sinal sonoro e as dificuldades na obtenção dos parâmetros acústicos (VAN PARIJS; CORKERON, 2001a; LAMMERS; AU; HERZING, 2003).

O boto-cinza, *Sotalia guianensis* (van Béneden, 1864) é um delfínídeo de pequeno porte que produz um variado repertório acústico (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001). Estudos das emissões sonoras desta espécie estão concentrados na caracterização e na comparação dos assobios (AZEVEDO; SIMÃO, 2002; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; LIMA; Le PENDU, 2014; ANDRADE et al. 2015a,b). A relação entre a emissão de assobios e os estados comportamentais foi abordada recentemente na Costa Rica, por May-Collado (2013), no entanto, pouco se sabe a respeito de como comportamentos e características de grupo podem afetar a emissão e as características dos assobios do boto-cinza. Estudos em cativeiro com *S. guianensis* caracterizaram os cliques de ecolocalização (WIERSMA, 1982; KAMMINGA, 1988, KAMMINGA et al. 1993) e o limite audível (SAUERLAND, DEHNHARDT, 1998).

Apesar da grande quantidade de estudos com os assobios de *S. guianensis*, não há estudos sobre a caracterização dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes produzidos por esta espécie. Com isso, o presente estudo tem como objetivo geral caracterizar os assobios de *S. guianensis* na Baía de Guanabara, em diferentes contextos sociais e composição de grupo e caracterizar o repertório de sons pulsantes dessa espécie. Para isso a tese está dividida em três capítulos: o primeiro capítulo apresenta a revisão dos estudos da relação entre os contextos sociais e a emissão de assobios e sons pulsantes com diferentes espécies de delfínídeos. Além disso, a revisão reporta estudos recentes que utilizaram novas técnicas acústicas para a caracterização de assobios e sons pulsantes em ambiente natural durante diferentes contextos sociais. O segundo capítulo da tese apresenta a caracterização e as variações dos assobios de *S. guianensis* na Baía de Guanabara, em relação aos estados comportamentais e características

de grupo. O terceiro capítulo apresenta a caracterização dos sons pulsantes de *S. guianensis* com a descrição da técnica para análise dos parâmetros acústicos.

1 ESPÉCIE ESTUDADA

O boto-cinza, *S. guianensis* é um delfínídeo de pequeno porte, podendo chegar a 220 cm de comprimento e apresenta a longevidade estimada entre 30 e 35 anos (ROSAS; BARRETO; MONTEIRO-FILHO, 2003; SANTOS; ROSSO; RAMOS, 2003; FLORES; da SILVA, 2009) (Figura 1). Essa espécie pode ser encontrada principalmente em áreas costeiras como baías e estuários, com distribuição da América Central até América do Sul, com limite norte até Honduras (15°58'N, 79°54'W) e limite sul até a Baía Norte, Santa Catarina (27°35'S, 48°35'W) (FLORES, da SILVA 2009; da SILVA et al. 2010). Rossi-Santos, Wedekin e Sousa-Lima (2006) registraram a ocorrência dessa espécie no Arquipélago de Abrolhos, a 70 km da costa, no entanto, os autores verificaram o maior número de indivíduos próximo à costa. O limite ao sul da distribuição da espécie é influenciado pela corrente das Malvinas, caracterizada por apresentar baixas temperaturas (BOROBIA et al. 1991).

S. guianensis é uma espécie gregária que apresenta diferentes estados comportamentais observados ao longo do dia. Agregações com até 450 indivíduos foram observadas na Baía de Sepetiba (FLACH; FLACH; CHIARELLO, 2008a,b; DIAS; HERZING; FLACH, 2009) e uma população de 884 indivíduos foi estimada por Souza (2013) na Baía de Paraty. Cremer et al. (2011) estimaram o tamanho populacional de *S. guianensis* em 179 indivíduos e observaram grupos de 2 a 30 indivíduos na Baía de Babitonga, Santa Catarina. Geralmente, é comum a observação de grupos pequenos de 2 a 15 indivíduos para a espécie (e.g. ARAÚJO et al. 2001; EDWARDS; SCHNELL, 2001; AZEVEDO, 2005; SANTOS; ROSSO, 2007). Os grupos dessa espécie são compostos por indivíduos adultos, juvenis e filhotes (AZEVEDO et al. 2005). O boto-cinza não apresenta dimorfismo sexual, a gestação dura cerca de 11 a 12 meses e o filhote nasce com comprimento total entre 90 a 100 cm (Di BENEDITO; RAMOS 2004; FLORES; da SILVA, 2009).

Alguns estudos reportaram o predomínio do estado comportamental alimentação/forrageio durante o período diurno para a espécie (DAURA-JORGE et al. 2005;

AZEVEDO et al. 2007b; FLACH; FLACH; CHIARELLO, 2008a; DIAS; HERZING; FLACH, 2009; EMIN-LIMA et al. 2010; SANTOS et al. 2010). O boto-cinza apresenta uma dieta alimentar composta principalmente por pequenos peixes neríticos, da família Clupeidae e Sciaenidae e cefalópodes da família Loliginidae (Di BENEDITO; RAMOS, 2004).

A fidelidade de sítio (tendência dos indivíduos retornarem ou permanecerem na mesma área por um extenso período de tempo) tem sido reportada para essa espécie ao longo de sua distribuição (FLORES, 1999; SANTOS; BARÃO-ACUÑA; ROSSO, 2001; AZEVEDO et al. 2004; ROSSI-SANTOS; WEDEKIN; MONTEIRO-FILHO, 2007; WEDEKIN et al. 2007, NERY; ESPÉCIE; SIMÃO, 2009; HARDT et al. 2010, OSHIMA et al. 2010; BATISTA et al. 2014). Esses estudos verificaram o uso preferencial de algumas áreas para *S. guianensis* em diferentes localidades. Alguns estudos reportaram alto grau de residência para essa espécie, nos quais, indivíduos foram reavistados, pela técnica de fotoidentificação, ao longo de vários anos na mesma área (FLORES, 1999; FLORES; BAZZALO, 2004; ROSSI-SANTOS; WEDEKIN; MONTEIRO-FILHO, 2007).

A espécie em questão está classificada pela IUCN (*Internacional Union for Nature Conservation*) na categoria “dados deficientes” (REEVES et al. 2003; IUCN, 2005). Contudo, recentemente o boto-cinza foi incluído na Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (ICMBio, 2014), em grau de ameaça nacional, como espécie vulnerável e criticamente em perigo, em grau de ameaça estadual, pela Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) do Estado do Rio de Janeiro (SEA, 2014).

A captura acidental em redes de pesca (SICILIANO, 1994; MONTEIRO NETO et al. 2000; Di BENEDITTO; RAMOS; LIMA, 2001), a perda de habitat (CREMER; SIMÕES-LOPES; PIRES, 2009; CRESPO et al. 2010) e a poluição química (TORRES et al. 2006; LAILSON-BRITO, 2007; DORNELES et al. 2008a,b; LAILSON-BRITO et al. 2009) são as principais ameaças à espécie. A poluição sonora também pode ser uma ameaça em potencial para a espécie, principalmente em áreas com um intenso tráfego de embarcação, como por exemplo, a Baía Guanabara. Esses fatores podem afetar a população de *S. guianensis* quanto ao uso do habitat, aos padrões de comportamento, à reprodução e à comunicação (REEVES et al. 2003).

A Baía de Guanabara é a área mais degradada da distribuição desta espécie (LAILSON-BRITO, 2007), no entanto, o boto-cinza tem sido observado nessa baía diariamente em atividades de alimentação, reprodução e cria de filhotes (AZEVEDO et al. 2004; AZEVEDO et al. 2007).

Os primeiros estudos dessa espécie na BG estão relacionados com dados de estimativa populacional, distribuição e comportamento (e.g. GEISE, 1989; GEISE, 1991). Grupos de botos-cinza, formados por adultos, juvenis e filhotes, apresentaram tamanhos variando de um a 40 indivíduos na BG. A última estimativa do tamanho máximo de grupo para essa espécie na Baía de Guanabara foi de 50 indivíduos (AZEVEDO et al. 2005), no entanto, grupos menores de 2 a 10 indivíduos são mais comuns. Durante o período diurno os botos foram observados em profundidades de 2 a 35 metros, em comportamentos de alimentação/forrageio, ocupando uma área de 136,9 km², que representa cerca de 42% da área de superfície da baía (AZEVEDO et al. 2005; AZEVEDO et al. 2007b).

Figura 1 – *Sotalia guianensis* (boto-cinza) na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil



Legenda: Foto de dois indivíduos (adulto e filhote) da espécie *Sotalia guianensis*, na Baía de Guanabara durante as atividades de campo.

Fonte: Laboratório de Mamíferos Aquáticos e Bioindicadores – MAQUA.

Um estudo recente do uso do habitat da população de botos-cinza na BG reportou a variação da área de vida ao longo de 10 anos. Em 2012, grupos com até 22 indivíduos foram observados, e foi reportado o predomínio dos comportamentos de alimentação e deslocamento durante o período diurno (CARVALHO, 2013). Grupos foram observados principalmente na porção nordeste da BG, incluindo a Área de Proteção Ambiental de Guapimirim e áreas

próximas à Ilha de Paquetá, e a áreas próximas ao canal central (CARVALHO, 2013). O autor reportou a diminuição do uso espacial pelo boto-cinza na BG no período estudado e relatou uma diminuição gradativa na área de vida de *S. guianensis*, com redução de mais de 60% no tamanho das áreas utilizadas na BG (CARVALHO, 2013).

A população do boto-cinza na BG vem diminuindo rapidamente nos últimos anos (CARVALHO, 2013), o que possivelmente está relacionado à poluição e as atividades humanas na BG. Injúrias causadas por atividades humanas foram reportadas para *S. guianensis* na Baía de Guanabara (AZEVEDO et al. 2009). Por meio da técnica de fotoidentificação e observação de comportamentos na superfície, 78 indivíduos foram identificados entre os anos de 1995 a 2005 (AZEVEDO et al. 2009). Os autores reportaram, por meio das análises das fotos, injúrias como cortes no corpo ou nas nadadeiras devido à interação com redes de pesca, pedaços de nylon presos nas nadadeiras e perda de parte da nadadeira peitoral (AZEVEDO et al. 2009). A atividade pesqueira (JABLONSKI; AZEVEDO; MOREIRA, 2006) e a presença de navios e outras embarcações na Baía de Guanabara (BITTENCOURT et al. 2014) acabam se sobrepondo à área de vida do boto-cinza, e com isso, podem afetar o uso do habitat pela espécie.

1.1 Emissões sonoras de *Sotalia guianensis*

O boto-cinza apresenta um variado repertório acústico caracterizado por diferentes tipos de emissões sonoras (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; AZEVEDO; SIMÃO, 2002; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; ANDRADE et al. 2015a,b). Os primeiros estudos das emissões sonoras dessa espécie reportaram e caracterizaram os cliques de ecolocalização emitidos por indivíduos em cativeiro (WIERSMA, 1982; KAMMINGA, 1988). O boto-cinza emite cliques de ecolocalização com um componente de alta frequência, 95 kHz e de baixa frequência, 30 kHz (WIERSMA, 1982). Kamminga et al. (1993) reportou as mesmas características para os cliques de ecolocalização em ambiente natural. Os limites audíveis de *S. guianensis* foram descritos por Sauerland e Dehnhardt (1998). Os autores reportaram uma maior sensibilidade entre 64 e 105 kHz, e limite máximo de frequência de 135 kHz (SAUERLAND; DEHNHARDT, 1998).

Estudos de bioacústica do boto-cinza em ambiente natural foram realizados a partir da década de 90, com a caracterização dos assobios dessa espécie no estuário de Cananéia, São

Paulo (MONTEIRO-FILHO, 1991). Quatro tipos de sinais sonoros foram descritos inicialmente: os assobios, com frequência entre 4 kHz e 6 kHz e duração de 0,21 segundos; os gargarejos que foram relacionados à presença de filhotes no grupo, com frequências mais baixas, em torno de 300 Hz e duração de 3 segundos; os gritos, com frequência fundamental em torno de 1 kHz e duração de 0,5 segundos e os estalidos, compostos por pulsos com frequências variáveis e duração de 0,02 segundos (MONTEIRO-FILHO, 1991). No entanto, o assobio é o tipo de emissão sonora mais estudada para a espécie (e.g. ERBER; SIMÃO, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; DECONTO; MONTEIRO, 2013; MAY-COLLADO, 2013; LIMA; Le PENDU, 2014; ANDRADE et al. 2015a,b).

Estudos recentes caracterizaram os assobios de *S. guianensis* utilizando um sistema de gravação com diferentes taxas de amostragem de frequência (36 kHz, AZEVEDO; SIMÃO, 2002; PIVARI; ROSSO, 2005; 48 kHz, ERBER; SIMÃO, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; 96 kHz, DECONTO; MONTEIRO-FILHO, 2013 e ANDRADE et al. 2015a,b; 200-250 kHz, MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; 384-500 kHz, MAY-COLLADO, 2013). Esses estudos permitiram caracterizar o repertório de assobios de *S. guianensis* em diferentes áreas de sua distribuição. Por exemplo, May-Collado e Wartzok (2009) reportaram assobios do boto-cinza na Costa Rica com frequências até 48 kHz e harmônicos que atingiram frequências até 136 kHz. Em um estudo recente, os assobios de *S. guianensis* apresentaram valores de frequência até aproximadamente 67 kHz na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (ANDRADE et al. 2015b). Esses autores sugeriram que fatores ecológicos como características do habitat e estados comportamentais podem estar interferindo nas estruturas físicas dos assobios de *S. guianensis* (ANDRADE et al. 2015b).

A caracterização e variação geográfica dos assobios foram reportadas principalmente para as populações de boto-cinza no Brasil (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; ANDRADE et al 2015a). Esses estudos reportaram a variação nos parâmetros acústicos dos assobios em micro e macroescala entre diferentes áreas de distribuição da espécie. A comparação entre os assobios de *S. guianensis* em três baías costeiras no Estado do Rio de Janeiro revelou diferenças nos parâmetros acústicos de frequência e duração (ANDRADE et al. 2015a). Os parâmetros de frequência dos assobios do boto-cinza na Baía de Guanabara apresentaram valores médios mais altos do que os assobios nas outras baías.

Adicionalmente, a presença de assobios estereotipados, ou seja, com a mesma forma de contorno, que ocorrem em sequências repetidas, tem apontado para a possível ocorrência de assobios assinatura em *S.guianensis* (FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; LIMA; Le PENDU, 2014). Lima e Le Pendu (2014) utilizaram a técnica de fotoidentificação para identificar indivíduos nos grupos gravados. Os autores sugeriram que presença dos mesmos indivíduos nos grupos, em diferentes dias de gravação pode estar relacionada com a ocorrência de assobios estereotipados.

A variação nos parâmetros acústicos dos assobios de *S. guianensis* entre diferentes estados comportamentais foi reportada recentemente na Costa Rica (MAY-COLLADO, 2013). A autora observou assobios com alta modulação de frequência durante o comportamento de socialização, enquanto que valores altos de frequência mínima dos assobios foram observados durante o comportamento de deslocamento, quando comparados aos outros estados comportamentais (MAY-COLLADO, 2013).

Apesar da grande quantidade de estudos com os assobios de *S. guianensis*, há pouco conhecimento a respeito da caracterização das outras emissões sonoras produzidas pela espécie. Os cliques de ecolocalização e os sons pulsantes são caracterizados por pulsos ultrassônicos e dessa forma, o uso de um sistema de gravação com ampla taxa de amostragem de frequência e a aplicação de novas técnicas de análise são necessários para a caracterização dessas emissões sonoras.

2 ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Guanabara (22°50'S, 43°10'W) é um estuário, localizado na costa do Estado do Rio de Janeiro, caracterizado por diferentes ecossistemas como costões rochosos, praias arenosas, manguezais, rios, lagunas, pântanos e brejos (AMADOR, 1997; SEMADS, 2001) (Figura 2).

A BG apresenta na sua porção nordeste a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, caracterizada pela presença de manguezais (AMADOR, 1997; KJERFVE et al. 1997). A APA de Guapimirim foi criada em 1984 e é a primeira unidade de conservação demanguezal do Brasil. A APA de Guapimirim abrange os Municípios de Magé, Itaboraí e São Gonçalo, no Estado do Rio de Janeiro e tem como objetivo proteger os remanescentes de manguezais e a biota presentes na área de sua abrangência (AMADOR, 1997). A APA é uma importante área para diferentes grupos animais, dentre eles, a população de boto-cinza, *S. guianensis*, presente na baía.

A BG tem uma área de superfície total de 381 km², incluindo ilhas e ilhotas, e apresenta aproximadamente 325 km² de espelho d'água. A BG possui comprimento máximo de 28 km no sentido Norte-Sul, com profundidades médias de 20 metros no canal principal, podendo atingir 50 metros. A largura máxima da BG, no sentido Leste-Oeste chega a 27 km e a profundidade média da baía é de 7,6 metros (SEMADS, 2001). A BG apresenta um padrão de maré semi-diurno com baixa amplitude (0,7 metros) (KJERFVE et al. 1997; SEMADS, 2001).

A BG possui 16 municípios em sua bacia de drenagem, com alta ocupação humana em seu entorno, com aproximadamente 10 milhões de pessoas. A região hidrográfica abriga 25 bacias e sub-bacias com 4.081 km² (SEMADS, 2001). O aporte de água doce é proveniente de 35 rios e os valores de salinidade podem variar, diminuindo da entrada para o fundo, em função da presença da água dos rios (KJERFVE et al. 1997). Em relação à condição ambiental verifica-se que a BG é a baía costeira mais degradada na costa do Brasil e apresenta um acelerado e desordenado processo de urbanização em seu entorno (KJERFVE et al. 1997; VALENTIN et al. 1999). Variados empreendimentos industriais, portos comerciais, estaleiros, refinarias e terminais marítimos de petróleo e áreas náuticas recreativas, além de um alto tráfego de embarcações para pesca, recreação e grandes navios para a indústria estão presentes na baía (KJERFVE et al. 1997; SEMADS, 2001; MENICONI, 2012). A BG abriga o segundo maior porto do Brasil que recebe anualmente 2000 ou mais navios mercantes

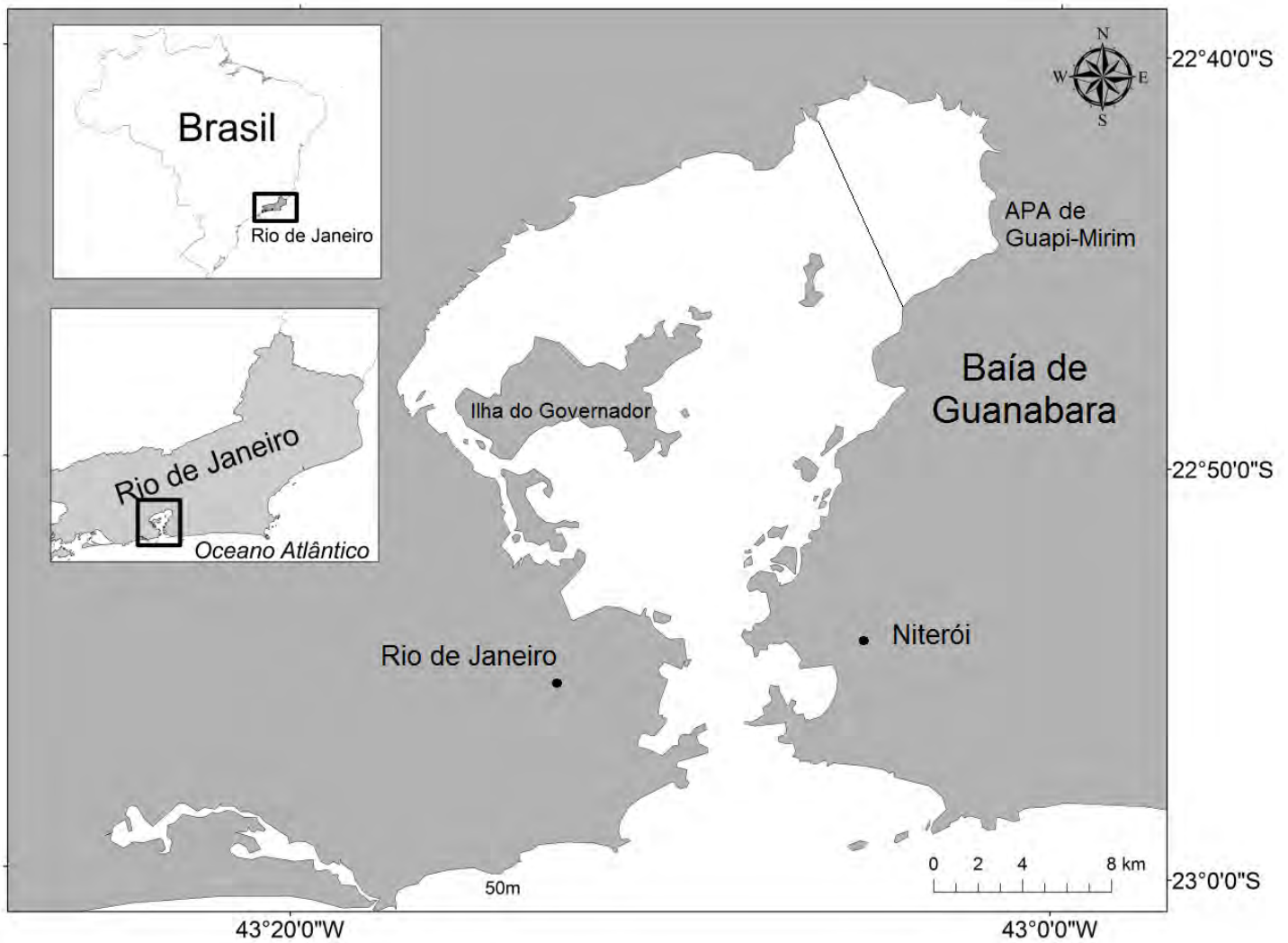
(KJERFVE et al. 1997). Cabe ressaltar que as principais fontes de poluição química que ocorrem na BG são provenientes de efluentes industriais, esgoto doméstico, lixo sólido e metais pesados (SEMADS, 2001; CARREIRA; WAGENER; READMAN, 2004; de AGUIAR et al. 2011). A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na BG chega a 4700 kg e 11 kg de metais pesados (*e.g.* mercúrio, zinco, chumbo), provenientes dos efluentes industriais que chegam à baía diariamente. Adicionalmente, a descarga diária de esgoto doméstico *in natura* chega a 17 m³/s e 1.000 t/dia de lixo sólido atingem a baía (SEMADS, 2001).

As porções oeste e noroeste da BG apresentam os mais altos níveis de eutrofização e representam aproximadamente 80% da carga de esgoto doméstico na baía (SEMADS, 2001). A circulação de água é baixa nas áreas oeste e noroeste da baía, havendo pouca renovação de água e conseqüentemente há menores concentrações de oxigênio dissolvido, agravando a sobrevivência de organismos marinhos (SEMADS, 2001).

Adicionalmente à poluição química, a destruição do habitat por meio de desmatamentos e aterros aumenta a degradação desse ecossistema. Grande parte dos manguezais do entorno da baía foram aterrados, restando algumas áreas remanescentes com área de aproximadamente 82 km², sendo a maior parte, 65 km² encontrada na APA de Guapimirim (AMADOR, 1997; SEMADS, 1997). Conseqüentemente, há uma diminuição dos recursos alimentares e ambientais disponíveis para espécies da fauna e flora na baía (JICA, 1994; KJERFVE et al. 1997). A poluição sonora também está presente na BG. Um estudo recente caracterizou o ambiente acústico da BG e reportou altos níveis de pressão sonora em áreas com maior tráfego de embarcações na baía (BITTENCOURT et al. 2014). O maior nível médio de pressão sonora, próximo à superfície, chegou a 111 dB re 1 µPa na faixa de frequência de 187 Hz (BITTENCOURT et al. 2014).

Apesar dos problemas ambientais que a BG vem sofrendo, a atividade pesqueira na baía é importante e apresenta uma produção total de 19.000t/ano (JABLONSKI; AZEVEDO; MOREIRA, 2006). Os principais itens pescados são os peixes pelágicos, como por exemplo, a sardinha boca-torta e a manjuba, e os peixes demersais, representados pelo bagre, corvina e tainha (JABLONSKI; AZEVEDO; MOREIRA, 2006).

Figura 2 – Mapa da área de estudo, Baía de Guanabara ($22^{\circ}50'S$, $43^{\circ}10'W$), na costa do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.



Fonte: Laboratório de Mamíferos Aquáticos e Bioindicadores – MAQUA.

3 REFERÊNCIAS

- AMADOR, E. S. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. Rio de Janeiro, Brasil, 1997, 539p.
- ANDRADE, L. G. et al. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: Using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *Acta Ethol.*, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015a.
- ANDRADE, L. G. et al. High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 137, n. 1, p. EL15–EL19, 2015b.
- ANSMANN, I. C. et al. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, United Kingdom, v. 87, p. 19–26, 2007.
- ARAÚJO, J. P.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SOUTO, A. S. Behavior of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis*, at Dolphin Bay, Pipa, Rio Grande do Norte, Brazil. *Trop. Oceanogr.*, v. 29, n. 2, p. 13-23, 2001.
- AU, W. W. L. *The Sonar of Dolphins* (Springer-Verlag, New York), 1993, 277 p.
- AU, W. W. L. Echolocation signals of wild dolphins, *Acoust. Phys.*, v. 50, n. 4, p. 454-462, 2004.
- AU, W. W. L.; MARTIN, S. W. Why dolphin biosonar performs so well in spite of mediocre ‘equipment’. *IET Radar Sonar Navig.*, v. 6, n. 6, p. 566-575, 2012.
- 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. 166 f. Tese (Doutorado em Biologia). Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- AZEVEDO, A. F.; SIMÃO, S. M. Whistles produced by marine Tucuxi Dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *Aquat. Mamm.*, p. 261-266, 2002.
- AZEVEDO, A. F. et al. A note on site fidelity of marine tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *J. Cetac. Res. Manag.*, v. 6, p. 265–268, 2004.
- AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: comparisons among populations. *J. Acoust. Soc. Am.*, v.117, n. 3, p. 1456-1464, 2005.
- AZEVEDO, A. F. et al. Group characteristics of marine tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) (Cetacea: Delphinidae) in Guanabara Bay, south-eastern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, v. 85, p. 209–212, 2005.
- AZEVEDO, A. F. et al. Characteristics of whistles from resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v.121, n. 5, p. 2978-2983, 2007a.

- AZEVEDO, A. F. et al. Habitat use by marine tucuxis (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Guanabara Bay, south-eastern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, v. 87, p. 201–205, 2007b.
- AZEVEDO, A. F. et al. Human-induced injuries to marine tucuxis (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. UK. II. Mar. Biodiver. Rec.* v. 2, p. 22, 2009.
- BARON et al. Differences in acoustic signals from Delphinids in the western North Atlantic and northern Gulf of Mexico. *Mar. Mammal Sci.* v. 24, n. 1, p. 42-56, 2008.
- BATISTA et al. Site fidelity and habitat use of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae), in the estuary of the Paraguaçu River, northeastern Brazil. *J. Zoo.* v.10, n. 1, p. 93-100, 2014.
- BAZÚA-DURÁN, M. C.; AU, W. W. L. Geographic variation in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawai`ian. *Acoust. Soc. Am.*, v. 116 n. 6, p. 3757-3769, 2004.
- BITTENCOURT, L. et al. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment, *Mar.*, v. 63, p. 5–9, 2014.
- BOROBIA, M. et al. Distribution of the South American dolphin *Sotalia fluviatilis*. *Can. J. Zool.* v. 69, p. 1025-1039, 1991.
- CARREIRA, R. S.; WAGEBER, A. L. R.; READMAN, J. W. Sterols as markers of sewage contamination in a tropical urban estuary (Guanabara Bay, Brazil): space–time variations. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* v.60, p. 587–598, 2004.
- CARVALHO, R. R. *Análise espaço-temporal do uso do habitat pelo boto-cinza (Sotalia guianensis) na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro*. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- CREMER, M. J.; SIMÕES-LOPES, P. C.; PIRES, J. S. R. Occupation pattern of a harbor inlet by the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (P.J. van Bénédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae). *Brazilian Archives of Biology and Technology.* v. 52, n. 3, p. 765-774, 2009.
- CREMER et al. Distribution and Status of the Guiana Dolphin *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) Population in Babitonga Bay, Southern Brazil. *Zoo. Stud.* v. 50, n. 3, p. 327-337, 2011.
- CRESPO, E. A. et al. Report of the working group on major threats and conservation. *LAJAM*, v. 8, n. 1-2, p. 47-56, 2010.
- Da SILVA, V. M. F. et al. Report of the working group on distribution, habitat characteristics and preferences, and group size. *LAJAM*, v. 8, n. 1-2, p. 31-38, 2010.
- DAURA-JORGE, F.G. et al. Seasonal and daily patterns of group size, cohesion and activity of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (P.J. van Bénédén) (Cetacea, Delphinidae), in Southern Brazil. *Rev. Bras. Zool.*,v. 22, p. 1014-1021, 2005.

De AGUIAR, V. M. et al. Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ, Brazil, a case study. *Mar. Pollut. Bull.* v.62, p. 1915–1919, 2011.

DECONTO, L. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. High initial and minimum frequencies of *Sotalia guianensis* whistles in the southeast and south of Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 134, p. 3899–3904, 2013.

Di BENEDITTO, A. P.; RAMOS, R.; LIMA, N. R. W. Os golfinhos: Origem, classificação, captura acidental, hábito alimentar. Porto Alegre, Ed. Cinco Continentes, 152p. 2001.

Di BENEDITTO, A. P.; RAMOS, R. Biology of the marine tucuxi dolphin (*Sotalia fluviatilis*) in south-eastern. *Mar. Biol. Assoc. UK*, v. 84, p. 1245-1250, 2004.

DÍAZ- LÓPEZ, D. B. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behavior., v. 76, p. 180–189, 2011.

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. Assoc. UK*, v. 89, n. 5, p. 967-973, 2009.

DORNELES, P. R. et al. Evaluation of cetacean exposure to organotin compounds in Brazilian waters through hepatic total tin concentrations. *Environ. Pollut.*, v. 156, p. 1268-1276, 2008a.

DORNELES, P.R. High accumulation of perfluorooctane sulfonate (PFOS) in marine tucuxi dolphins (*Sotalia guianensis*) from Brazilian coast. *Envir. Sci. Tech.* 2008b v. 42, n. 14, p. 5368-5373, 2008b.

EDWARDS, H.; SCHNELL, G. Status and ecology of *Sotalia fluviatilis* in the Cayos Misquitos Reserve, Nicaragua. *Mar. Mammal. Sci.*, v. 17, n.3, p. 445-472, 2001.

EMIN-LIMA et al. Group size and behavior of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Marapanim Bay, Pará, Brazil. *LAJAM* v. 8, n. 1-2, p. 167-170, 2010.

ERBER, C.; SIMÃO, S. M. Analysis of whistles produced by the Tucuxi Dolphin *Sotalia fluviatilis* from Sepetiba Bay, Brazil. *Ann. Brazi. Acad. Sci.*, v.76, n. 2, p. 381-385, 2004.

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.

FINNERAN, J. J. et al. A method to enable a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) to echolocate while out of water. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 128, p. 1483–1489, 2010.

FLACH, L., FLACH, P. A.; CHIARELLO, G. A. Aspects of behavioral ecology of *Sotalia guianensis* in Sepetiba Bay, southeast Brazil. *Mar. Mammal Sci.*, v. 24, n. 3, p. 503-515, 2008a

FLACH, L.; FLACH, P. A.; CHIARELLO, A. G. Density, abundance and distribution of the Guiana dolphin, (*Sotalia guianensis* van Bénédén, 1864) in Sepetiba Bay, Southeast Brazil. *J. Cetac. Res. Manag.*, v. 10, p. 31-36, 2008b.

FLORES, P. A. C. Preliminary results of a photo identification study of the marine tucuxi, *Sotalia fluviatilis*, in southern Brazil. *Mar. Mamm. Sci.* v. 15, p. 840 – 847, 1999.

FLORES, P. A. C.; BAZZALO, M. Home ranges and movements patterns of the marine tucuxi *Sotalia fluviatilis* in Baía Norte, Southern Brazil. *LAJAM*. v.3, p. 37 – 52, 2004.

FLORES, P. A. C.; Da SILVA, V. M. F. Tucuxi and Guiana Dolphin (*Sotalia fluviatilis* and (*Sotalia guianensis*). In: PERRIN, W. F., WURSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals*, Elsevier, Amsterdam, 2nd ed., 2009, 1352p.

GEISE, L. *Estrutura social, comportamental e populacional de Sotalia sp. (Gray, 1886) (Cetacea, Delphinidae) na região estuarino-lagunar de Cananéia, SP e na Baía de Guanabara, RJ.* 1989, (Dissertação de Mestrado) Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo.

GEISE, L. *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) population in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil, *Mammalia*. v. 55, n. 3, p. 371–380, 1991.

HARDT, F. A. S. et al. Residence patterns of the Guiana dolphin *Sotalia guianensis* at Babitonga Bay, south coast of Brazil. *LAJAM*, v. 8, p. 117-121, 2010.

HERZING, D. L. Acoustics and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society. p. 225-272. In: AU, W. W. L.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds.). *Hearing by whales and dolphins*. Springer Handbook of Auditory Research, Springer-Verlag, New York, 2000. 485p.

JABLONSKI, S., AZEVEDO, A.F.; MOREIRA, L. H. A. Fisheries and conflicts in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Braz. Archi. Biol. Technol.*, v. 49, p. 79–91, 2006.

JANIK, V. M. Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *P. Roy. Soc. Lond. B. Bio.*, 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. 5, p. 829-838, 1998.

JICA/Japan Internacional Cooperation Agency: The study on recuperation of the Guanabara Bay Ecosystem. Progress Report, Tóquio: Kokusai Kogyo, 1994.

KAMMINGA, C. Echolocation of Odontocetes. In: NACHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Ed.) *Animal Sonar, Processes and Performance*, New York, Plenum Press, 1988. p. 9-23.

KAMMINGA, C.; VAN HOVE, M. T.; ENGELSMA, F. J.; TERRY, R. P. Investigations on Cetacean Sonar X: A comparative analysis of underwater echolocation of *Inia spp.* and *Sotalia spp.* *Aquat. Mamm.*, v. 19, n. 1, p. 31-43, 1993.

- KEJRFVE, B., RIBEIRO, et al. Oceanographic characteristics of na impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Cont. ShelfRes.*, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997.
- LAILSON-BRITO, J. Jr. *Bioacumulação de mercúrio, selênio e organoclorados (DDT, PCB e HCB) em cetáceos (Mammalia, Cetacea) da costa sudeste e sul do Brasil*. 2007. (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- LAILSON-BRITO, J. Jr. et al. High organochlorine accumulation in blubber of Guiana dolphin, *Sotalia guianensis*, from Brazilian coast and its use to establish geographical differences among populations. *Environ. Pollut.*, v. 158, p. 1800-1808, 2009.
- LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L.; HERZING, D. L. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 114, n.3, p. 1629-1639, 2003.
- LIMA, A.; Le PENDU, Y. Evidence for signature whistles in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 136, n. 6, p. 3178–3185, 2014.
- Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) - Espécies terrestres e mamíferos aquáticos Ministério do Meio Ambiente, Portaria MMA nº444, de dezembro de 2014.
<http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/lista-de-especies/6152-especie-6152.html>
- LODI, L. Tamanho e composição de grupo dos botos cinza *Sotalia guianensis* (P. J. Van Bénédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae), na Baía de Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. *Atlantica* v. 25, p. 135-146, 2003.
- MAY-COLLADO, L. J. Guyana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Costa Rica emit whistles that vary with surface behaviors. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 134, p. EL359–EL365, 2013.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 125, p. 1202–1213, 2009.
- MENICONI, M. F. G. Baía de Guanabara: síntese do conhecimento ambiental. PETROBRAS, Rio de Janeiro, v. 1 e 2, p. 337. 2012.
- MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Comportamento de caça e repertório sonoro do golfinho *Sotalia brasilienses* (Cetacea, Delphinidae) na região de Cananeia, SP. 1991. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Campinas, Brasil.
- MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; MONTEIRO, K. D. K. Low frequency sounds emitted by *Sotalia fluviatilis guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in an estuarine region in southeastern Brazil. *Can. J. Zoo.*v.79, p. 59-66, 2001.
- MONTEIRO-NETO, C. et al. Impact of fisheries on the tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) and rough-toothed dolphin (*Steno bredanensis*) populations off Ceará state, northeastern Brazil. *Aqua. Mamm.* v. 26, n. 1, p. 49-56, 2000.

- NERY, M. F.; ESPÉCIE, M. A.; SIMÃO, S. M. Site fidelity of *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Rev. Bras. Zoo.* v. 25, n. 2, p. 182-187, 2009.
- OSHIMA, J. E. F.; SANTOS, M. C. O.; BAZZALO, M.; FLORES, P. A. C.; PUPIM, F. N. Home ranges of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in the Cananéia estuary, Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* v. 90, n. 8: p. 1641–1647, 2010.
- OSWALD, J. N.; BARLOW, J.; NORRIS, T. F. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean. *Mar. Mammal Sci.*, v.19, p. 20-37, 2003.
- PIVARI, 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.
- QUICK, N. J.; RENDELL, L. E.; JANIK, V. M. A mobile acoustic localization system for the study of free-ranging dolphins during focal follows. *Mar. Mammal Sci.*, v. 24, p. 979–989, 2008.
- RANKIN, S. et al. Patterned burst-pulse localizations of the northern right whale dolphin, *Lissodelphis*. *Acoust. Soc. Am.*, v. 121, p. 1213–1218, 2007.
- REEVES, R. R.; SMITH, B. D.; CRESPO, E.A.; DI SCIARA, G.N. *Dolphins, Whales and Porpoises: 2002-2010 Conservation Action Plan for the World's Cetaceans*. IUCN/SSC Cetacean Specialist Group. IUCN, Gland and Cambridge, p. 139, 2003.
- RENDELL, L.E. et al. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific. *Zool.*, v. 249, p. 403-410, 1999.
- RICHARDSON, W. J.; GREENE, C. R.; MALME, C. I.; THOMSON, D. H. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego, CA. 1995. 576p.
- ROCH, M. A.; SOLDEVILLA, M. S.; BURTENSHAW, J. C.; HENDERSON, E. E.; HILDEBRAND, J. A. Gaussian mixture model classification of odontocetes in the Southern California Bight and the Gulf of California. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 121, p. 1737–1748, 2007.
- 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. Bull.* v. 101, p. 377-383, 2003.
- ROSSI-SANTOS, M.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, v. 143, p. 347-364, 2006.
- ROSSI-SANTOS, M.; WEDEKIN, L. L.; SOUSA-LIMA, R. S. Distribution and habitat use of small cetaceans off Abrolhos Bank, eastern Brazil, *LAJAM*, v. 5, n. 1, p. 23-28, 2006.

- ROSSI-SANTOS, M. R.; WEDEKIN, L. L., MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Residence and fidelity of *Sotalia guianensis* in Caravelas River Estuary, eastern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, v. 87, p. 207-212, 2007.
- SANTOS, M. C. O.; BARÃO-ACUNA, L.; ROSSO, S. Insights on site fidelity and calving intervals of the marine tucuxi dolphin (*Sotalia fluviatilis*) in south eastern. *Mar. Biol. Assoc. U. K.* v. 81, p. 1049-1052, 2001.
- SANTOS, M. C. O.; ROSSO, S.; RAMOS, R. M. A. Age estimation of marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in southeastern. *Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 83: 233-236, 2003.
- 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. *LAJAM*, v. 6, p. 71-82, 2007.
- SANTOS, U. A. et al. Spatial distribution and activities of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis* (van Bénédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae) in Pontal Bay, Ilhéus, Bahia, Brazil. *Bio. Neotrop.* v. 10, n. 2, 67-73, 2010.
- SAUERLAND, M.; DEHNHARDT, G. Underwater audiogram of a tucuxi (*Sotalia fluviatilis guianensis*). *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 103, p. 1199–1204, 1998.
- SEA 2014 - Secretaria de Estado do Ambiente (SEA). 10 espécies ameaçadas do Rio de Janeiro. <http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=1408398> (Acesso em:10/01/2015)
- SEMADS. Ambiente das Águas no Estado do Rio de Janeiro. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto Planágua-SEMADS/GTZ, 2001. 228p. <http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=1408398>
- SICILIANO, S. Review of small cetaceans and fishery interactions in coastal waters of Brazil. p. 241-250, 1994. In: PERRIN, W. F.; DONOVAN, G. P.; BARLOW, J. (eds.). *Gillnets and Cetaceans*. Rep. Int. Whal. Commn., Special Issue 15, 629 p.
- SIMON, M.; MCGREGOR, P. K.; UGARTE, F. The relationship between the acoustic behaviour and surface activity of killer whales (*Orcinus orca*) that feed on herring (*Clupea harengus*). *Acta Ethol.*, v. 10, p. 47-53, 2007.
- SOLDEVILLA et al. Classification of Risso's and Pacific white-sided dolphins using spectral properties of echolocation clicks. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 124, n.1, p. 609-624, 2008.
- SOUZA, S. C. P. *Estimativa de parâmetros populacionais do boto-cinza, Sotalia guianensis, (Van Bénédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae) na Baía de Paraty (RJ)*. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução). Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- The IUCN Red List of Threatened Species. 2015. The International Union for Conservation of Nature <www.iucnredlist.org>. Acesso em 15/07/2015.

- THOMAS, R. E.; FRISTRUP, K. M.; TYACK, P. L. Linking the sounds of dolphins to their locations and behavior using video and multichannel acoustic recordings. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 112, p. 1692-1701, 2002.
- TORRES J.P. et al. Organochlorines in blubber of marine tucuxi dolphin, *Sotalia guianensis*, from Rio de Janeiro Coastal Bays, Brazil. *Organohalogen Compounds*, v. 68, p. 580–582, 2006.
- VALENTIN, J. L. ; TENENBAUM, D. R.; BONECKER, A. C. T.; BONECKER, S. L. C.; NOGUEIRA, C. R.; VILLAC, M. C. O Sistema planctônico da Baía de Guanabara: Síntese do conhecimento. *Ecologia dos Ambientes Costeiros do Estado do Rio de Janeiro. Series Oecologia Brasiliensis. PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, VII: 35-59. 1999b.*
- VAN PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Vocalization and behavior of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Ethology*, v. 107, p. 701–716, 2001a.
- WANG, D. W.; WURSIG, B.; EVANS, W. E. Comparisons of whistles among seven odontocete species.. In: Kastelien , R. A.; THOMAS, R. A., NACHTIGAL, P. E. (Eds). *Sensory Systems of Aquatic Mammals. De Spil Press, Woerden, Holanda. 1995. p. 299-323.*
- WEDEKIN, L. L. et al. Seasonal variations in spatial usage by the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (van Bénédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae) at its southern limit of distribution. *Braz. Jour. Biol.*, v. 67: p. 1–8, 2007.
- WIERSMA, H. A comparison of wave shapes of odontocete sonar signals. *Aqua. Mamm.*, v. 9, n. 2, p. 57-66. 1982.

