

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Bárbara Stefânea da Silva

**Caracterização dos sons explosivos de boto-cinza (*Sotalia guianensis*)
(Van Bénéden, 1864) no norte do estado do Espírito Santo - Brasil**

Juiz de Fora
2023

Bárbara Stefânea da Silva

**Caracterização dos sons explosivos de boto-cinza (*Sotalia guianensis*)
(Van Bénéden, 1864) no norte do estado do Espírito Santo - Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito à
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Orientador: Doutor Artur Andriolo

Coorientador: Mestra Yasmin Viana

Juiz de Fora

2023

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

Silva, Bárbara Stefânea .

Caracterização dos sons explosivos de boto-cinza (*Sotalia guianensis*) (Van Bénéden, 1864) no norte do estado do Espírito Santo - Brasil / Bárbara Stefânea Silva. – 2023.

30 p.

Orientador: Artur Andriolo

Coorientador: Yasmin Viana

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, 2023.

1. Bioacústica. 2. Boto-cinza. 3. Burst sounds. 4. Cetáceos. 5. Ecolocalização. I. Andriolo, Artur , orient. II. Viana, Yasmin, coorient. III. Título.

Bárbara Stefânea da Silva

**Caracterização dos sons explosivos de boto-cinza (*Sotalia guianensis*)
(Van Bénéden, 1864) no norte do estado do Espírito Santo - Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em 16 de janeiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

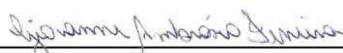


Artur Andriolo
Doutor – Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora



Franciele Resende de Castro
Doutora – Examinadora
Instituto Aqualie



Giovanna Ambrosio Ferreira.
Doutor – Examinador
Instituto Aqualie

Dedico este trabalho à minha mãe Graciely e ao meu padrasto Gilmar que me inspiram e me auxiliaram na realização deste sonho...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a oportunidade de conclusão desta etapa ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Ao Artur Andriolo, meu orientador, pelo incentivo, oportunidade e por acreditar em mim quando nem eu mesma acreditei.

Ao Instituto Aqualie e aos colegas do Laboratório de Ecologia Comportamental e Bioacústica (LABEC), em especial à Yasmin, por toda a ajuda e companheirismo durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Novamente agradeço aos meus pais, Graciely e Gilmar Pedretti, que criaram um ser humano grato e que reconhece o esforço que tiveram para me ensinar sobre a vida da melhor forma. Sou grata por tudo.

Aos amigos que a graduação me deu, em especial à Ana Carolina Monteiro, Ana Luíza Rangel, Bruna Medeiros, Lara Ferreira e Luíza Vargas, por tornar minha trajetória mais leve e engraçada.

À Renata, pela parceria, amor e cuidado nos meses dedicados ao desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação Espírito-Santense de Tecnologia - FEST que possibilitou projeto de pesquisa ambiental com o objetivo de avaliar os impactos da chegada de rejeitos de minério a costa do Espírito Santo.

Aos órgãos de financiamento e ao Instituto Aqualie pela disponibilização do banco de dados.

Agradeço também à banca pela disponibilidade e considerações engrandecedoras.

Obrigada por darem um propósito à minha graduação.

RESUMO

Os estudos acústicos do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) têm sido focados em assobios, sendo pouco conhecido, ainda, sobre os sinais pulsados emitidos por esta espécie. Os sinais pulsados são sons de banda larga e abrangem cliques de ecolocalização e sons explosivos (*burst sounds*). Os sons explosivos são caracterizados por apresentarem altas frequências, curtos intervalos entre cliques e uma alta taxa de repetição. São comumente associados a uma função comunicativa intraespecífica, porém, sua função ainda tem sido bastante discutida. Este trabalho teve como objetivo caracterizar parâmetros espectrais e temporais dos sons explosivos do boto-cinza registrados no norte do estado do Espírito Santo. A análise das vocalizações envolveu duas etapas: detecção do sinal e análise dos parâmetros acústicos. Ao todo, 12 variáveis foram analisadas para 21 sons explosivos: número de cliques, intervalo entre cliques, duração, frequência pico, frequência central -3 dB e -10 dB, largura de banda -3 dB e -10 dB, frequência mínima -3 dB e -10 dB e frequência máxima -3 dB e -10 dB. Foi observado que a duração do som explosivo do boto-cinza variou de 0.01 a 0.10s (0.05 ± 0.03 s). O intervalo entre cliques variou de 0.2 a 9.8 milissegundos (0.9 ± 0.4 ms). Os valores de frequência pico variaram de 60 a 96.4 kHz (73.66 ± 5.63 kHz). Os valores da frequência central - 3 dB variaram entre 59.73 e 96.58 kHz (73.75 ± 5.74 kHz) enquanto a frequência central -10 dB variou entre 10.04 e 94.86 kHz (73.56 ± 5.01 kHz). A largura de banda - 3 dB variou de 3.48 a 70.14 kHz (6.74 ± 1.57 kHz). Os valores de largura de banda - 10 dB ficaram entre 5.62 a 49.34 kHz (20.40 ± 6.95). A caracterização quantitativa dos sons explosivos do boto-cinza é um passo importante na descrição do repertório acústico completo desta espécie.