4 COMUNICAÇÃO ACÚSTICA EM DELFINÍDEOS: RELAÇÃO ENTRE A EMISSÃO DE ASSOBIOS E SONS PULSANTES EM DIFERENTES CONTEXTOS SOCIAIS

INTRODUÇÃO

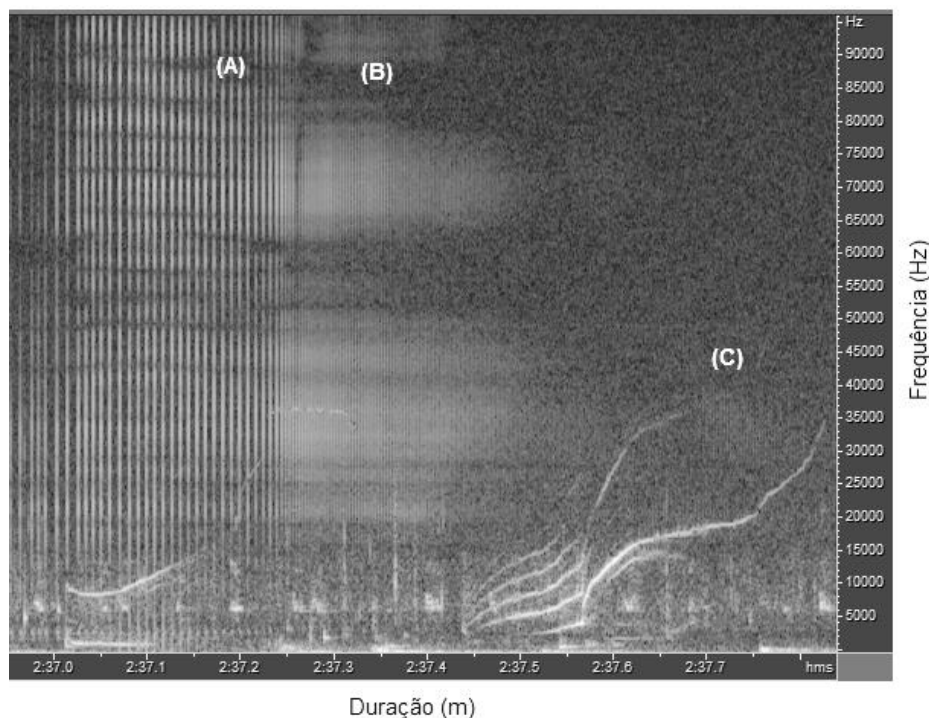
A comunicação acústica é um mecanismo vital para as interações sociais de diferentes espécies animais. Estudos de bioacústica têm reportado a relação entre as emissões sonoras e o contexto social para espécies de diferentes táxons, dentre eles: aves (*e.g.* MILLER; INOUE, 1983; SCHWAB; BUGNYAR; KOTRSCHALA et al. 2008), peixes (*e.g.* CRAWFORD; HAGEDON; HOPKINS, 1986, AMORIM et al. 2004), anuros (*e.g.* KRISHNA; KRISHNA, 2005; BEE, 2007), e mamíferos, principalmente primatas (*e.g.* MARLER, 1969; MASTER, 1991) e cetáceos (*e.g.* JANIK, 2000a,b; LAMMERS; AU; HERZING, 2003; MARCOUX; AUGER-MÉTHÉ; HUMPHRIES, 2012). O ambiente acústico é o principal meio de comunicação e orientação para as espécies de cetáceos (EVANS; NORRIS, 1988; TYACK, 1999). Entre os cetáceos, a família Delphinidae apresenta atualmente 38 espécies que apresentam um variado repertório acústico com diferentes funções: navegação, comunicação, identificação individual e captura de presas (TYACK, 1999; AU, 1993; COMMITTEE ON TAXONOMY, 2014). Estudos das emissões sonoras dos delfinídeos foram inicialmente realizados na década de 1960, em cativeiro, com a espécie *T. truncatus* (LILLY; MILLER, 1961; CALDWELL; CALDWELL, 1965; CALDWELL; CALDWELL, 1967; CALDWELL; CALDWELL, 1968). Esses estudos caracterizaram o repertório acústico de *T. truncatus* e reportaram variados tipos de emissões sonoras. Mais tarde, em ambiente natural, a caracterização das emissões sonoras foi realizada também com outros delfinídeos, como por exemplo: *O. orca* (FORD, 1989); golfinho-pintado-do-atlântico, *Stenella frontalis* (G. Cuvier, 1829) (DUDZINSKI, 1996), *S. guianensis* (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001), golfinho-de-bico-branco, *Lagenorhynchus albirostris* (Gray, 1846) (RASMUSSEN; MILLER, 2002); golfinho-de-Duski, *Lagenorhynchus obscurus* (Gray, 1828) (VAUGHN-HIRSHON et al. 2012).

A emissão dos sinais sonoros dos delfinídeos e suas características físicas podem variar em função de fatores ecológicos, incluindo: tamanho e composição de grupo (QUICK; JANIK, 2008; HAWKINS; GARTSIDE, 2010), variações ambientais (ERBE, 2002;

MORISAKA, et al. 2005b), variação geográfica (JONES; SAYGH, 2002; BAZÚA-DURÁN; AU, 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006) e comportamentos (DÍAZ-LÓPEZ, 2011; HENDERSON et al. 2012; MAY-COLLADO, 2013). Estudos com espécies de mamíferos terrestres também reportaram a variação das emissões sonoras em função do contexto comportamental (OWINGS; VIRGINIA, 1978; MITANI; NISHIDA, 1993; RENDALL; CHENEY; SEYFARTH, 2000). As emissões sonoras dos delfínídeos estão inseridas em três categorias: assobios (sons tonais), cliques de ecolocalização (cliques com intervalos entre pulsos > 10 ms) e sons pulsantes (cliques com intervalo entre pulsos < 10 ms) (AU, 1993; RICHARDSON et al. 1995; LAMMERS et al. 2004) (Figura 3).

Os cliques de ecolocalização são emitidos durante forrageio, captura de presas e navegação (AU, 1993). Assobios e sons pulsantes estão relacionados aos contextos sociais (DAWSON, 1991; HERZING, 2000; LAMMERS; AU; HERZING, 2003; SIMON; MCGREGOR; UGARTE, 2007) e apresentam função comunicativa entre indivíduos (OVERSTROM, 1983; SMOLKER; MANN; SMUTS, 1993; CONNOR; SMOLKER, 1996).

Figura 3 – Espectrograma das emissões sonoras dos delfínídeos



Legenda: (A) cliques de ecolocalização, (B) som pulsante e (C) assobio.
Fonte: A autora, 2014.

Os assobios desempenham um papel importante em diferentes comportamentos e são emitidos para manter a coesão de grupo e identificação individual (RICHARDSON et al. 1995; TYACK; CLARK, 2000; JANIK; SAYGH; WELLS, 2006). Os sons pulsantes foram reportados durante diferentes comportamentos, como: socialização, alimentação, corte e comportamentos agressivos (JACOBS et al. 1993; HERZING, 1996; BLOMQVIST; AMUNDIN, 2004).

A emissão de assobios e sons pulsantes em diferentes contextos sociais foi reportada para algumas espécies de delfínídeos: *T. truncatus* (e.g. SMOLKER; MANN; SMUTS, 1993; JANIK, 1995; DÍAZ-LÓPEZ, 2011), *O.orca* (e.g. FORD 1989; 1991), *S. frontalis* (HERZING, 1996), golfinho-rotador, *Stenella longirostris* (Gray, 1828) (NORRIS et al. 1994; LAMMERS et al. 2006), golfinho-de-Hectori, *Cephalorhynchus hectori* (van Benédén, 1881) (DAWSON; THORPE, 1990), baleia-piloto-de-peitorais-longas, *Globicephala melas* (Traill, 1809) (WEILGART; WHITHEAD, 1990), *S. guianensis* (MAY-COLLADO, 2013).

A maior parte dos estudos das emissões sonoras dos delfínídeos em ambiente natural está relacionada à caracterização do repertório dos assobios, à identificação individual e a comparações intra e interespecíficas dos parâmetros acústicos desse tipo de emissão sonora (e.g. WANG et al 1995a,b; HERZING, 2000; WANG; WURSIG; LEATHERWOOD, 2001; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; MORISAKA et al. 2005a; ANSMANN et al. 2007; AZEVEDO et al. 2007; LIMA et al. 2012; ANDRADE et al. 2015a,b).

As espécies de delfínídeos formam complexas estruturas sociais em ambiente natural e produzem assobios em diferentes contextos, como por exemplo, durante socialização, em comportamentos agressivos, deslocamento e alimentação (TYACK; CLARK, 2000; JANIK, 2009). A relação entre o contexto social e a comunicação acústica reflete características fundamentais para entender a ecologia de diferentes espécies de delfínídeos (JANIK, 2009). Neste contexto, este capítulo tem como objetivo apresentar a revisão dos estudos em ambiente natural que reportaram a emissão de assobios e sons pulsantes dos delfínídeos durante diferentes contextos sociais.

4.1 Técnicas para análise dos assobios e sons pulsantes

Estudos do repertório acústico dos assobios em delfínídeos utilizam dois métodos de análise: método quantitativo dos parâmetros acústicos de frequência e duração e o método qualitativo a partir da classificação da forma de contorno de cada assobio, determinado pela representação gráfica da frequência versus a duração (AU, 2000; THOMSEN; FRANCK; FORD, 2001; BAZÚA-DURÁN, AU 2002; OSWALD; BARLOW; NORRIS, 2003; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005).

As medidas de duração e de frequência têm sido utilizadas para caracterizar os assobios de delfínídeos (STEINER, 1981; RENDELL et al. 1999; MATTHEWS et al. 1999; AZEVEDO; SIMÃO, 2002; OSWALD; RANKIN; BARLOW, 2004). Adicionalmente, esses métodos de análise permitem comparações entre as emissões sonoras de espécies e populações (WANG et al. 1995a,b; OSWALD; BARLOW; NORRIS 2003). As comparações dos parâmetros dos assobios entre populações de uma mesma espécie podem indicar variações das emissões sonoras em função do habitat ou em função de diferentes contextos sociais (WANG et al. 1995b; MORISAKA et al. 2005b). No entanto, a maioria dos estudos da relação entre assobios e diferentes contextos sociais apresentaram métodos visuais limitados, com a observação dos comportamentos apenas na superfície e sistemas acústicos que não permitem identificar o indivíduo emissor.

Alguns estudos empregaram técnicas de gravação e vídeo simultâneas para registrar os comportamentos subaquáticos (DUDZINSKI; CLARK; WURSIG, 1995; HERZING, 1996; THOMAS; FRISTRUP; TYACK, 2002). O sistema de gravação e vídeo simultâneos foi utilizado recentemente em estudo para registrar as emissões sonoras e comportamentos das espécies *S. frontalis* e *T. truncatus* (HERZING, 2015). Contudo, a filmagem dos comportamentos subaquáticos fica restrita aos ambientes de águas claras. No entanto, é difícil identificar o animal emissor em grupos grandes e agregações.

Outras técnicas têm sido empregadas para associar grupos, comportamentos e emissões sonoras, como por exemplo, a telemetria (TYACK, 1991) e a acústica passiva (MILLER; TYACK 1998; JANIK et al. 2000; WATWOOD et al. 2005; MILLER et al. 2004; RANKIN et al. 2007; QUICK; RENDELL; JANIK, 2008). A utilização de redes de hidrofones que permite a localização do grupo ou indivíduo foi aplicada por Lammers e Au (2003) para estudar a espécie *S. longirostris* no Hawaii. Estudos recentes têm sugerido novas técnicas de gravação e análise para maximizar a descrição das emissões sonoras.

O emprego da técnica de acústica passiva, por meio de equipamentos autônomos, redes de hidrofones e *DTAGs* (*digital acoustic recording tags*) têm permitido relacionar as emissões sonoras com grupos e comportamentos (TYACK; RECCHIA, 1991; JANIK, 2000b; SAYIGH et al. 2012; RANKIN et al. 2015).

4.2 Características dos assobios dos delfínídeos

Os assobios são sons tonais, de banda estreita, com duração entre 100 ms e 4 s e frequência fundamental entre 800 Hz a aproximadamente 67 kHz (SCHULTZ; CORKERON, 1994; RIESCH; FORD; THOMSEN, 2006; ANDRADE et al. 2015b). Alguns assobios apresentam harmônicos, que são bandas laterais da frequência fundamental, e que podem ultrapassar 100 kHz (LAMMERS; AU; HERZING; 2003; RASMUSSEN et al. 2006). Lammers e Au (2003) observaram que os harmônicos dos assobios de *S. longirostris* apresentam características direcionais e sugeriram a relação com a coordenação de indivíduos no grupo.

Com exceção das espécies do gênero *Cephalorhynchus* e o golfinho-de-Peale, *Lagenorhynchus australis* (Peale, 1848) (WATKINS; SCHEVILL, 1977; WATKINS; SCHEVILL, 1980; DAWSON, 1991; RICHARDSON et al. 1995), os assobios estão presentes no repertório acústico da maioria das espécies de delfínídeos e apresentam grande variabilidade quanto à forma, duração, frequência e taxa de emissão dos assobios (JANIK, 2009). A descrição do repertório acústico e a observação de assobios individuais de *T. truncatus* foram reportadas por Caldwell e Caldwell (1965). Os assobios podem variar quanto à taxa de emissão, forma de contorno e quanto às características físicas dos parâmetros acústicos.

4.2.1 Assobios emitidos em diferentes contextos sociais

O interesse no estudo das relações entre as emissões dos assobios de delfínídeos e os diferentes contextos sociais no ambiente natural vem crescendo nas últimas décadas. O Quadro 1 apresenta os estudos realizados em ambiente natural que reportaram a emissão dos assobios de delfínídeos em diferentes contextos sociais.

Os diferentes contextos em que os assobios são emitidos indicam a importância desse tipo de emissão sonora para os delfínídeos. Dentre as espécies estudadas, as espécies *T. truncatus* e *O. orca* apresentam a maior concentração de estudos que abordam a emissão de assobios em diferentes contextos sociais (Quadro 1).

A estrutura social das espécies pode influenciar no comportamento acústico dos indivíduos, e conseqüentemente na produção das emissões sonoras. Por exemplo, a espécie *T. truncatus* apresenta uma variada estrutura social do tipo fusão-fissão, em que indivíduos estão associados temporariamente e formam grupos fluidos, com entrada e saída de novos indivíduos (NORRIS et al. 1994). Na associação entre indivíduos e grupos, é comum a observação de comportamentos de socialização e a predominância de assobios que variam entre grupos e entre diferentes contextos (WANG et al. 1995b; DÍAZ-LÓPEZ, 2011).

Outro tipo de estrutura social pode ser observado para a espécie *O. orca*, que forma grupos estáveis liderados por fêmeas por longos períodos, denominados "pods" (BIGG et al. 1987). A manutenção da coesão dos grupos depende da comunicação vocal entre indivíduos (RENDELL et al. 1999). A espécie *O. orca* apresenta um complexo repertório acústico, com variados tipos de emissões sonoras, dentre eles cliques, assobios e outros tipos de sons pulsantes (FORD, 1989; RIESCH; DEECKE, 2011). Cada "pod" apresenta um repertório acústico específico que permanece estável ao longo de anos (FORD, 1991).

Estudos do comportamento acústico de *O. orca* foram realizados com grupos transientes e residentes, principalmente na Colúmbia Britânica, Canadá (FORD 1989; MORTON, 1990; DEECKE; FORD; SLATER, 2005), assim como, para as populações na Noruega e Islândia (STRAHER, 1995; VAN PARIJS; LEYSSEN, 2004; SIMON, MCGREGOR, UGARTE; 2007; VAN OPZEELAND et al. 2005). Os assobios dessa espécie são emitidos principalmente durante a interação social, forrageio e após comportamento de alimentação (DEECKE; FORD; SLATER, 2005). Simon; McGregor e Ugarte (2007) observaram uma predominância dos assobios da população de *O. orca* na Noruega e Islândia em diferentes contextos sociais. A taxa de emissão de assobios aumentou durante alimentação e diminuiu

durante deslocamento nas duas áreas (SIMON; MCGREGOR; UGARTE, 2007). Os autores destacaram a importância do estudo do comportamento acústico dessa espécie, visto que, diferentes populações se alimentam de presas distintas e, com isso, apresentam diferentes estratégias de forrageio, o que implica na variação do comportamento acústico (BAIRD, 2000; SIMON; MCGREGOR; UGARTE, 2007).

Estudos dos assobios de outras espécies de delfínídeos também reportaram variações na taxa de emissão e nos parâmetros acústicos entre contextos sociais. Por exemplo, a predominância desse tipo de emissão sonora foi reportada por AZEVEDO et al. (2010) para a espécie *S. frontalis* no sudeste do Brasil, em comportamentos aéreos, contato físico, deslocamento rápido e perseguição de presas na superfície. Nesses comportamentos os assobios emitidos foram mais longos em duração e apresentaram frequência mais alta quando comparados com assobios emitidos durante deslocamento lento (AZEVEDO et al. 2010).

A observação de diferentes tipos de assobios nos contextos sociais foi reportada para algumas espécies de delfínídeos. Um estudo com a espécie golfinho-corcunda-do-indopacífico, *Sousa chinensis* (Kukenthal, 1892) reportou 17 tipos de assobios predominantes durante forrageio e socialização (VAN PARIJS; CORKERON, 2001a). O primeiro estudo que descreveu o repertório acústico da espécie *Orcaella brevirostris* (Owen in Gray, 1866) destacou a presença de tipos específicos de assobios emitidos principalmente nos comportamentos de socialização e forrageio (VAN PARIJS; PARRA; CORKERON, 2000). O estudo realizado por Hawkins e Gartside (2010) verificou a relação entre o tipo de forma de contorno dos assobios de *T. aduncus* e diferentes comportamentos. Assobios constantes foram frequentemente emitidos durante deslocamento e os autores sugeriram que esta categoria pode ser importante para a manutenção da coesão de grupo (HAWKINS; GARTSIDE, 2010).

Quadro 1 - Lista das espécies de delfínídeos cujas emissões de assobios foram associadas a diferentes contextos comportamentais no ambiente natural, com local de estudo e referências. (continua)

Espécie	Contexto comportamental	Local de estudo	Referências
<i>Delphinus sp.</i>	Deslocamento rápido	Estados Unidos	Henderson et al. (2012)
<i>Delphinus delphis</i>	Socialização e alimentação	Reino Unido	Ansmann et al. (2007)
<i>Globicephala melas</i>	Socialização	Estados Unidos	Taruski (1979) Weilgart; Whitehead (1990)
<i>Orcaella brevirostris</i>	Socialização e forrageio	Austrália	Van Parijs; Parra; Corkeron (2000)
<i>Orcinus orca</i>	Deslocamento, forrageio, socialização e descanso	Canadá	Ford (1991)
	Socialização		Thomsen et al. (2002); Riesch; Ford; Thomsen (2008)
	Comportamentos de superfície		Riesch; Deecke (2011)
	Deslocamento	Pacífico Nordeste	Foote; Osborne; Hoelzel (2008)
	Alimentação e deslocamento	Noruega e Islândia	Simon et al. (2007)
	Alimentação	Reino Unido	Deecke et al. (2011)

Quadro 1 - Lista das espécies de delfínidos cujas emissões de assobios foram associadas a diferentes contextos comportamentais no ambiente natural, com local de estudo e referências. (continuação)

Espécie	Contexto comportamental	Local de estudo	Referências
<i>Stenella frontalis</i>	Socialização Socialização e forrageio	Bahamas Brasil	Herzing (1996) Azevedo et al. (2010)
<i>Stenella longirostris</i>	Deslocamento, socialização Socialização e deslocamento	Estados Unidos Hawaii	Norris et al. (1994) Lammers et al. (2006)
<i>Sotalia guianensis</i>	Forrageio Socialização, deslocamento e forrageio	Brasil Costa Rica	Erber; Simão (2004) Pivari; Rosso (2005) May-Collado (2013)
<i>Sousa chinensis</i>	Socialização e forrageio	Austrália	Van Parijs; Corkeron (2001a)
<i>Tursiops aduncus</i>	Aliança de fêmea e filhote Forrageio	Austrália	Smolker; Mann; Smuts (1993) Hawkins; Gartside (2010)

Quadro 1 - Lista das espécies de delfínídeos cujas emissões de assobios foram associadas a diferentes contextos comportamentais no ambiente natural, com local de estudo e referências. (conclusão)

Espécie	Contexto comportamental	Local de estudo	Referências
<i>Tursiops truncatus</i>	Socialização	Bahamas	Herzing (1996)
		Estados Unidos	Jones; Sayigh (2002)
			Cook et al.(2004)
		Portugal	dos Santos et al. (2005)
		Escócia	Quick; Janik (2008)
		Itália	Díaz-López (2011)
	Socialização, forrageio e deslocamento	Estados Unidos	Jacobs et al. (1993)
	Forrageio	Costa Rica	Acevedo-Gutiérrez; Stienessen (2004)
		Portugal	dos Santos et al. (2005)
		Estados Unidos	Nowacek (2005)
Golfo do México		Hernandez et al. (2010)	
Contato entre fêmea e filhote	Itália	Díaz-López; Shirai (2009)	

As categorias de forma de contorno dos assobios podem ter um significado específico nos contextos comportamentais. A variação nas categorias de forma de contorno foi identificada em *T. truncatus* por outros estudos (JANIK; DEHNHARDT; TODT, 1994; COOK et al. 2004) e em outras espécies de delfínídeos como *O. orca* e *G. melas* (WEILGART; WHITEHEAD, 1990; FOOTE; OSBORNE; HOELZEL, 2008). O predomínio de diferentes categorias de forma de contorno dos assobios em cada comportamento sugere que os tipos de assobios podem conter informações específicas sobre o comportamento do indivíduo vocalizador.

4.2.2 Variação da emissão de assobios em função das características de grupo

A influência das características de grupo (composição e tamanho de grupo) na emissão de assobios dos delfínídeos foi abordada por alguns estudos que demonstraram diferenças na taxa de emissão e na diversidade de assobios (JONES; SAYIGH, 2002; COOK et al. 2004; QUICK, JANIK 2008; HAWKINS, GARTSIDE, 2010).

Por exemplo, a diminuição da taxa de emissão de assobios em grupos de 41 a 55 indivíduos da espécie *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1833), golfinho-nariz-de-garrafa do Pacífico e o aumento da emissão de assobios em grupos menores, com 5 a 9 indivíduos foram reportados por Hawkins e Gartside (2010). Esse mesmo padrão foi observado para espécie *T. truncatus* na Escócia, (QUICK; JANIK, 2008). Os autores observaram que a taxa de emissão dos assobios diminuiu em grupos com mais de 15 indivíduos e sugeriram que os indivíduos diminuem a emissão de assobios possivelmente para evitar sobreposição das emissões sonoras que podem dificultar comunicação no grupo (QUICK; JANIK, 2008). No entanto, outros estudos com a mesma espécie observaram um aumento da emissão de assobios com o aumento de indivíduos no grupo (JONES; SAYIGH, 2002; COOK et al. 2004), indicando, dessa forma, que outros fatores ecológicos podem estar influenciando a produção de assobios.

A maior emissão de assobio sem grandes grupos também foi reportado para outras espécies de delfínídeos como *O. orca* e *G. melas* (WEILGART; WHITEHEAD, 1990; FOOTE; OSBORNE; HOELZEL, 2008). A emissão de assobios em função do tamanho de grupo é variável e difere entre espécies.

Adicionalmente ao tamanho de grupo, a emissão dos assobios com diferentes formas de contorno pode variar em função da composição do grupo. Grupos com ausência de filhote da

espécie *T. aduncus* apresentaram uma maior quantidade de assobios com forma de contorno ascendente e constante (HAWKINS; GARTSIDE, 2010).

A presença ou ausência de filhotes no grupo pode contribuir para a variação na taxa de emissão dos assobios. Por exemplo, Hawkins e Gartside (2010) observaram grupos com filhote da espécie *T. aduncus* emitindo um menor número de assobios ($0,18 \pm 0,20$ assobios/minuto), enquanto grupos sem filhote apresentaram um maior número de assobios emitidos ($0,58 \pm 4,52$ assobios/minuto). Os autores sugeriram que a taxa de emissão dos assobios pode estar relacionada à estratégia de anti-predação em grupos com filhote, o que justifica a taxa de emissão de assobios mais baixa (HAWKINS; GARTSIDE, 2010). Segundo Hawkins e Gartside (2010), fatores como a variação da composição de grupo pode influenciar a taxa de emissão dos assobios de *T. aduncus*, considerando as características da população estudada como, por exemplo, a segregação sexual e a estrutura social do tipo fusão-fissão, nos quais a mudança de indivíduos entre grupos é frequente (HAWKINS; GARTSIDE, 2010).

4.2.3 Assobios Assinatura

Caldwell e Caldwell (1965) verificaram que cada indivíduo emite um assobio específico quando isolado do grupo. Os autores criaram a hipótese dos assobios “assinatura” para caracterizar os assobios estereotipados emitidos para identificação individual. No entanto, um estudo também realizado em cativeiro com a mesma espécie na década de 90, utilizando a técnica quantitativa de similaridade de contorno, sugeriu uma interpretação diferente para esses assobios (McCOWAN; REISS, 1995). As autoras observaram que três indivíduos pertencentes a grupos diferentes compartilharam vários tipos de assobios e foi observado o predomínio de um tipo para os três indivíduos. O mesmo estudo sugeriu que essa espécie apresenta um variado repertório de assobios e tipos compartilhados entre indivíduos de grupos distintos (McCOWAN; REISS, 1995).

A emissão de assobios assinatura pode ser relevante para a localização de indivíduos que, temporariamente, se separam dos grupos. Herzing (1996) verificou a presença desse tipo de assobio para a espécie *S. frontalis*, nas Bahamas. Assobios assinatura foram observados em três contextos comportamentais: associação de fêmea e filhote, cuidado aloparental (outra fêmea ou macho em associação com indivíduos juvenis) e durante a corte (HERZING, 1996).

O mesmo padrão foi observado para a espécie *T. truncatus* na Austrália (SMOLKER; MANN; SMUTS, 1993; FRIPP et al. 2005).

Assobios assinatura foram reportados para *T. truncatus* por Janik e Slater (1998) que verificaram a emissão desses assobios no grupo de quatro golfinhos em cativeiro. Os autores reforçaram a hipótese de que os assobios assinatura são utilizados para manter a coesão do grupo (JANIK; SLATER, 1998). Em ambiente natural, durante captura temporária de um indivíduo, Sayigh et al. (1990) identificaram a emissão de assobios estereotipados durante a separação do par de fêmea e filhote.

Estudos com outras espécies de delfínídeos, em ambiente natural, reforçam a existência de assobios “assinatura”: *S. frontalis* (HERZING, 1996), golfinho-pantropical, *Stenella attenuata* (Gray, 1846) e *S. longirostris*, (STEINER, 1981) *Delphinus delphis* (Linnaeus, 1758) (SAYIGH et al. 1990); *S. chinensis* (VAN PARIJS; CORKERON, 2001b) e *S. guianensis* (FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; LIMA; Le PENDU, 2014).

4.3 Características dos sons pulsantes dos delfínídeos

Os sons pulsantes são emissões de curta duração, com intervalo entre cliques menor que 5 ms, banda larga de frequência (5-150 kHz) com valores que podem ultrapassar 200 kHz (AU; HASTING, 2010). Os delfínídeos emitem sons pulsantes, caracterizados por apresentar grande variação estrutural e temporal (RICHARDSON et al. 1995). Esse tipo de emissão sonora é utilizado para comunicação e interações sociais (WATKINS; WARTZOK, 1985; RICHARDSON et al. 1995; AU; LAMMERS; AUBAUER, 1999; LAMMERS; AU; HERZING, 2003; AU; HASTING, 2010). A banda larga de frequência, com valores de pico de frequência acima do limite audível humano (> 20 kHz), a variação nas formas de contorno e a curta duração dificultam a classificação dos sons pulsantes em categorias (MURRAY; MERCADO; ROITBLAT, 1998).

Os sons pulsantes podem apresentar características similares a sons tonais, devido à alta taxa de repetição de pulsos (WATKINS, 1967). A frequência fundamental e a repetição de pulsos podem apresentar alta variação e alguns sons pulsantes apresentam uma sobreposição ou uma continuidade com elementos tonais (FORD, 1989; NEMIROFF; WHITEHEAD, 2009; KAPLAN et al. 2014; BOWLES et al. 2015). Em alguns casos, os sons

pulsantes com altas taxas de repetição de pulsos podem apresentar uma estrutura harmônica dentro do limite audível humano (WATKINS, 1967). Esta estrutura representa o tempo de separação entre os pulsos (WATKINS, 1967) e dessa forma, o intervalo entre pulsos é percebido pela audição humana como som tonal (WATKINS, 1967).

Sons pulsantes diferem dos cliques de ecolocalização principalmente em relação aos valores de intervalo entre cliques. Os sons pulsantes são caracterizados por possuir o intervalo entre cliques menor que 10 ms, enquanto os cliques de ecolocalização apresentam valores acima de 10 ms (LAMMERS et al. 2004).

Apesar de alguns estudos abordarem as características dos sons pulsantes para algumas espécies de delfínídeos, a função desse tipo de emissão é pouco estudada. Grande parte dos estudos das emissões sonoras dos delfínídeos se concentra nos assobios e cliques de ecolocalização (JANIK, 2009; AU, 1993).

Os primeiros estudos com sons pulsantes foram realizados com indivíduos em cativeiro das espécies *T. truncatus* (WOOD, 1953; CALDWELL; CALDWELL, 1967; CALDWELL; CALDWELL; EVANS, 1966; OVERSTROM, 1983). A partir da década de 80, o número de estudos dos sons pulsantes aumentou, incluindo diferentes espécies: *T. truncatus* (HERMAN; TAVOLGA, 1980; CONNOR; SMOLKER, 1996; JANIK, 2000), *S. frontalis* (HERZING, 1996), *O. orca* (FORD, 1989; FORD, 1991; DEECKE; FORD; SLATER, 2005), *C. hectori* (DAWSON, 1991) e *S. longirostris* (NORRIS et al. 1994).

Alguns estudos classificaram diferentes tipos de sons pulsantes, de acordo com as características audíveis, dentro do intervalo de frequência entre 20 Hz até 20 kHz (intervalo audível humano). Esses sinais sonoros receberam denominações como, por exemplo: gritos (“screams”), gemidos (“moans”), guinchos (“squeals”) “buzz”, “bangs”, “creaks”, “thunks”, “squeak”, “barks”, “quacks”, “squawks”, “rasps”, “blats”, “cries”, “yelps”, “bray calls” (WOOD, 1953; SCHEVILL et al. 1966; CALDWELL; CALDWELL, 1967; CALDWELL et al, 1969; WATKINS, SCHEVILL, 1977; JACOBS et al. 1993; NORRIS et al. 1994; HERZING, 1996; JANIK, 2000; SIMS et al, 2012).

Com a utilização da acústica passiva, Janik (2000b) observou, em ambiente natural, a emissão de sons pulsantes específicos, denominados “bray calls”, associados com comportamento de forrageio para a espécie *T. truncatus* na Escócia. Sons pulsantes emitidos por *O. orca*, são o principal tipo de emissão sonora do repertório acústico da espécie. Conhecidos como chamadas discretas (“discrete calls”) são utilizadas em estudos para a classificação e caracterização de grupos matrilineos (FORD, 1989; 1991; MILLER, 2002; FILATOVA et al. 2012). A classificação de sons pulsantes com a presença de elementos

tonais foi realizada para a espécie *G. macrorhynchus*, considerando a forma de contorno, a frequência absoluta, a presença de harmônicos e padrões de bifonação (SAYIGH et al. 2012).

4.3.1 Sons pulsantes emitidos em diferentes contextos comportamentais

Os sons pulsantes têm sido reportados para diferentes espécies de delfínídeos, em diferentes contextos sociais (Quadro2). Esse tipo de emissão sonora foi registrado durante comportamentos agonísticos/agressivos e dominância pelas espécies *T. truncatus* e *S. frontalis* (LILLY; MILLER, 1961; BROWNLEE, 1983; CALDWELL; CALDWELL, 1967; McCOWAN, REISS, 1995b; HERZING, 1996). Além disso, os sons pulsantes foram relacionados com a corte e dominância de machos da espécie *T. truncatus* (CONNOR; SMOLKER, 1996). Van Parijs e Corkeron (2001a) observaram dois tipos de sons pulsantes emitidos por *S. chinensis*, na Austrália, os “barks”, predominantes durante socialização (47%) e forrageio (44%) e “quacks” predominantes durante socialização (63%) (VAN PARIJS; CORKERON, 2001a). “Creaks” e “buzz” emitidos pela espécie *O. brevirostris* foram observados durante forrageio enquanto “squeaks” foram predominantes durante socialização (VAN PARIJS; PARRA; CORKERON, 2000).

Espécies de delfínídeos que não emitem assobios, como por exemplo, *C. hectori* produzem sons pulsantes em diferentes contextos sociais. Dawson (1991) reportou alta taxa de emissão de sons pulsantes para a espécie *C. hectori* durante socialização e comportamentos agressivos entre indivíduos.

Tipos de sons pulsantes da espécie *O. orca*, denominadas chamadas discretas (“discrete calls”), por exemplo, foram descritos e observados em diferentes comportamentos (FORD, 1989; STRAGER, 1995; FILATOVA et al. 2007), no entanto, esses sinais parecem apresentar funções mais complexas do que em outras espécies de delfínídeos. Por outro lado, os sons pulsantes emitidos por *O. orca* são produzidos para a comunicação de longo alcance (FORD 1989; THOMSEN; FRANK; FORD, 2002; MILLER et al. 2004). Ford (1989) identificou os mesmos tipos de sons pulsantes emitidos por diferentes grupos matrilineos. Deecke et al. (2000) verificaram variação na produção de sons pulsantes para a mesma espécie.

Emissões classificadas como híbridas entre sons pulsantes e cliques, denominados “pops” foram reportadas por Connor, Smolker (1996). Os sons pulsantes denominados “pops” foram observados em machos de *Tursiops* sp., durante comportamento de corte (CONNOR; SMOLKER, 1996). Os autores definiram “pops” como sinais de banda estreita, com pulsos de baixa frequência e pico de frequência entre 300 Hz a 3 kHz (CONNOR; SMOLKER, 1996).

O estudo recente das emissões sonoras e comportamentos subaquáticos de duas espécies de delfínidos nas Bahamas, verificou a relação entre a produção de sons pulsantes e contextos sociais (HERZING, 2015). O mesmo estudo observou a emissão de sons pulsantes denominados “squawks” e “screams” pela espécie *S. frontalis* em comportamentos agressivos intra e interespecíficos. O golfinho nariz-de-garrafa, *T. truncatus*, produziu sons pulsantes denominados “bray calls” e “buzzes” para o mesmo padrão de comportamento. Os “buzzes” geralmente ocorrem no final de uma sequência de cliques de ecolocalização, sugerindo a existência de um contínuo entre sons pulsantes e cliques de ecolocalização, utilizados para a ecolocalização, principalmente quando o indivíduo se aproxima da presa (de SOTO et al. 2008).

Quadro 2 – Lista das espécies de delfínídeos cujas emissões de sons pulsantes foram associadas a diferentes contextos comportamentais no ambiente natural, com tipo de som pulsante, comportamento, local de estudo e referências. (continua)

Espécie	Som pulsante/ Contexto comportamental	Local de estudo	Referências
<i>Cephalorhynchus hectori</i>	“cry” e “squeals” –forrageio	Nova Zelândia	Dawson (1991)
<i>Delphinus</i> spp.	“squeaks” / deslocamento	Estados Unidos	Henderson et al. (2012)
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	“buzzes”	Islândia	de Soto et al. (2008)
<i>Grampus griseus</i>	“barks”, “buzzes”, Som pulsante estereotipado	Austrália	Corkeron; Van Parijs (2001)
<i>Lagenorhynchus obliquidens</i>	Som pulsantes	Estados Unidos	Henderson; Hildebrand; Smith (2011)
<i>Lissodelphis borealis</i>	Sons pulsantes de curta duração Socialização	Estados Unidos	Rankin et al. (2007)
<i>Orcaella brevirostris</i>	“creaks” e “buzz”	Austrália	Van Parijs et al. (2000)

Quadro 2 – Lista das espécies de delfínídeos cujas emissões de sons pulsantes foram associadas a diferentes contextos comportamentais no ambiente natural, com tipo de som pulsante, comportamento, local de estudo e referências. (continuação)

Espécie	Som pulsante/ Contexto comportamental	Local de estudo	Referências
<i>Orcinus orca</i>	Sons pulsantes – manipulação de presas	Noruega	Ugarte; Wahlberg; Miller et al. (2006) Miller et al. (2004) Simon et al. (2006)
	Socialização	Canadá Alaska e Canadá	Ford; Fisher (1983); Ford (1989); Thomsen (1995) Ford (1991)
	Forrageio	Noruega	Thomsen; Frank; Ford (2002) Deecke et al. (2000) Deecke; Ford; Slater (2005) Miller et al. (2004) Simon et al. (2004); Van Parijs et al. (2004)
<i>Sotalia fluviatilis</i>	Forrageio	Equador	May-Collado; Wartzok (2010)
<i>Sousa chinensis</i>	“Barks” e “quacks” socialização e alimentação	Austrália	Van Parijs; Corkeron (2001a)
<i>Stenella frontalis</i>	Sons pulsantes para alarme, “Squawks”, “barks” e “screams” / comportamentos agressivos	Bahamas	Herzing (1996)

Quadro 2 – Lista das espécies de delfínídeos cujas emissões de sons pulsantes foram associadas a diferentes contextos comportamentais no ambiente natural, com tipo de som pulsante, comportamento, local de estudo e referências. (continuação)

Espécie	Som pulsante/ Contexto comportamental	Local de estudo	Referências
<i>Stenella longirostris</i>	Indivíduos próximos (coesão) Forrageio	Hawaii	Lammers; Au e Herzing (2003); Lammers et al.(2004); Lammers et al. (2006); Benoit-Bird; Au (2009)
<i>Tursiops truncatus</i>	"pops" / comportamento agressivo	Bahamas	Herzing (1996)
	“squawk”; “bark” comportamento agressivo	Austrália	Schultz et al. (1994)
	sons pulsantes de baixa frequência / socialização	Croácia	Oehen (1996)
	“low creaks” / socialização	Portugal	dos Santos et al. (1990)
	“pops” / corte “bray calls” e “buzzes”	Bahamas	Herzing (2015)
"bray calls"	Reino Unido	Janik, (2000b) Hastie; Wilson; Thompson (2006) King, Janik, (2015)	

Quadro 2 – Lista das espécies de delfínídeos cujas emissões de sons pulsantes foram associadas a diferentes contextos comportamentais no ambiente natural, com tipo de som pulsante, comportamento, local de estudo e referências. (conclusão)

Espécie	Som pulsante/ Contexto comportamental	Local de estudo	Referências
<i>Tursiops truncatus</i>	"pops", "low creaks", forrageio	Portugal	dos Santos et al. (1990); dos Santos et al. (1995)
		Estados Unidos	Jacobs et al. (1993) Nowacek (2005)
<i>Tursiops</i> sp.	comportamento agressivo "Buzzes" / corte	Austrália	Connor e Smolker (1996)

A associação dos sons pulsantes com comportamentos de forrageio e/ou alimentação tem sido descrita para algumas espécies incluindo *O. orca* (UGARTE; WAHLBERG; MILLER, 2006; SIMON et al. 2006; DEECKE et al. 2011), *T. truncatus* (JANIK, 2000b; KING; JANIK, 2015), *T. aduncus* (SMOLKER; RICHARDS, 1988), *S. longirostris* (BENOIT-BIRD; AU 2009) entre outras espécies. Esses sons pulsantes podem estar relacionados com o recrutamento de coespecíficos e à manipulação de presas para facilitar a captura (JANIK, 2000b; KING; JANIK, 2015).

Segundo Norris e Mohl (1983) e Marten et al. (1988), algumas espécies de delfínídeos emitem sons específicos durante forrageio para causar perturbação na presa, no entanto o que tem sido observada, em estudos recentes, é a emissão de sons pulsantes, como por exemplo, os “bray calls” com função de manipulação da presa. Esse tipo de som pulsante apresenta maior energia abaixo de 2 kHz e duração de 500-600 ms (dos SANTOS et al. 1995; JANIK, 2000a). As frequências dos “bray calls” coincidem com os valores de frequência percebidos por algumas espécies de presas, como por exemplo, os salmonídeos (HAWKINS; JOHNSTONE 1978; JANIK 2000b). Os “bray calls” emitidos por *T. truncatus* são produzidos em profundidades de 20 metros, diferente de outras emissões de alta frequência. O salmão geralmente nada próximo à superfície e os sons pulsantes emitidos pelos golfinhos em maiores profundidades, podem estar induzindo os peixes a mergulharem para áreas mais profundas. A relação entre a produção de sons pulsantes e comportamento de alimentação foi reportado para a espécie *O. orca* (SIMON et al. 2006). O pico de frequência dos sons pulsantes emitidos por *O. orca* durante forrageio de arenques, foi cerca de 700 Hz (SIMON et al. 2006). Sons pulsantes, denominados “pops” foram observados por Nowacek (2005) para a mesma espécie, emitidos em áreas rasas para forrageio.

5 CONCLUSÃO

Esta revisão apresentou os estudos relacionados à emissão de assobios e sons pulsantes dos delfínídeos durante diferentes contextos sociais. O tipo de comportamento, a composição e o tamanho de grupo são fatores que podem influenciar os parâmetros quantitativos e qualitativos dos assobios e sons pulsantes de diferentes espécies de delfínídeos.

A emissão de assobios em diferentes estados comportamentais demonstra a importância desse tipo de sinal sonoro para a comunicação.

Sons pulsantes estão presentes no repertório acústico de todas as espécies da família Delphinidae e são reportados durante diferentes contextos sociais. Esse tipo de emissão sonora apresenta grande variação nos parâmetros acústicos e está relacionado a diferentes funções na comunicação acústica.

Estudos das relações entre a comunicação acústica e estados comportamentais são importantes para entender a função das emissões sonoras em ambiente natural para diferentes espécies de delfínídeos.

6 REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-GUTIÉRREZ, A.; STIENESSEN, S. C. Bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* increase number of whistles when feeding. *Aqua. Mamm.*, v. 30, p. 357–362, 2004.
- AMORIM, M. C. P. et al. Differences in sounds made by courting males of three closely related Lake Malawi cichlid species. *J. Fish Biol.*, v. 65, p. 1358–1371, 2004.
- ANDRADE, L. G. et al. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: Using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *Acta. Ethol.*, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015.
- ANSMANN, I. C. et al. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, United Kingdom, v. 87, p. 19–26, 2007.
- AU, W.W.L. *In The sonar of dolphins*. New York: Springer-Verlag, 1993.
- _____. Hearing in whales and dolphins: an overview. p. 1-42. In: AU, W.W. L.; POPPER, A.N.; FAY, R. R. (Eds.) *Hearing by Whales and Dolphins*, Springer Handbook of Auditory Research, New York, NY. Springer-Verlag, 2000. 485p.
- AU, W. W. L.; HASTING, M. C. *Principles of Marine Bioacoustics*. New York: Springer, 2010.
- AU, W. W. L.; LAMMERS, M. O.; AUBAUER, R. A portable broadband data acquisition system for field studies in bioacoustics. *Mar. Mammal Sci.*, v. 15, p. 526-531, 1999.
- AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: comparisons among populations. *J. Acoust. Soc. Am.*, v.117 n. 3, p. 1456-1464, 2005.
- AZEVEDO, A. F.; SIMÃO, S. M. Whistles produced by marine tucuxi dolphins *Sotalia fluviatilis* in Guanabara Bay, southeastern Brazil, *Aqua. Mamm.*, v. 28, p. 261–266, 2002.
- AZEVEDO, F. A. et al. Characteristics of whistles from resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 121, p. 2978–2983, 2007.
- AZEVEDO, A. F. et al. Whistles emitted by Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*) in southeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 117, p. 1456–1464, 2010.
- BAIRD, R. W. The killer whale: foraging specializations and group hunting. p. 140–142. In: MANN, J.; RICHARD, C. C.; TYACK, P; WHITEHEAD, H. (Eds.) *Cetacean societies: Field studies of dolphins and whales*. University of Chicago Press. Chicago, 2000. 433p.
- BAZÚA-DURÁN, M. C.; AU, W. W. L. Geographic variation in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawai`ian. *Acoust. Soc. Am.*, v. 116 n. 6, p. 3757-3769, 2004.

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

BEE, M. A. Selective phonotaxis by male wood frogs (*Rana sylvatica*) to the sound of a chorus. *Behav. Ecol. Soc.*, v. 61, p. 955-966, 2007.

BENOIT-BIRD, K.J.; AU, W.W. L. Phonation behavior of cooperatively foraging spinner dolphins 2009 *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 125, p. 125-137, 2009.

BIGG, M.A.; ELLIS, G.M.; FORD, J. K. B.; BALCOMB, K.C. III. Killer Whales: A Study of their Identification, Genealogy and Natural History in British Columbia and Washington State. Phantom Press, Nanaimo, B.C. 1987. p 1-79.

BLOMQUIST, C.; AMUNDIM, M. High-Frequency burst-pulse sounds in agonistic/aggressive interactions in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. In: THOMAS, J. A.; MOSS, C. F.; VATER, M. (Eds.). *Echolocation in Bats and Dolphins*, Chicago, Illinois, USA, The University of Chicago Press, 2004. p. 425-431.

BOWLES et al. Disproportionate emission of bubble streams with killer whale biphonic calls: Perspectives on production and function. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 137, n. 2, p. EL165–170, 2015.

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

CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K. Individualized whistles contorns in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Nature*, London, v. 207, p. 434-435, 1965.

_____. Intraspecific transfer of information via the pulsed sound in captive Odontocete Cetaceans. In: BUSNEL, R. G. (Ed.) *Animal Sonar Systems: Biology and Bionics*, Laboratoire de Physiologie Acoustique: Jouy-en-Josas, France, 1967 p. 879–936.

_____. Vocalizations of naïve captive dolphins in small groups. *Science*, v. 159, p. 1121-1123, 1968.

CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K.; TYACK, P. L. Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin. In: LEATHERWOOD, S.; REEVES, R. R. (Eds.) *The Bottlenose Dolphin*, Academic, London, 1990, p.199–235.

COMMITTEE ON TAXONOMY. List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy, 2014. www.marinemammalscience.org, consultado em [15/12/2014].

CONNOR, R. C.; SMOLKER, R. A. ‘Pop’ goes the dolphin: a vocalization male bottlenose dolphins produce during courtship. *Behaviour*, v. 133, p. 643-662, 1996.

COOK, M. L. H. et al. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proc. R. Soc. A.* v. 271, p. 1043–1049, 2004.

CORKERON, P. J.; VAN PARIJS, S. M. Vocalizations of eastern Australian Risso's dolphins, *Grampus griseus*. *Can. J. Zool.* v. 79, p. 160-164, 2001.

CRAWFORD, J. D.; HAGEDON, M.; HOPKINS, C. D. Acoustic communication in an electric fish, *Pollimyrus isidori* (Mormyridae). *J. Compar. Physi.*, v. 159, p. 297-310, 1986.

DAWSON, S.M. Clicks and communication: the behavioural and social contexts of Hector's dolphin vocalizations. *Ethology*, v. 88, p. 265-276, 1991.

DAWSON, S.M.; THORPE, C.W. A quantitative analysis of the sounds of Hector's dolphin. *Ethology*, v. 86, p. 131-145, 1990.

DEECKE, V. B.; FORD, J. K. B.; SPONG, P. Dialect change in resident killer whales: implications for vocal learning and cultural transmission. *Anim. Behav.*, v. 60, p.629-638, 2000.

DEECKE, V. B.; FORD, J. K. B.; SLATER, P. J. B. The vocal behavior of mammal-eating killer whales: communicating with costly calls. *Anim. Behav.*, v. 69, p. 395-405, 2005.

DEECKE, V. B. et al. Vocal behaviour and feeding ecology of killer whales *Orcinus orca* around Shetland, UK. *Aquat. Biol.* v. 13, p. 79-88, 2011.

de SOTO, N. A. et al. Deep foraging sprints in short-finned pilot whales off Tenerife (Canary Islands). *J. Anim. Ecol.*, v. 77, p. 936-947, 2008.

DÍAZ- LÓPEZ, D. B.; SHIRAI, J. A. B. Mediterranean common bottlenose dolphin's repertoire and communication use. In: PEARCE, G. P.; CORREA, L. M. (Eds.) *Dolphins: Anatomy, Behavior and Threats*, 2009.

DÍAZ- LÓPEZ, D. B. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behavior. *Mamm. Biol.*, v. 76, p. 180-189, 2011.

Dos SANTOS, M. E. et al. Acoustic behaviour in a local population of bottlenose dolphins. p. 585-598. In: THOMAS, J. A.; KASTELEIN, R. A. (Eds.). *Sensory abilities of cetaceans: Laboratory and field evidence*. New York: Plenum Press. 1990. 710 p.

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*, Woerden, the Netherlands, De Spil Publishers, 1995. p. 325-334.

Dos SANTOS, M. E. et al. Whistles of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the Sado Estuary, Portugal: Characteristics, production rates, and long-term contour stability. *Aquat. Mamm.*, v. 31, p. 453-462, 2005.

DUDZINSKI, K. M. Communication and behavior in the Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*): Relationships between vocal and behavioral activities. Ph.D. dissertation, Texas A;M University, 1996. p. 218.

DUDZINSKI, K. M.; CLARK, C. W.; WURSIG, B. A mobile video/acoustic system for simultaneous underwater recording of dolphin interactions. *Aquat. Mamm.*, v. 21, n. 3, p. 187-193, 1995.

ERBER, C. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. *Mar. Mammal Sci.*, v. 18, n. two, p. 394-418, 2002.

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, n. 2, p. 381-385, 2004.

EVANS, E. C.; NORRIS, K. S. On the evolution of acoustic communication systems in vertebrates. Part I: Historical aspects. In: NATCHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Ed.). *Animal sonar – Processes and performance*. New York and London, Plenum Press, 1988. p. 655-670.

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, p. 1563-1569, 2009.

FILATOVA, O. A. et al. The Structure of the discrete call repertoire of killer whales *Orcinus orca* from Southeast Kamchatka. *Bioacoustics*, v.16, p. 261–280, 2007.

FILATOVA, O. A. et al. Call diversity in the North Pacific killer whale populations: Implications for dialect evolution and population history, *Anim. Behav.* v. 83, 595–603, 2012.

FOOTE, A. D.; OSBORNE, R. W.; HOELZEL, A. R. Temporal and contextual patterns of killer whale *Orcinus orca* call type production. *Ethology*, v. 114, p. 599–606, 2008.

FORD, J.K.B. Acoustic behavior of resident killer whale (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia. *Can. J. Zool.*, v. 67, p. 727–745, 1989.

_____. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. *Can. J. Zool.*, v. 69, p. 1454–1483, 1991.

FRIPP, D. et al. Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) calves appear to model their signature whistles on the signature whistles of community members. *Anim. Cogn.*, v. 8, p. 17-26, 2005.

HASTIE, G. D.; WILSON, B.; THOMPSON, P. M. Diving deep in a foraging hotspot: Acoustic insights into bottlenose dolphin dive depths and feeding behaviour. *Mar. Biol.* v. 148, p.1181–1188, 2006.

HAWKINS, A. D.; JOHNSTONE, A. D. F. The hearing of the Atlantic Salmon, *Salmo salar*. v. 13, n. 6, p. 655-673, 1978.

HAWKINS, E. R.; GARTSIDE, D. F. Whistle emissions of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) differ with group composition and surface behaviors. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 127, p. 2652-2663, 2010.

HENDERSON, E. E.; HILDEBRAND, J. A.; SMITH, M. H. Classification of behavior using vocalizations of Pacific white-sided dolphins (*Lagenorhynchus obliquidens*) *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 130, n. 1, p. 557–567, 2011.

HENDERSON, E. E.; HILDEBRAND, J. A.; SMITH, M. H.; FALCONE, E. A. The behavioral context of common dolphin (*Delphinus* sp.) vocalizations. *Mar. Mammal Sci.*, v. 28, p. 439–460, 2012.

HERMAN, L. M.; TAVOLGA, W. N. 1980. The communication systems of cetaceans, In: HERMAN, L. M. (Ed.) *Cetacean Behaviour: Mechanisms and Function*, Wiley-Interscience, New York, p. 149–209, 1980.

HERNANDEZ, E. N.; SOLANGI, M.; KUCZAJ, S. A. II. Time and frequency parameters of bottlenose dolphin whistles as predictors of surface behavior in the Mississippi Sound. *J. Acoust. Soc. Am.* 127, 3232–3238, 2010.

HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *Aqua. Mamm.*, v. 22, p. 61–79, 1996.

_____. Acoustics and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society. p. 225-272. In: AU, W. W. L.; POPPER, A. N.; FAY, R. R. (Eds.). *Hearing by whales and dolphins*. Springer Handbook of Auditory Research, Springer-Verlag, New York, 2000. 485p.

_____. Synchronous and Rhythmic Vocalizations and Correlated Underwater Behavior of Free-ranging Atlantic Spotted Dolphins (*Stenella frontalis*) and Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Bahamas. *Anim. Behav. Cogni.*, v. 2, n. 1, p. 14-29, 2015.

JACOBS et al. Seasonal changes in vocalizations during behavior of the atlantic bottlenose dolphin. *Estuaries*, v. 16, n. 2, p. 241-246, 1993.

JANIK, V. M. Context-related vocalizations in bottlenose dolphins, *Bioacoustics*, v. 6, p. 219–220, 1995.

_____. Whistle matching in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Science*, v. 289, p. 1355-1357, 2000a.

_____. Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *P. Roy. Soc. Lond. B. Bio.*, v. 267, p. 923-927, 2000b.

_____. Acoustic communication in delphinids. In: NAGUIB, M.; ZUBERBUHLER, K.; CLAYTON, N. S.; JANIK, V. M. (Ed.) *Advances in the study of behavior*, London, Academic Press, 2009. p.123-157.

JANIK, V. M.; SLATER, P. J. B. Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Anim. Behav.*, v. 5, p. 829-838, 1998.

JANIK, V. M.; PARIJS, S. M.; THOMPSON, P. M. (2000). A two-dimensional acoustic localization system for marine mammals. *Mar. Mammal Sci.*, v. 16, n. 2, 437-447.

JANIK, V. M.; SAYIGH, L. S.; WELLS, R. S. Signature whistle contour shape conveys identity information to bottlenose dolphins. *P. Natl. Acad. Sci. USA.*, v. 103, p. 8293-8297, 2006.

JONES, G. J.; SAYGH, L. S. Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins. *Mar. Mammal. Sci.*, v. 18, p. 374-393, 2002.

KAPLAN et al. Repeated call types in Hawaiian melon-headed whales (*Peponocephala electra*). *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 136, n. 2, p. 1394-1401, 2014.

KING, S. L.; JANIK, V. M. Come dine with me: food-associated social signaling in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Anim. Cogn.* DOI 10.1007/s10071-015-0851-7, 2015.

KRISHNA, S.N.; KRISHNA, S.B. Female courtship calls of the litter frog (*Rana curtipes*) in the tropical forests of Western Ghats, South India. *Amphibia-Reptilia.* v. 26, p. 431-435, 2005.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L. Directionality in the whistles of hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): a signal feature to cue direction of movement? *Mar. Mammal Sci.*, v. 19, n. 2, p. 249-264, 2003.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L.; HERZING, D. L. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 114, n.3, p. 1629-1639, 2003.

LAMMERS, M. O. et al. A comparative analysis of echolocation and burst-pulse click trains in *Stenella longirostris*. In: THOMAS, J. A.; MOSS, C. F.; VATER, M. (Eds.). *Echolocation in Bats and Dolphins*, Chicago, Illinois, The University of Chicago Press, 2004. p. 414-419.

LAMMERS, M. O.; SCHOTTEN, M.; AU, W. W. L. The spatial context of free-ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*) producing acoustic signals. v. 119, n. 2, p. 1244-1250, 2006.

LANG, T. G.; SMITH, H. A. P. Communication between dolphins in separate tanks by way of an electronic acoustic link. *Science*, v. 150, p. 1839-1844, 1965.

LILLY, J. C.; MILLER, A. M. Vocal exchanges between dolphins. *Science*, v. 134, p. 1873-1876, 1961.

- LIMA, I. M. S. et al. Characteristics of whistles from rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*) in Rio de Janeiro coast, southeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 131, p. 4173-4181, 2012.
- LIMA, A.; Le PENDU, Y. Evidence for signature whistles in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 136, n. 6, p. 3178–3185, 2014.
- MARCOUX, M.; AUGER-MÉTHÉ, M.; HUMPHRIES, M. M. Variability and context specificity of narwhal (*Monodon monoceros*) whistles and pulsed calls. *Mar. Mammal Sci.* v. 28, n. 4, p. 649-665, 2012.
- MARLER, P. Vocalizations of wild chimpanzees, an introduction. In: *Proceedings of the 2nd International Congress of Primatology* (Atlanta 1968), 1, p. 94-100, 1969.
- MARTEN, K. et al. Loud impulse sounds in odontocete predation and social behavior. In: NACHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Ed.) *Animal Sonar, Processes and Performance*, New York, Plenum Press, 1988. p. 567-579.
- MARTEN, K. et al. The acoustic predation hypothesis: linking underwater observations and recordings during odontocete predation and observing the effects of loud impulsive sounds on fish. *Aqua. Mamm.* v. 27, n. 1, p. 56-66, 2001.
- MASTER, J. C. Loud calls of *Galago crassicaudatus* and *Galago garnettii* and their relation to habitat structure. *Primates*, v. 32, p. 153–167, 1991.
- MATTHEWS, J. N. et al. A review of frequency and time parameters of cetacean tonal calls. *Bioacoustics*, v. 10, p. 47-71, 1999.
- MAY-COLLADO, L. J. Guyana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Costa Rica emit whistles that vary with surface behaviors. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 134, p. EL359–EL365, 2013.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic Ocean: factors promoting whistles variation. *J. Mamm.*, v. 89, 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, p. 1202–1213, 2009.
- _____. Sounds produced by tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) from the Napo and Aguarico rivers of Ecuador. *LAJAM*, v. 8, p. 131-136, 2010.
- McCOWAN, B.; REISS, D. Quantitative comparison of whistle repertoires from captive adult bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops truncatus*): a re-evaluation of the signature whistle hypothesis. *Ethology*, v. 100, p. 194–209, 1995a.

- _____. Maternal aggressive contact vocalizations in captive bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: wide-band, low frequency signals during mother/aunt-infant interactions. *Zoo Biol.*, v. 14, p. 293–309, 1995b.
- MILLER, P. J. O.; TYACK, P. L. A small towed beamforming array to identify vocalizing resident killer whales (*Orcinus orca*) concurrent with focal behavioral observations. *Deep-Sea Res. Pt. II*, v. 45, p. 1389–1405, 1998.
- MILLER, P. J. O. Mixed-directionality of killer whale stereotyped calls: A direction of movement cue? *Behav. Ecol. Sociobiol.*, v. 52, 262–270. 2002.
- MILLER, P. J. O. et al. Call-type matching in vocal exchanges of free-ranging resident killer whales, *Orcinus orca*. *Anim. Behav.* v. 67, p. 1099-1107, 2004.
- MILLER, S. J.; INOUE, D. W. Roles of the wing whistle in the territorial behaviour of male broad-tailed hummingbirds (*Selasphorus platycercus*). *Anim. Behav.*, v. 31, p. 689-700, 1983.
- MITANI, J. C.; NISHIDA, T. Contexts and social correlates of long-distance calling by male chimpanzees. *Anim. Behav.*, v. 45, p. 735–746, 1993.
- MORISAKA, T., SHINOHARA, M., NAKAHARA, F.; AKAMATSU, T. Geographic variations in the whistles among three Indo-Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. *Fish. Sci.*, v. 71, p. 568–576, 2005a.
- _____. Effects of ambient noise on the whistles of indo-pacific bottlenose dolphin populations. *J. Mamm.*, v. 86, p. 541-546, 2005b.
- MORTON, A. B. A quantitative comparison of the behaviour of resident and transient forms of the killer whale off the central British Columbia coast. *Report of the International Whaling Commission*, v. 12, p. 245–248, 1990.
- MURRAY, S. O.; MERCADO, E.; ROITBLAT, H. L. Characterizing the graded structure of false killer whale (*Pseudorca crassidens*) vocalizations. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 104, p. 1679–1688, 1998.
- NEMIROFF, L.; WHITEHEAD, H. Structural characteristics of pulsed calls of long-finned pilot whales *Globicephala melas*. *Bioacoustic*, v. 19, p. 67-92, 2009.
- NORRIS, K. S.; MOHL, B. Can odontocetes stun prey with sound? *American Naturalist*, 122, 85-104, 1983.
- NORRIS, K. S. et al. *The Hawaiian spinner dolphin*. Berkeley: University of California Press, 1994, 412p.
- NOWACEK, D. P. Acoustic ecology of foraging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), habitat-specific use of three sound types. *Mar. Mammal Sci.*, v. 21, n. 4, p. 587-602, 2005.
- OVERSTROM, N. A. Association between burst-pulse sounds and aggressive behavior in captive Atlantic bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Zoo Biol.*, v. 2, p. 93–103, 1983.

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

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

OWINGS, D. H.; VIRGINIA, R. A. Alarm calls of California ground squirrels *Spermophilus beecheyi*. *Z. Tierpsychol.*, v. 46, n. 1, p. 58–70, 1978.

PIVARI, 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.

QUICK, N. J.; JANIK, V. M. Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of group size and behavior. *J. Comp. Psychol.*, v. 122, p. 305–311, 2008.

_____. Bottlenose dolphins exchange signature whistles when meeting at sea. *Proc. R. Soc. London Ser. B*, v. 279, p. 2539–2545, 2012.

QUICK, N. J.; RENDELL, L. E.; JANIK, V. M. A mobile acoustic localization system for the study of free-ranging dolphins during focal follows. *Mar. Mammal Sci.*, v. 24, p. 979–989, 2008.

RANKIN, S. et al. Patterned burst-pulse localizations of the northern right whale dolphin, *Lissodelphis borealis*. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 121, p. 1213–1218, 2007.

RANKIN, S. et al. Vocalizations of the rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis*, in the Pacific Ocean. *Mar. Mammal Sci.*, DOI: 10.1111/mms.12226. 2015.

RASMUSSEN, M. H.; MILLER, L. A. Whistles and clicks from white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*, Gray 1846) recorded in Faxafloi Bay, Iceland. *Aquatic Mammals Science*, v. 28, p. 78-89, 2002.

RASMUSSEN, M. H.; LAMMERS, M.; BEEDHOLM, K. ; MILLER, L. A. Source levels and harmonic content of whistles in white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*). *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 120, p. 510-517, 2006.

RENDALL, D.; CHENEY, D. L.; SEYFARTH, R. M. Proximate factors mediating “contact” calls in adult female baboons *Papio cynocephalus ursinus* and their infants *J. Compar. Psychol.*, v. 114, p. 36–46, 2000.

RENDELL, L.E. et al. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation. *J. Zool. London*, v. 249, p. 403-410, 1999.

RIESCH, R.; DEECK, V. B. Whistle communication in mammal-eating killer whales (*Orcinus orca*): further evidence for acoustic divergence between ecotypes. *Behav. Ecol. Sociobiol.* v. 65, n. 7, p. 1377-1387, 2011.

RIESCH, R.; FORD, J. K. B ; THOMSEN, F. Whistle sequences in wild killer whales (*Orcinus orca*). *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 124, p. 1822-1829, 2008.

- RIESCH, R. D.; FORD, J. K. B.; THOMSEN, F. Stability and group specificity of stereotyped whistles in resident killer whales, *Orcinus orca*, off British Columbia. *Anim. Behav.*, v. 71, p. 79–91, 2006.
- RICHARDSON, W. J.; GREENE, C. R.; MALME, C. I.; THOMSON, D. H. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego, CA. 1995. 576p.
- ROSSI-SANTOS, M.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, v. 143, p. 347-364, 2006.
- SAYIGH, L.S.; TYACK, P.L.; WELLS, R.S.; SCOTT, M.D. Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons. *Behav. Ecol. Soc.*, v. 26, p. 247-260, 1990.
- SAYIGH, L. et al. Repeated call types in short-finned pilot whales, *Globicephala macrorhynchus*. *Mar. Mammal Sci.*, p. 1-13, 2012.
- SCHULTZ, K. W.; CORKERON, P. J. Interspecific differences in whistles produced by inshore dolphins in Moreton Bay, Queensland, Australia. *Can. J. Zool.*, v. 72, p. 1061-1068, 1994.
- SCHWAB, C.; BUGNYAR, T.; KOTRSCHALA, K. Preferential learning from non-affiliated individuals in jackdaws (*Corvus monedula*). *Behav. Proc.*, v. 79, p. 148–155, 2008.
- SIMON, M.; UGARTE, F.; WAHLBERG, M.; MILLER, L. A. Icelandic killer whales *Orcinus orca* use a pulsed call suitable for manipulating the schooling behaviour of herring *Clupea harengus*. *Bioacoustics*, v. 16, p. 57–74, 2006.
- SIMON, M.; MCGREGOR, P. K.; UGARTE, F. The relationship between the acoustic behaviour and surface activity of killer whales (*Orcinus orca*) that feed on herring (*Clupea harengus*). *Acta Ethol.*, v. 10, p. 47-53, 2007.
- SIMS, P. Q. et al. Sounds of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in West Hong Kong: A preliminary description. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 131 (1), EL48-53, 2012.
- SMOLKER, R.; RICHARDS, A. Loud sounds during feeding of Indian Ocean bottlenose dolphins. In: NACHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Eds.) *Animal Sonar, Processes and Performance*, New York, Plenum Press, 1988. p. 703-706.
- SMOLKER, R. A.; MANN, J.; SMUTS, B. B. Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants, *Behav. Ecol. Soc.*, v. 33, p. 393–402, 1993.
- SMOLKER, R; PEPPER, J. W. Whistle convergence among allied male bottlenose dolphins (Delphinidae, Tursiops sp.). *Ethology* v. 105, p. 595-618, 1999.
- STEINER, W. W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species. *Behav. Ecol. Soc.* v. 9, p. 241-246, 1981.

STRAGER, H. Pod-specific call repertoires and compound calls of killer whales, *Orcinus orca*, in the waters of northern Norway. *Can. J. Zoo.*, v. 73, p. 1037-1047, 1995.

TARUSKI, A. G. The whistle repertoire of the North Atlantic pilot whale (*Globicephala melaena*) and its relationship to behavior and environment. p. 345–368 In: WINN, H. E.; OLLA, B. L. (Eds.) *Behavior of marine animals: Current perspectives in research*. Plenum Press, New York, NY. 1979, 438p.

THOMAS, R. E.; FRISTRUP, K. M.; TYACK, P. L. Linking the sounds of dolphins to their locations and behavior using video and multichannel acoustic recordings. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 112, p. 1692-1701, 2002.

THOMSEN, F.; FRANCK, D.; FORD, J. K. B Characteristics of whistles from the acoustic repertoire of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 109, n. 3, p.1240-1246. 2001.

THOMSEN, F.; FRANCK, D.; FORD, J. K. B. On the communicative significance of whistles in wild killer whales (*Orcinus orca*). *Naturwissenschaften*, v. 89, p. 404-407, 2002.

TYACK, P. L. Whistle repertoires of two bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: mimicry of signature whistles? *Behav. Ecol. Soc.*, v. 18, p. 251–257, 1986.

TYACK, P. L.; RECCHIA, C.A datalogger to identify vocalizing dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 3, p. 1668-1671, 1991.

TYACK, P. Communication and Cognition. p. 287-323. In: REYNOLDS, J. E.; ROMEL, S. A. (Eds.). *Biology of Marine Mammals*, Smithsonian Institution Press, Washington, 1999, 578p.

TYACK, P. L. Functional aspects of cetacean communication. p. 270-307. In: MANN, J.; CONNOR, R. C.; TYACK, P. L.; WHITWHEAD, H. *Cetacean societies – Field studies of dolphins and whales*. The University of Chicago Press, Chicago. 2000. 433p.

TYACK, P. L.; CLARK, C. W. Communication and acoustic behavior of dolphins and whales. p. 156-224. In: AU, W. W. L; POPPER, A. N.; FAY, R. R. *Hearing by whales and dolphins*. Springer Handbook of auditory research. New York, NY. 2000. 485p.

UGARTE, S. M.; WAHLBERG, M.; MILLER, L. A. Icelandic killer whale *Orcinus orca* use a pulsed call suitable for manipulating the schooling behaviour of herring *Clupea harengus*. *Bioacoustics* 26:57–74, 2006.

VAN OPZEELAND, I. C. et al. Acoustic behaviour of Norwegian killer whales, *Orcinus orca*, during carousel and seiner oraging on spring-spawning herring. *Aquat. Mamm.*, v. 31, p. 110–119, 2005.

VAN PARIJS, S. M.; PARRA, G. J.; CORKERON P. J. Sounds produced by Australian Irrawaddy dolphins, *Orcaella brevirostris*. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 108, n. 4, p. 1938-1940, 2000.

- VAN PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Vocalization and behavior of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Ethology*, v. 107, p. 701–716, 2001a.
- VAN PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Evidence for signature whistle production by a Pacific humpback dolphin, *Sousa chinensis*. *Mar. Mammal Sci.*, v. 17, p. 944-949, 2001b.
- VAN PARIJS, S. M.; LEYSSSEN, T. S. T. 2004. Sounds produced by Norwegian killer whales, *Orcinus orca*, during capture. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 116, p. 557-560, 2004.
- VAUGHN-HIRSHON, R. L. et al. Characterizing dusky dolphin sounds from Argentina and New Zealand. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 132, n.1, p. 498-506, 2012.
- WANG, D. W.; WURSIG, B.; EVANS, W. E. Comparisons of whistles among seven odontocete species.. In: Kastelien , R. A.; THOMAS, R. A., NACHTIGAL, P. E. (Eds). *Sensory Systems of Aquatic Mammals*. De Spil Press, Woerden, Holanda. 1995a. p. 299-323.
- WANG, D. W.; WURSIG, B.; EVANS, W. E. Whistles of bottlenose dolphins: comparisons among populations. *Aquat. Mamm.* v. 21, p. 65-77, 1995b.
- WANG, D.; WURSIG, B.; LEATHERWOOD, S: Whistles of boto, *Inia geoffrensis*, and tucuxi, *Sotalia fluviatilis*. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 109, p.407-414, 2001.
- WATKINS, W. A. The harmonic interval: fact or artifact in spectral analysis of pulse trains. In: TAVOLGA, W. N. (Ed.) *Marine bio-acoustic*, Pergamon Press, Oxford, 1967. v. 2, p. 15-42.
- WATKINS, W. A.; SCHEVILL, W E.; Best, P. B. Underwater sounds of *Cephalorhynchus heavisidii* (Mammalia: Cetacea). *J. Mamm.* v. 58, p. 316-320, 1977.
- WATKINS, W. A.; SCHEVILL, W E. Characteristic features of the underwater sounds of *Cephalorhynchus commersonii*. *J. Mamm.* v.61, p. 738-739, 1980.
- WATKINS, W. A.; WARTZOK, D. Sensory biophysics of marine mammals. *Marine Mammal Science*, v. 1, p. 219-260, 1985.
- WATWOOD, S. L. et al. Signature whistle use by temporarily restrained and free-swimming bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Anim. Behav.* v. 69, p. 1373–1386, 2005.
- WEILGART, L.; WHITEHEAD, H. Vocalizations of the North Atlantic pilot whale (*Globicephala melas*) as related to behavioral contexts. *Behav. Ecol. Soc.* v. 26, p. 399-402, 1990.
- WOOD F. G. Jr. Underwater sound production and concurrent behavior of captive porpoise, *Tursiops truncatus* and *Stenella plagiodon*. *Bull. Mar. Sci. Gulf. Carib.*, v. 3, p. 120-133, 1953.

7 VARIAÇÃO INTRAESPECÍFICA DOS ASSOBIOS DE *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) NA BAÍA DE GUANABARA (RJ)

INTRODUÇÃO

A variação intraespecífica dos assobios tem sido reportada para diferentes espécies de odontocetos, principalmente com relação à variação geográfica (*e.g.* STEINER 1981; WANG; WURSIG; EVANS, 1995b; RENDELL et al. 1999; BAZÚA-DURÁN; AU 2004; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; RIESCH; FORD; THOMSEN, 2006; ANSMANN et al. 2007). Além das características ambientais, como as variações sazonais e adaptações ao habitat, fatores ecológicos como, por exemplo, estados comportamentais, composição e tamanho de grupo podem contribuir na variação da emissão de assobios (JACOBS et al. 1993; dos SANTOS et al. 2005; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2008; PANOVA et al. 2012).

Alguns estudos destacaram a variação dos assobios em função do contexto comportamental e das características de grupo (*e.g.* SJARE; SMITH, 1986; HERNANDEZ; SOLANGI; KUCZAJ, 2010; PANOVA et al. 2012; MAY-COLLADO 2013). Relações entre assobios e comportamentos incluem o aumento ou a diminuição da taxa de emissão durante estados comportamentais como forrageio/alimentação (*e.g.* golfinho-comum-de-bico-curto, *D. delphis*, BUSNEL; DZIEDZIC, 1966; baleia piloto-de-peitorais-longas, *G. melas*, WEILGART; WHITEHEAD 1990; golfinho-nariz-de-garrafa, *T. truncatus*, DÍAZ-LÓPEZ, 2010), deslocamento (boto-cinza, *S. guianensis*, MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; *Delphinus* spp., HENDERSON et al. 2012) e socialização (*S. longirostris*, NORRIS et al. 1994; *O. orca*, THOMSEN; FRANCK; FORD, 2002; *S. longirostris*, BAZÚA-DURÁN; AU, 2004). Por exemplo, a taxa de emissão dos assobios da espécie *T. truncatus* foi maior durante contextos sociais (QUICK; JANIK, 2008). O aumento da emissão de assobios foi reportado durante reuniões de pares de fêmea e filhote (*e.g.* *T. truncatus*, SMOLKER; MANN; SMUTS, 1993) e durante a coesão de grupo (*e.g.* golfinho-rotador, *S. longirostris*, BROWNLEE; NORRIS, 1994; *T. truncatus* QUICK; JANIK, 2008).

A forma de contorno dos assobios de algumas espécies de delfínídeos também foi relacionada com contexto comportamental dos indivíduos em alguns estudos (WEILGART; WHITEHEAD, 1990; HAWKINS; GARTSIDE, 2010). Por exemplo, assobios emitidos por *G. melas* apresentaram forma simples de contorno, durante o comportamento de descanso,

enquanto assobios com formas de contorno variadas foram observados durante atividades como forrageio (WEILGART; WHITEHEAD, 1990). Os tipos de forma de contorno dos assobios emitidos por *T. aduncus* apresentaram relação com diferentes comportamentos, como por exemplo, a predominância dos assobios com forma de contorno constante durante o comportamento de socialização (HAWKINS; GARTSIDE, 2010). Segundo Hawkins e Gartside 2010, a diversidade de tipos e a taxa de emissão dos assobios e da espécie *T. aduncus* variaram em função da composição de grupo.

O tamanho de grupo pode interferir na taxa de emissão dos assobios, como tem sido reportado em alguns estudos (JONES; SAYIGH, 2002; COOK et al. 2004; QUICK; JANIK, 2008). O número de assobios por minuto por indivíduo aumentou em grupos maiores da espécie *T. truncatus* (JONES; SAYIGH, 2002; COOK et al. 2004) contudo, Quick e Janik (2008) reportaram uma diminuição na taxa de emissão dos assobios para a mesma espécie, conforme o aumento do tamanho de grupo (QUICK; JANIK, 2008). Possivelmente essa diferença entre os estudos, pode estar relacionada às diferenças na composição de grupos durante a gravação (JONES; SAYIGH, 2002; COOK et al. 2004; QUICK; JANIK, 2008).

Adicionalmente à taxa de emissão, as variações dos parâmetros acústicos dos assobios em diferentes contextos comportamentais foram observadas em algumas espécies de delphinídeos como, por exemplo, em *T. truncatus* (HERNANDEZ et al. 2010) e *S. guianensis* (MAY-COLLADO, 2013). Esses estudos reportaram variação nos parâmetros de frequência e duração.

Os primeiros estudos do repertório acústico dos assobios de *S. guianensis* em ambiente natural foram realizados a partir da década de 1990 e intensificados desde 2000 (e.g. MONTEIRO-FILHO, 1991; MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; AZEVEDO; SIMÃO 2002; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; PIVARI; ROSSO, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; DECONTO; MONTEIRO-FILHO, 2013; ANDRADE et al. 2015).

Alguns estudos caracterizaram os assobios de *S. guianensis* emitidos durante forrageio (PIVARI; ROSSO, 2005) e durante deslocamento (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001). Contudo, pouco se sabe sobre os fatores ecológicos que podem promover a variação intraespecífica dos assobios do boto-cinza. Por exemplo, a influência da composição de grupo na emissão e a função dos assobios são desconhecidas para *S. guianensis*. Identificar os fatores que contribuem para a variação na emissão dos assobios de *S. guianensis* é importante para entender a função desse tipo de emissão sonora para a espécie. No presente capítulo, a

taxa de emissão e as características físicas dos assobios de *S. guianensis* foram comparadas em relação ao contexto comportamental e à composição de grupo.

8 OBJETIVO

Esse capítulo teve como objetivo investigar as variações dos assobios de *S. guianensis* na Baía de Guanabara, com relação ao estado comportamental e à composição de grupo, com a utilização de um sistema de gravação com taxa de amostragem de 192 kHz.

Os objetivos específicos foram:

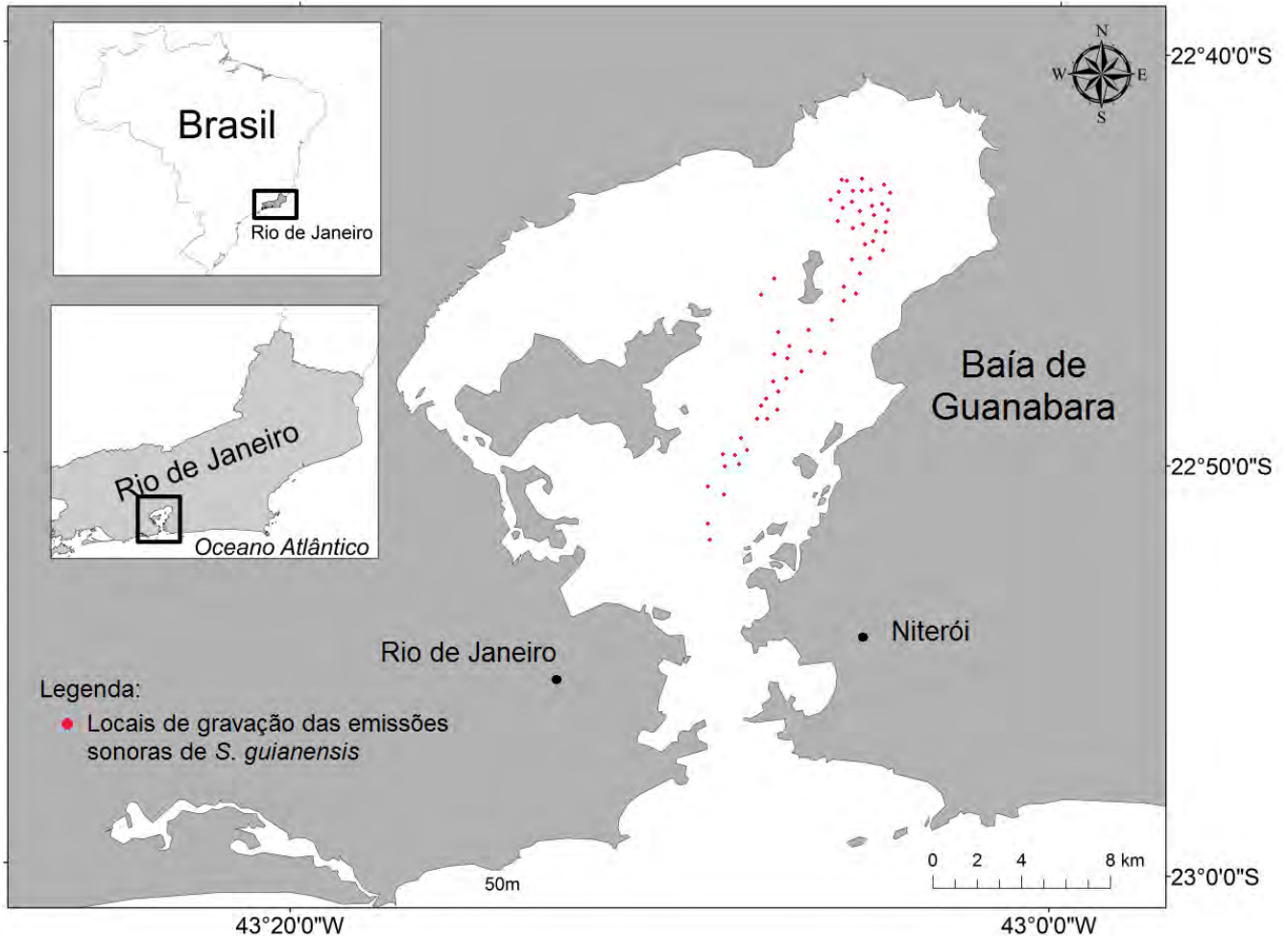
- Comparar os parâmetros acústicos e taxa de emissão dos assobios entre os diferentes estados comportamentais.
- Comparar os parâmetros acústicos e a taxa de emissão dos assobios entre grupos com a presença e ausência de filhote.
- Redescrever os assobios com o uso de um sistema de gravação com ampla taxa de amostragem.

9 MATERIAL E MÉTODOS

9.1 Gravação dos assobios

As gravações dos assobios de *S. guianensis* foram realizadas na Baía de Guanabara entre os anos de 2010 e 2014 (Figura 4). As gravações foram realizadas durante similares condições de mar (Escala Beaufort ≤ 2) e em embarcações de 4,5 e 6,6 m de comprimento, com motor de popa. Durante as gravações, a distância mínima para o grupo observado foi de 30 metros para evitar alteração dos comportamentos. Grupos foram definidos como dois ou mais indivíduos em associação aparente, engajados na mesma atividade comportamental e a uma distância máxima de 30 metros entre um indivíduo e outro, segundo a definição de AZEVEDO et al. (2005). Para cada grupo observado, as informações de hora, localidade, tamanho de grupo, estados comportamentais, tamanho e composição de grupo e geometria espacial foram registradas. A composição de grupo foi definida como grupos com a presença e ausência de filhotes. A geometria espacial dos indivíduos do grupo observado foi dividida em três categorias: grupo coeso (indivíduos próximos uns dos outros nadando em uma mesma direção), grupo misto (indivíduos nadando em diferentes direções, mantendo uma distância aproximadamente menor que 5 metros entre si, podendo apresentar interações corporais), grupo disperso (indivíduos distantes entre si, nadando em diferentes direções). Somente grupos isolados, sem a presença de outros grupos adjacentes foram gravados. Um raio de 300 metros foi considerado como distância mínima entre o grupo observado e grupos adjacentes. Esse método foi aplicado para minimizar a possibilidade de gravações simultâneas de mais de um grupo em cada gravação.

Figura 4 - Mapa da área de estudo, Baía de Guanabara ($22^{\circ}50'S$, $43^{\circ}10'W$), na costa do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, com locais das gravações das emissões sonoras de *Sotalia guianensis* realizadas entre 2010 e 2014.



Fonte: Laboratório de Mamíferos Aquáticos e Bioindicadores – MAQUA.

Em ambiente natural, as observações dos comportamentos são limitadas às atividades na superfície. Com isso, há uma dificuldade em associar as emissões sonoras com o contexto comportamental. Para tentar minimizar problemas com as observações dos comportamentos, durante as gravações de cada grupo, foram realizados registros de forma contínua do grupo amostrado (AZEVEDO et al. 2005; 2007; DAURA-JORGE et al. 2007). Os estados comportamentais foram definidos como comportamentos de longa duração (e.g. socialização, alimentação, deslocamento e descanso) (ALTMANN, 1974; MANN, 2000). Os comportamentos foram registrados segundo as definições de Azevedo (2005) que estudou o comportamento de *S. guianensis* na Baía de Guanabara (Quadro3).

Quadro 3 – Definições dos estados comportamentais observados durante as gravações dos assobios de *Sotalia guianensis* na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, segundo Azevedo (2005).

Estado Comportamental	Definição
Alimentação	Indivíduos apresentando movimentos em diferentes direções. Mergulhos longos e nados rápidos na superfície. Geralmente associado com a captura de peixes e presença de cardumes na superfície. O grupo pode ser observado em formação circular.
Socialização	Dois ou mais indivíduos que interagem entre si, com possível contato físico. Frequentemente podem ser observados saltos ou batidas com a nadadeira caudal.
Deslocamento	Indivíduos apresentando movimentos com direção definida e intervalos de mergulho regulares

Fonte: Modificado de Azevedo (2005).

As gravações foram realizadas em profundidade de 2 metros (posição do hidrofone em relação à superfície), com o motor da embarcação desligado, com um sistema de gravação composto por um gravador digital *FOSTEX FR2*, com taxa de amostragem de 192 kHz e 24 bits e o hidrofone *C54XRS* com resposta de frequência de 0,009 a 100 kHz (-165 dB re: 1 V/ μ Pa) (*Cetacean Research Technology, WA, USA*). As gravações foram realizadas simultaneamente à coleta de dados de comportamento. Enquanto a gravação foi monitorada por um integrante da equipe de campo, os dados de comportamento foram coletados por outro pesquisador da mesma equipe. As gravações tiveram duração de no máximo três minutos e foram realizadas com diferentes grupos, durante diferentes estados comportamentais.

9.2 Análise dos assobios

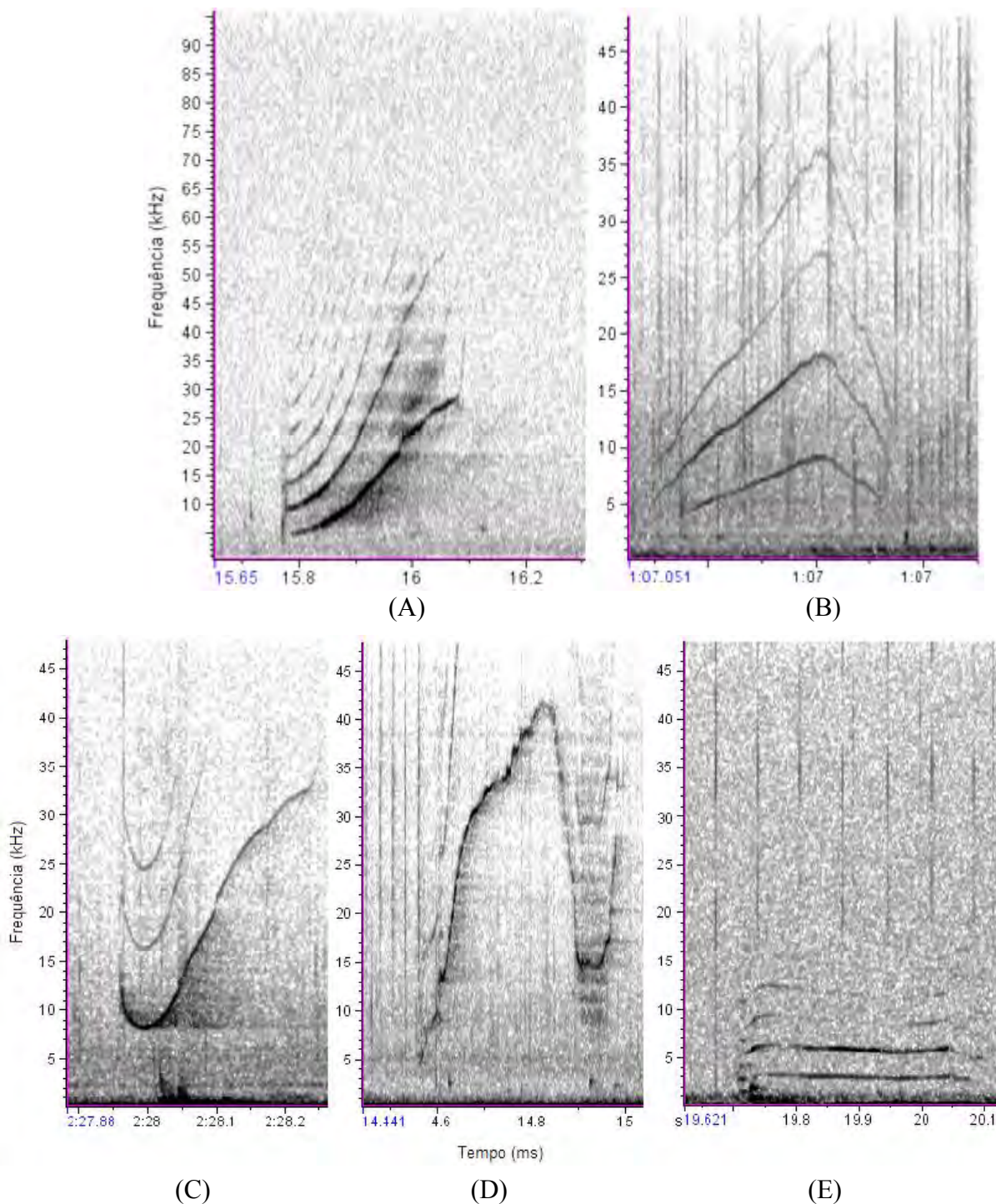
Os assobios de *S. guianensis* foram selecionados em diferentes dias de gravação, grupos e categorias de comportamento. Somente assobios com boa qualidade (forma de contorno visível e ausência de sobreposição com outros assobios) foram incluídos nas análises.

Espectrogramas das gravações foram visualizados com a utilização do *software Raven Pro 1.4* (2003-2011, *Cornell Lab Ornithology, Ithaca, New York, USA*). As configurações para a resolução dos espectrogramas foram as seguintes: FFT (*Fast Fourier Transform*) de 512 pontos, com sobreposição de 50% e uma *Hanning window*.