Palavras-chave: Bioacústica. *Burst sounds*. Cetáceos. Ecolocalização. Odontoceti.

ABSTRACT

Acoustic studies of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) have been focused on whistles, and little is known about pulsed signals in this species. Pulsed signals are broadband sounds and include echolocation clicks and bursts. Burst sounds are characterized by high frequencies, short inter-click interval and a high repetition rate and are commonly associated with an intraspecific communicative function, but their function has still been widely discussed. This study aimed to characterize spectral and temporal parameters of the burst sounds of the Guiana dolphin in the north of the state of Espírito Santo, Brazil. The analysis of the vocalizations involved two steps: signal detection and analysis of acoustic parameters. In all, 12 variables were analyzed for 21 explosive sounds: number of clicks, inter-click interval, duration, peak frequency, center frequency -3 dB and -10 dB, bandwidth -3 dB and -10 dB, minimum frequency -3 dB and -10 dB and maximum frequency -3 dB and -10 dB. It was observed that the duration of the Guiana dolphin's explosive sound ranged from 0.01 to 0.10s (0.05 ± 0.03 s). The interval between clicks ranged from 0.2 to 9.8 milliseconds (0.9 ± 0.4 ms). Peak frequency values ranged from 60 to 96.4 kHz (73.66 ± 5.63 kHz). The central frequency values of -3 dB varied between 59.73 and 96.58 kHz (73.75 ± 5.74 kHz) while the central frequency of -10 dB varied between 10.04 and 94.86 kHz (73.56 ± 5.01 kHz). The frequency of the -3 dB bandwidth ranged from 3.48 to 70.14 kHz (6.74 ± 1.57 kHz). Bandwidth values of -10 dB were between 5.62 to 49.34 kHz (20.40 ± 6.95). The quantitative characterization of the explosive sounds of the Guiana dolphin is an important step in the description of the complete acoustic repertoire of this species.

Keywords: Bioacoustics. *Burst sounds*. Cetaceans. Echolocation. Odontoceti.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mapa com as localizações geográficas das detecções acústicas de *S. guianensis* e ni realizadas através das análises dos arquivos gravados. Ni = Família ou espécie não identificada.....15
- Figura 2 – Mapa da área de estudo, destacando os transectos amostrados durante as 14 campanhas realizadas entre fevereiro e maio de 2019.....16
- Figura 3 – Visualização da cadeia de cliques de um som explosivo no software PAMGuard versão 2.02.03, utilizando o módulo Click Detector.....19
- Figura 4 – Painel superior: uma representação visual do som em que a amplitude (eixo y) é plotada em função do tempo (eixo x). Painel inferior: uma representação gráfica do som chamado de espectrograma com frequência (kHz) no eixo y e tempo (s) no eixo x. As cores mais escuras correspondem a amplitudes relativas mais altas e as cores mais claras representam amplitudes relativas mais baixas. Parâmetros de visualização do espectrograma: tipo de janela Hann, tamanho da janela: 512; 50% de sobreposição; FFT: 1024; Janela de tempo de 5,0 segundos, faixa de frequência de 0 a 180 kHz.....21
- Figura 5 – Detalhe dos cliques e intervalos entre clique de um som explosivo. Painel superior: uma representação visual do som em que a amplitude (eixo y) é plotada em função do tempo (eixo x). Painel inferior: uma representação gráfica do som chamado de espectrograma com frequência (kHz) no eixo y e tempo (s) no eixo x. As cores mais escuras correspondem a amplitudes relativas mais altas e as cores mais claras representam amplitudes relativas mais baixas. Parâmetros de visualização do espectrograma: tipo de janela Hann, tamanho da janela: 512; 50% de sobreposição; FFT: 1024; Janela de tempo < 1,0 segundo, faixa de frequência de 0 a 180 kHz.....21