Os assobios foram classificados visualmente em cinco categorias de forma de contorno: ascendente (frequência crescente, sem pontos de inflexão), constante (assobio com frequências que podem variar até 1 kHz ao longo da frequência fundamental), ascendente-descendente (assobio com frequência ascendente, um ponto de inflexão, e termina com característica descendente), descendente-ascendente (assobio com frequência descendente, um ponto de inflexão, e termina com característica ascendente) e múltiplo (assobio que não foi classificado em nenhuma das categorias citadas), seguindo Azevedo e Van Sluys (2005) (Figura 5).

A taxa de emissão dos assobios (assobios/minuto/indivíduo) foi determinada para cada estado comportamental e para as diferentes composições de grupo. A taxa de emissão foi definida como o total de assobios, dividido pelo tempo de gravação em minutos e o número de indivíduos no grupo.

Figura 5 – Contornos dos assobios de *Sotalia guianensis*

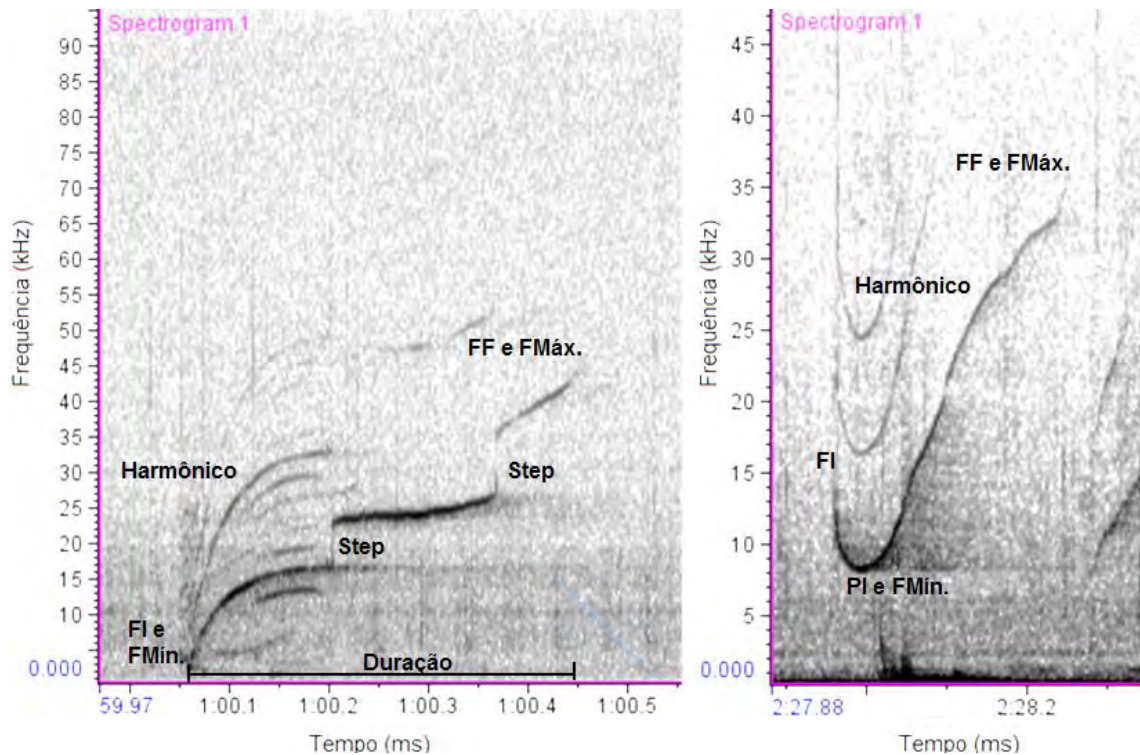


Legenda: Espectrogramas dos assobios de *Sotalia guianensis* com as cinco categorias de forma de contorno, observadas nas gravações da Baía de Guanabara entre 2010 e 2014. (A) Ascendente, (B) Ascendente-descendente, (C) Descendente-ascendente, (D) Múltiplo e (E) Constante. Fonte: A autora, 2014.

No total, 16 parâmetros acústicos foram analisados da frequência fundamental dos assobios: ponto de inflexão (PI) (ponto em que há uma mudança no contorno em função da

frequência do assobio), número de harmônicos (bandas laterais e múltiplas da frequência fundamental), *step* (salto ou quebra do contorno da frequência fundamental do assobio), duração, frequência inicial (FI), frequência final (FF), frequência mínima (FMín.), frequência máxima (FMáx.), modulação de frequência (MF) (FMáx.- FMín.), frequência a 1/4 da duração (F1/4), frequência a 1/2 (F1/2) da duração, frequência a 3/4 da duração (F3/4), frequência central (FC) (frequência que divide o assobio em partes iguais em relação à energia), pico de frequência (PF) (frequência com maior energia, ou seja, que apresenta maior amplitude no espectro), frequência no 1º quartil (F1Q) (frequência que divide o assobio em dois intervalos de frequência, contendo 25% e 75% da energia respectivamente) e no 3º quartil (F3Q) (frequência que divide o assobio em dois intervalos de frequência, contendo 75% e 25% da energia respectivamente) (Figura 6). As variáveis de frequência foram medidas em kHz e as de duração em milissegundos. Os parâmetros de frequência e de duração são usualmente utilizados em estudos para descrever e caracterizar o repertório dos assobios do boto-cinza (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009) e de outras espécies de delfínídeos (BAZÚA-DURÁN; AU, 2004; ANSMANN et al. 2007; DÍAZ-LÓPEZ, 2010).

Figura 6 – Espectrograma de dois assobios de *Sotalia guianensis* com os parâmetros acústicos



Legenda: Espectrogramas dos assobios de *Sotalia guianensis* obtidos nas gravações na Baía de Guanabara. Em cada espectrograma estão representados graficamente a frequência fundamental do assobio e os parâmetros acústicos: Duração, Harmônico, Step, Ponto de Inflexão (PI), Frequência Inicial (FI), Frequência Final (FF), Frequência Mínima (FMin.) e Frequência Máxima (FMáx.).

Fonte: A autora, 2014.

9.3 Análise Estatística

A distribuição das cinco categorias de forma de contorno dos assobios entre os estados comportamentais e entre composição de grupo foi comparada com a aplicação do teste Qui-Quadrado (χ^2 ; $p < 0,05$).

A estatística descritiva foi aplicada com os parâmetros de média, desvio-padrão, mediana, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação, em três situações: total de assobios, número de assobios em cada estado comportamental e em diferentes composições de grupo. O *Shapiro-Wilks test* ($p < 0,05$) foi aplicado para testar a normalidade dos dados.

Gráficos do tipo *boxplot* com valor da mediana, 25% e 75% da distribuição dos valores e valores mínimo e máximo foram elaborados para a visualização da distribuição dos

parâmetros acústicos entre os estados comportamentais e entre a composição de grupo. Para as análises estatísticas, o número de assobios selecionado foi no máximo três vezes o tamanho do grupo. Quando houve assobios de contorno repetido pertencentes à mesma gravação e grupo, somente um assobio de mesmo contorno foi analisado. Tais procedimentos foram adotados para evitar a sobreamostragem dos dados em relação a indivíduos e grupo (MATTHEWS et al. 1999; RENDELL et al. 1999).

9.3.1 Comparação dos assobios entre os estados comportamentais e composição de grupo

Os assobios emitidos durante os diferentes estados comportamentais foram selecionados aleatoriamente de grupos com a mesma composição (grupos com a presença de filhote), para eliminar a possível influência da composição de grupo na comparação dos parâmetros acústicos. O teste de *Levene* ($p < 0,05$) foi utilizado para verificar a homogeneidade da variância dos parâmetros acústicos dos assobios selecionados nos diferentes estados comportamentais. A comparação de muitas variáveis de um mesmo assobio pode comprometer a independência dos dados e, com objetivo de minimizar esse problema, foi aplicado o teste de *Bonferroni* para ajustar o nível de significância. A taxa de emissão e os parâmetros acústicos dos assobios emitidos durante os diferentes comportamentos foram comparados com o teste de *Kruskal-Wallis*, com o nível de significância ajustado ($p < 0,01$). Para verificar entre quais comportamentos houve diferença na taxa de emissão e nos parâmetros acústicos, foi aplicado o teste *a posteriori* de *Tukey* ($p < 0,05$) após o ranqueamento dos dados (ZAR, 1999).

Os parâmetros de frequência dos assobios podem ser altamente correlacionados entre si e para verificar a correlação entre as variáveis acústicas, foi aplicada a análise das componentes principais (PCA). Somente os parâmetros acústicos que apresentaram maior contribuição em cada fator na PCA, foram utilizados para a análise da função discriminante. A análise da função discriminante multivariada foi aplicada com os parâmetros acústicos que não apresentaram correlação na análise de PCA com objetivo de identificar quais variáveis acústicas são mais importantes para diferenciar os estados comportamentais (McGARIGAL; CUSHMAN; STAFFORD, 2000).

Assobios, emitidos durante o estado comportamental predominante, foram selecionados aleatoriamente para a comparação entre composição de grupo. Com isso, não é considerada a

influência dos estados comportamentais na comparação dos parâmetros acústicos dos assobios em relação à composição de grupo.

A taxa de emissão e os parâmetros acústicos dos assobios entre grupos com a presença e ausência de filhote foram comparados utilizando o teste de *Mann-Whitney* ($P < 0,05$).

10 RESULTADOS

No total, foram analisadas 30 h de gravação e 664 assobios foram selecionados e apresentaram boa qualidade no espectrograma para as análises. Desse total, 185 assobios pertencentes à mesma composição de grupo (presença de filhote) foram selecionados aleatoriamente para a comparação entre os estados comportamentais e 129 assobios selecionados no estado comportamental predominante (alimentação) foram utilizados para a comparação entre composição de grupo. Os grupos observados de *S. guianensis* variaram de 2 a 20 indivíduos (Tabela 1).

Tabela 1 – Total de assobios de *Sotalia guianensis* analisados entre 2010 e 2014.

Ano	Meses	Estados comportamentais	Tamanho de grupo (Mín.-Máx.)	Geometria espacial	Total de assobios analisados
2010	Jun/Ago/Out/ Nov/Dez	Alimentação, Socialização e Deslocamento	2-10	Coeso, disperso e misto	122
2011	Jan/Fev/Mai/ Jul/Ago/Nov	Alimentação, Socialização e Deslocamento	5-17	Misto	208
2012	Jan/Abr/Mai/ Jun/Jul/Ago/ Set/Out/Dez	Alimentação, Socialização e Deslocamento	1-13	Coeso, disperso e misto	108
2013	Jan/Fev/Mar/ Abr/Mai/Jun/ Jul/Ago/Nov	Alimentação e Socialização	2-14	Coeso, disperso e misto	110
2014	Jan/Abr/Mai/ Jun/Jul	Alimentação	7-20	Misto	116

Legenda: Total de assobios de *Sotalia guianensis* analisados por ano (n=664), meses em cada ano, estados comportamentais observados durante a gravação, tamanho de grupo (valores mínimo e máximo), e geometria espacial, observados durante as gravações realizadas na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro.
Fonte: A autora, 2014.

O tamanho de grupo e o número de assobios de *S. guianensis* analisados e em cada estado comportamental foram apresentados na Tabela 2.

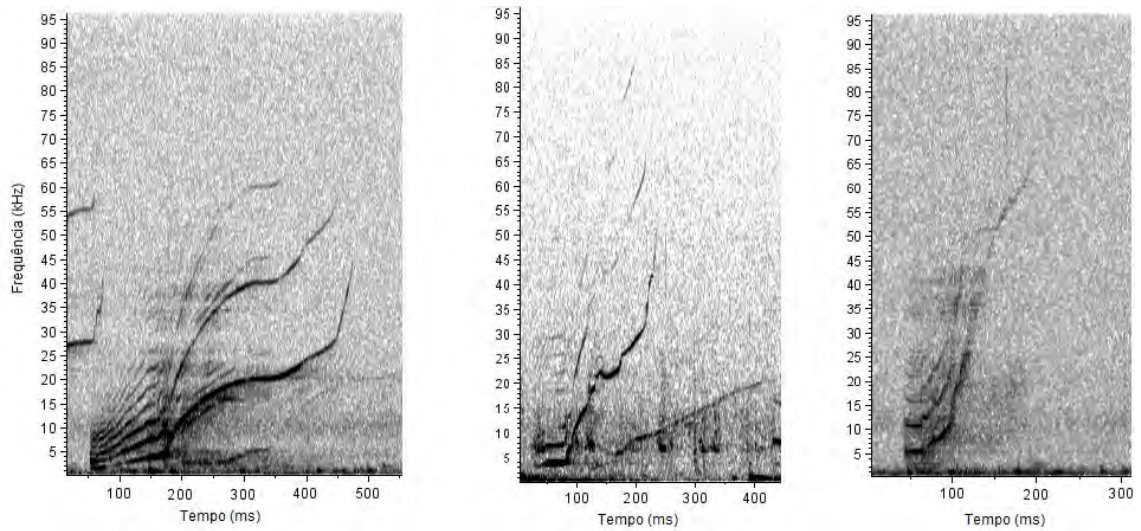
Tabela 2 – Tamanho de grupo e número de assobios analisados para cada categoria de comportamento observada durante as gravações dos assobios de *Sotalia guianensis* na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro.

Categoria de Comportamento	Tamanho de grupo	Número de assobios n=664
Alimentação	1-20	458
Socialização	4-13	152
Deslocamento	2-13	54

Fonte: A autora, 2014.

Assobios ascendentes foram os mais frequentes, totalizando 89% dos assobios analisados. Assobios apresentaram até quatro pontos de inflexão, sete *steps* e nove harmônicos. A duração média dos assobios foi curta ($280 \pm 121,8$ ms) e a frequência máxima dos assobios foi de 66,7 kHz (Figura 7). O valor médio de frequência final ($31,5 \pm 11,2$ kHz) foi similar ao valor de frequência máxima ($31,6 \pm 11,2$ kHz). Com a utilização de um sistema de gravação, com taxa de amostragem de frequência de 192 kHz, foi possível analisar assobios acima de 48 kHz (registro máximo de frequência reportado para *S. guianensis*). No total de 102 assobios apresentaram frequência máxima acima de 42,6 kHz (valor máximo de frequência dos assobios reportado previamente para *S. guianensis* na Baía de Guanabara) e 50% dos assobios apresentaram valores de frequência máxima acima de 48,4 kHz (valor máximo de frequência dos assobios reportado para *S. guianensis*).

Figura 7 - Espectrograma de três assobios de alta frequência emitidos por *Sotalia guianensis*



Legenda: Espectrograma dos assobios de *Sotalia guianensis* com frequências máximas acima de 40 kHz, gravados na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro entre 2013 e 2014, Brasil.
Fonte: A autora, 2014.

Os valores de média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação dos parâmetros acústicos dos assobios, estão especificados na Tabela 3.

Tabela 3– Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* de acordo com o estado comportamental: alimentação, socialização e deslocamento (continua)

Parâmetros Acústicos	Total de Assobios (n=664)	Estados Comportamentais			Total (n=185)
		Alimentação (n=76)	Socialização (n=68)	Deslocamento (n=41)	
Pontos de Inflexão	0,1±0,5 0-4 5,0	0,1±0,4 0-2 4,0	0,7±0,7 0-4 1,0	0,04±0,21 0-1 5,2	0,1±0,5 0-4 5,0
Step	0,6±0,8 0-7 1,3	0,7±0,9 0-3 1,3	0,6±1,0 0-7 1,6	0,6±0,9 0-4 1,5	0,6±0,9 0-7 1,5
Harmônico	2,0±1,6 0-9 0,8	2,1±1,6 0-7 0,7	2,0±1,9 0-9 0,9	0,7±0,7 0-3 1,0	1,7±1,6 0-9 0,9
Duração	280±121,8 46-810 0,4	287±113,7 75-501 0,4	272±117,2 66-578 0,4	254,5±95,2 100-506 0,4	274,3±111,4 66-578 0,4
FI	7,4±3,8 1,4-30,6 0,5	7,4±3,6 2-20,6 0,5	7,0±3,6 2,3-22,0 0,5	8,5±3,7 3,6-21 0,4	7,5±3,6 2-22 0,5
FF	31,5±11,2 2,4-66,7 0,3	34,4±12,4 4,1-66,7 0,3	29,1±11,6 7,2-56,2 0,4	28,2±4,7 18-46,5 0,1	31,1±11,1 4,1-66,7 0,3
F1/4	12,0±4,7 2,6-34,3 0,4	12,4±5,0 4-29 0,4	10,7±3,8 5-26 0,3	13,7±3,4 8-21,7 0,2	12,1±4,4 4-29 0,3
F1/2	18,0±6,1 2,5-39,6 0,3	18,7±7,0 5-37 0,4	15,2±5,2 4,7-31 0,3	19,2±3,6 12,1-27,8 0,2	17,5±6,0 4,7-37,4 0,3
F3/4	23,0±7,4 2,4-54,6 0,3	25±9,0 5,1-54,6 0,3	20,5±7,1 7-42,3 0,3	24,4±4,0 16-32,2 0,1	23,0±7,7 5,1-54,6 0,3

Legenda: Estatística descritiva com valores de média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação dos parâmetros acústicos do total de assobios de *Sotalia guianensis*, e dos assobios de grupos com a presença de filhote nos diferentes estados comportamentais gravados entre os anos de 2010 e 2014, na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. FI: frequência inicial; FF: frequência final; F1/4: frequência a ¼ da duração; F1/2: frequência a ½ da duração; F3/4: frequência a ¾ da duração do assobio.

Fonte: A autora, 2014.

Tabela 3– Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* de acordo com o estado comportamental: alimentação, socialização e deslocamento (conclusão)

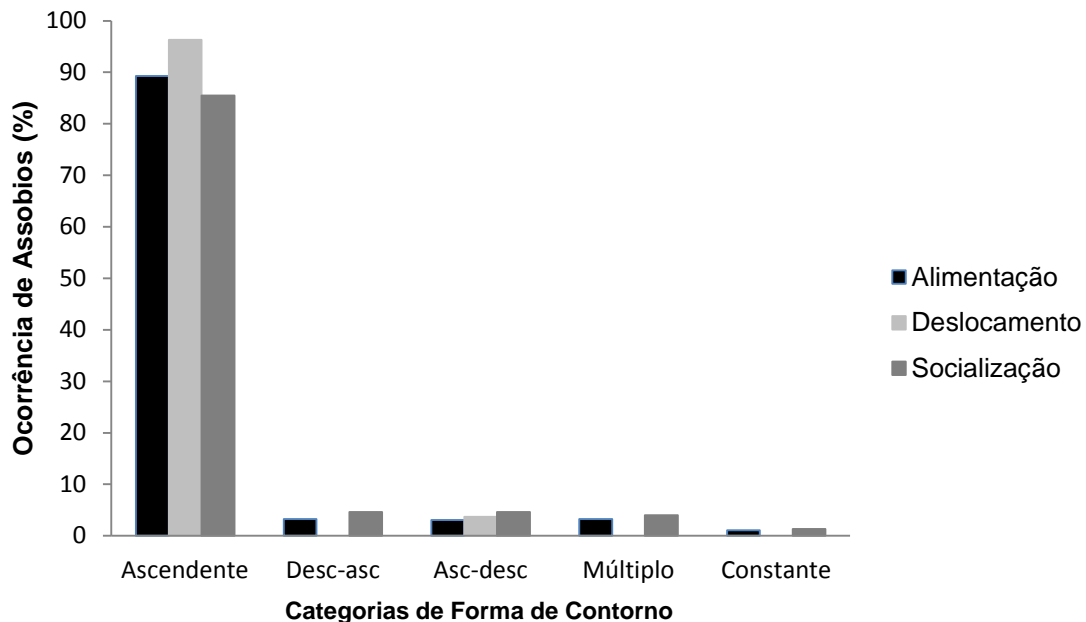
Parâmetros Acústicos	Total de Assobios (n=664)	Estados Comportamentais			Total (n=185)
		Alimentação (n=76)	Socialização (n=68)	Deslocamento (n=41)	
FMín.	7,3±3,7 1,4-30,6 0,5	7,6±3,4 2-20 0,4	6,6±2,8 2,3-19 0,4	8,5±3,7 3,6-21 0,4	7,4±3,4 2-21 0,4
FMáx.	31,6±11,2 3-66,7 0,3	34,4±12,7 4,1-66,7 0,4	29,4±11,4 7,2-56,2 0,4	28,3±4,8 18-46,5 0,2	31,2±11,2 4,1-66,7 0,3
MF	39,3±2,7 0,1-62,1 0,1	27,0±12,3 1,9-62,1 0,4	22,8±11,2 3,8-50,3 0,5	19,8±7,1 5,2-42,1 0,4	23,8±11,2 2-62 0,5
FC	13,1±4,6 3-37 0,3	14,2±5,8 4-37 0,4	11,5±3,1 4,5-19 0,3	13,3±3,1 9-22,7 0,2	13,0±4,6 4-37 0,3
PF	12,3±5,1 2,2-45 0,4	13,3±6,0 3,7-36,4 0,5	11,0±3,6 4,1-20,5 0,3	11,7±4,0 5,2-21,7 0,3	12,1±5,0 3,7-36,4 0,4
F1Q	10,6±4,1 2-33 0,4	11,1±4,8 3,7-29,6 0,4	9,4±2,9 4-18,3 0,3	10,7±3,3 6-21,5 0,3	10,4±4,0 3,7-29,6 0,4
F3Q	16,7±5,8 3-45 0,3	18±6,7 4,3-40,5 0,4	15±4,9 5,4-35 0,3	17,4±3,0 12-24 0,2	16,7±5,6 4,3-40,5 0,3

Legenda: Estatística descritiva com valores de média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação dos parâmetros acústicos do total de assobios de *Sotalia guianensis*, e dos assobios de grupos com a presença de filhote nos diferentes estados comportamentais gravados entre os anos de 2010 e 2014, na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. FMín: frequência mínima; FMáx: frequência máxima; MF: modulação de frequência; FC: frequência central; PF: pico de frequência; F1Q: frequência no primeiro quartil; F3Q: frequência no terceiro quartil. Fonte: A autora, 2014.

10.1 Comparação dos assobios entre estados comportamentais

A ocorrência das categorias de forma de contorno dos assobios não apresentou diferença em relação aos estados comportamentais (*Chi-square test* ($X^2= 6,586$ $P>0,05$) e os assobios ascendentes foram predominantes nos três comportamentos (Figura 8).

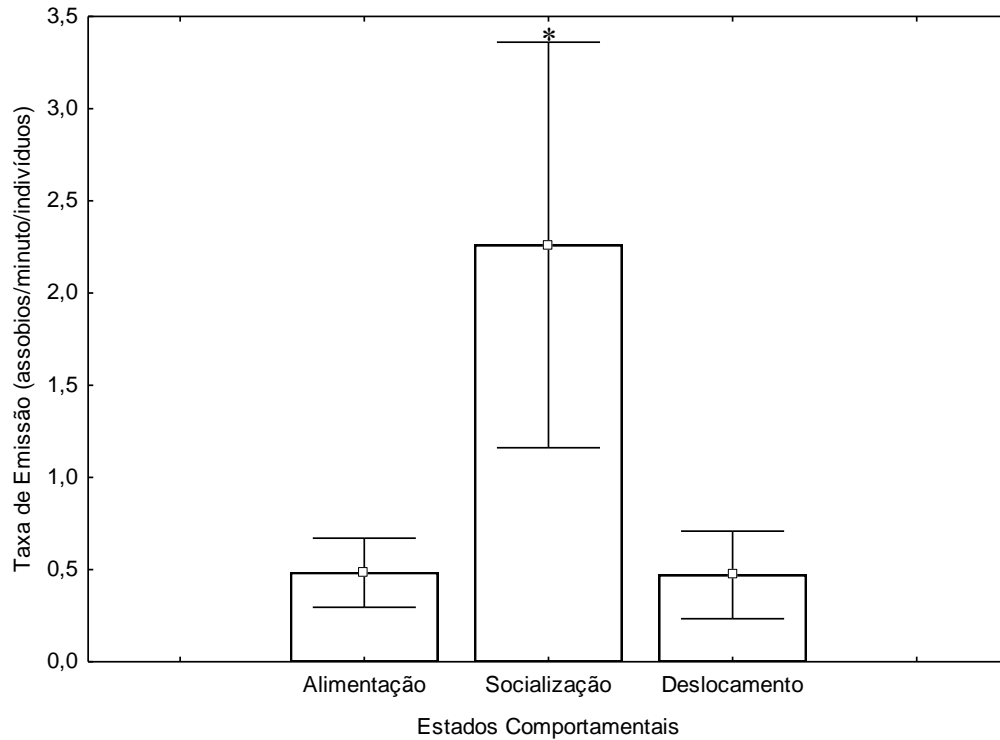
Figura 8 – Distribuição dos assobios de *Sotalia guianensis* em cada categoria de forma de contorno



Legenda: Ocorrência dos assobios de *Sotalia guianensis* em cada categoria de forma de contorno observada, durante os seguintes estados comportamentais: Alimentação, Deslocamento e Socialização. Fonte: Fonte: A autora, 2014.

A taxa de emissão dos assobios variou de 3,8 a 16,4 assobios/minuto/indivíduo e houve diferença entre os estados comportamentais (teste de *Kruskal-Wallis*, $H(2, n= 185) = 21,80900$ $p<0,01$) (Figura 9). Durante a socialização a taxa de emissão de assobios (média $2,3\pm 3,6$) foi maior quando comparada com alimentação (média $0,5\pm 0,9$) e com deslocamento (média $0,5\pm 0,8$) (teste de *Tukey*, $p<0,05$). Não houve diferença nas taxas de emissão dos assobios entre os comportamentos de alimentação e deslocamento.

Figura 9 – Taxa de emissão dos assobios (assobios/minuto/número de indivíduos no grupo) de *Sotalia guianensis* durante os três estados comportamentais

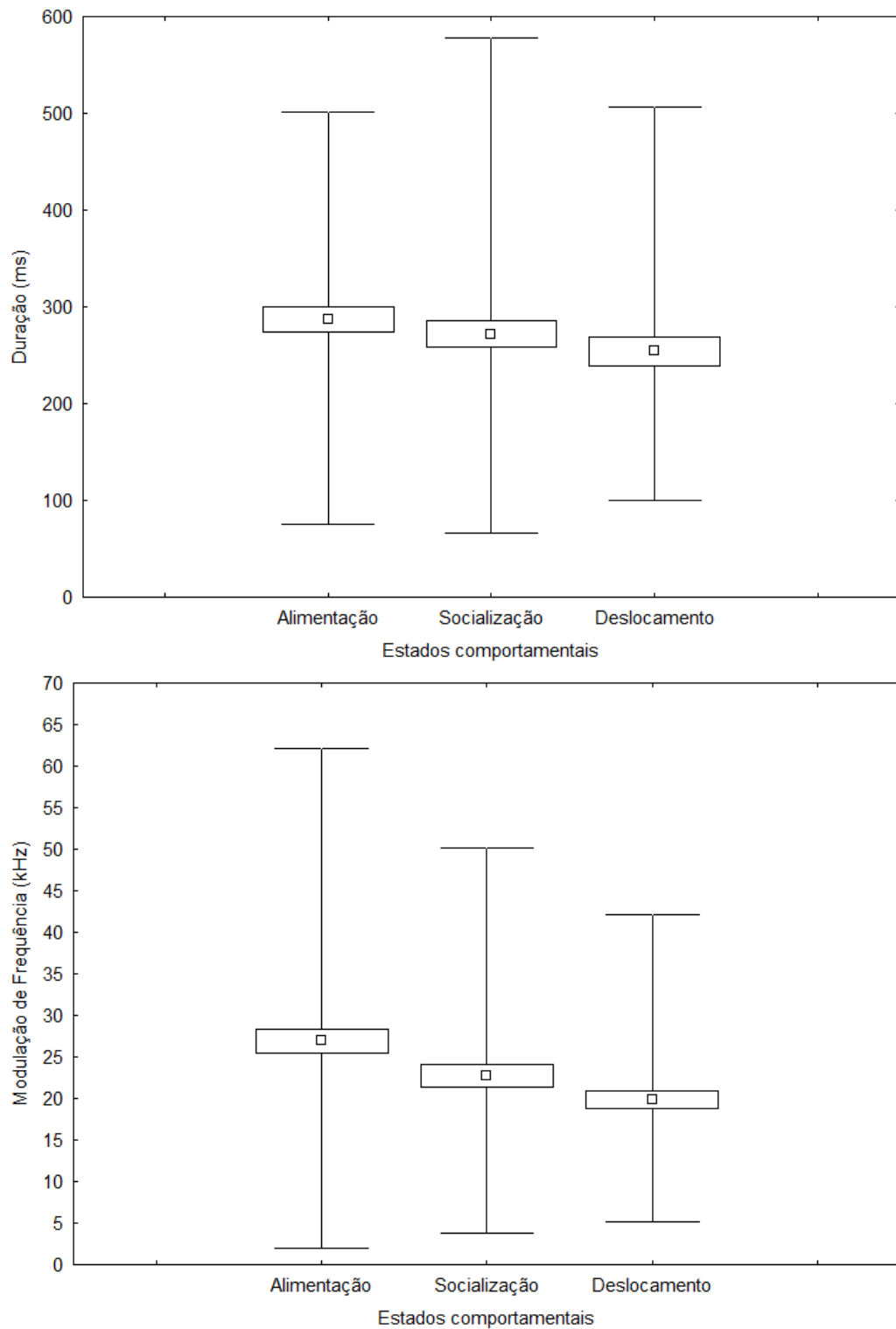


Legenda: Valor médio e erro-padrão da taxa de emissão dos assobios (assobios/minuto/número de indivíduos no grupo) de *Sotalia guianensis* durante os três estados comportamentais observados nas gravações realizadas na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, entre os anos de 2010 e 2014. * estado comportamental que apresentou diferença significativa em relação aos outros comportamentos (teste de Tukey $P < 0,05$).

Fonte: A autora, 2014.

A distribuição dos valores dos parâmetros acústicos de frequência e duração dos assobios está representada na Figura 10, com a mediana, 25% e 75% da distribuição e valores mínimo e máximo.

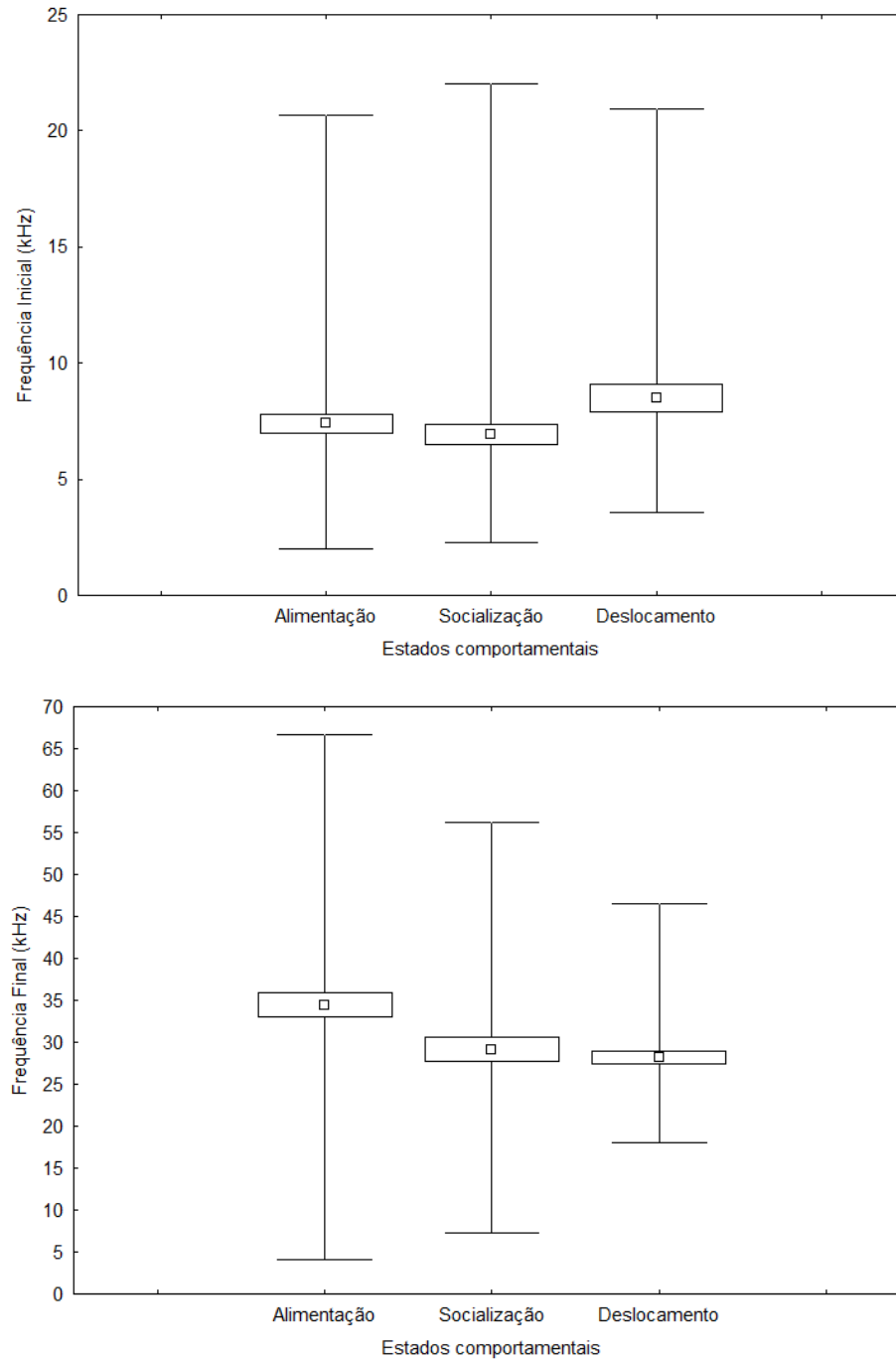
Figura 10 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de duração (ms) e modulação de frequência (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

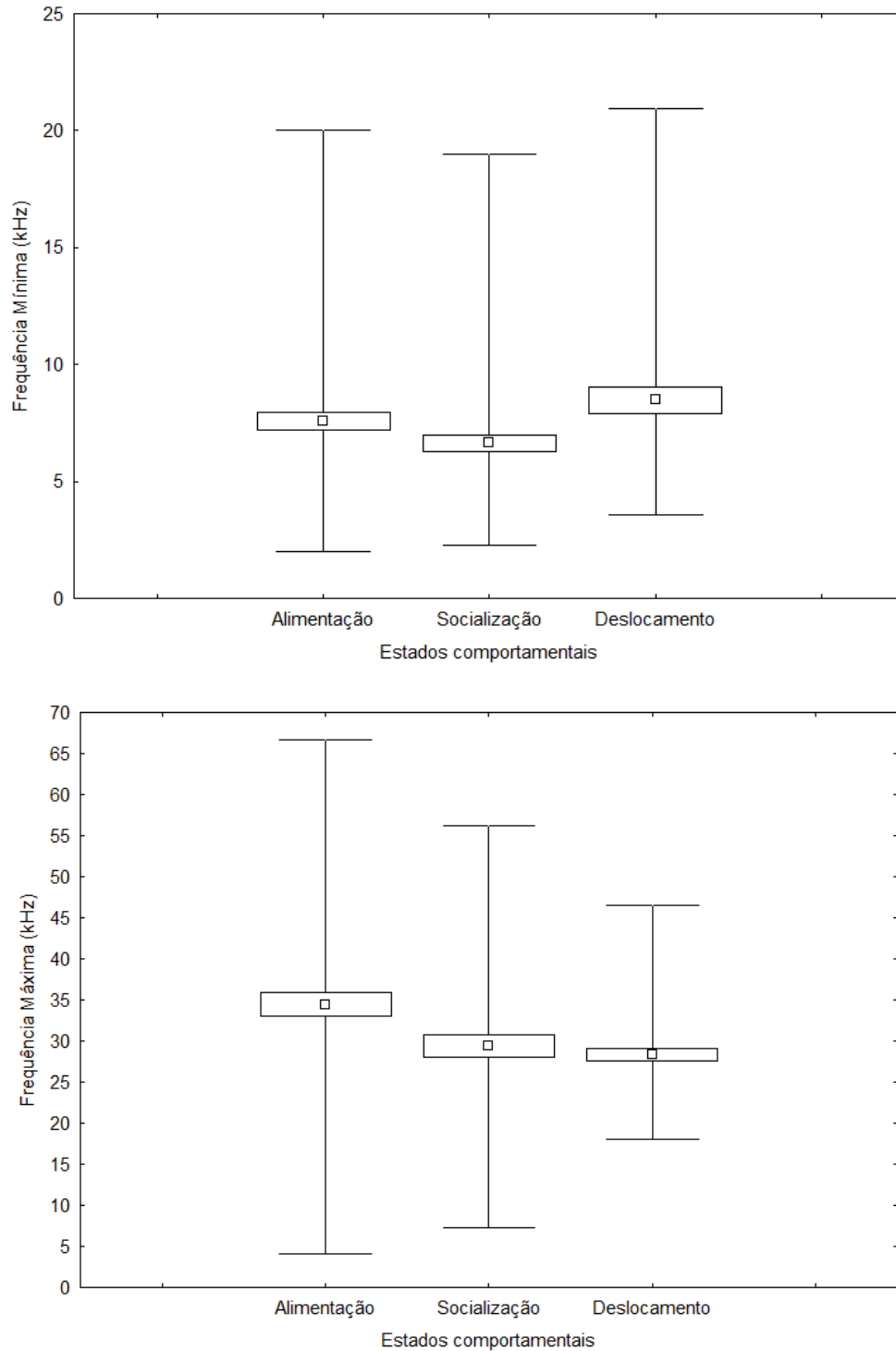
Fonte: A autora, 2014.

Figura 10 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



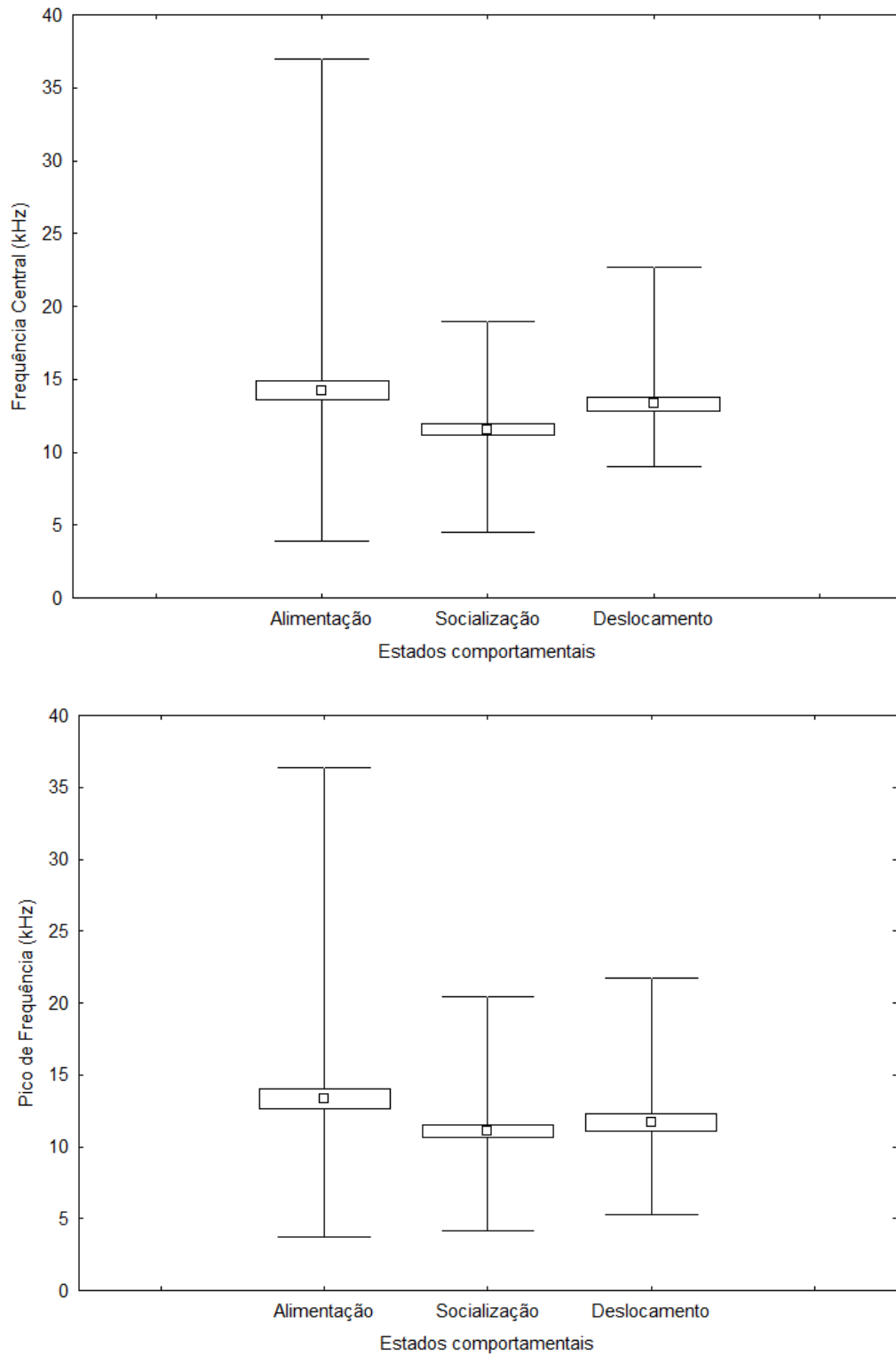
Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência inicial e final (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.
 Fonte: A autora, 2014.

Figura 10 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



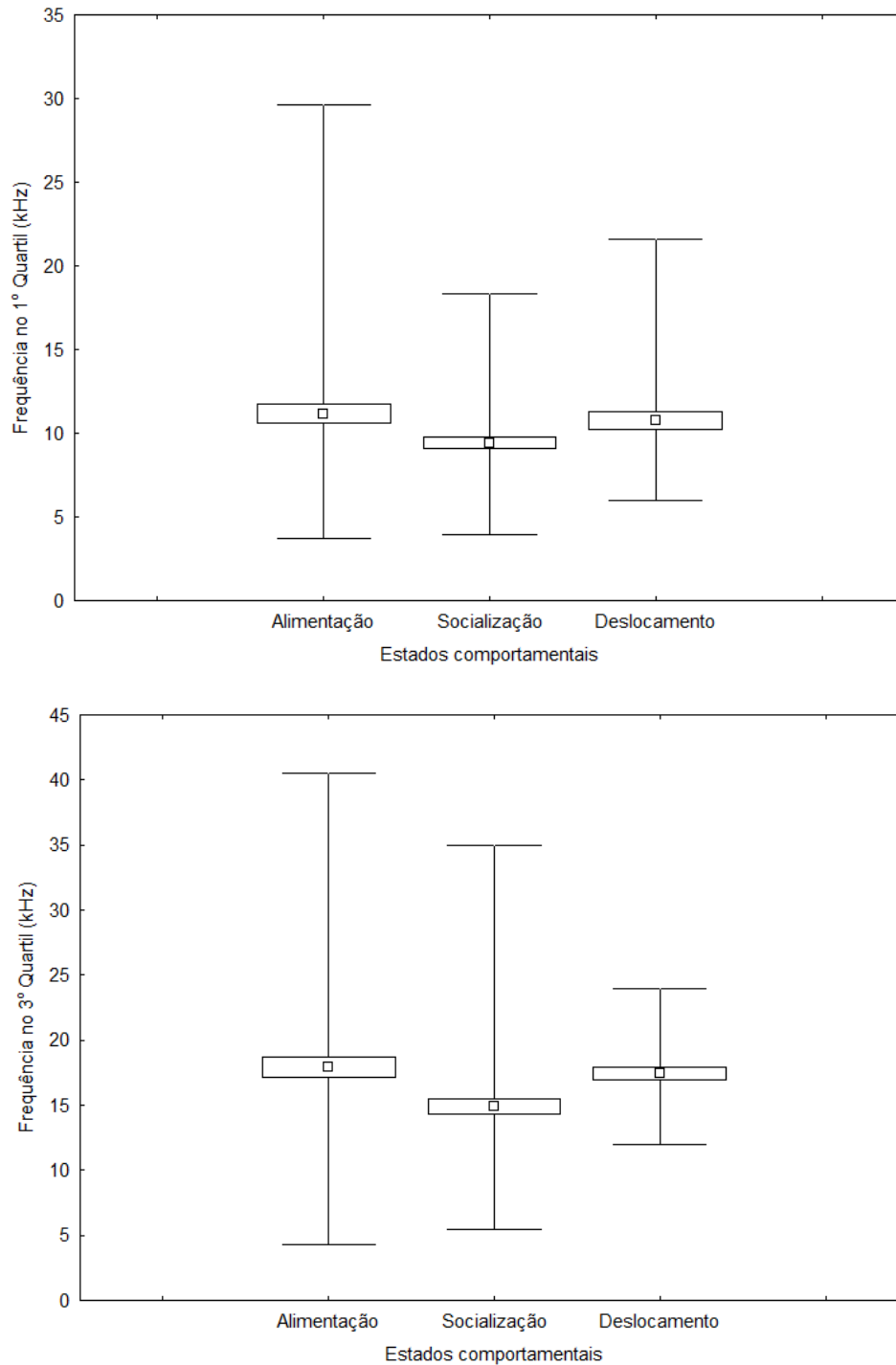
Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência mínima e máxima (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.
 Fonte: A autora, 2014.

Figura 10 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de freqüência central e pico de freqüência (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.
Fonte: A autora, 2014.

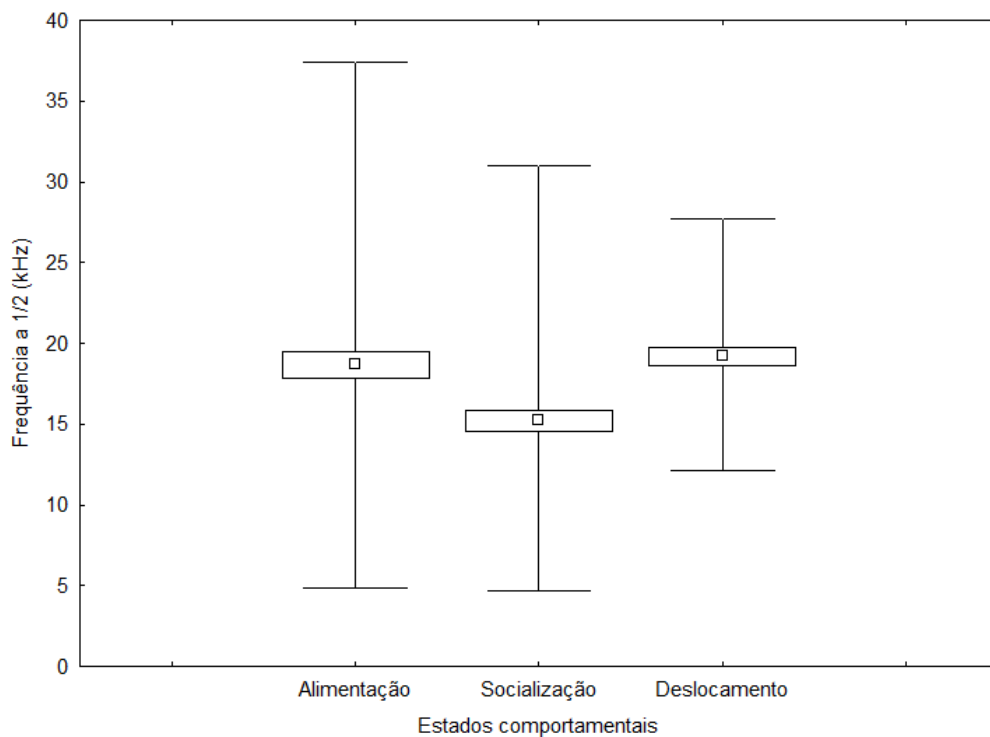
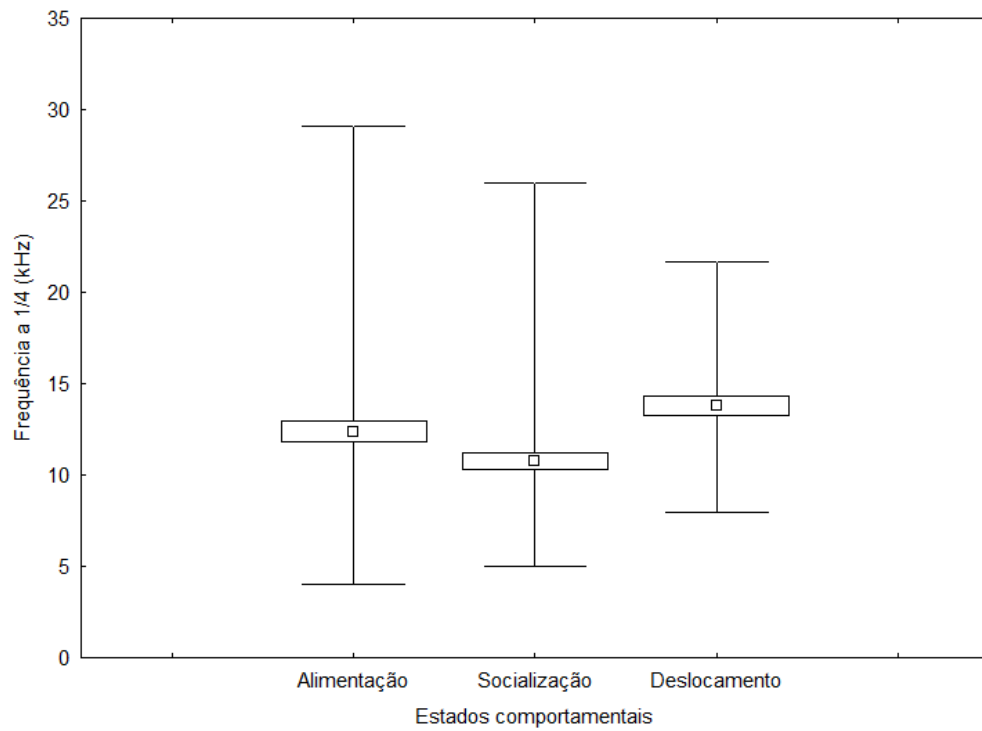
Figura 10 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência no primeiro quartil e no terceiro quartil (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014.

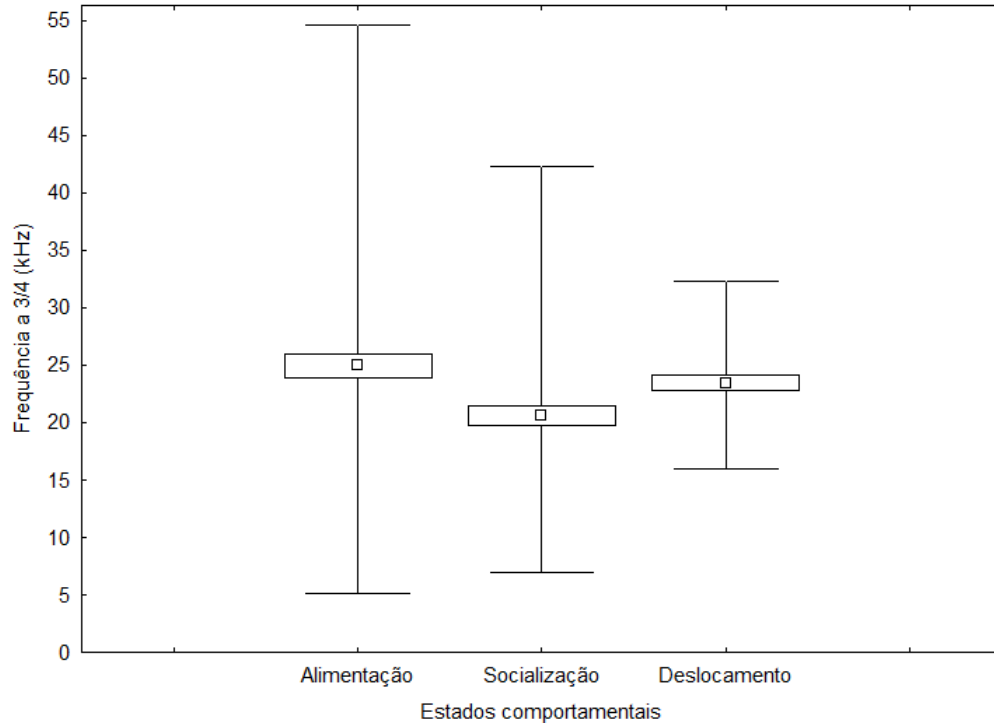
Figura 10 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros frequência a 1/4 da duração e a 1/2 da duração (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014.

Figura 10 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* nos três estados comportamentais, com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (conclusão)



Legenda: Distribuição dos valores do parâmetro de frequência a $\frac{3}{4}$ da duração (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.
Fonte: A autora, 2014.

Na comparação dos assobios entre os três estados comportamentais apresentados por *S. guianensis* houve diferença em 11 parâmetros acústicos: número de harmônico, FI, FF, FMín, FMáx, modulação de frequência, $F^{1/4}$, $F^{1/2}$ e $F^{3/4}$ da duração, frequência central e frequência no 3º quartil (teste de *Kruskal-Wallis*, $p < 0,01$). Na Tabela 8 estão apresentados os resultados do teste de *Tukey* $p < 0,05$. As diferenças nos parâmetros dos assobios foram maiores entre alimentação e socialização (sete parâmetros acústicos), seguidos das diferenças entre deslocamento e socialização (seis parâmetros acústicos) e alimentação e deslocamento (cinco parâmetros acústicos) (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* que apresentaram diferença entre os três estados comportamentais

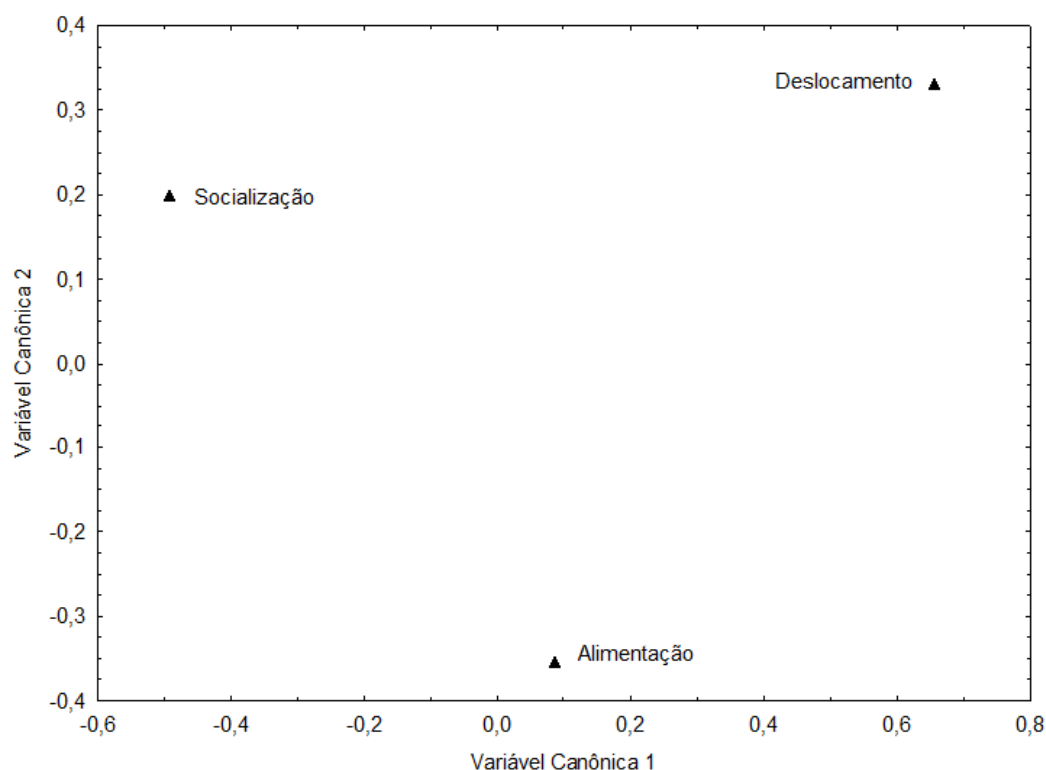
Parâmetros Acústicos	Comparação entre os estados comportamentais		
	Alimentação x Socialização	Alimentação x Deslocamento	Socialização x Deslocamento
Harmônico	NS	30,6 <i>p</i> =0,000022	30,6 <i>p</i> =0,000023
Frequência Inicial	NS	NS	7,0 <i>p</i> =0,019781
Frequência Final	14,3 <i>p</i> =0,004385	14,3 <i>p</i> =0,002502	NS
Frequência Mínima	NS	NS	8,3 <i>p</i> =0,011901
Frequência Máxima	12,3 <i>p</i> =0,009319	12,3 <i>p</i> =0,005003	NS
Modulação de Frequência	11,4 <i>p</i> =0,048496	11,4 <i>p</i> =0,002866	NS
Frequência a ¼	NS	17,2 <i>p</i> =0,043795	17,2 <i>p</i> =0,000068
Frequência a ½	21,3 <i>p</i> =0,000273	NS	21,3 <i>p</i> =0,000061
Frequência a ¾	15,4 <i>p</i> =0,003994	NS	NS
Frequência Central	10,7 <i>p</i> =0,003994	NS	NS
Frequência no 3º quartil	13,8 <i>p</i> =0,003154	NS	13,8 <i>p</i> =0,003151

Legenda: Parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* que apresentaram diferença entre os três estados comportamentais (*Kruskal-Wallis*, $H(2, n=185, p<0,01)$): alimentação $n=76$, socialização $n=68$ e deslocamento $n=41$. Os valores do teste de *Kruskal-Wallis*, $p<0,01$ e o valor de p do teste *a posteriori* de Tukey ($df=182, p<0,05$) estão especificados na tabela, para cada comparação entre os comportamentos. NS= não significativo.

Fonte: A autora, 2014.

A partir da análise das componentes principais, oito parâmetros acústicos que não apresentaram correlação foram selecionados para as análises seguintes. Dessa forma, os parâmetros acústicos de frequência central, modulação de frequência, ponto de inflexão, duração, *step*, frequência no 3º quartil, frequência a ½ da duração e frequência mínima foram utilizados nas análises da função discriminante. Os resultados indicaram diferença nos assobios entre os estados comportamentais (*Wilks' lambda* = 0,7692776; *F* (8,358) = 6,271299 *p*<0,0001). A primeira função discriminante representou 67% da variação entre os comportamentos (*eigenvalue* = 0,19 e correlação canônica = 0,40). Segundo os coeficientes das variáveis canônicas, os parâmetros acústicos que melhor contribuíram para a discriminação entre os comportamentos foram a frequência a ½ da duração, modulação de frequência e ponto de inflexão para a primeira função discriminante e a modulação de frequência e frequência a ½ da duração para a segunda função discriminante. As distâncias de *Mahalanobis* foram maiores entre os comportamentos de socialização e deslocamento ($D^2=1,338527$ $F=8,418118$) e entre alimentação e deslocamento ($D^2=0,796563$, $F=5,216190$) do que entre alimentação e socialização ($D^2= 0,637713$, $F=5,627392$) (Figura 11).

Figura 11 – Valores médios das variáveis canônicas para a comparação pareada entre os assobios de *Sotalia guianensis* nos diferentes estados comportamentais



Legenda: Valores médios das variáveis canônicas da análise discriminante para a comparação pareada entre os assobios de *Sotalia guianensis* produzidos durante os diferentes estados comportamentais (alimentação, socialização e deslocamento) na Baía Guanabara entre os anos de 2010 e 2014.

Fonte: A autora, 2014.

10.2 Comparação dos assobios entre composição de grupo

No total foram 54 grupos analisados, 41 grupos com a presença de filhote e 13 grupos com ausência de filhote. A estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de grupos com e sem a presença de filhote está representada na Tabela 5.

Tabela 5 – Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis*, de acordo com a composição de grupo: grupos com a presença e ausência de filhote (continua)

	Composição de Grupo	
	Grupos com filhote (n=77)	Grupos sem filhote (n=52)
Pontos de Inflexão	0,1±0,4 0-2 4,0	0,3±0,7 0-3 2,3
Step	0,7±0,8 0-3 1,0	0,3±0,5 0-2 1,5
Harmônico	2,0±1,5 0-7 1,0	1,7±1,2 0-5 1,0
Duração	280,4±118,2 46-487 0,4	317,1±126 120-662 0,4
FI	7,3±0,5 1,9-26 0,1	7,7±3,4 3,0-21,2 0,4
FF	33,4±1,3 4,1-66,7 0,04	30,5±9,1 5,2-44,0 0,3
F1/4	12,4±0,6 3,5-29,1 0,05	12,0±5,1 4,4-29,4 0,4
F1/2	18,6±0,7 4,8-37,4 0,04	18,0±6,3 4,4-35,2 0,3
F3/4	24,3±0,8 2,4-54,6 0,03	23±6,3 5,0-34 0,3

Tabela5 – Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* de acordo com a composição de grupo: grupos com a presença e ausência de filhote (conclusão)

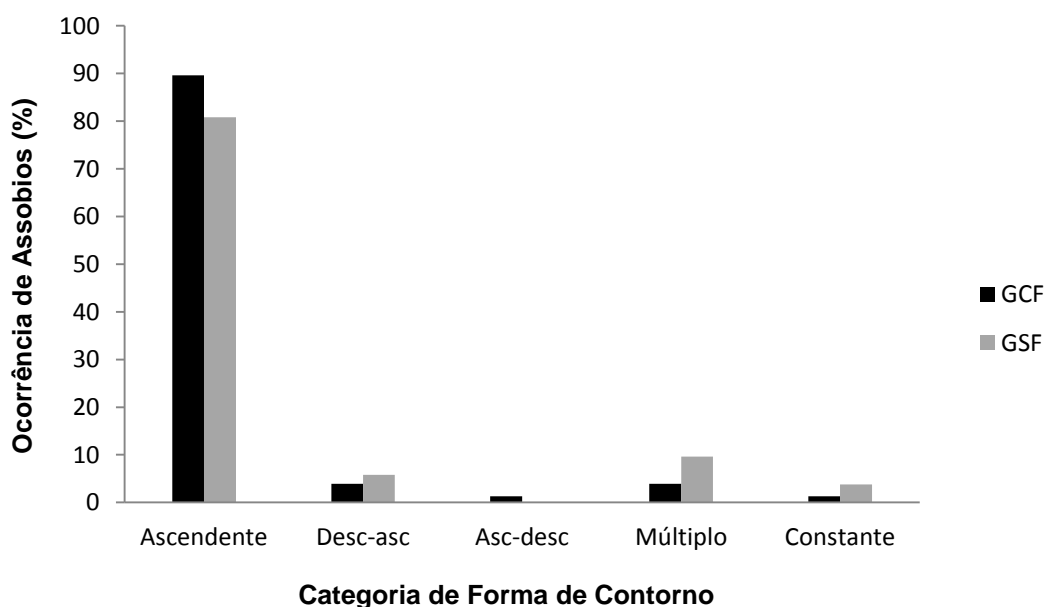
	Composição de Grupo	
	Grupos com filhote (n=77)	Grupos sem filhote (n=52)
FMín.	7,1±0,5 2-26 0,1	8,0±4,3 3,4-30,6 0,5
FMáx.	33,4±1,3 4,1-66,7 0,04	29,4±9,7 6,1-44 0,3
MF	25,0±1,43 2,0-62,1 0,05	21,5±10,1 0,1-35 0,4
FC	13,7±0,6 4,0-37,0 0,04	13,4±3,7 4,5-22 0,3
PF	13,0±0,6 3,4-36,4 0,04	12,3±3,7 4,5-19,7 0,3
F1Q	11,1±0,5 3,4-31,5 0,04	10,6±3,2 4,5-18,7 0,3
F3Q	18±0,8 4,3-45 0,04	17,3±5,2 5,4-35 0,3

Legenda: Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* gravados entre os anos de 2010 e 2014, na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, durante diferente composição de grupo (grupos na presença e ausência de filhotes). Número de assobios (n), média±desvio-padrão, valor mínimo e máximo e coeficiente de variação.

Fonte: A autora, 2014.

A ocorrência das diferentes categorias de forma de contorno não apresentou diferença em relação à composição de grupo (*Chi-square test* ($X^2= 3,697$ $p>0,05$) e houve um predomínio de assobios ascendentes em grupos com a presença e ausência de filhotes (Figura 12).

Figura 12 – Distribuição dos assobios de *Sotalia guianensis* em cada categoria de forma de contorno para grupos com a presença e ausência de filhote

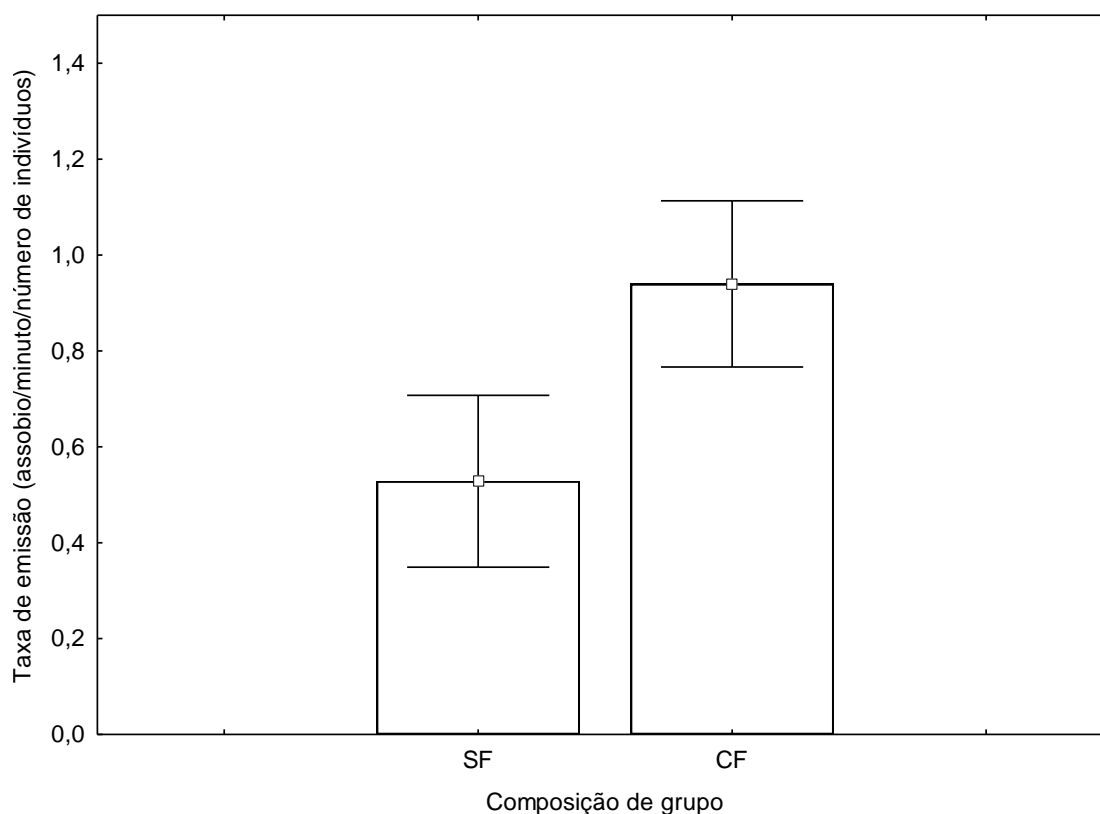


Legenda: Ocorrência de assobios de *Sotalia guianensis* em cada categoria de forma de contorno observada em grupos com a presença de filhote (GCF) (n=77) e ausência de filhote (GSF) (n=52) na Baía de Guanabara.

Fonte: A autora, 2014.

A taxa de emissão dos assobios do boto-cinza foi diferente entre grupos com a presença ($1,2 \pm 2,6$) e ausência de filhote ($0,5 \pm 1,1$) (teste de *Mann-Whitney* $Z=2,04$, $p<0,05$) (Figura 13). Em grupos com a presença de filhote foi observada uma taxa de emissão de até 16 assobios por minuto, por número de indivíduos no grupo, enquanto que em grupos sem filhote foi observada uma taxa de até 6 assobios por minuto, por número de indivíduos no grupo.

Figura 13 – Taxa de emissão dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF)

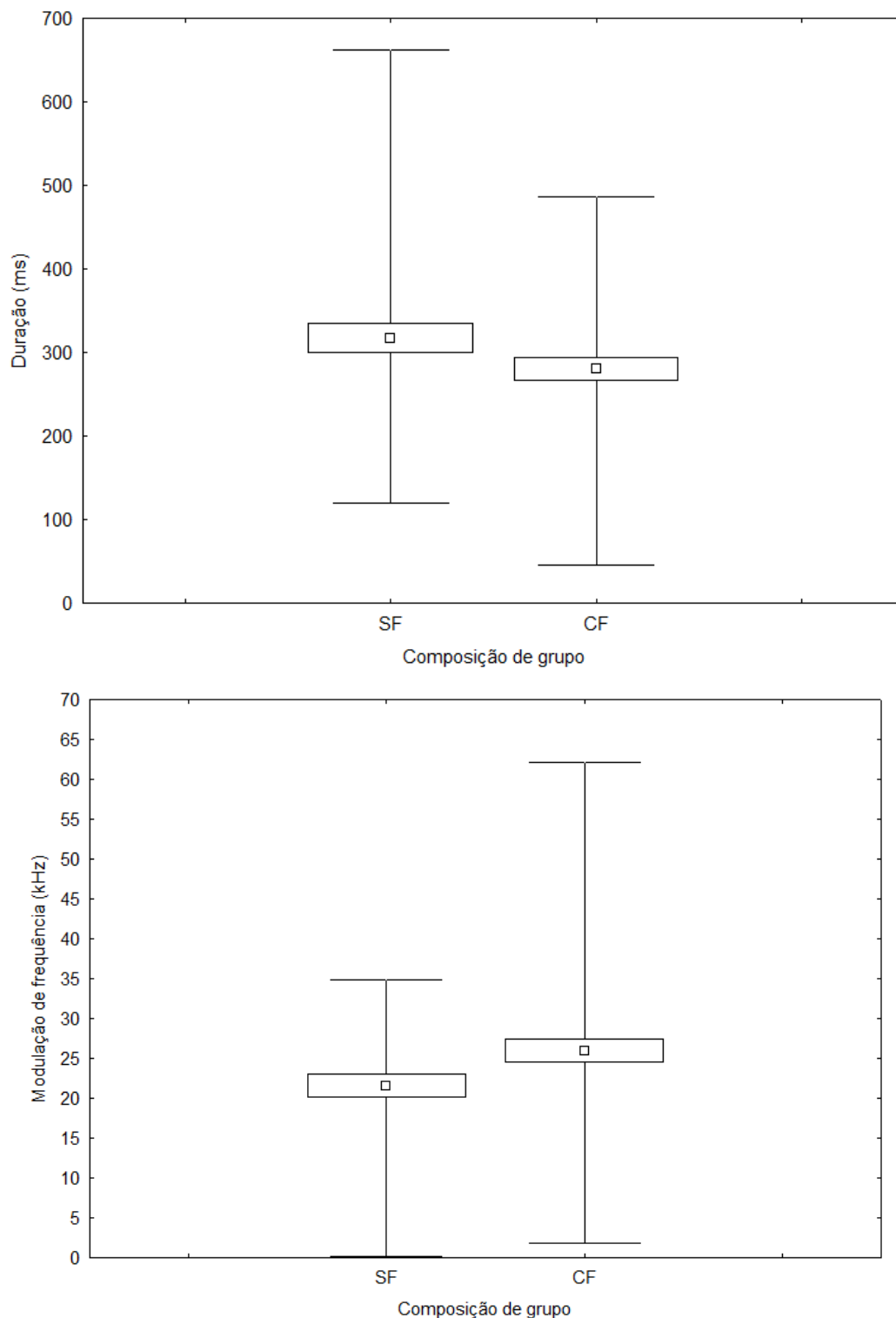


Legenda: Valor médio e erro-padrão da taxa de emissão (assobios/minuto/número de indivíduos no grupo) de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) durante as gravações realizadas na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, entre os anos de 2010 e 2014.

Fonte: A autora, 2014.

A distribuição dos valores dos parâmetros acústicos de frequência e de duração dos assobios em grupos com a presença e ausência de filhote está representada na Figura 14, com a mediana, 25% e 75% da distribuição e valores mínimo e máximo.

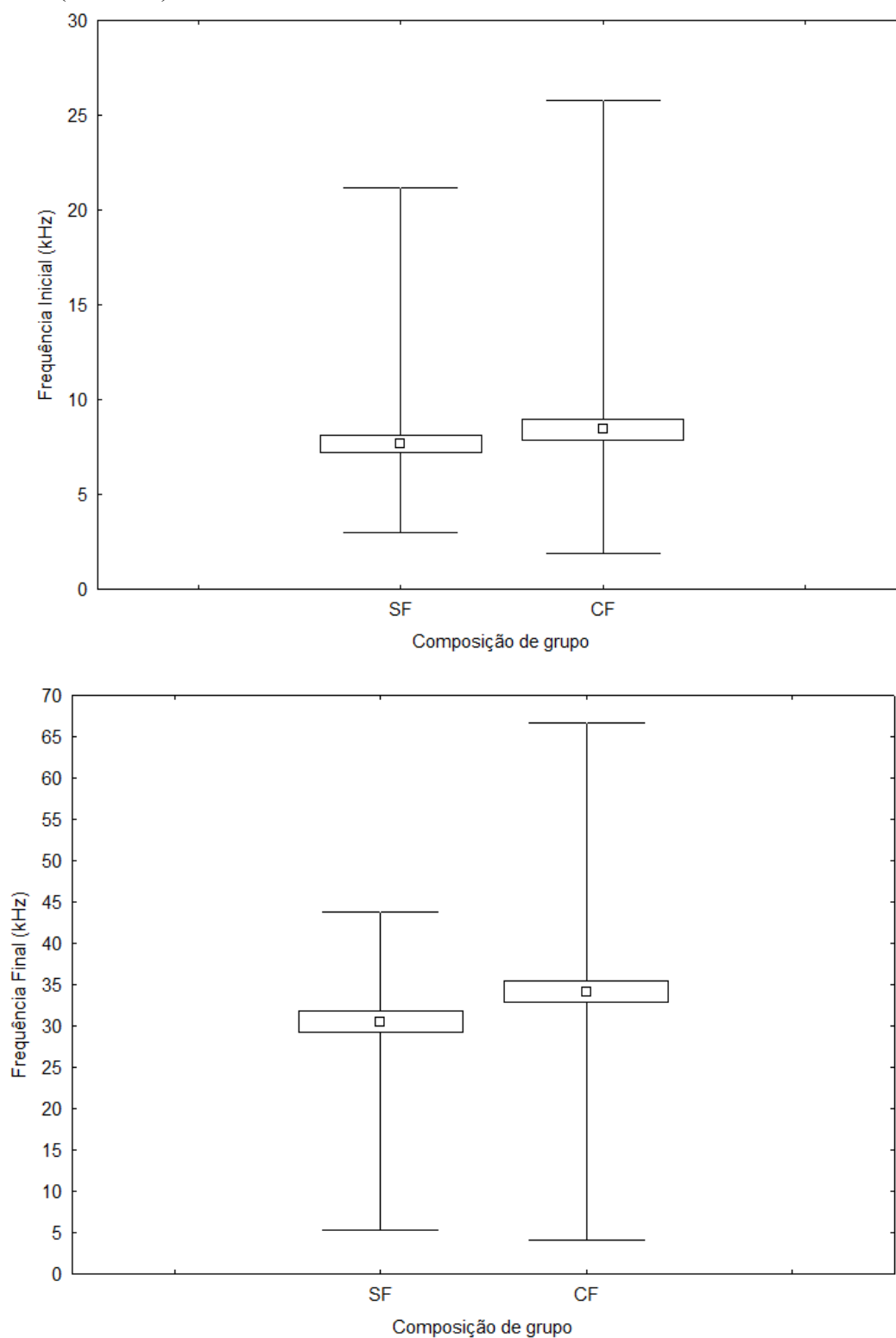
Figura 14 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de duração (ms), e modulação de frequência (kHz), dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos sem e com a presença de filhote. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014

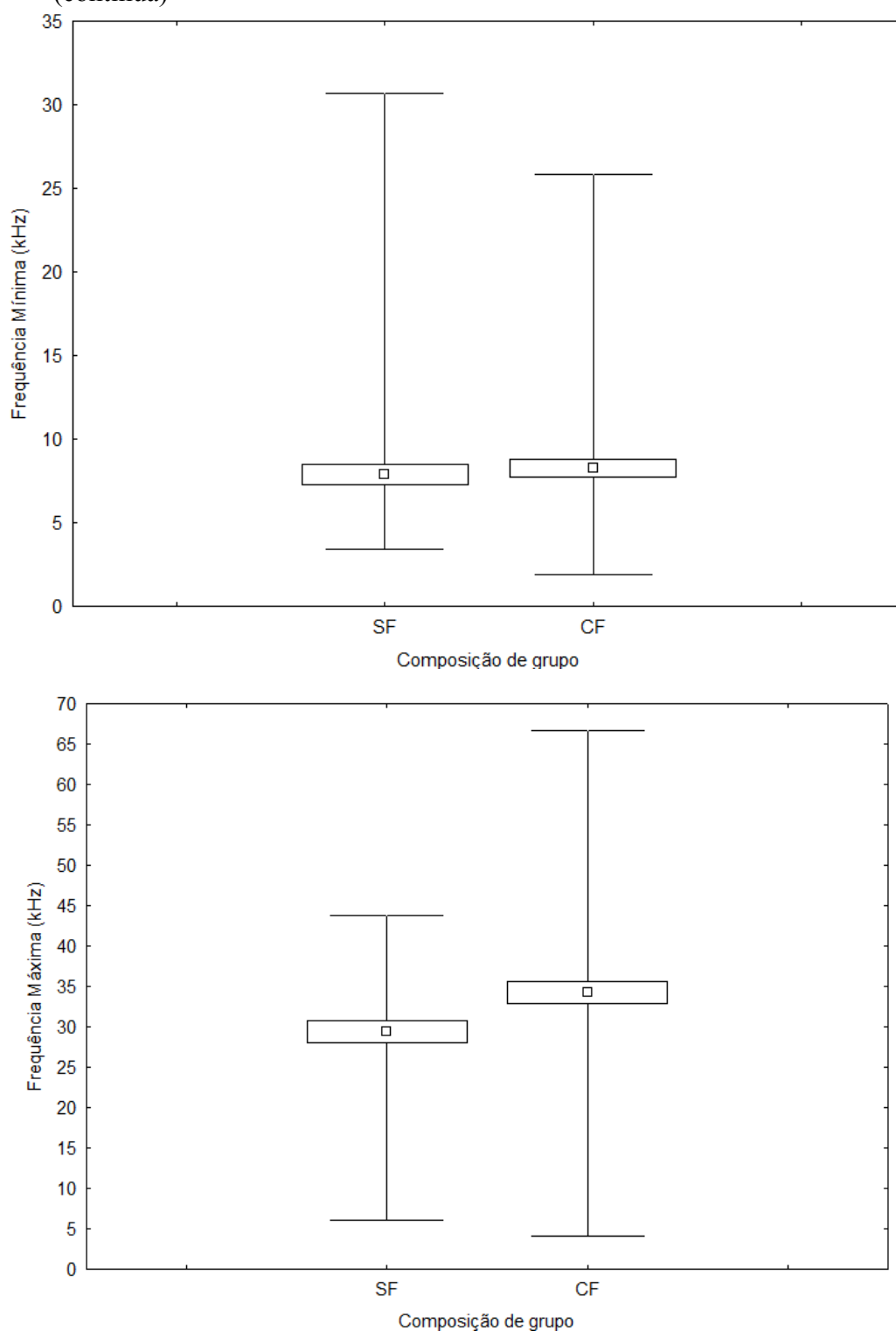
Figura 14 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequências inicial e final, em kHz, dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos sem e com a presença de filhote. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014

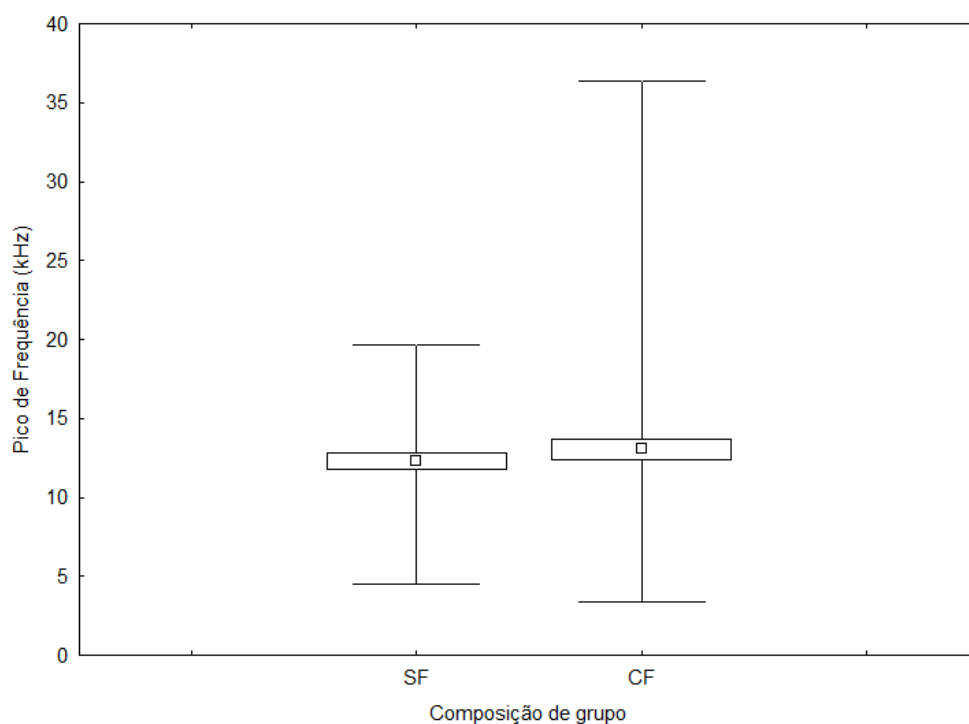
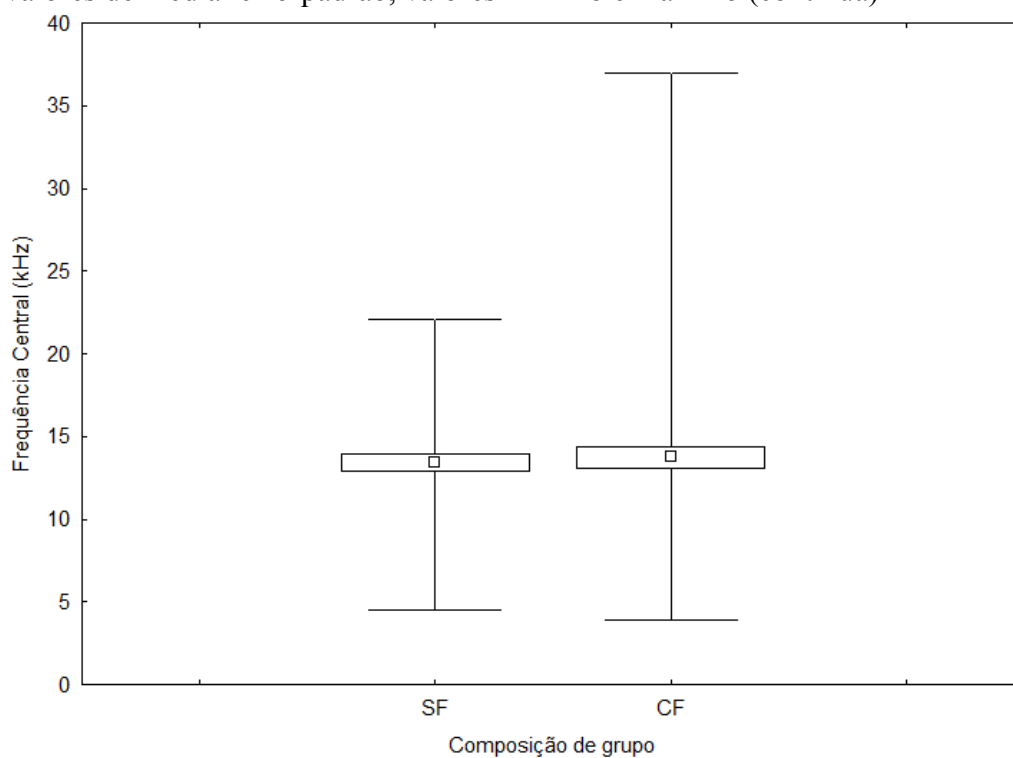
Figura 14 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequências mínima e máxima, em kHz, dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos sem e com a presença de filhote. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014.

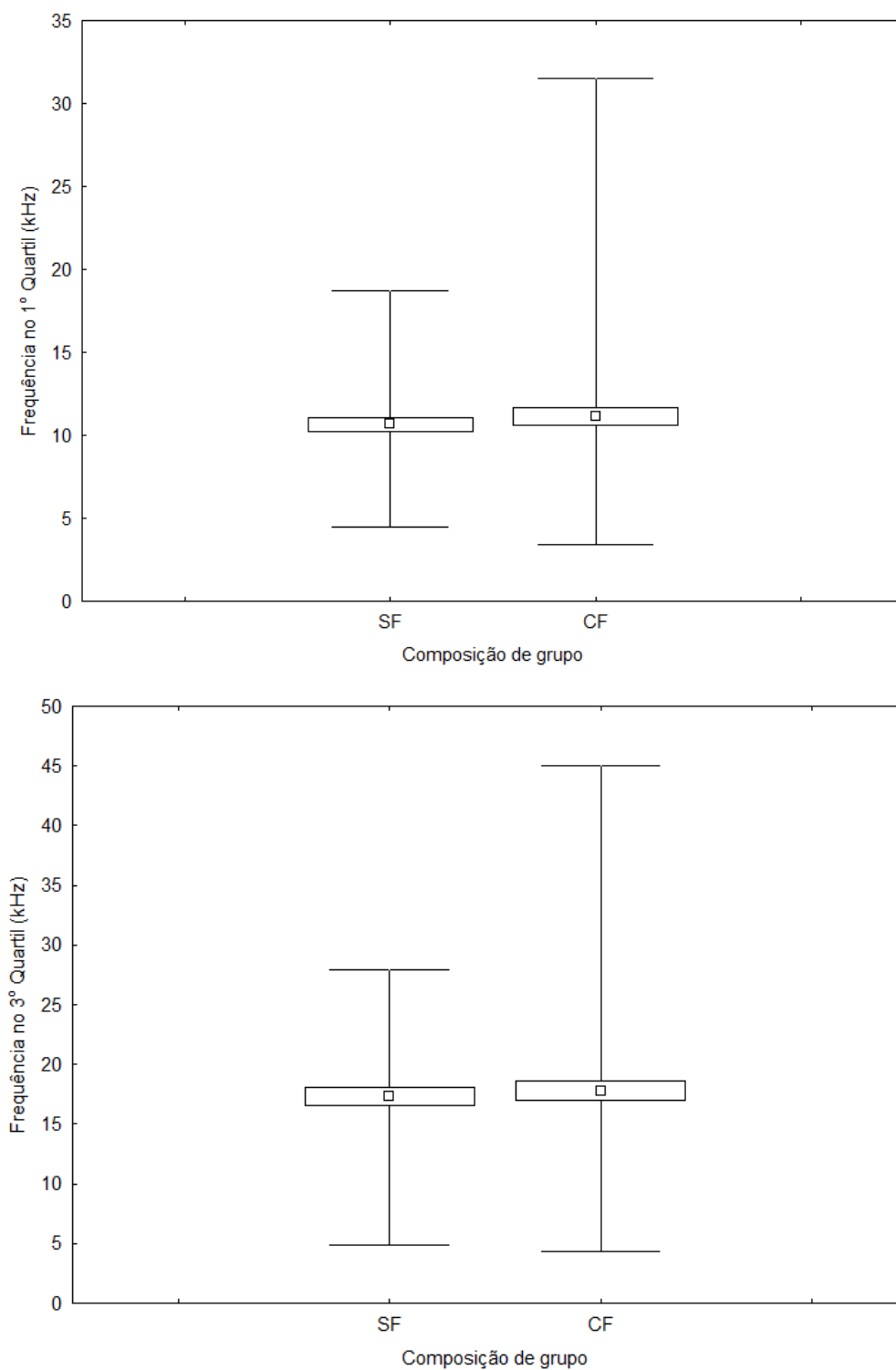
Figura 14 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência central e pico de frequência, em kHz, dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos sem e com a presença de filhote. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014.

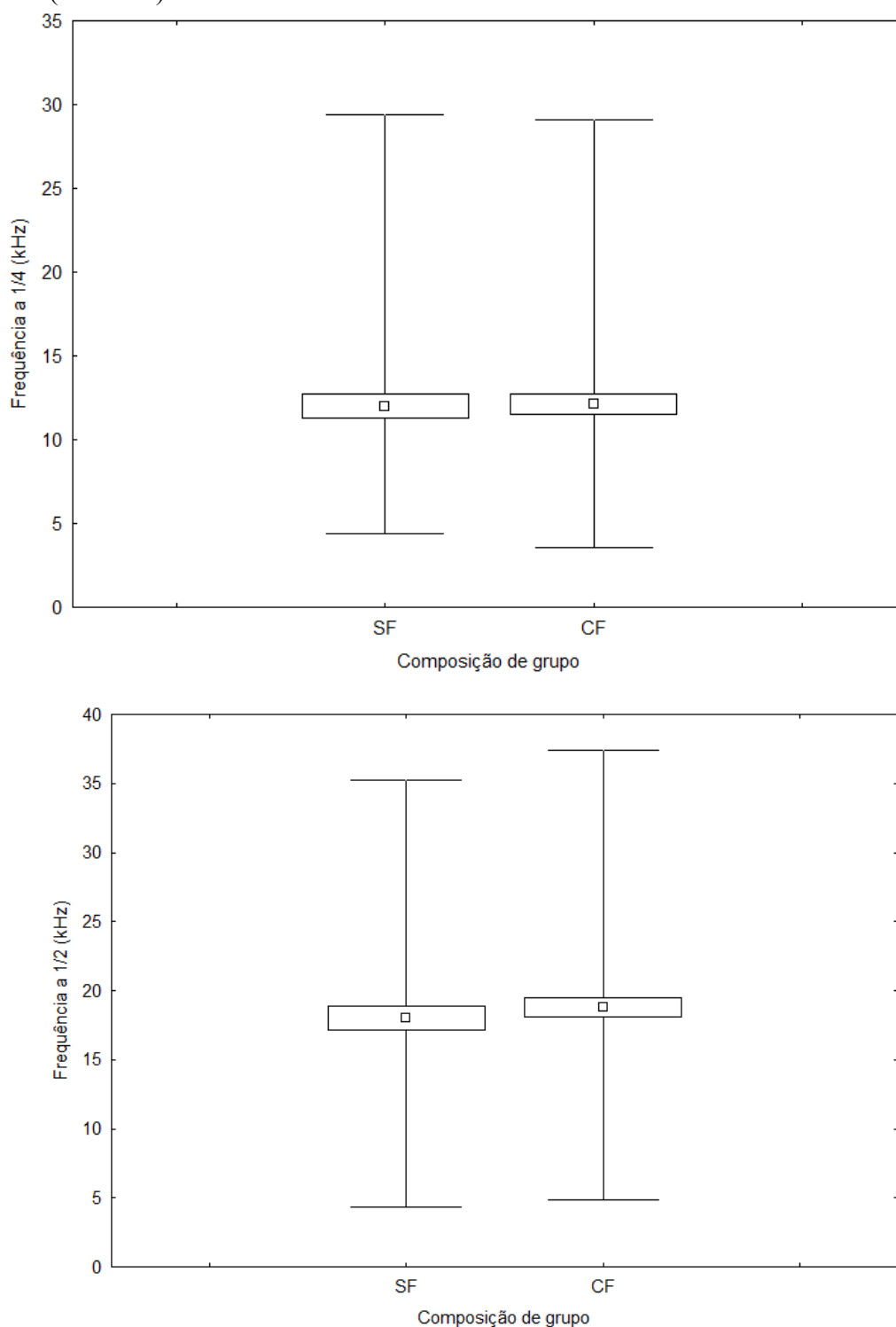
Figura 14 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência no primeiro e terceiro quartil, em kHz, dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos sem e com a presença de filhote. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014

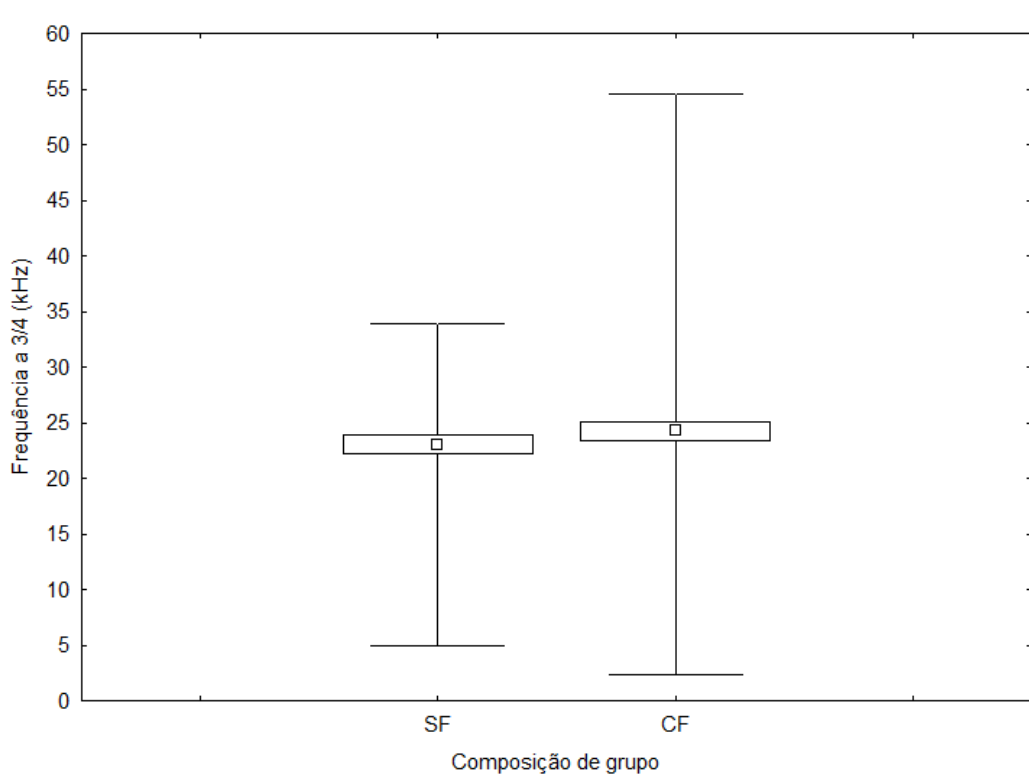
Figura 14 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (continua)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência a $\frac{1}{4}$ da duração e frequência a $\frac{1}{2}$ da duração, em kHz, dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos sem e com a presença de filhote. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014

Figura 14 – Distribuição dos valores dos parâmetros acústicos dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos com a ausência de filhotes (SF) e com a presença de filhote (CF) com valores de média±erro-padrão, valores mínimo e máximo (conclusão)



Legenda: Distribuição dos valores dos parâmetros de frequência a $\frac{3}{4}$ da duração, em kHz, dos assobios de *Sotalia guianensis* em grupos sem e com a presença de filhote. Média±erro-padrão e valores mínimo e máximo.

Fonte: A autora, 2014

A comparação dos assobios entre composição de grupo apresentou diferença para os parâmetros de frequência máxima ($Z = -2,96$ $p = 0,003$) e número de *step* ($Z = -2,17$ $p = 0,029$) (Teste de *Mann-Whitney* ($p < 0,05$)). A frequência máxima dos assobios em grupos com filhote foi em média 4 kHz mais alta do que em grupos sem filhote, alcançando até 67 kHz, enquanto que, em grupos sem filhote a frequência máxima foi até 44 kHz.

11 DISCUSSÃO

Durante os diferentes contextos comportamentais de *S. guianensis* na Baía de Guanabara observou-se um repertório acústico com predomínio de assobios ascendentes e de curta duração.

O predomínio de assobios ascendentes é uma característica do repertório acústico dessa espécie e também foi previamente reportado por outros estudos (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; AZEVEDO; SIMÃO, 2002; AZEVEDO; VAN-SLUYS 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; ANDRADE et al. 2015a). No entanto, essa característica não foi reportada para outras espécies de delfínídeos, as quais apresentaram variação das formas de contorno dos assobios entre os diferentes estados comportamentais (DÍAZ-LÓPEZ, 2010; HAWKINS; GARTSIDE, 2010). A espécie *T. truncatus*, por exemplo, produziu assobios ascendentes durante socialização e assobios múltiplos foram mais abundantes durante alimentação (DÍAZ-LÓPEZ, 2010).

A curta duração dos assobios do boto-cinza foi também previamente reportada por outro estudo na Baía de Guanabara (ANDRADE et al. 2015a). Os autores reportaram valor médio de duração dos assobios de 272 ms e compararam com os assobios da mesma espécie em outras duas baías costeiras (ANDRADE et al. 2015a). O mesmo padrão foi observado para os assobios de *S. guianensis* em outras áreas de sua distribuição (e.g. 229,0±110,0 ms, PIVARI; ROSSO, 2005; 308,0±137,0 ms, AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005). De acordo com os estudos prévios e com os resultados encontrados no presente estudo, a forma de contorno ascendente e a curta duração dos assobios de *S. guianensis* são características que podem ser utilizadas para identificar a espécie, visto que, foram reportadas em diferentes populações desta espécie.

Adicionalmente, os assobios do boto-cinza apresentaram altos valores de modulação de frequência nos três contextos comportamentais. Essa característica reflete o largo alcance de frequência no qual os assobios de *S. guianensis* são produzidos (1,4-66,7 kHz). A utilização do sistema de gravação com taxa de amostragem de 192 kHz permitiu cobrir o alcance de frequência e caracterizar amplamente o repertório de assobios do boto-cinza.

O presente estudo caracterizou assobios de *S. guianensis* com valor de frequência máxima maior do que os valores previamente reportados em outros estudos dos assobios da espécie no Brasil e na Costa Rica (Tabela 6). Este é o primeiro estudo que registrou assobios

de *S. guianensis* com frequências acima de 50 kHz, e frequência máxima de aproximadamente 67 kHz (ANDRADE et al. 2015b).

Tabela 6 - Taxa de amostragem e alcance de frequência dos assobios de *Sotalia guianensis* reportados por estudos com a espécie na Costa Rica e no Brasil, incluindo o presente estudo.

	Taxa de Amostragem (kHz)	Alcance de Frequência (kHz)
Azevedo e Simão (2002)	36	0,5-18
Erber e Simão (2004)	48	1,0-17,4
Azevedo e Van Sluys (2005)	48	1,3-23,8
Pivari e Rosso (2005)	36	1,0-17,9
Figueiredo e Simão (2009)	48	2,3-18
Deconto e Monteiro-Filho (2013)	96	1,9-46,8
Andrade et al. (2015a)	96	1,0-44,9
May-Collado e Wartzok (2009)*	200-250	1,4-48,4
May-Collado (2013)*	384 - 500	1,1-48,4
Presente estudo	192	1,4-66,7

*Estudos realizados na Costa Rica

Fonte: A autora, 2014.

O presente estudo utilizou o dobro da taxa de amostragem de frequência, comparado aos estudos mais recentes com os assobios de *S. guianensis* no Brasil (DECONTO; MONTEIRO-FILHO, 2013; ANDRADE et al. 2015a). Estudos realizados na Costa Rica utilizaram um sistema de gravação com a maior taxa de amostragem de frequência utilizada

para gravar os assobios do boto-cinza MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; MAY-COLLADO, 2013), no entanto, esses estudos reportaram assobios de *S. guianensis* com frequência máxima até 48 kHz. Dessa forma, o largo alcance de frequência dos assobios encontrado no presente estudo pode indicar uma característica distinta da população de botos-cinza na Baía de Guanabara, especialmente porque assobios com alcance de frequência superior aos 48 kHz foram comuns na população estudada. Contudo, deve ser ressaltado que o conhecimento sobre as características dos sinais sonoros de *S. guianensis* tem aumentado com o uso de sistemas de banda larga e, portanto, as altas frequências emitidas na Baía de Guanabara devem ser investigadas também em outras áreas.

A emissão dos assobios do boto-cinza de alta frequência pode estar relacionada às funções específicas para a comunicação e à adaptação ao habitat. Assobios de alta frequência foram registrados na presença de filhotes durante alimentação e socialização, comportamentos caracterizados pela coesão e contato entre indivíduos do grupo. Emissões de assobios de alta frequência podem estar exercendo um importante papel durante esses comportamentos. Segundo May-Collado (2013) a emissão de assobios de *S. guianensis* com altas frequências pode estar relacionada a estratégias de comunicação de curto alcance. As gravações dos assobios na Baía de Guanabara foram realizadas com grupos nos quais os indivíduos estavam no máximo 10 metros entre si, o que pode ser uma das razões para maior quantidade de assobios de alta frequência emitidos para manter a coesão do grupo.

A característica do ambiente é outro fator que pode estar influenciando a emissão de assobios de curta duração e altos valores de frequência máxima. Andrade et al. (2015a) observaram que assobios de *S. guianensis* com frequências mais altas na Baía de Guanabara do que nas outras áreas, podem estar relacionados com as características acústicas do ambiente, visto que, essa baía apresenta um alto tráfego de embarcações. O ambiente acústico na Baía de Guanabara foi caracterizado recentemente com altos níveis sonoros, em média 112 dB em frequências de 187 Hz e 76 dB em frequências de acima de 15 kHz, relacionados à presença de navios e ao tráfego de embarcações (BITTENCOURT et al. 2014). A poluição sonora no ambiente pode estar influenciando as características das emissões dos assobios de *S. guianensis* e os assobios de alta frequência podem ser um caminho de compensação para evitar o mascaramento pelo ruído no ambiente. No entanto, estudos futuros dos assobios dessa espécie em outras áreas de sua distribuição, com o mesmo sistema de gravação, são relevantes para verificar a ocorrência dos assobios de alta frequência em outras populações.

O boto-cinza possui um alcance audível até 135 kHz, o que indica que essa espécie está apta para detectar assobios com altas frequências (SAUERLAND; DEHNHARDT, 1998). Além disso, a espécie apresenta pequeno porte e segundo alguns estudos, pequenos cetáceos tendem a produzir emissões sonoras com frequências máximas mais altas quando comparadas com cetáceos de grande porte (WANG; WURSIG; EVANS, 1995a; MATTHEWS et al. 1999; MAY-COLLADO; ARGNARSSON; WARTZOK, 2007a). Segundo Wang et al. (1995a) os valores de frequência máxima dos assobios apresentam uma relação inversa com o tamanho do corpo. Esse estudo comparou os assobios de sete espécies de odontocetos (*Inia geoffrensis* (Blainville, 1817), *T. truncatus*, *L. obscurus*, *S. longirostris*, *S. frontalis*, *S. attenuata* e *Sotalia fluviatilis* (Gervais e Deville, 1853)) e reportou as espécies com maior tamanho corporal emitem assobios com valores de frequência máxima, menores quando comparadas às espécies de pequeno porte (WANG et al. 1995a). No entanto, assobios com frequência fundamental a partir de 37,6 kHz foram reportados para a espécie *O. orca*, o delfínídeo com o maior tamanho corporal, (SIMONIS et al. 2012). Os assobios de alta frequência de *O. orca* reportados por Simonis et al. (2012) apresentaram frequência fundamental acima de 20 kHz, com valores de frequência ultrassônicos. Assobios com frequências até 75 kHz foram reportados para a mesma espécie em três populações no Oceano Atlântico Norte (SAMARRA et al. 2010). Em contraste, os assobios de *S. guianensis* apresentaram frequência fundamental com valores iniciais dentro do intervalo audível para espécie humana (20 Hz – 20 kHz) e valores finais de no máximo 67 kHz.

O extenso alcance de frequência dos assobios de *S. guianensis* descritos no presente estudo não foi reportado para outras espécies de delfínídeos, o que pode indicar uma característica distinta no nível de espécie ou população. Contudo, estudos dos assobios de outras populações de *S. guianensis*, utilizando a mesma taxa de amostragem de frequência, são relevantes para determinar o alcance de frequência dessa espécie em outras localidades.

As variações na taxa de emissão dos assobios estiveram relacionadas aos estados comportamentais e à composição de grupo. A taxa de emissão dos assobios foi maior para o comportamento de socialização e em grupos com a presença de filhote. Durante interações sociais, os indivíduos mantêm contato, que possivelmente, contribui para um aumento na emissão dos assobios. Essa variação foi reportada por estudos prévios dos assobios de *S. guianensis* (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001). Os autores reportaram o predomínio de 95% dos assobios do boto-cinza emitidos durante deslocamento no estuário de Cananéia em São Paulo (MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001), enquanto, Erber e Simão (2004) reportaram a maior taxa de emissão de assobios de *S. guianensis* na Baía de Sepetiba, durante

alimentação. Pivari e Rosso (2005) reportaram para a mesma população um maior número de assobios emitidos durante alimentação, em grupos com pares de fêmea e filhote. Os autores sugeriram a relação do número de assobios emitidos com a comunicação entre fêmea e filhote no grupo (PIVARI; ROSSO, 2005). A emissão de assobios de *S. guianensis* em relação aos estados comportamentais é variável, conforme foi observado no presente estudo e previamente. Estudos com os assobios de outras espécies de delfínídeos têm reportado o predomínio de assobios durante socialização, como por exemplo, para as espécies *O.orca* (THOMSEN; FRANCK; FORD, 2002) *S. longirostris* (BAZÚA-DURÁN; AU 2004) e *Tursiops truncatus* (dos SANTOS et al. 2005). Henderson et al. (2012) observaram maior taxa de emissão de assobios de *Delphinus* spp. durante deslocamento rápido. A emissão de assobios de *T. truncatus* e *T. aduncus* foi maior durante alimentação (ACEVEDO-GUTIÉRREZ; STIENESSEN, 2004; HAWKINS; GARTSIDE, 2010, respectivamente). Os autores sugeriram que a alta taxa de emissão dos assobios nesse comportamento está associada à possibilidade de atrair outros indivíduos para cooperação e defesa contra predadores (ACEVEDO-GUTIÉRREZ; STIENESSEN, 2004; HAWKINS; GARTSIDE; 2010). Um estudo recente dos assobios de *T. truncatus*, com a utilização de uma rede de microfones, verificou uma alta taxa de emissão de assobios durante o comportamento denominado movimento não polarizado, onde os indivíduos se deslocam em diferentes direções (QUICK; JANIK, 2008). Com isso, é possível observar que os assobios apresentam importante função na comunicação para *S. guianensis*, assim como para outras espécies de delfínídeos. A emissão de assobios pode ocorrer em variados contextos sociais, para manter a coesão de grupo durante deslocamento, forrageio e para a interação entre indivíduos.

Adicionalmente outros fatores, como características de grupo e do habitat podem estar influenciando a taxa de emissão dos assobios. Até o presente, a variação dos assobios, em função da composição de grupo é desconhecida para *S. guianensis*. Os resultados demonstraram que a presença ou ausência de filhotes afetou a taxa de emissão dos assobios do boto-cinza. O número de assobios de *S. guianensis* emitidos foi até dez vezes maior em grupos com filhote. A comunicação entre fêmeas e filhotes possivelmente foi o principal fator para o aumento da emissão de assobios. A taxa de emissão é importante na comunicação entre fêmeas e filhotes, na coesão de grupo durante diferentes atividades e transmissão de informação em situações específicas. Um estudo realizado com pares de fêmeas e filhotes de *Tursiops* sp., examinou o contexto e padrão da emissão de assobios específicos denominados “assobios assinatura” (SMOLKER; MANN; SMUTS, 1993). Os autores verificaram o aumento desses assobios principalmente quando o filhote estava afastado da fêmea, e

sugeriram que esse aumento está relacionado à manutenção do contato entre fêmea e filhote. Além disso, por meio de observações subaquáticas, os autores observaram que na situação de separação, as fêmeas não pareciam estar emitindo assobios como frequentemente foi observado para os filhotes. Nesse sentido, é possível que, a maior taxa de emissão dos assobios de *S. guianensis* em grupos com filhote esteja associado à relação entre o par de fêmea e filhote. Contudo, não devem ser descartadas as interações dos filhotes com outros indivíduos do grupo, uma vez que esses podem exercer algum tipo de cuidado aloparental, em que outras fêmeas cuidam do filhote, como é observado na Baía de Guanabara. O mesmo padrão foi reportado na espécie *S. frontalis* que produziu assobios principalmente durante reuniões de fêmeas e filhotes e comportamento aloparental, onde outras fêmeas participam cooperam nos cuidados de outros filhotes (HERZING, 1996).

Diferente do que foi reportado no presente estudo, Hawkins e Gartside (2010) reportaram um aumento na taxa de emissão dos assobios em grupos sem a presença de filhote da espécie *T. aduncus*. Os mesmos autores sugeriram a utilização de uma estratégia anti-predação, visto que, indivíduos fotoidentificados da mesma população apresentaram marcas de ataques de tubarões (HAWKINS; GARTSIDE, 2008). Reduzindo a taxa de emissão dos assobios possivelmente diminui o risco de detecção do grupo por potenciais predadores (HAWKINS; GARTSIDE, 2010). Potenciais predadores do boto-cinza não são avistados na Baía de Guanabara e possivelmente a emissão dos assobios na área não está relacionada às estratégias anti-predação.

Comparações intraespecíficas dos assobios das espécies de delfínídeos têm demonstrado a variação nos parâmetros acústicos, o que pode refletir a relação social e o comportamento dos indivíduos (RENDELL et al. 1999). Os parâmetros de frequência dos assobios de *S. guianensis* variaram em função dos estados comportamentais. A frequência a $\frac{1}{2}$ da duração apresentou uma diferença média de até 4 kHz entre socialização e os outros estados comportamentais. Enquanto a modulação de frequência dos assobios apresentou diferença média de até 7 kHz entre alimentação e os outros comportamentos. Os assobios emitidos durante o comportamento de alimentação apresentaram maiores valores de frequência final, frequência máxima e modulação de frequência, quando comparados com os assobios dos outros estados comportamentais. A maioria dos assobios de alta frequência foi emitida durante este mesmo comportamento. A emissão dos assobios de alta frequência pode estar associada à comunicação entre os indivíduos para manter a coordenação do grupo durante o forrageio. No entanto, May-Collado (2013) analisou os assobios de *S. guianensis* em relação aos estados comportamentais, na Costa Rica, e reportou valores mais altos de

modulação de frequência durante o comportamento de socialização, quando comparada com os outros comportamentos.

A diferença encontrada entre os estudos pode estar relacionada à função dos assobios de alta frequência entre as diferentes populações. Vale destacar que *S. guianensis* na Baía de Guanabara apresenta como atividade diurna predominante a alimentação (AZEVEDO et al. 2007b) e os assobios de alta frequência foram registrados principalmente durante esse comportamento. O resultado encontrado destaca a importância dos assobios de alta frequência durante alimentação, no qual, é observada a interação entre indivíduos. Adicionalmente ao estado comportamental, características distintas de cada população de *S. guianensis* e características do habitat podem estar influenciando na diferença dos resultados encontrados nos dois estudos. O mesmo estudo também reportou diferença na duração dos assobios do boto-cinza entre os contextos comportamentais (MAY-COLLADO, 2013). Assobios com curta duração foram predominantes durante o deslocamento (MAY-COLLADO, 2013), no entanto, essa diferença não foi encontrada para os assobios do boto-cinza no presente estudo.

Diferenças nos parâmetros acústicos dos assobios de *S. guianensis* entre grupos com e sem filhotes foram encontradas somente para frequência máxima e número de *steps*. Alguns estudos destacaram a importância de alguns parâmetros acústicos como o número de pontos de inflexão e número de *step* na transmissão de informação em diferentes contextos comportamentais (WEILGART; WHITEHEAD, 1990). Os autores sugeriram que esses parâmetros acústicos apresentam alta variação intraespecífica e podem estar relacionados na identificação individual entre indivíduos. O número de *step* foi maior em grupos com filhote e essa característica pode estar relacionada à comunicação entre fêmeas e filhotes e coesão de grupo.

O estado comportamental foi um fator ecológico importante que contribuiu para a variação dos assobios de *S. guianensis*. Os resultados destacaram a importância da utilização de um sistema de gravação que permite detectar os limites de frequência das emissões sonoras da espécie em estudo e conseqüentemente, permitiram caracterizar seu repertório acústico. Estudos futuros são relevantes para entender a função e o contexto em que esses assobios ocorrem.

12 CONCLUSÃO

Os assobios de *S. guianensis* na Baía de Guanabara apresentaram os maiores valores de frequência registrados para a espécie. A utilização do sistema de gravação com taxa de amostragem de 192 kHz permitiu caracterizar amplamente o repertório e identificar assobios de alta frequência emitidos pelo boto-cinza.

A taxa de emissão e os parâmetros acústicos dos assobios *S. guianensis* variaram em relação ao estado comportamental. As diferenças encontradas reforçam a importância da emissão de assobios nos diferentes contextos comportamentais.

Os parâmetros acústicos de frequência a $\frac{1}{2}$ da duração do assobio e modulação de frequência representaram a maior variação entre os estados comportamentais. Essa variação foi maior entre os assobios emitidos durante socialização e deslocamento e entre alimentação e deslocamento.

Em relação à composição de grupo, os assobios apresentaram uma menor variação dos parâmetros acústicos. A taxa de emissão dos assobios foi aproximadamente três vezes maior em grupos com a presença de filhote, quando comparada com grupos sem filhotes. Os maiores valores de frequência máxima dos assobios foram observados em grupos com filhote.

13 REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-GUTIÉRREZ, A.; STIENESSEN, S. C. Bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* increase number of whistles when feeding. *Aqua. Mamm.*, v. 30, p. 357–362, 2004.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior sampling methods. *Behaviour*, 49: 227–267, 1974.
- ANDRADE, L. G. et al. Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: Using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *Acta Ethol.*, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015a.
- ANDRADE, L. G. et al. High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 137, n. 1, p. EL15-EL19, 2015b.
- ANSMANN, I. C. et in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, United Kingdom, v. 87, p. 19–26, 2007.
- AZEVEDO, A. F.; SIMÃO, S. M. Whistles produced by marine Tucuxi Dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *Aquat. Mamm.*, 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, n. 3, p. 1456-1464, 2005.
- 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. 166 f. Tese de Doutorado. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- AZEVEDO, A. F. et al. Group characteristics of marine tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) (Cetacea: Delphinidae) in Guanabara Bay, south-eastern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, v. 85, p. 209–212, 2005.
- AZEVEDO, A. F. et al. Habitat use by marine tucuxis (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Guanabara Bay, south-eastern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, v. 87, p. 201–205, 2007b.
- BAZÚA-DURÁN, M. C.; AU, W. W. L. Geographic variation in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the Main Hawai`ian Islands. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 116 n. 6, p. 3757-3769, 2004.
- BITTENCOURT, L. et al. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment, *Mar. Pollut. Bull.*, v. 63, p. 5–9, 2014.
- BROWNLEE, S. M.; NORRIS, K. S. The Acoustic Domain. In: The Hawaiian Spinner Dolphin, edited by K. S. Norris, B. Würsig, R. S. Wells, and M. Würsig University of California, Berkeley, CA, 1994.

- BUSNEL, R. G.; DZIEDZIC, A. Acoustic signals of the pilot whale *Globicephala melaena* and of the porpoise *Delphinus delphis* and *Phocoena phocoena*, in: *Whales, Dolphins, and Porpoises* (K. S. Norris, ed.), 1966. 608–648, University of California Press, Berkeley.
- COOK, M. L. H.; et al. Signature-whistle production in undisturbed free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proc. R. Soc. A.* v. 271, p. 1043–1049, 2004.
- DAURA-JORGE, F.G. et al. Seasonal and daily patterns of group size, cohesion and activity of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (P.J. van Bénédén) (Cetacea, Delphinidae), in Southern Brazil. *Rev. Bras. Zool.*, v. 22, p. 1014-1021, 2005.
- DAURA-JORGE, F.G. et al. Behavioral patterns and movement intensity of *Sotalia guianensis* (P.J. van Bénédén) (Cetacea, Delphinidae) in two different areas on the Brazilian coast. *Rev. Bras. Zoo.*, v. 24, p. 265-270, 2007.
- DECONTO, L. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. High initial and minimum frequencies of *Sotalia guianensis* whistles in the southeast and south of Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 134, p. 3899–3904, 2013.
- DÍAZ- LÓPEZ, D. B. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behavior. *Mamm. Biol.*, v. 76, p. 180–189, 2011.
- DOMIT, C. Ecologia comportamental do boto-cinza, *Sotalia guianensis* (van Bénédén, 1864) no complexo estuarino de Paranaguá, estado do Paraná, Brasil. Tese (doutorado em Zoologia) Universidade do Paraná, Curitiba. 2010. 227p.
- dos SANTOS, M. E. et al. Whistles of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the Sado Estuary, Portugal: Characteristics, production rates, and long-term contour stability. *Aquat.Mamm.*, v. 31, p. 453–462, 2005.
- ERBER, C.; SIMÃO, S. M. Analysis of whistles produced by the Tucuxi Dolphin *Sotalia fluviatilis* from Sepetiba Bay, Brazil. *Ann. Brazi. Acad. Sci.*, v.76, n. 2, p. 381-385, 2004.
- 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.
- HAWKINS, E. R.; GARTSIDE, D. F. Social and behavioral characteristics of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) in northern New South Wales, Australia. *Austra. Mamm.* v.30, p. 71–82, 2008.
- HAWKINS, E. R.; GARTSIDE, D. F. Whistle emissions of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) differ with group composition and surface behaviors. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 127, p. 2652-2663, 2010.
- HENDERSON. E. E.; HILDEBRAND, J. A.; SMITH, M. H.; FALCONE, E. A. The behavioral context of common dolphin (*Delphinus* sp.) vocalizations. *Mar. Mammal Sci.*, v. 28, p. 439–460, 2012.

- HERNANDEZ, E. N.; SOLANGI, M.; KUCZAJ, S. A. II. Time and frequency parameters of bottlenose dolphin whistles as predictors of surface behavior in the Mississippi Sound. *J. Acoust. Soc. Am.* 127, 3232–3238, 2010.
- HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *Aqua. Mamm.*, v. 22, p. 61–79, 1996.
- JACOBS et al. Seasonal changes in vocalizations during behavior of the atlantic bottlenose dolphin. *Estuaries*, v. 16, n. 2, p. 241-246, 1993.
- JONES, G. J.; SAYGH, L. S. Geographic variation in rates of vocal production of free-ranging bottlenose dolphins. *Mar. Mammal. Sci.*, v. 18, p. 374–393, 2002.
- LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L. Directionality in the whistles of hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): a signal feature to cue direction of movement? *Mar. Mammal Sci.*, v. 19, n. 2, p. 249–264, 2003.
- LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L.; HERZING, D. L. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 114, n.3, p. 1629-1639, 2003.
- MANN, J. Unraveling the dynamics of social life—Long-term studies and observational methods. In: MANN, J.; CONNOR, R. C.; TYACK, P. L.; WHITEHEAD, H. (Eds.) *Cetacean Societies—Field Studies of Dolphins and Whales*, University of Chicago Press, Chicago, 2000. 45–64.
- MATTHEWS, J. N. et al. A review of frequency and time parameters of cetacean tonal calls. *Bioacoustics*, v. 10, p. 47-71, 1999.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A comparison of bottlenose dolphin whistles in the Atlantic ocean: factors promoting whistles variation. *J. Mamm.*, v. 89, p. 1229-1240, 2008.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 125, p. 1202–1213, 2009.
- MAY-COLLADO, L. J. Guyana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Costa Rica emit whistles that vary with surface behaviors. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 134, p. EL359–EL365, 2013.
- MAY-COLLADO, L. J.; AGNARSSON, I.; WARTZOK, D. Reexamining the relationship between body size and tonal signals frequency in whales: A comparative approach using a novel phylogeny. *Mar. Mammal Sci.*, v. 23, p. 524–552, 2007a.
- MAY-COLLADO, L. J.; ANARSSON, I.; WARTZOK, D. Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. *BMC Evol. Biol.*, 2007b v. 7, 136p. 2007b.
- McGARIGALL, K.; CUSHMAN, S.; STAFFORD, S. *Multivariate statistics for wildlife and ecology research*. Springer, 2000. 283p.

MILLER, P. J. O. Mixed-directionality of killer whale stereotyped calls: A direction of movement cue? *Behav. Ecol. Sociobiol.*, v. 52, 262–270, 2002.

MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Comportamento de caça e repertório sonoro do golfinho *Sotalia brasilienses* (Cetacea, Delphinidae) na região de Cananeia, SP. 1991. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Campinas, Brasil.

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, n. 1, p. 59-66, 2001.

NORRIS, K. S. et al. *The Hawaiian spinner dolphin*. Berkeley: University of California Press, 1994, 412p.

NOWACEK, D. P. Acoustic ecology of foraging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), habitat-specific use of three sound types. *Mar. Mammal Sci.*, v. 21, n. 4, p. 587-602, 2005.

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

PANOVA, E. M.; BELIKOV, R. A.; AGAFONOV, A. V.; BEL'KOVICH, V. M. The relationship between the behavioral activity and the underwater vocalization of the Beluga Whale (*Delphinapterus leucas*). *Oceanology*, v. 52, p. 79–87, 2012.

PIVARI, 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.

QUICK, N. J.; JANIK, V. M. Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of group size and behavior. *J. Comp. Psychol.*, v. 122, p. 305–311, 2008.

RASMUSSEN, M. H.; MILLER, L. A. Whistles and clicks from white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris* Gray 1846) recorded in Faxafloi Bay, Iceland. *Aquatic Mammals Science*, v. 28, p. 78-89, 2002.

RENDELL, L.E. et al. Quantitative analysis of tonal calls from five odontocete species, examining interspecific and intraspecific variation. *J. Zool. London*, v. 249, p. 403-410, 1999.

RIESCH, R. D.; FORD, J. K. B.; THOMSEN, F. Stability and group specificity of stereotyped whistles in resident killer whales, *Orcinus orca*, off British Columbia. *Anim. Behav.*, v. 71, p. 79–91, 2006.

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

SAMARRA, F. I. P.; DEECKE, V. B.; VINDING, K.; RASMUSSEN, M. H.; SWIFT, R. J.; MILLER, P. J. O. Killer whales (*Orcinus orca*) produce ultrasonic whistles. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 128, p. EL205–EL210, 2010.

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

SIMONIS, A. E et al. High-frequency modulated signals of killer whales (*Orcinus orca*) in the North Pacific. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 131, p. EL295–EL301, 2012.

SHANE, S. H. Behavior and ecology of the bottlenose dolphin at Sanibel Island, Florida. In: LEATHERWOOD, S.; REEVES, R. R. eds. *The bottlenose dolphin*. 1990. Academic Press, San Diego, CA. 245-265.

SJARE, BECKY, L.; SMITH, THOMAS, G. The relationship between behavioral activity and underwater vocalizations of the white whale, *Delphinapterus leucas*. *Can. J. Zool.*, v. 64, n. 12, p. 2824-2831, 1986.

SMOLKER, R. A.; MANN, J.; SMUTS, B. B. Use of signature whistles during separations and reunions by wild bottlenose dolphin mothers and infants, *Behav. Ecol. Soc.*, v. 33, p. 393–402, 1993.

STEINER, W. W. Species-specific differences in pure tonal whistle vocalizations of five western North Atlantic dolphin species. *Behav. Ecol. Soc.*, v. 9, p. 241-246, 1981.

THOMSEN, F.; FRANCK, D.; FORD, J. K. B. On the communicative significance of whistles in wild killer whales (*Orcinus orca*). *Naturwissenschaften*, v. 89, p. 404-407, 2002.

ZAR, J. H. *Biostatistical Analysis*, Prentice Hall, New Jersey 1999.

WANG, D. W.; WURSIG, B.; EVANS, W. E. Comparisons of whistles among seven odontocete species.. In: Kastelien, R. A.; THOMAS, R. A., NACHTIGAL, P. E. (Eds). *Sensory Systems of Aquatic Mammals*. De Spil Press, Woerden, Holanda. 1995a. p. 299-323.

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

WEILGART, L.; WHITEHEAD, H. Vocalizations of the North Atlantic pilot whale (*Globicephala melas*) as related to behavioral contexts. *Behav. Ecol. Soc.* v. 26, p. 399-402, 1990.

14 CARACTERIZAÇÃO DOS SONS PULSANTES EMITIDOS POR *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) NA BAÍA DE GUANABARA (RJ)

INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos com sons pulsantes de diferentes espécies de odontocetos verificaram que esse tipo de emissão sonora desempenha importante função de comunicação em diferentes contextos sociais (WOOD, 1953; CALDWELL; CADWELL, 1967; HERMAN, TAVOLGA, 1980; AU; PENNER; TURL, 1987; SMOLKER; RICHARDS, 1988; FORD, 1989). Recentemente, a relação entre a emissão de sons pulsantes e diferentes contextos sociais foi reportada para diferentes espécies (*e.g.* NEMIROFF; WHITEHEAD, 2009; MARCOUX; AUGER-MÉTHÉ; HUMPHRIES, 2012).

Diferente dos cliques de ecolocalização, que estão relacionados principalmente aos comportamentos de forrageio e alimentação, os sons pulsantes estão associados a contextos sociais e coesão de grupo (*e.g.* HERZING, 1996).

A caracterização dos sons pulsantes de diferentes espécies de odontocetos tem sido limitada devido à dificuldade para a obtenção das gravações (utilização do sistema de gravação adequado) e análise dos parâmetros temporais e de frequência. Também, a alta variabilidade desse tipo de emissão sonora, dificulta a caracterização e possível classificação (MURRAY; MERCADO; ROITBLAT, 1998).

A caracterização dos sons pulsantes da espécie *S. guianensis* é desconhecida, no entanto este tipo de emissão sonora faz parte do repertório acústico da espécie. Estudos prévios das emissões sonoras do boto-cinza caracterizaram principalmente os assobios (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009; ANDRADE et al. 2015), mas também descreveram a caracterização de cliques de ecolocalização e a capacidade auditiva de indivíduos em cativeiro (WIERSMA, 1982; KAMMINGA, 1988, KAMMINGA et al. 1993; SAUERLAND, DEHNHARDT, 1998). A descrição preliminar de alguns tipos de emissões sonoras do boto-cinza foi realizada por Monteiro-Filho e Monteiro (2001). Visto a grande lacuna de conhecimento sobre esse tipo de emissão sonora para a espécie, o presente estudo é o primeiro a descrever os sons pulsantes de *S. guianensis* na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro.

15 OBJETIVO

Este capítulo teve como objetivo caracterizar os sons pulsantes emitidos por *S. guianensis* na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Os objetivos específicos foram:

- Descrever os parâmetros temporais e espectrais dos sons pulsantes.
- Determinar a taxa de emissão dos sons pulsantes.

16 MATERIAL E MÉTODOS

16.1 Gravações dos sons pulsantes

As gravações dos sons pulsantes de *S. guianensis* foram realizadas na Baía de Guanabara entre janeiro de 2013 e setembro de 2014 (Tabela 1) e foram obtidas durante similares condições de mar (Escala Beaufort ≤ 2), utilizando uma embarcação com 6,6 m de comprimento e motor de popa. Durante as gravações, a distância mínima para o grupo observado foi de 30 metros. Para cada grupo observado, as informações de hora, localidade, tamanho de grupo, estados comportamentais, tamanho e composição de grupo e geometria espacial foram coletadas. Apenas grupos isolados, sem a presença de outros grupos adjacentes foram gravados. Um raio de 300 metros foi considerado como distância mínima entre o grupo observado e grupos adjacentes. Essa distância foi considerada para realizar as gravações do grupo observado sem a presença de grupos adjacentes. Esse método foi aplicado para minimizar a possibilidade de gravações simultâneas de mais de um grupo em cada gravação.

As gravações foram realizadas com o sistema de gravação composto por um gravador digital *FOSTEX FR2*, taxa de amostragem de 192 kHz (limite superior de frequência de 96 kHz) e 24 bits e com o hidrofone C54XRS com resposta de frequência de 0,009 a 100 kHz (-165 dB re: 1 V/ μ Pa) (*Cetacean Research Technology, WA, USA*). Durante as gravações, o motor da embarcação foi mantido desligado e o hidrofone foi posicionado na profundidade de 2 metros. As gravações foram realizadas com duração máxima de 3 minutos, com diferentes grupos, durante diferentes estados comportamentais.

16.2 Análise dos sons pulsantes

16.2.1 Taxa de emissão dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis*

Espectrogramas das gravações foram gerados no *software Raven Pro 1.4* (2003-2011; *Cornell Lab Ornithology, Ithaca, New York, USA*). As configurações utilizadas para a

resolução dos espectrogramas foram: FFT (*Fast Fourier Transform*) de 512 pontos, com sobreposição de 50% e uma *Hanning window*.

Sons pulsantes foram definidos como emissões pulsadas que apresentaram intervalo entre cliques (ICI) menor que 10 ms. Essa definição é baseada em estudos prévios que abordaram as diferenças entre os cliques de ecolocalização e outros sons pulsantes (LAMMERS et al. 2004). A taxa de emissão dos sons pulsantes foi definida como o total de sons pulsantes em cada gravação, dividido pelo tempo de gravação em minutos e o número de indivíduos no grupo (sons pulsantes/minuto/indivíduo).

16.2.2 Análise dos Parâmetros Acústicos

As gravações foram analisadas utilizando uma interface do *software* MATLAB (*Mathworks, Natick, MA*) e o programa personalizado *Triton Software Package* (WIGGINS, HILDEBRAND, 2007). Rotinas criadas no MATLAB foram elaboradas para analisar os sons pulsantes de *S. guianensis*.

As análises dos sons pulsantes envolveram três etapas: i - agrupamento das gravações por dia em um único arquivo (*Long-Term Spectral Average*) (LTSA), ii - detecção dos sons pulsantes e iii - análise dos parâmetros acústicos.

Os arquivos *wave*, obtidos em cada dia de gravação, foram agrupados em um único arquivo (LTSA) com a utilização do programa *Triton Software Package* (WIGGINS; HILDEBRAND, 2007; WIGGINS, ROCH; HILDEBRAND, 2010). LTSA é um arquivo de longa duração representado por um espectrograma tridimensional (duração-frequência-nível sonoro) (Figura 15).

Na etapa seguinte foi aplicado o primeiro detector (*Batch Short Time Spectrum - STS*), utilizando o arquivo LTSA. Esse detector identificou emissões com banda larga de frequência, entre o intervalo de 2 kHz a 96 kHz, detectando o primeiro e último pulso de cada som pulsante. Somente emissões de banda larga, com nível de pressão sonora 8 dB acima do ruído subaquático foram selecionadas pelo o primeiro detector (Figura 16).

O segundo detector, *Batch High Res Click (STS Guided)* foi utilizado para detectar cada pulso de um mesmo som pulsante. A detecção foi visualizada utilizando o *software WaveSurfer 1.8.8p4* (2000-2011) (Figura 17).

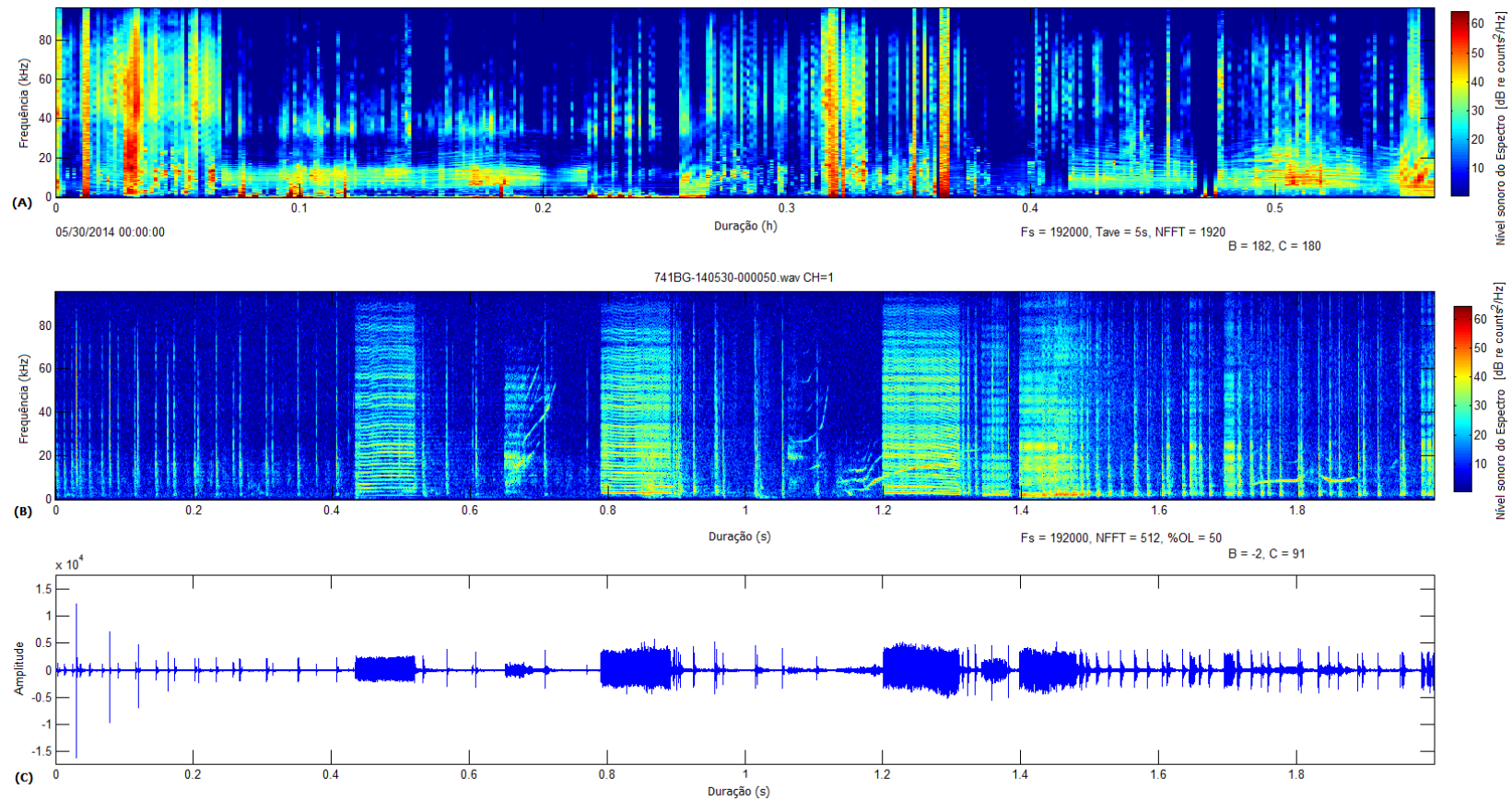
Os sons pulsantes para a análise foram selecionados individualmente a partir de uma rotina no MATLAB que permitiu a visualização gráfica do espectrograma e do *waveform* com a detecção do primeiro e último pulso. Para cada som pulsante selecionado foi criado um novo arquivo *wave*. A partir desses novos arquivos *wave*, foi gerado um espectrograma para cada som pulsante com a finalidade de elaborar um catálogo com os diferentes tipos de sons pulsantes encontrados.

Após as detecções, as análises dos parâmetros acústicos foram realizadas utilizando rotinas elaboradas no MATLAB.

Oito parâmetros acústicos foram analisados para cada som pulsante: duração (ms), número de pulsos em cada som pulsante, duração do pulso (ms), intervalo entre cliques (ICI) (ms), pico de frequência (PF) (frequência de máxima energia, kHz), frequência central (FC) (frequência que divide a energia do espectro do sinal em duas partes iguais, kHz), medidas de largura de banda de frequência a -3dB e a -10 dB (amplitude de frequência entre dois pontos que estão 3 dB e 10 dB mais baixos que a máxima amplitude do sinal no espectro) (AU 1993). Esses parâmetros foram escolhidos baseados em estudos prévios, que caracterizaram sons pulsantes em delfínídeos (LAMMERS; AU; HERZING, 2003; RANKIN et al. 2007).

A estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes foi realizada especificando os valores de média, desvio-padrão, mediana, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação (ZAR, 1999).

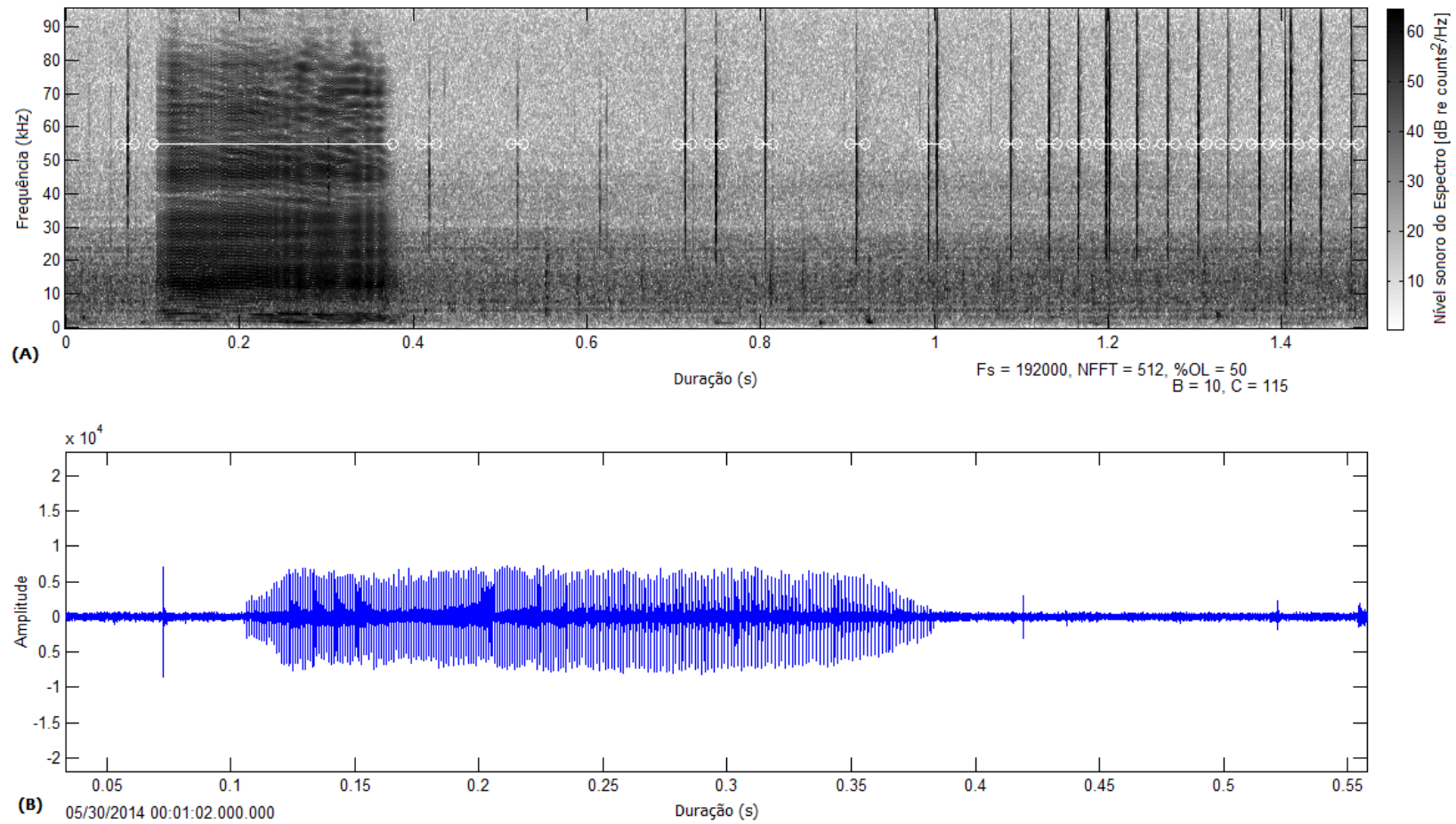
Figura 15 – Representação gráfica dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis*



Legenda: Representação gráfica dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis* gravados durante um dia na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Gráficos elaborados no software *Triton Software Package*, (A) LTSA (*Long-Term Spectral Average*), (B) Espectrograma, FFT:512, sobreposição de 50%, *Hanning window*, taxa de amostragem de 192kHz. (C) Waveform. F_s : taxa de amostragem (Hz), Tave: tempo médio utilizado para criar LTSA, NFFT: tamanho da FFT, B: brilho, C: contraste.

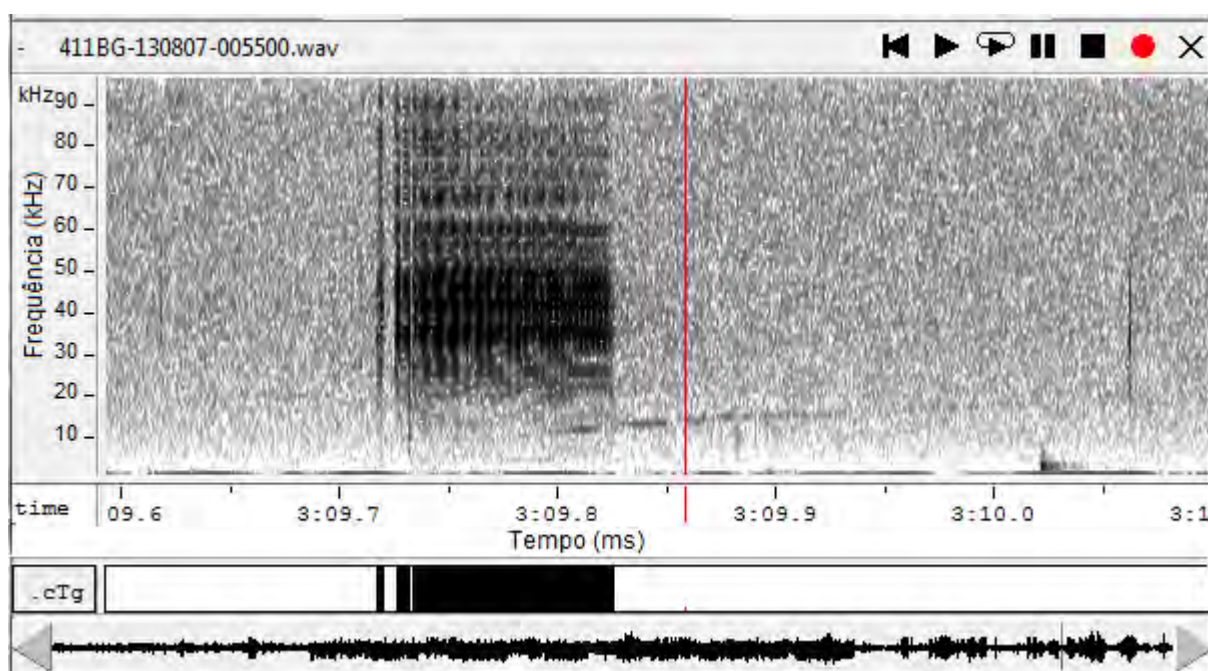
Fonte: A autora, 2015.

Figura 16 – Detecção dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis*



Legenda: (A) Espectrograma da gravação de sons pulsantes com a detecção realizada pelo Detector (Batch Short Time Spectrum - STS) do programa *Triton*. FFT: 512,50% de sobreposição, *Hanning window*, taxa de amostragem de 192 kHz. (B) *Waveform* do som pulsante detectado.

Fonte: A autora, 2015.

Figura 17 – Segunda detecção dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis*

Legenda: Espectrograma de sons pulsantes de *Sotalia guianensis*, criado no programa WaveSurfer, destacando as emissões detectadas com o detector, *Batch High Res Click (STS Guided)* utilizado para detectar cada pulso de um mesmo som pulsante.

Fonte: A autora, 2015.

17 RESULTADOS

No total, 3087 sons pulsantes de *S. guianensis* foram quantificados nas gravações entre os anos de 2013 e 2014. Desse total, 1008 sons pulsantes foram detectados com nível sonoro 8 dB acima do ruído do ambiente, e 197 foram selecionados para as análises, com base na observação visual da detecção. Somente sons pulsantes corretamente detectados foram considerados para as análises dos parâmetros acústicos. Grupos de *S. guianensis* variaram de 2 a 23 indivíduos, com a presença de filhotes e os comportamentos apresentados durante as gravações dos sons pulsantes foram alimentação e socialização (Tabela 7).

Tabela 7 – Gravações dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis*

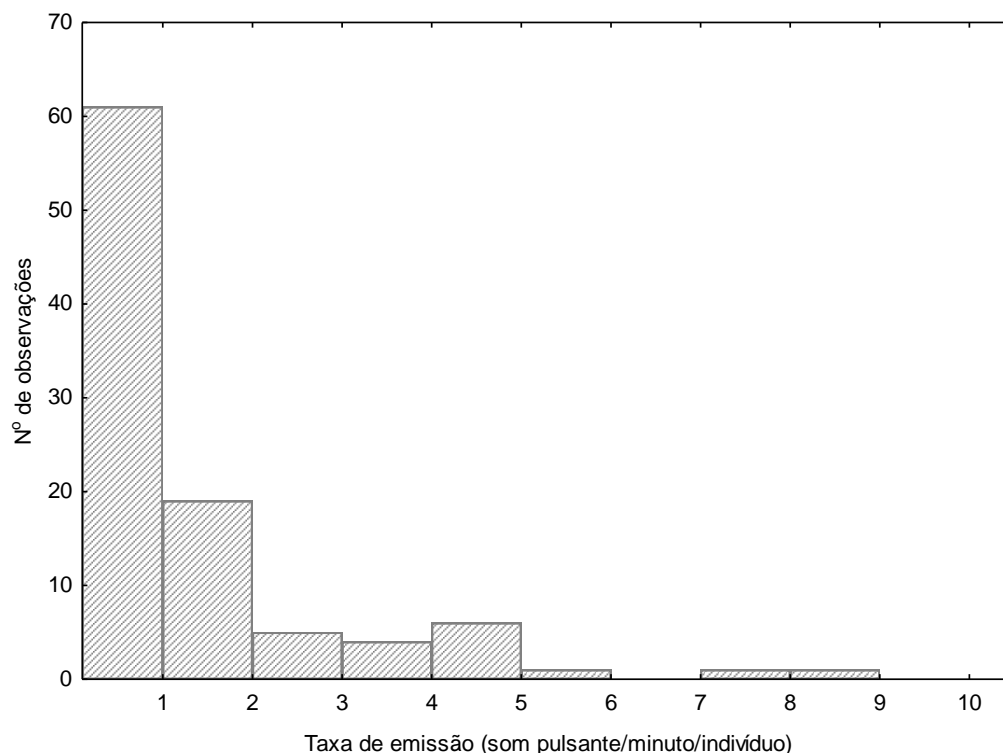
Ano	Meses	Estados comportamentais	Tamanho de grupo (Min.-Máx.)	Geometria espacial	Total de sons pulsantes
2013	Jan/Fev/Mar/ Abr/Mai/Jun/ Jul/Ago/Nov	Alimentação e Socialização	2-20	Coeso, disperso e misto	1552
2014	Jan/Abr/Mai/ Jun/Jul/Ago/ Set	Alimentação	7-23	Misto Disperso	1535

Legenda: Total de sons pulsantes de *Sotalia guianensis* quantificados por ano, reportando os estados comportamentais, tamanho de grupo (valores mínimo e máximo), e geometria espacial, observados durante as gravações realizadas na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro.

Fonte: A autora, 2015.

O estado comportamental alimentação e a geometria espacial do tipo mista foram predominantes durante as gravações. A taxa de emissão dos sons pulsantes variou de 0,1 a 9,0 (1,3±1,7) sons pulsantes/minuto/indivíduo (Figura 18).

Figura 18 – Histograma da taxa de emissão de sons pulsantes de *Sotalia guianensis*.



Legenda: Distribuição dos valores da taxa de emissão dos sons pulsantes (som pulsante/minuto/número de indivíduos no grupo) de *Sotalia guianensis*, das gravações realizadas na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, entre os anos de 2013 e 2014.

Fonte: A autora, 2015.

Os sons pulsantes de *S. guianensis* apresentaram curta duração, variando de 16 a 759 ms ($108,6 \pm 91,3$ ms) (Tabela 8). Do total analisado, 61% dos sons pulsantes tiveram duração menor que 100 ms e 39% dos sons pulsantes apresentaram duração acima desse valor (Figura 19).

O número de pulsos por som pulsante variou de 20 até 922 pulsos ($168,2 \pm 137,3$) (Tabela 8). Do total de sons pulsantes, 32% ($n=63$) apresentaram menos do que 100 cliques, 43% ($n=85$) tiveram entre 100 a 200 cliques e 25% ($n=49$) apresentaram mais que 200 cliques (Figura 19). A duração de cada pulso variou de 0,1 a 0,7 ms ($0,3 \pm 0,1$ ms) e 40% dos sons pulsantes ($n=79$) apresentaram duração do pulso entre 0,2 a 0,3 ms (Figura 19). O intervalo entre cliques foi curto, variando de 0,2 a 2 ms ($0,7 \pm 0,3$ ms) (Tabela 8; Figura 19).

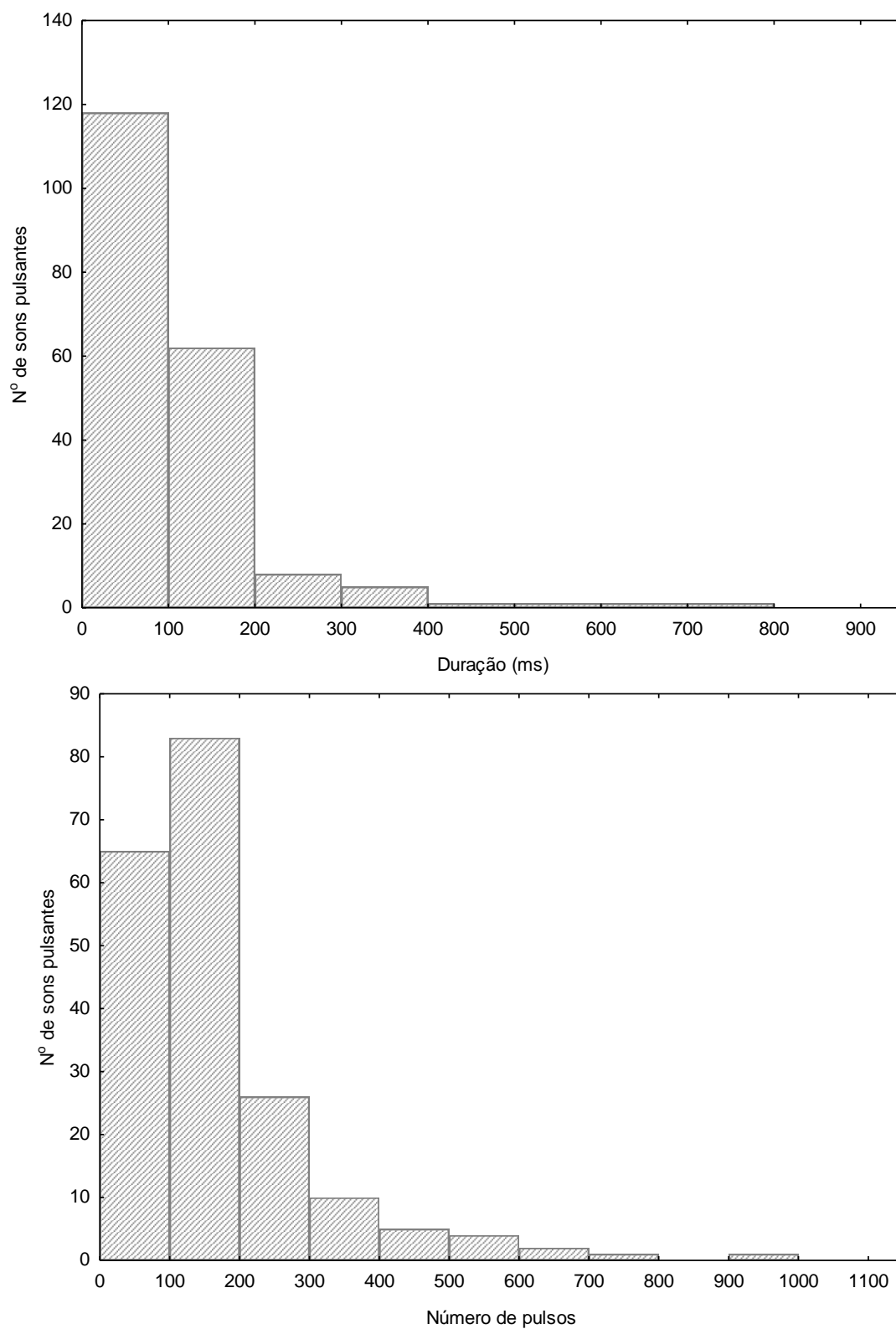
A frequência central apresentou valores entre 5,2 a 59,6 kHz, com valor médio de 29,3 kHz (Tabela 8). Do total de sons pulsantes, 64% ($n=127$) apresentaram frequência central entre 20 a 40 kHz (Figura 19). Os valores de pico de frequência variaram de 3 a 59 kHz

($28,0 \pm 11,6$ kHz) e 36,5% dos sons pulsantes apresentaram valores entre 30 e 35 kHz (Tabela 8; Figura 19).

Do total de sons pulsantes, 74,6% ($n=147$) apresentaram pico de frequência acima de 20 kHz (limite superior audível para a espécie humana).

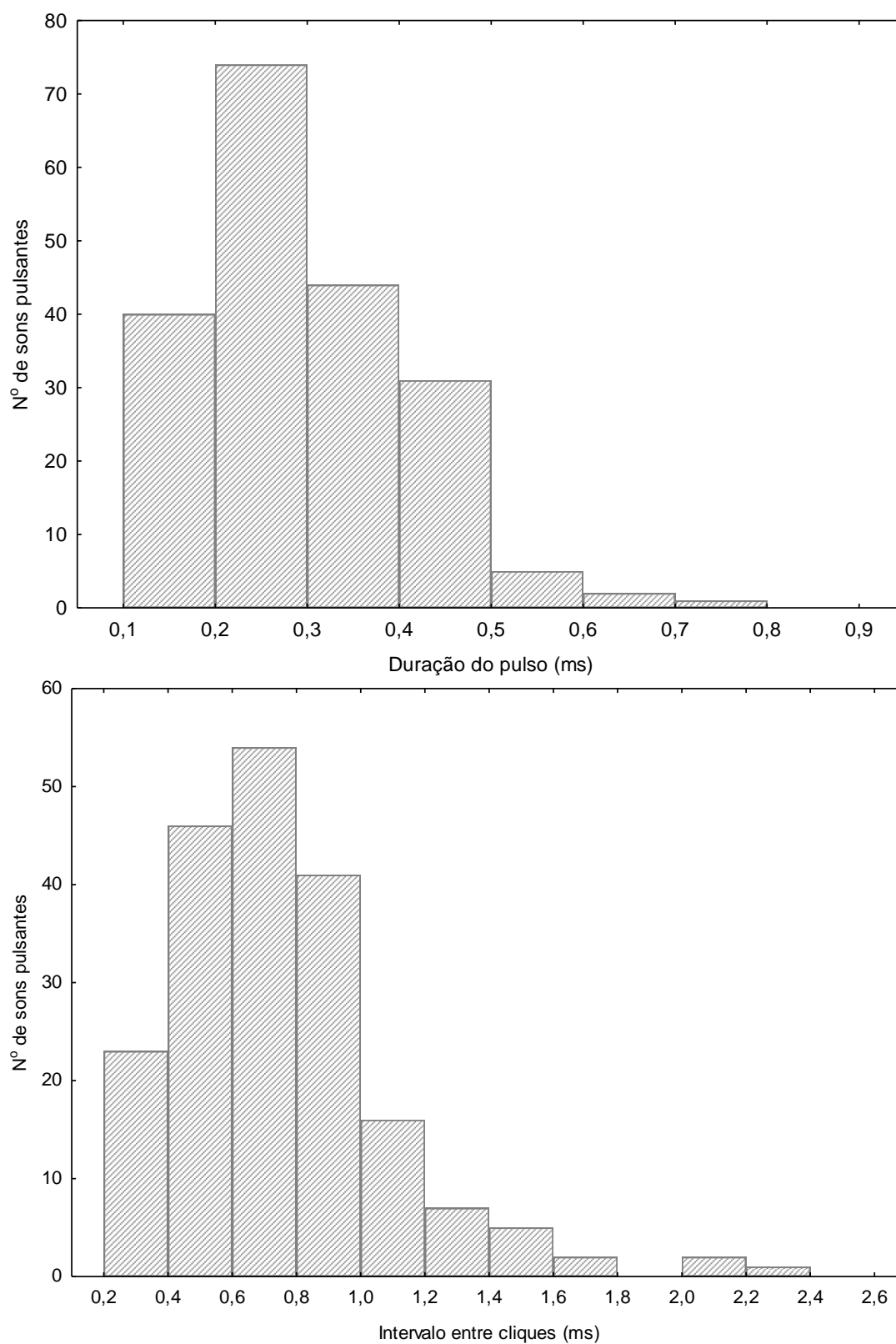
Os valores de frequência a -3dB e a -10dB da largura de banda de frequência variaram de 2,8 – 39,2 kHz ($15 \pm 7,5$ kHz) e 6,1 – 78,7 kHz ($41 \pm 14,3$ kHz), respectivamente (Tabela 8). Do total de sons pulsantes, 32% ($n=63$) apresentaram frequência a -3dB entre 10 a 15 kHz e 55% ($n=108$) apresentaram frequência a -10 dB entre 30 a 50 kHz (Figura 19).

Figura 19– Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis* (continua)

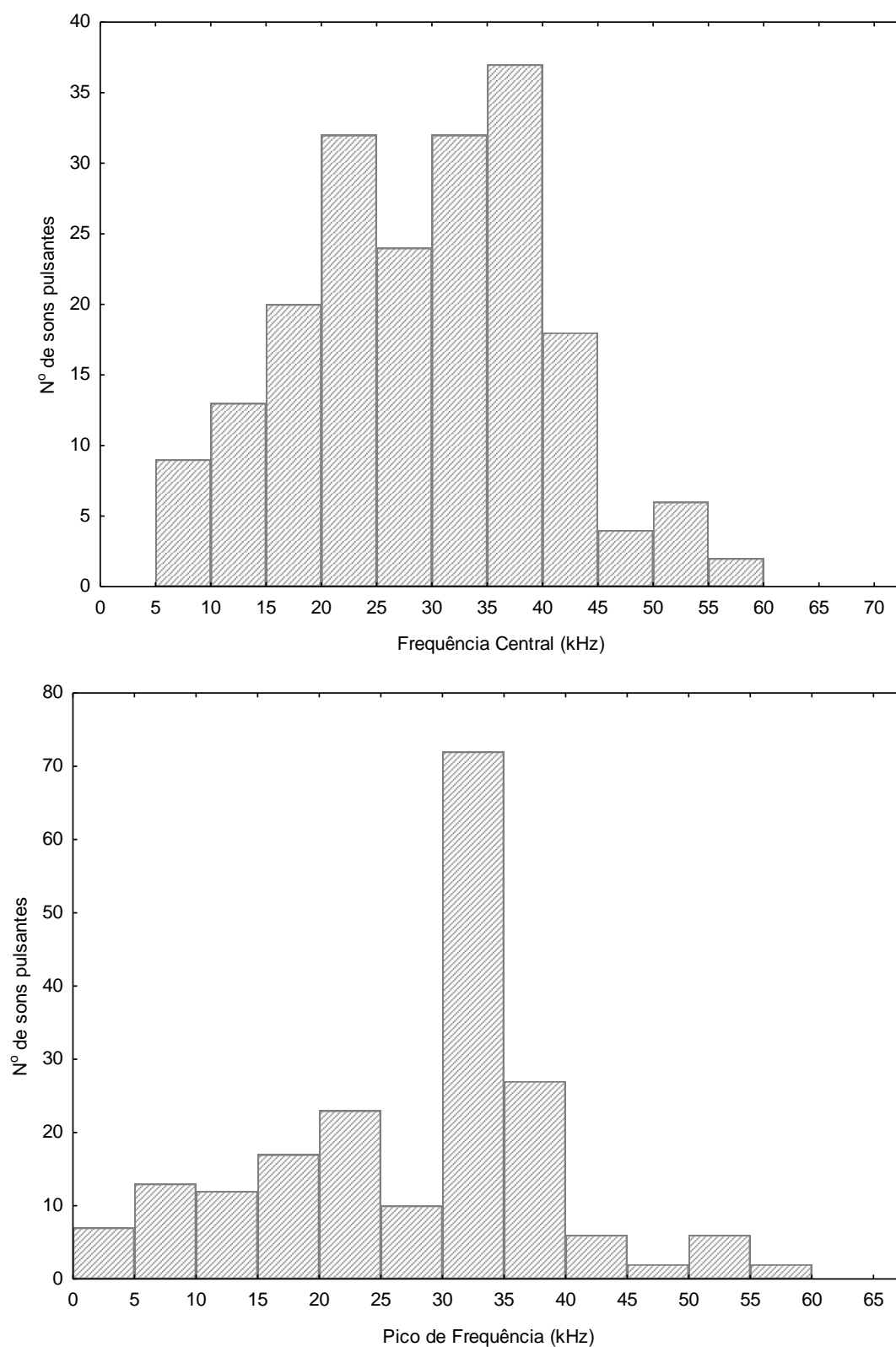


Fonte: A autora, 2015.

Figura 19 – Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis* (continua)

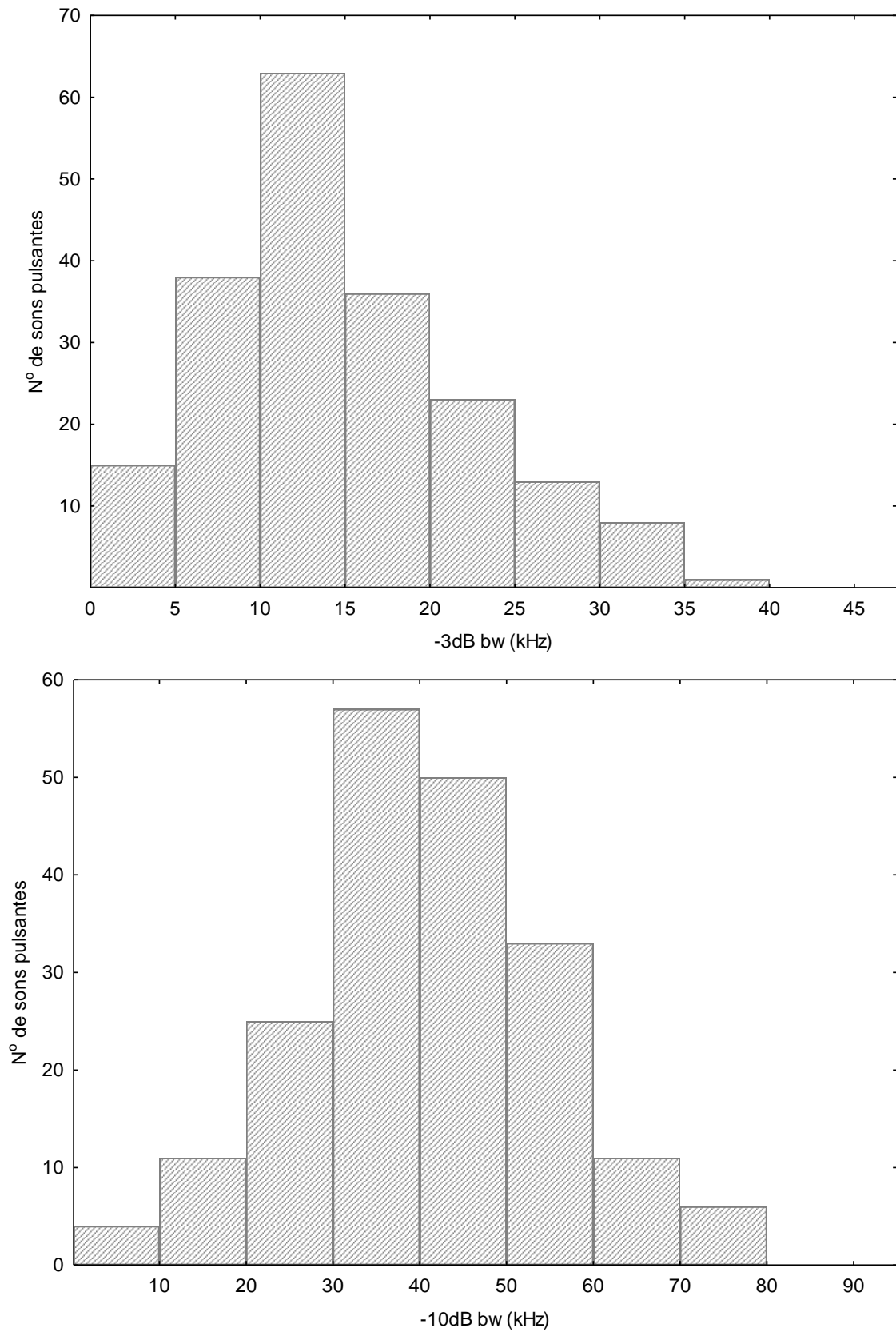


Fonte: A autora, 2015.

Figura 19 – Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis* (continua)

Fonte: A autora, 2015.

Figura 19 – Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis* (conclusão)



Fonte: A autora, 2015.

Tabela 8 – Parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis*

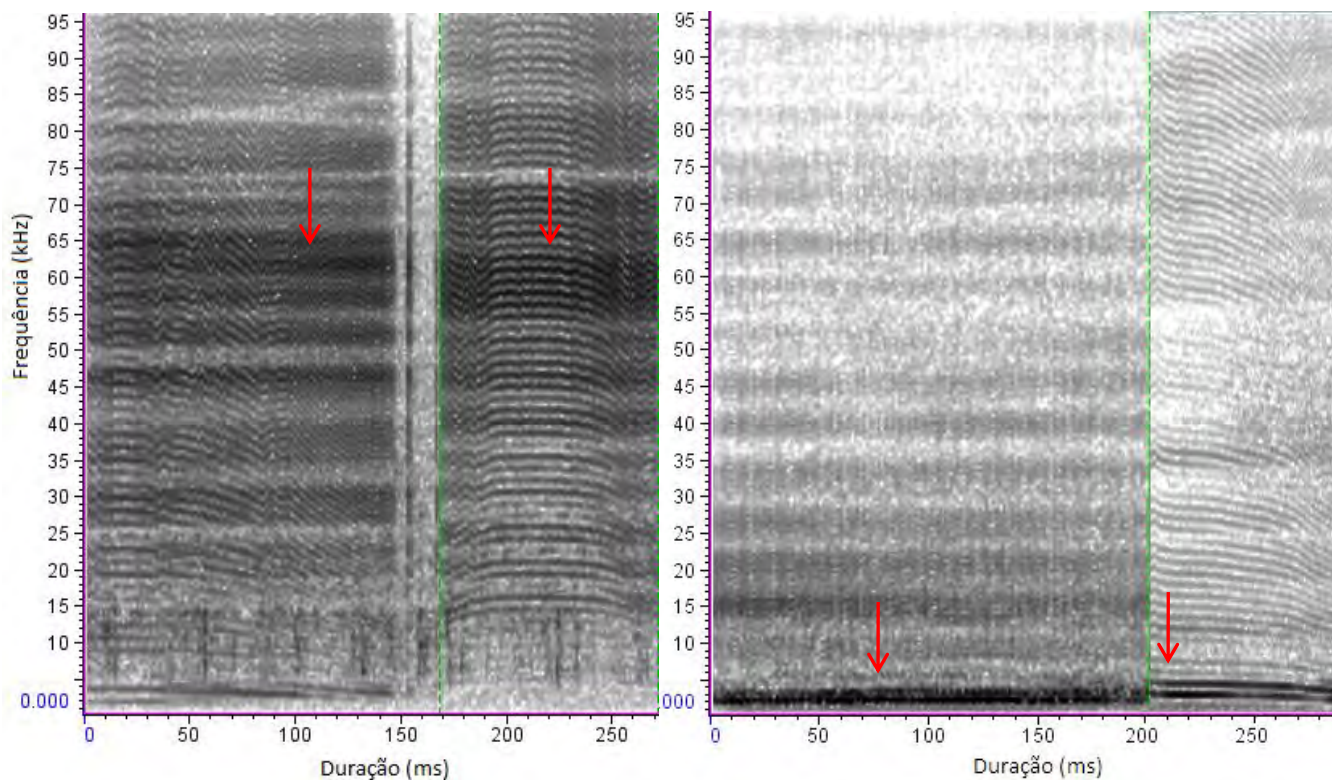
Parâmetros Acústicos	Valor médio±desvio padrão	Valor mínimo e máximo	Mediana	Coefficiente de variação
Duração do som pulsante (ms)	108,6±91,3	16-759	85,4	84,1%
Número de pulsos	168,2±137,3	20-922	134	81,6%
Duração do pulso (ms)	0,3±0,1	0,1-0,7	0,3	39,0%
Intervalo entre cliques (ms)	0,7±0,3	0,2-2,2	0,7	45,4%
Frequência Central (kHz)	29,3±11,0	5,2-59,6	30,1	38,0%
Pico de Frequência (kHz)	28,0±11,6	3,0-59,3	32,3	41,5%
-3dB bandwidth (kHz)	15,0±7,5	2,8-39,2	13,5	50,3%
-10dB bandwidth (kHz)	41,0±14,3	6,1-78,7	40,4	35,1%

Legenda: Estatística Descritiva dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *Sotalia guianensis* (n=197) gravados na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, entre os anos de 2013 e 2014. Os valores de média±desvio-padrão, mínimo e máximo, mediana e coeficiente de variação foram apresentados. Os parâmetros de duração estão em milissegundos (ms) e os parâmetros de frequência em kHz.

Fonte: A autora, 2015.

Na Figura 20 estão exemplificados quatro sons pulsantes que apresentam frequências com pico de frequência abaixo e acima de 20 kHz.

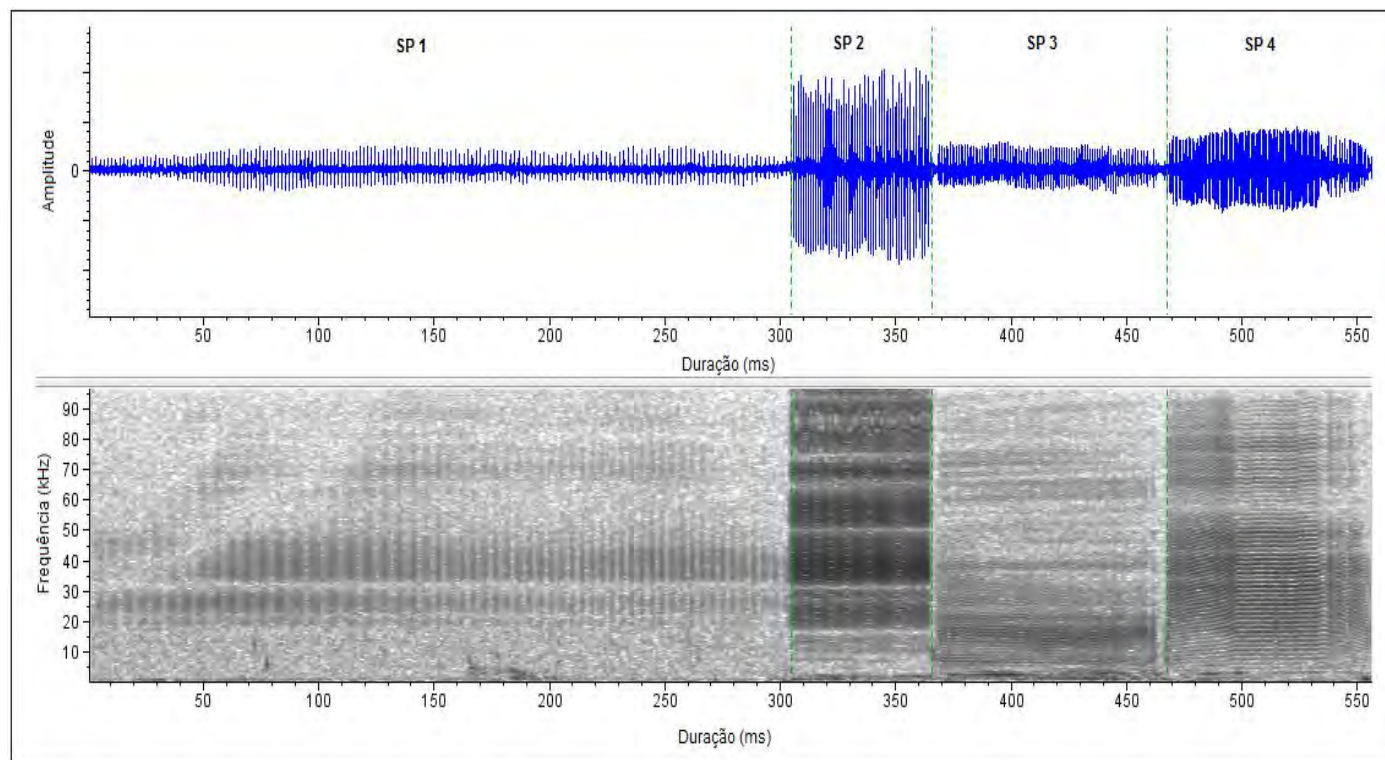
Figura 20 – Espectrogramas de quatro sons pulsantes emitidos por *Sotalia guianensis*



Legenda: Espectrogramas de sons pulsantes de *Sotalia guianensis*, ilustrando quatro tipos diferentes quanto à frequência com maior energia. Em destaque, indicado pelas setas vermelhas, a faixa de frequência com maior energia. FFT: 512, 50% de sobreposição, *Hanning window*.

Fonte: A autora, 2015.

Os sons pulsantes de *S. guianensis* apresentaram amplo espectro de frequência, variando de 2,8 kHz até valores acima do limite superior de frequência utilizado (96 kHz). Do total de sons pulsantes analisados, 34% (n=67) ultrapassaram o limite superior de frequência de 96 kHz. Sons pulsantes apresentaram variadas formas de contorno e características distintas, como por exemplo, a variação nos parâmetros acústicos de duração, número de pulsos, intervalo entre cliques e pico de frequência (Figura 21, Tabela 9). Do total de sons pulsantes, 27% (n=53) apresentaram valores dos parâmetros de frequência acima de 20 kHz (por exemplo, o som pulsante SP1, Figura 21).

Figura 21 – Exemplo de quatro sons pulsantes emitidos por *Sotalia guianensis*Tabela 9 – Parâmetros acústicos de quatro sons pulsantes emitidos por *Sotalia guianensis*, ilustrados na Figura 21

Sons pulsantes	Duração do som pulsante (ms)	Número de pulsos	Intervalo entre cliques (ms)	Pico de Frequência (kHz)
SP 1	303,0	183	1,6	35,0
SP2	60,1	104	0,6	50,3
SP3	101,6	105	1,0	14,7
SP4	89,5	171	0,5	31,0

Legenda: Waveform, espectrogramas de quatro sons pulsantes de *Sotalia guianensis*, obtidos da mesma gravação realizada na Baía de Guanabara, RJ, em abril de 2013 (Figura 22). A duração, número de pulsos, intervalo entre cliques e pico de frequência dos quatro sons pulsantes estão especificados na Tabela 13.

Fonte: A autora, 2015.

Na Baía de Guanabara, *S. guianensis* produziu uma variedade de sons pulsantes que ocorreram em sequência, seguidos de cliques de ecolocalização ou em um contínuo com assobios.

18. DISCUSSÃO

Sons pulsantes de *S. guianensis* foram variáveis quanto à forma e aos parâmetros acústicos. Esse tipo de emissão sonora esteve presente em grupos de *S. guianensis* com a presença de filhotes e durante os comportamentos de alimentação e socialização.

Os resultados mostraram que *S. guianensis* produziu diferentes sons pulsantes e taxa de emissão de até nove sons pulsantes/minuto/indivíduo durante a alimentação. A emissão de sons pulsantes pode estar relacionada à função comunicativa entre indivíduos e a manutenção da coesão de grupo durante o forrageio. A alta taxa de emissão de sons pulsantes em comportamento de alimentação também foi reportada para outras espécies, como por exemplo, sons pulsantes denominados “pops” emitidos por *T. truncatus* (JACOB et al. 1993; CONNOR; SMOLKER, 1996; NOWACEK, 2005). Janik (2000), com a utilização de uma rede de hidrofones, observou que indivíduos da espécie *T. truncatus* emitem um tipo específico de som pulsante, denominado “*bray call*” durante o comportamento de forrageio. O mesmo estudo sugeriu a relação desse tipo de som pulsante com a manipulação de presas durante forrageio (JANIK, 2000). A mesma relação foi observada por Simon et al. (2006) para a espécie *O. orca* durante forrageio de lulas.

A predominância de sons pulsantes durante contextos sociais foi reportada em vários estudos com diferentes espécies de odontocetos (e.g. *T. truncatus*, CONNOR; SMOLKER, 1996; *S. frontalis*, HERZING, 1996; *D. leucas*, BELIKOV; BEL’KOVICH, 2008). Dentro dos contextos sociais, os sons pulsantes foram emitidos durante comportamentos agressivos (e.g. *C. hectori*, DAWSON, 1991; *P. phocoena*, AMUNDIN, 1991; *T. truncatus*, BLOMQUIST, AMUNDIN, 2004; *T. truncatus* e *S. frontalis*, HERZING, 2015). As gravações dos sons pulsantes de *S. guianensis* foram realizadas em sua maioria durante o comportamento de alimentação. Dessa forma, a gravação dos sons pulsantes dessa espécie em outros estados comportamentais é relevante para comparar a taxa de ocorrência desse tipo de emissão sonora entre os comportamentos.

Os parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *S. guianensis*, em relação a outras espécies, apresentaram características distintas (Tabela 10). A duração dos sons pulsantes de *S. guianensis* foi curta, com valor médio de 108 ms, contudo, os valores foram mais longos quando comparados com *S. fluviatilis*, que produziu sons pulsantes com duração média de 46 ms, no Equador (MAY-COLLADO; WARTZOK, 2010). Sons pulsantes de curta duração foram relacionados à comunicação entre indivíduos e contextos sociais de diferentes espécies

de delfínídeos (DAWSON, 1991; RANKIN et al. 2007; VAUGHN-HIRSHON et al. 2012). A curta duração e o curto intervalo entre cliques foram observados para os sons pulsantes de *C. hectori*. O autor reportou a relação dos sons pulsantes com comportamentos agressivos e socialização (DAWSON, 1991). A espécie *Lissodelphis borealis* (Peale 1848), produziu sons pulsantes estereotipados de curta duração (RANKIN et al. 2007). Outras espécies, no entanto, apresentaram maior variação nos valores de duração dos sons pulsantes, de 10 ms até vários segundos, como por exemplo, *O.orca* (FORD, 1989) e *T. truncatus* (OVERSTROM, 1983).

Diferente do que foi observado em estudos com outras espécies de delfínídeos, *S. guianensis* emitiu sons pulsantes com maior número de cliques e menor intervalo entre cliques (Tabela 10). A variação desses parâmetros acústicos entre as espécies pode estar refletindo a função e o contexto em que os sons pulsantes foram emitidos. Os sons pulsantes são emitidos durante diferentes contextos sociais, os quais possivelmente podem estar influenciando nas características físicas desses sinais sonoros, incluindo os parâmetros de frequência. No presente estudo, os sons pulsantes de *S. guianensis* foram produzidos em diferentes comportamentos, o que indica a variação na função desse tipo de emissão sonora. Lammers; Au e Herzing (2003) também sugeriram a relação entre a variação dos sons pulsantes de *S. longirostris* e *S. frontalis* com o contexto social.

Adicionalmente, a presença de filhote no grupo pode ser um fator importante que implica nas características dos sons pulsantes de *S. guianensis*, visto que, nesses grupos é observada uma maior interação entre indivíduos. Possivelmente a taxa de emissão de sons pulsantes é maior em grupos com a presença de filhote, assim como foi reportado para os assobios da espécie no presente estudo.

Tabela 10– Característica dos sons pulsantes de espécies de delfínídeos

	N	Nº de cliques/som pulsante	Duração do som pulsante (ms)	Intervalo entre cliques (ms)	Pico de frequência (kHz)	Frequência Central (kHz)
Presente estudo						
<i>S. guianensis</i>	197	168±137	108,6±91,3	0,7±0,3	28,0±11,6	29,3±11,0
Lammers et al. 2003						
<i>S. longirostris</i>	79	29±29	-	3,8±1,7	32,3±12,5	40,1±12,1
<i>S. frontalis</i>	73	103±145	-	3,2±1,4	40,3±17,8	44,4±16,5
Van Parijs, Corkeron 2001	64 (“barks”)	1-63*	1700±18,0	-	-	-
<i>S. chinensis</i>	19 (“quacks”)	12*	600±60,0	-	-	-
Rankin et al. 2007	129	24,6±24,6	27,0±25,7	1,5±0,4	18,2±5,5	-
<i>L. borealis</i>						
May-Collado, Wartzok 2010	27	27±13,7	46±22,8	2*	77,6±11,8	-
<i>S. fluviatilis</i>						

Legenda: Número de sons pulsantes, valores médios e desvio-padrão do número de cliques por som pulsante, duração, intervalo entre cliques, pico de frequência e frequência central do presente estudo e estudos de estudos com outras espécies de delfínídeos. *valores absolutos.

Fonte: A autora, 2015.

Algumas espécies de delfínídeos utilizam sons pulsantes com curtos intervalos entre cliques, principalmente em contextos sociais. Esse padrão foi reportado para algumas espécies, como por exemplo, *O. orca* (FORD, 1989; FORD, 1991), *C. hectori* (DAWSON, 1991) e *L. obscurus* (VAUGHN-HIRSHON et al. 2012). *S. guianensis* emitiu sons pulsantes com predominância de 20 a 200 cliques. Em outras espécies, como por exemplo, *S. frontalis* e *S. longirostris* foi observada uma distribuição bimodal do número de cliques: sons pulsantes com poucos cliques (<70 cliques) e muitos cliques (>70 cliques) (LAMMERS; AU; HERZING, 2003). Os mesmos autores verificaram diferença entre números de cliques e valor

médio de ICI entre as duas espécies. *S. frontalis* emitiu sons pulsantes com maior número de cliques e valores de ICI mais curtos quando comparada com a espécie *S. longirostris*.

Os sons pulsantes emitidos por *S. guianensis* apresentaram amplo alcance de frequência de 2 kHz a > 96 kHz. Em outras espécies de delfínídeos, os sons pulsantes foram variáveis quanto ao alcance de frequência (DAWSON, THORPE 1990; LAMMERS et al. 2003) e forma de contorno (*O. orca*, FILATOVA et al. 2007; SAYIGH et al. 2012). Sons pulsantes com alcance de frequência acima de 100 kHz foram reportados para as espécies *S. frontalis* e *S. longirostris* (LAMMERS; AU; HERZING, 2003). Os autores observaram sons pulsantes que ultrapassaram a taxa de amostragem de frequência de 260 kHz, utilizada no estudo. Valores de frequência acima de 100 kHz foram reportados para as espécies *C. hectori* e *C. commersonii* (DAWSON, THORPE 1990; EVANS; NORRIS, 1988).

A variação nos parâmetros de frequência pode estar relacionada ao tamanho da estrutura envolvida na produção do som que está relacionada ao tamanho corporal (CRANFORD, 2000). A maioria dos sons pulsantes de *S. guianensis* apresentou valores de frequência central entre 20 a 40 kHz, no entanto o valor médio encontrado foi menor do que os valores reportados para outras espécies de delfínídeos (Tabela 10). As espécies *S. longirostris* e *S. frontalis* apresentaram valores médios de frequência central 10 kHz e 14 kHz, respectivamente, mais altos do que *S. guianensis* (Tabela 10).

O pico de frequência dos sons pulsantes varia entre espécies. O valor médio de pico de frequência encontrado para os sons pulsantes de *S. guianensis* foi menor do que o valor médio reportado por May-Collado e Wartzok (2010) para *S. fluviatilis* no Equador (Tabela 10). Os autores reportaram a emissão de sons pulsantes durante alimentação e utilizaram um sistema de gravação com taxa de amostragem de frequência de 400 e 500 kHz, o que permitiu captar sons pulsantes com frequências acima de 100 kHz. Em relação a outras espécies de delfínídeos, o valor de PF dos sons pulsantes de *S. guianensis* foi maior do que os valores encontrados, por exemplo, para orcas, que emitiram sons pulsantes com pico de frequência abaixo de 20 kHz (FORD, 1989). A ocorrência de sons pulsantes com valores de pico de frequência abaixo de 20 kHz não foi comum em *S. guianensis*. O mesmo padrão foi observado em outras duas espécies de delfínídeos, *S. frontalis* com 20,2% dos sons pulsantes e *S. longirostris* com 17,8% dos sons pulsantes (LAMMERS; AU; HERZING, 2003). Os mesmos autores observaram que 30 a 40% dos sons pulsantes dessas espécies não foram detectados abaixo de 20 kHz.

No presente estudo, 27% dos sons pulsantes de *S. guianensis* apresentaram frequências ultrassônicas, ou seja, acima de 20 kHz. Com isso, não foi possível criar categorias de

classificação dos sons pulsantes desta espécie, apenas baseado no limite audível de frequência. O mesmo padrão foi reportado para *S. fluviatilis* (MAY-COLLADO; WARTZOK, 2010) e outras espécies de delfínídeos (LAMMERS; AU; HERZING, 2003). Au et al. (1999) observaram sons pulsantes com frequências ultrassônicas para a espécie *S. longirostris*. Categorias baseadas apenas na porção audível do sinal sonoro podem ser incompletas para classificar sons pulsantes (MURRAY; MERCADO; ROITBLAT, 1998). Do total de sons pulsantes analisados, 34% ultrapassaram o limite superior de frequência de 96 kHz. Outras espécies de delfínídeos emitiram sons pulsantes acima de 100 kHz (LAMMERS; AU, 1996; AU; LAMMERS; AUBAUER, 1999). Dessa forma, a utilização de um sistema de gravação adequado para captar frequências ultrassônicas e a caracterização dos parâmetros acústicos são relevantes para uma possível classificação dos sons pulsantes.

A existência de um gradiente entre as emissões sonoras do tipo assobios (som tonal), sons pulsantes (cliques com curtos valores de ICI) e cliques de ecolocalização (valores de ICI >19 ms) foi observado por Murray et al. (1998) para espécie *P. crassidens*. Estudos recentes reportaram a emissão de “pacotes de cliques”, que apresentam características semelhantes a sons pulsantes, no entanto, com poucos cliques e ICIs maiores que 10 ms, emitidos durante a detecção de alvos a longa distância (IVANOV, 2004; FINNERAN, 2013; RANKIN et al. 2015). A variação da emissão dos sons pulsantes indica que *S. guianensis* emprega esse tipo de sinal sonoro para diferentes funções. A produção de sons pulsantes durante diferentes estados comportamentais reforça essa afirmação.

Os resultados encontrados no presente estudo revelam a ampla variação de largura de banda de frequência a -3dB e a -10 dB dos sons pulsantes de *S. guianensis*. Os parâmetros de largura de banda de frequência a -3dB e a -10 dB dos sons pulsantes são importantes para a caracterização de emissões pulsadas (AU, 1993), no entanto, devido à limitação das técnicas de análise, poucos estudos têm reportado essas medidas para os sons pulsantes dos odontocetos (RANKIN et al. 2011; RANKIN et al. 2015).

Os sons pulsantes de *S. guianensis* apresentaram características distintas em relação aos sons pulsantes de outros delfínídeos. Possivelmente esse tipo de emissão sonora apresenta características específicas para cada espécie, assim como foi reportado para os assobios dos delfínídeos, como, por exemplo, os assobios ascendentes de *S. guianensis* (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005) e assobios de alta frequência de *O. orca* (SIMONIS et al. 2012).

Por fim, a utilização de um sistema de gravação com taxa de amostragem acima de 100 kHz permitirá caracterizar os sons pulsantes que ultrapassaram o limite superior de

frequência do presente estudo, ampliando dessa forma, o conhecimento do repertório acústico da espécie.

Adicionalmente, a aplicação de novas técnicas de gravação, como por exemplo, o sistema de localização com a acústica passiva permitirá relacionar a emissão de sons pulsantes com estados comportamentais e grupos. A utilização de um sistema de gravação com uma rede de hidrofone possibilitará localizar o grupo observado e relacionar os sons pulsantes com o comportamento apresentado no momento da gravação. Essa técnica foi empregada em estudos da caracterização das emissões sonoras de algumas espécies de delfínídeos (*e.g.* RANKIN et al. 2007; QUICK; JANIK, 2008). Além disso, a utilização de equipamentos acústicos autônomos na Baía de Guanabara permitirá verificar a possível ocorrência de sons pulsantes durante a noite. As técnicas de acústica passiva têm sido empregadas para o monitoramento e identificação das emissões sonoras de diferentes espécies de cetáceos (RANKIN et al. 2007), principalmente, espécies oceânicas, que são mais difíceis de serem observadas em campo (RANKIN; BARLOW, 2001).

19 CONCLUSÃO

Esse estudo foi o primeiro a caracterizar os parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *S. guianensis*, contribuindo dessa forma, para o aumento do conhecimento do repertório acústico da espécie.

Os sons pulsantes de *S. guianensis* apresentaram características variadas quanto à forma e aos parâmetros acústicos e são emitidos em diferentes contextos sociais.

Os sons pulsantes foram caracterizados por um amplo espectro de frequência, de 2,8kHz até valores acima do limite superior de frequência de 96 kHz.

Os parâmetros acústicos dos sons pulsantes de *S. guianensis* foram diferentes em relação aos sons pulsantes de outras espécies de delfínidos. Possivelmente algumas características físicas dos sons pulsantes podem ser específicas para cada espécie, no entanto, estudos futuros são relevantes para elucidar esta questão.

20 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. G. et in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: Using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *Acta Ethol.*, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015a.
- AMUNDIN, M. Sound production in odontocetes with emphasis on the harbor porpoise *Phocoena phocoena*, PhD dissertation, University Stockholm, Stockholm, Sweden, 1991.
- AU, W.W.L. *In The sonar of dolphins*. New York: Springer-Verlag, 1993.
- AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: comparisons among populations. *J. Acoust. Soc. Am.*, v.117, n. 3, p. 1456-1464, 2005.
- BELIKOV, R. A.; BEL'KOVICH, V. M. Communicative pulsed signals of beluga whales in the reproductive gathering off Solovetskii Island in the White Sea. *Acoust. Phys.*, v. 54, n. 1, p. 115–123, 2008.
- BLOMQUIST, C.; AMUNDIM, M. High-Frequency burst-pulse sounds in agonistic/aggressive interactions in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. In: THOMAS, J. A.; MOSS, C. F.; VATER, M. (Ed.). *Echolocation in Bats and Dolphins*, Chicago, Illinois, USA, The University of Chicago Press, 2004. p. 425-431.
- CALDWELL, M. C.; CALDWELL, D. K. Intraspecific transfer of information via the pulsed sound in captive odontocete cetaceans. In: BUSNEL, R. G. (Ed.) *Animal Sonar Systems: Biology and Bionics*, Laboratoire de Physiologie Acoustique: Jouy-en-Josas, France, 1967. p. 879–936.
- CONNOR, R. C.; SMOLKER, R. A. ‘Pop’ goes the dolphin: a vocalization male bottlenose dolphins produce during courtship. *Behaviour*, v. 133, p. 643-662, 1996.
- DAWSON, S.M.; THORPE, C.W. A quantitative analysis of the sounds of Hector’s dolphin. *Ethology*, v. 86, p. 131–145, 1990.
- DAWSON, S.M. Clicks and communication: the behavioural and social contexts of Hector’s dolphin vocalizations. *Ethology*, v. 88, p. 265–276, 1991.
- 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. (Ed.). *Sensory Systems of Aquatic Mammals*, Woerden, the Netherlands, De Spil Publishers, 1995. p. 325-334.
- EVANS, E. C.; NORRIS, K. S. On the evolution of acoustic communication systems in vertebrates. Part I: Historical aspects. In: NACHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Ed.). *Animal sonar – Processes and performance*. New York and London, Plenum Press, 1988. p. 655-670.
- FINNERAN, J. J. Dolphin “packet” use during long-range echolocation tasks. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 133, p. 1796–1710, 2013.

FORD, J. K. B. Acoustic behavior of resident killer whale (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia. *Can. J. Zool.*, v. 67, p. 727–745, 1989.

_____. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. *Can. J. Zool.*, v. 69, p. 1454–1483, 1991.

HERMAN, L. M.; TAVOLGA, W. N. The communication systems of cetaceans, In: HERMAN, L. M. (Ed.) *Cetacean Behaviour: Mechanisms and Function*, Wiley-Interscience, New York, p. 149–209, 1980.

HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *Aqua. Mamm.*, v. 22, p. 61–79, 1996.

_____. Synchronous and Rhythmic Vocalizations and Correlated Underwater Behavior of Free-ranging Atlantic Spotted Dolphins (*Stenella frontalis*) and Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Bahamas. *Anim. Behav. Cogni.*, v. 2, n. 1, p. 14-29, 2015.

IVANOV, M. P. Dolphin's echolocation signals in a complicated acoustic environment. *Acoust. Phys.* v. 50, p. 469–479, 2004.

JACOBS et al. Seasonal changes in vocalizations during behavior of the atlantic bottlenose dolphin. *Estuaries*, v. 16, n. 2, p. 241-246, 1993.

JANIK, V. M. Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *P. R. S. Lon.*, v. 267, p. 923-927, 2000.

JANIK, Acoustic communication in delphinids. In: NAGUIB, M.; ZUBERBUHLER, K.; CLAYTON, N. S.; JANIK, V. M. (Ed.) *Advances in the study of behavior*, London, Academic Press, 2009. p. 123-157.

KAMMINGA, C. Echolocation of Odontocetes. In: NACHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Ed.) *Animal Sonar, Processes and Performance*, New York, Plenum Press, p. 9-23, 1988.

KAMMINGA, C.; VAN HOVE, M. T.; ENGELSMA, F. J.; TERRY, R. P. Investigations on Cetacean Sonar X: A comparative analysis of underwater echolocation of *Inia* spp. and *Sotalia* spp. *Aquat. Mamm.*, v. 19, n. 1, p. 31-43, 1993.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L.; HERZING, D. L. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 114(3), p. 1629-1639, 2003.

LAMMERS, M. O. et al. A comparative analysis of echolocation and burst-pulse click trains in *Stenella longirostris*. In: THOMAS, J. A.; MOSS, C. F.; VATER, M. (Ed.) *Echolocation in Bats and Dolphins*, Chicago, Illinois, The University of Chicago Press, p. 414–419, 2004.

MARCOUX, M.; AUGER-MÉTHÉ, M.; HUMPHRIES, M. M. Variability and context specificity of narwhal (*Monodon monoceros*) whistles and pulsed calls. *Mar. Mammal Sci.* v. 28, n. 4, p. 649-665, 2012.

- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 125, p. 1202–1213, 2009.
- _____. Sounds produced by tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) from the Napo and Aguarico rivers of Ecuador. *Lajam*, v. 8, p. 131-136, 2010.
- 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, n. 1, p. 59-66, 2001.
- MURRAY, S. O.; MERCADO, E.; ROITBLAT, H. L. Characterizing the graded structure of false killer whale (*Pseudorca crassidens*) vocalizations. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 104, p. 1679–1688, 1998.
- NEMIROFF, L.; WHITEHEAD, H. Structural characteristics of pulsed calls of long-finned pilot whales *Globicephala melas*. *Bioacoustic*, v. 19, p. 67-92, 2009.
- NOWACEK, D. P. Acoustic ecology of foraging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), habitat-specific use of three sound types. *Mar. Mammal Sci.*, v. 21, n. 4, p. 587-602, 2005.
- OVERSTROM, N. A. Association between burst-pulse sounds and aggressive behavior in captive Atlantic bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Zoo Biol.*, v. 2, p. 93–103, 1983.
- QUICK, N. J.; JANIK, V. M. Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of group size and behavior. *J. Comp. Psychol.*, v. 122, p. 305–311, 2008.
- RANKIN, S.; BARLOW, J. Source of the North Pacific “boing” sound attributed to minke whales. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 188, n. 5, p. 3346–3351, 2005.
- RANKIN, S. et al. Patterned burst-pulse localizations of the northern right whale dolphin, *Lissodelphis borealis*. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 121, p. 1213–1218, 2007.
- RANKIN, S. et al. Description of sounds recorded from Longman’s beaked whale, *Indopacetus pacificus*. *J. Acoust. Soc. Am.* 130 (5), 2011.
- RANKIN, S.; OSWALD, J. N.; SIMONIS, A. E.; BARLOW, J. Vocalizations of the rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis*, in the Pacific Ocean. *Mar. Mammal Sci.*, DOI: 10.1111/mms.12226, 2015.
- ROSSI-SANTOS, M.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, v. 143, p. 347-364, 2006.
- SAUERLAND, M.; DEHNHARDT, G. Underwater audiogram of a tucuxi (*Sotalia fluviatilis guianensis*). *J. Acoust. Soc. Am.*, v.103, p. 1199–1204, 1998.
- SIMON, M.; UGARTE, F.; WAHLBERG, M.; MILLER, L. A. Icelandic killer whales *Orcinus orca* use a pulsed call suitable for manipulating the schooling behaviour of herring *Clupea harengus*. *Bioacoustics*, v. 16, p. 57–74, 2006.

SMOLKER, R.; RICHARDS, A. Loud sounds during feeding of Indian Ocean bottlenose dolphins. In: NACHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Ed.) *Animal Sonar, Processes and Performance*, New York, Plenum Press, 1988. p. 703-706.

VAN PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Vocalization and behavior of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Ethology*, v. 107, p. 701–716, 2001.

VAUGHN-HIRSHON, R. L. et al. Characterizing dusky dolphin sounds from Argentina and New Zealand. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 132, n. 1, p. 498-506, 2012.

ZAR, J. H. *Biostatistical Analysis*, New Jersey: Prentice Hall, 1999.

WEILGART, L.; WHITEHEAD, H. Vocalizations of the North Atlantic pilot whale (*Globicephala melas*) as related to behavioral contexts. *Behav. Ecol. Soc.* 26, 399-402, 1990.

WIGGINS, S. M.; HILDEBRAND, J. A. High-frequency Acoustic Recording Package (HARP) for broad-band, long-term marine mammal monitoring. p. 551-557, Tokyo, Japan. p. 17–20, 2007.

WIGGINS, S. M.; ROCH, M. A.; HILDEBRAND, J. TRITON software package: Analysing large passive acoustic monitoring data sets using MATLAB. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 128 (4), p. 2299, 2010.

WIERSMA, H. A comparison of wave shapes of odontocete sonar signals. *Aqua. Mamm.*, v. 9(2), p. 57-66. 1982.

WOOD F. G. Jr. Underwater sound production and concurrent behavior of captive porpoise, *Tursiops truncatus* and *Stenella plagiodon*. *Bull. Mar. Sci. Gulf. Carib.*, v. 3, p. 120-133, 1953.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento prévio do repertório acústico de *S. guianensis* está concentrado no estudo da caracterização e comparação dos assobios em diferentes áreas da sua distribuição (MONTEIRO-FILHO, 1991; MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001; AZEVEDO; SIMÃO, 2002; ERBER; SIMÃO, 2004; PIVARI; ROSSO, 2005; AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006; FIGUEIREDO; SIMÃO, 2009; DECONTO; MONTEIRO-FILHO, 2013; ANDRADE et al. 2105a). Informações sobre outras emissões sonoras produzidas por essa espécie são escassas.

Os resultados encontrados mostram que *S. guianensis* emite assobios com amplo alcance de frequência, característica que não foi reportada para outras espécies de delfínidos. O repertório dos assobios foi amplamente caracterizado quanto às variáveis físicas e foram registrados os maiores valores de frequência máxima para os assobios dessa espécie (ANDRADE et al. 2015b). Estudos prévios dos assobios dessa espécie reportaram valores de frequência até 42 kHz na Baía de Guanabara (ANDRADE et al. 2015a) e até 48 kHz na Costa Rica (MAY-COLLADO; WARTZOK, 2009). A utilização do sistema de gravação com taxa de amostragem de 192 kHz permitiu a caracterização completados parâmetros dos assobios *guianensis* na Baía de Guanabara.

A descoberta dos assobios de alta frequência (> 48 kHz) emitidos por *S. guianensis* na Baía de Guanabara é o mais recente avanço na bioacústica da espécie. O boto-cinza produz assobios com alta modulação de frequência, curta duração e forma de contorno ascendente em sua maioria, características que também foram reportadas em estudos prévios e que podem ser utilizadas para identificar a espécie. Assobios de alta frequência de *S. guianensis* reportados na Baía de Guanabara não foram observados em outras áreas costeiras no Rio de Janeiro com base em estudos prévios. Dessa forma, a emissão desses assobios na Baía de Guanabara pode estar relacionada à estruturação de grupo e comunicação a curtas distâncias, visto o amplo espectro de frequência dos assobios. Adicionalmente, os assobios de alta frequência de *S. guianensis* podem estar associados à forma como os indivíduos do grupo exploram o ambiente.

Entender o contexto em que as emissões sonoras dos delfínidos são emitidas é importante para estudos da ecologia das diferentes espécies. Estudos prévios dessa relação com outras espécies de delfínidos reportaram variações na taxa de emissão dos assobios e nos parâmetros acústicos (e.g. HERZING, 1996; DÍAZ-LÓPEZ, 2011; HENDERSON et al.

2011). Esses estudos destacaram a importância dos contextos sociais em que os assobios são emitidos para entender as características e função deste tipo de emissão sonora.

Os assobios foram predominantes durante socialização e grupos com a presença de filhotes, em que indivíduos apresentam alta interação e contato físico. A presença de filhotes no grupo pode ser uma característica importante que contribui para o aumento da emissão de assobios. A alta taxa de emissão dos assobios de *S. guianensis* em grupos com filhote pode estar associado à relação entre o par de fêmea e filhote, visto que os assobios desempenham uma importante função na comunicação entre indivíduos no grupo.

O presente estudo foi o primeiro a realizar uma análise consistente dos sons pulsantes de *S. guianensis* e reportar as características dos parâmetros acústicos desses sinais sonoros. O boto-cinza na Baía de Guanabara apresenta um variado repertório de sons pulsantes, com amplo alcance de frequência e variadas formas de contorno. As características dos parâmetros acústicos dos sons pulsantes foram diferentes em relação aos sons pulsantes emitidos por outros delfínídeos.

Os resultados do presente estudo é um avanço no conhecimento do repertório acústico da população de *S. guianensis* na Baía de Guanabara e são importantes para estudos da ecologia e ações futuras para a conservação dessa espécie. A utilização de um sistema de gravação com taxa de amostragem de frequência mais abrangente permitiu pela primeira vez detecção de assobios de *S. guianensis* com frequência acima de 50 kHz. Estudos futuros na Baía de Guanabara e em outras áreas de distribuição da espécie são relevantes para verificar o contexto e a presença desses assobios.

A caracterização dos sons pulsantes de *S. guianensis* contribuiu para o conhecimento do repertório acústico e ecologia da espécie na Baía de Guanabara. Estudos futuros que abordem o padrão de repetição, classificação e variação dos sons pulsantes com relação às características ecológicas são relevantes para o aumento do conhecimento do repertório acústico da espécie na Baía de Guanabara.

A associação entre as emissões sonoras e contextos sociais dos grupos de boto-cinza foi restrita a comportamentos de superfície. A utilização de novas técnicas de sistemas de gravação, como a acústica passiva com redes de hidrofones para a localização de grupo e indivíduos, é importante para a melhor associação entre a emissão de assobios e sons pulsantes de *S. guianensis* na Baía de Guanabara e características de grupo/indivíduos e comportamento. Adicionalmente, a utilização de um sistema com ampla taxa de amostragem de frequência permitirá analisar sons pulsantes que ultrapassam 96 kHz.

RECOMENDAÇÕES

Estudos futuros que relacionem a emissão dos assobios de alta frequência com as características ecológicas, como por exemplo, os contextos comportamentais, características ambientais e composição de grupo, são importantes para entender a função desse tipo de assobio na comunicação da espécie.

As técnicas de análise de ultrassom, desenvolvidas para caracterizar os sons pulsantes de *S. guianensis* poderão ser aplicadas para caracterizar os sons pulsantes de outras populações da espécie, investigar variações geográficas entre as diferentes populações e comparações entre comportamentos. Adicionalmente, as mesmas técnicas de análise poderão ser aplicadas para caracterizar os cliques de ecolocalização de *S. guianensis* e caracterizar o repertório de sons pulsantes e cliques de ecolocalização de outras espécies de delfnídeos.

Estudos futuros dos sons pulsantes de *S. guianensis* na Baía de Guanabara em diferentes contextos sociais são importantes para a caracterização funcional desse tipo de emissão sonora no repertório acústico da espécie.

Adicionalmente, estudos em outras áreas de distribuição da espécie são importantes para a comparação desses sinais sonoros em diferentes contextos sociais e para a caracterização de outras populações da espécie e permitirão aumentar o conhecimento do repertório de som pulsante da espécie.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. G. et al. Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: Using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *Acta Ethol.*, v. 18, n. 1, p. 47-57, 2015a.
- ANDRADE, L. G. et al. High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 137, n.1, p. EL15–EL19, 2015b.
- AZEVEDO, A. F.; SIMÃO, S. M. Whistles produced by marine Tucuxi Dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *Aquat. Mamm.*, 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, n. 3, p. 1456-1464, 2005.
- DECONTO, L. S.; MONTEIRO-FILHO, E. L. High initial and minimum frequencies of *Sotalia guianensis* whistles in the southeast and south of Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 134, p. 3899–3904, 2013.
- DÍAZ LÓPEZ, D. B. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behavior. *Mamm. Biol.*, v. 76, p. 180–189, 2011.
- 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, n. 2, p. 381-385, 2004.
- 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.
- HENDERSON, E. E.; HILDEBRAND, J. A.; SMITH, M. H.; FALCONE, E. A. The behavioral context of common dolphin (*Delphinus* sp.) vocalizations. *Mar. Mammal Sci.*, v. 28, p. 439–460, 2012.
- HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *Aquat. Mamm.*, v. 22, p. 61–79, 1996.
- MAY-COLLADO, L. J.; WARTZOK, D. A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 125, p. 1202–1213, 2009.
- MAY-COLLADO, L. J. Guyana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Costa Rica emit whistles that vary with surface behaviors. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2013 134, EL359–EL365.
- MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Comportamento de caca e repertório sonoro do golfinho *Sotalia brasilienses* (Cetacea, Delphinidae) na região de Cananeia, SP. 1991. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Campinas, Brasil.

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, n. 1, p. 59-66, 2001.

PIVARI, D.; ROSSO, S. Whistles of small groups of *Sotalia fluviatilis* during foraging behavior in southeastern Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 118, n. 4, p. 2725-2731, 2005.

RANKIN, S.; OSWALD, J.; BARLOW, J.; LAMMERS, M. Patterned burst-pulse localizations of the northern right whale dolphin, *Lissodelphis*. *Acoust. Soc. Am.*, v. 121, p. 1213–1218, 2007.

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



High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil

Luciana Guimarães de Andrade,^{a),b)} Isabela Maria Seabra Lima,^{b)}
Lis Bittencourt, Tatiana Lemos Bisi, José Lailson Brito Júnior,^{b)} and
Alexandre de Freitas Azevedo^{b)}

Laboratório de Mamíferos Aquáticos e Bioindicadores, Faculdade de Oceanografia,
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã,
Rio de Janeiro 20550-013, Rio de Janeiro, Brazil
andrade.uerj@gmail.com, isabelaseabra.lima@gmail.com, lis.bitt@gmail.com,
tbisi@yahoo.com.br, joselailson@gmail.com, alexandre.maqua@gmail.com

Abstract: Guiana dolphins produce whistles with a higher frequency and less complexity than most other delphinid species. The present study used a recording system with sampling rate of 192 kHz to describe the high-frequency whistles of *Sotalia guianensis* in Guanabara Bay, Rio de Janeiro. Eleven acoustic parameters (start, end, minimum, maximum, delta, center and peak frequency, duration, and frequency at $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, and $\frac{3}{4}$ of duration) were measured for all whistles. Whistles with a fundamental frequency up to 66.7 kHz were reported, thereby expanding the known frequency range of this species.

© 2014 Acoustical Society of America
[CM]

Date Received: September 5, 2014 Date Accepted: November 3, 2014

1. Introduction

The Guiana dolphin is a small delphinid species that inhabits estuaries, bays, and other shallow protected areas in the Western Atlantic coastal waters of South and Central America (Flores and da Silva, 2009). Most studies of Guiana dolphin whistles have been conducted along the coasts of Brazil and Costa Rica (e.g., Azevedo and Van Sluys, 2005; May-Collado and Wartzok, 2009; May-Collado, 2013; Andrade *et al.*, 2014). Previous studies have focused on the characteristics of acoustic parameters and comparisons between populations (e.g., Azevedo and Van Sluys, 2005; Rossi-Santos and Podos, 2006; May-Collado and Wartzok, 2009; Andrade *et al.*, 2014).

Whistles with ultrasonic frequencies (above 20 kHz) have been reported for several delphinid species (e.g., Oswald *et al.*, 2004). The maximum reported fundamental frequency in Guiana dolphin whistles to date is 48.40 kHz in Costa Rica (May-Collado and Wartzok, 2009). Since that study, there is no additional information about Guiana dolphin whistles with maximum frequency values above 48 kHz. The present study describes the high-frequency whistles emitted by Guiana dolphin in Guanabara Bay, southeastern Brazil.

2. Materials and methods

Guiana dolphin sound emissions were recorded between March 2013 and June 2014 in Guanabara Bay (22° 50' S, 43° 10' W), Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. Recordings were made under calm sea conditions (Beaufort Sea State ≤ 2) from a small outboard-powered boat (5 m long) with the engine turned off. The boat was positioned approximately 30 m from each dolphin group and the hydrophone was positioned at a depth of

^{a)} Author to whom correspondence should be addressed.

^{b)} Also at Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

2 m. Recordings were made with either a Fostex FR-2 digital recorder or a Tascam DR-680 digital recorder, each with a sample rate of 192 kHz, using an omnidirectional C54XRS hydrophone (-165 dB re: $1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$, 0.009 to 100 kHz). Dolphin groups ranging in size from 4 to 17 individuals were recorded while foraging or socializing. All the observed groups had one or two calves. A sample of whistles was randomly selected to minimize the sampling problem with independence of data (see Andrade *et al.*, 2014). In addition, only the first whistle in a sequence with the same contour form was selected and analyzed. Considering the lack of information about high-frequency whistles emitted by Guiana dolphins, only whistles which fundamental frequency exceeded 40 kHz were selected (Fig. 1).

High-quality whistles, defined as whistles with a clear spectral contour from start to end, were analyzed in Raven 1.4 (Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY) using a fast Fourier transform (FFT) of 512 points, an overlap of 50%, and a Hanning window. The following acoustic parameters were measured manually from the fundamental frequency of each whistle: duration, start frequency, end frequency, minimum frequency (Mn.F), maximum frequency (Mx.F), delta frequency (Mx.F-Mn.F), center frequency (the point that divides the energy of the fundamental frequency of a whistle into two equal parts), peak frequency (frequency with maximum energy), and frequencies at $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, and $\frac{3}{4}$ the whistle's duration. Frequency parameters were measured in kilohertz (kHz) and the duration in milliseconds (ms). Acoustic parameters chosen were consistent with previous studies (e.g., Azevedo and Van Sluys, 2005; May-Collado and Wartzok, 2009). Whistles were classified into contour form categories following Azevedo and Van Sluys (2005). Descriptive statistics, including minimum and maximum values, mean, and standard deviation, were performed for all whistle parameters.

3. Results

A total of 102 whistles were analyzed and three contour form categories were reported: 97.8% ascending whistles, 1.5% descending-ascending whistles, and 0.7% ascending-descending whistles. Descriptive statistics of whistle parameters are shown in Table 1. Guiana dolphin whistles ranged in frequency from 1.7 to 66.7 kHz. The mean value for maximum frequency was 45.3 kHz. Guiana dolphin produced whistles with high frequency modulation mean (39.3 ± 2.7 kHz) and with short duration (280 ± 107.3 ms).

4. Discussion

Guiana dolphins from Guanabara Bay emitted whistles with a maximum frequency up to 66.7 kHz, the highest maximum frequency value reported for this species (Table 2).

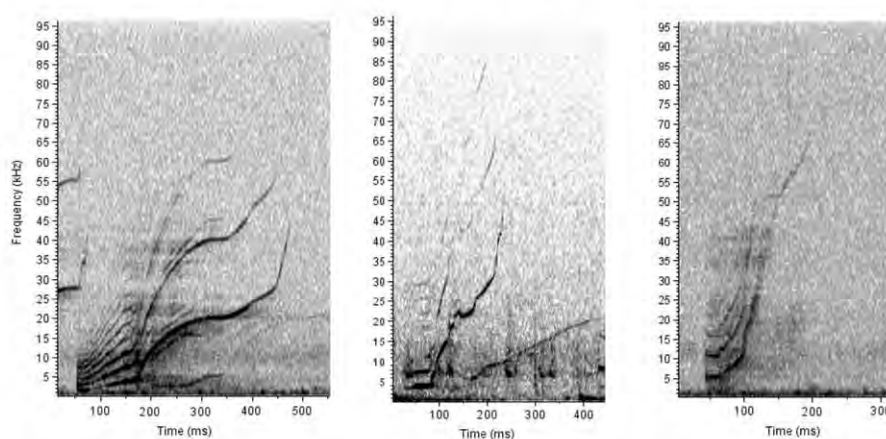


Fig. 1. Spectrograms of Guiana dolphin whistles with maximum frequencies greater than 40 kHz, recorded in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil.

Table 1. Descriptive statistics for all acoustic variables measured for whistles of Guiana dolphins in Guanabara Bay, Rio de Janeiro (2013–2014). Values indicate the range, mean and standard deviation.

Acoustic variables $N = 102$	Range ^a	Mean \pm standard deviation ^a
Duration	51–591	280 \pm 107.3
Start frequency	1.7–25.8	6.2 \pm 2.7
End Frequency	37.8–66.7	45.1 \pm 1.9
Frequency of $\frac{1}{4}$	3.5–31.0	13.0 \pm 5.0
Frequency of $\frac{1}{2}$	8.3–39.9	22.8 \pm 6.8
Frequency of $\frac{3}{4}$	21.0–54.6	30.0 \pm 6.4
Minimum Frequency	1.7–25.8	6.0 \pm 2.5
Maximum Frequency	42.7–66.7	45.3 \pm 1.5
Delta Frequency	19.5–62.1	39.3 \pm 2.7
Center Frequency	3.7–39.0	15.5 \pm 6.3
Peak Frequency	3.7–44.9	13.4 \pm 6.7

^aFrequency values are in kHz and duration in milliseconds (ms).

Previous studies have reported whistles with a maximum frequency up to 42.6 kHz in Guanabara Bay (Andrade *et al.*, 2014), 46.8 kHz elsewhere in Brazil (Deconto and Monteiro-Filho, 2013), and 48.4 kHz in Costa Rica (May-Collado and Wartzok, 2009). Small cetaceans generally produce sounds with higher frequencies than species with larger mass and length (May-Collado *et al.*, 2007a). Guiana dolphin whistles span a broad frequency range, with the maximum frequency values well above the human-audible range. The increased tonal sound modulation might be related to group size and social structure (May-Collado *et al.*, 2007b). Guanabara Bay recordings were made with different group size, during two behavioral states. High-frequency whistles were recorded during feeding activities and socializing, in which dolphins maintain group coordination and contact between individuals, respectively. Emissions of high-frequency whistles might play an important role during these behavioral activities.

Environmental conditions specific to Guanabara Bay might have influenced the extensive whistle frequency range of Guiana dolphin. A comparative study of Guiana dolphin whistles in three bays in Rio de Janeiro coast reported the highest maximum frequency values in Guanabara Bay. Guiana dolphins there emitted shorter, higher frequency whistles than individuals in other bays (Andrade *et al.*, 2014). The authors suggested that higher frequency whistles might be related to acoustic characteristics of the environments, since Guanabara Bay has an intense boat traffic (Andrade *et al.*, 2014). A recent study reported high underwater noise levels in Guanabara Bay associated with shipping and vessel traffic (Bittencourt *et al.*, 2014). Environmental noise pollution in the area might be an influence on sound emission characteristics of

Table 2. Sampling rate, number of whistles and frequency range of the recent studies of Guiana dolphin whistles in Brazil and Costa Rica.

	Sampling rate (kHz)	Number of whistles	Frequency range (kHz)
Azevedo and Van Sluys (2005) ^a	48	696	1.3–23.9
May-Collado and Wartzok (2009) ^b	200–250	422	1.4–48.4
Deconto and Monteiro-Filho (2013) ^a	96	3630	1.9–46.8
May-Collado (2013) ^b	384 to 500	405	1.1–48.4
Andrade <i>et al.</i> (2014) ^a	96	659	1.0–44.9
This study ^a	192	102	1.7–66.7

^aStudies in Brazil.

^bStudies in Costa Rica.

Guiana dolphins and the high-frequency whistles might be a way to compensate for masking.

High-frequency modulated signals, with a fundamental frequency up to 37.6 kHz, were reported in killer whale (*Orcinus orca*), in the North Pacific (Simonis *et al.*, 2012). The high-frequency whistles reported in these studies are noteworthy for having an entirely ultrasonic fundamental frequency contour. Ultrasonic whistles with a fundamental frequency up to 75 kHz were reported in the same species, in three Atlantic populations (Samarra *et al.*, 2010).

The high-frequency whistles of Guiana dolphins, by contrast, cover a broad frequency range and often begin with an audible element. Our results showed that Guiana dolphins produce short whistles with an extensive frequency modulation (mean value 39.3 ± 2.7 kHz), in contrast to what was reported for killer whale (Samarra *et al.*, 2010; Simonis *et al.*, 2012).

The extensively broad frequency range described in this study for Guiana dolphin has not been reported in other delphinids. In addition, these results further illustrate the significance of a broadband recording system to analyze the entire whistle repertoire of this species, point initially reported by May-Collado and Wartzok (2009). Finally, our results are important to characterize the full repertoire of Guiana dolphin whistles, and highlight the need for future research to elucidate the factors that might be related to the emission of high-frequency whistles in this species.

Acknowledgments

The authors thank the Graduate Program of Ecology and Evolution (PPGEE, UERJ) and the School of Oceanography (FAOC, UERJ) for logistical support. We particularly thank engineer Orlando de Jesus Ribeiro Afonso from the Brazilian Navy Research Institute (IPqM) for technical support. Rio de Janeiro State Government Research Agency (FAPERJ), Brazilian Research Council (CNPq), and Cetacean Society International have supported researchers developed by MAQUA in Rio de Janeiro State. A.F.A. and J.L.-B. have research grants from CNPq (PQ-2 and PQ-1D, respectively), FAPERJ (JCNE) and UERJ (Prociência). L.G.A. has a scholarship from CAPES.

References and links

- Andrade, L. G., Lima, I. M. S., Macedo, H., Carvalho, R. R., Lailson-Brito, J., Flach, L., and Azevedo, A. F. (2014). "Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: Using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil," *Acta Ethol.*
- Azevedo, A. F., and Van Sluys, M. (2005). "Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations," *J. Acoust. Soc. Am.* **117**, 1456–1464.
- Bittencourt, L., Carvalho, R. R., Lailson-Brito, J., and Azevedo, A. F. (2014). "Underwater noise pollution in a coastal tropical environment," *Mar. Pollut. Bull.* **63**, 5–9.
- Deconto, L. S., and Monteiro-Filho, E. L. (2013). "High initial and minimum frequencies of *Sotalia guianensis* whistles in the southeast and south of Brazil," *J. Acoust. Soc. Am.* **134**, 3899–3904.
- Flores, P. A. C., and Silva, V. M. F. (2009). "Tucuxi and Guiana dolphin (*Sotalia fluviatilis* and *Sotalia guianensis*)," in *Encyclopedia of Marine Mammals*, edited by W. F. Perrin, B. Wursig, and J. G. M. Thewissen (Elsevier, Amsterdam, Netherlands).
- May-Collado, L. J. (2013). "Guyana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Costa Rica emit whistles that vary with surface behaviors," *J. Acoust. Soc. Am.* **134**, EL359–EL365.
- May-Collado, L. J., Agnarsson, I., and Wartzok, D. (2007a). "Reexamining the relationship between body size and tonal signals frequency in whales: A comparative approach using a novel phylogeny," *Mar. Mamm. Sci.* **23**, 524–552.
- May-Collado, L. J., Agnarsson, I., and Wartzok, D. (2007b). "Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality," *BMC Evol. Biol.* **7**, 136.
- May-Collado, L. J., and Wartzok, D. (2009). "A characterization of Guyana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems," *J. Acoust. Soc. Am.* **125**, 1202–1213.
- Oswald, J. N., Rankin, S., and Barlow, J. (2004). "The effect of recording and analysis bandwidth on acoustic identification of delphinid species," *J. Acoust. Soc. Am.* **116**, 3178–3185.
- Rossi-Santos, M. R., and Podos, J. (2006). "Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*," *Behaviour* **143**, 347–364.

- Samarra, F. I. P., Deecke, V. B., Vinding, K., Rasmussen, M. H., Swift, R. J., and Miller, P. J. O. (2010). "Killer whales (*Orcinus orca*) produce ultrasonic whistles," *J. Acoust. Soc. Am.* **128**, EL205–EL210.
- Simonis, A. E., Baumann-Pickering, S., Oleson, E., Melcon, M. L., Gassmann, M., Wiggins, S. M., and Hildebrand, J. A. (2012). "High-frequency modulated signals of killer whales (*Orcinus orca*) in the North Pacific," *J. Acoust. Soc. Am.* **131**, EL295–EL301.