Figura 6	– Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza: ICI (m), Duração do som explosivo (s), Frequência pico (kHz) e Frequência central -3dB (kHz).....	25
Figura 7	– Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza: Largura de banda -3dB (kHz), Frequência mínima -3dB (kHz), Frequência máxima -3dB (kHz), Frequência central -10dB (kHz).....	26
Figura 8	– Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza: Largura de banda -10dB (kHz), Frequência mínima -10dB (kHz), Frequência máxima -3dB (kHz).....	26
Foto 1	– Boto-cinza, <i>Sotalia guianensis</i> (P.J. van Bénédén, 1864) (Delphinidae). Fotografia de Renan Lopes Paitach.....	18

TABELAS

- Tabela 1 – Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza. Média \pm desvio padrão. Ni= espécie não identificada; N= número de sons explosivos; ICI: inter click interval. DP= desvio padrão; kHz= quilohertz; s= segundos; ms = milissegundos.....24
- Tabela 2 – Valores mínimos e máximos dos parâmetros acústicos dos sons explosivos de *S. guianensis*.....24
- Tabela 3 – Valores mínimos e máximos dos parâmetros acústicos dos sons explosivos de Ni. Ni = espécies não identificadas.....24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	METODOLOGIA.....	15
2.1	ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS.....	15
2.2	EXTRAÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS.....	18
2.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	19
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4	CONCLUSÃO.....	26

1 INTRODUÇÃO

Os cetáceos evoluíram no ambiente aquático e desenvolveram o sistema acústico como o sentido mais utilizado para desempenhar comportamentos que auxiliam na obtenção de informações sobre o ambiente subaquático, socialização, forrageio, atração de parceiros, reprodução, coesão de grupo e localização espacial (AMORIM et al., 2016; ANDRIOLO et al., 2018; AU, 1993; AU; GREEN, 2000; AU; HASTINGS, 2009). Os cetáceos se enquadram firmemente na Ordem Artiodactyla, sendo Cetacea uma Infraordem dividida em duas parvordens: Odontoceti, que compreende as baleias com dentes, e Mysticeti, que compreende as baleias com barbatanas (RICE, 2009), os integrantes da parvorden Odontoceti emitem diferentes tipos de sons divididos em duas categorias amplas: sons tonais e sinais pulsados. Os assobios são sons tonais, modulados em frequência, apresentam banda estreita e função de comunicação entre indivíduos em diversos contextos sociais (LAMMERS; AU; HERZING, 2003; RICHARDSON et al., 1995). Já os sinais pulsados são sons de banda larga e abrangem cliques de ecolocalização e sons explosivos (*burst sounds*). Os cliques de ecolocalização estão diretamente relacionados ao forrageio e navegação (AU; HERZING, 2003; LAMMERS; AU; HERZING, 2003; RICHARDSON et al., 1995). Já o som explosivo é caracterizado por apresentar altas frequências, curtos intervalos entre cliques e uma alta taxa de repetição (AU; HASTINGS, 2009), são comumente associados a uma função comunicativa intraespecífica (LAMMERS et al., 2004), porém sua função ainda têm sido bastante discutida.

A dificuldade da distinção entre cliques usados para ecolocalização e aqueles usados em sons explosivos é comum nas análises sonoras dos golfinhos. Tanto os sons explosivos quanto os cliques de ecolocalização são compostos por grupos de pulsos individuais, ou seja, cliques, mas é a taxa na qual esses cliques são emitidos, tal como o contexto comportamental, que alteram sua função aparente (JONES et al., 2020). Embora a audição humana seja limitada a frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz, os primeiros estudos sobre sons explosivos consistiam em descrições qualitativas, sendo descritos como os humanos os percebem (por exemplo, gritos, assobios, zumbidos, latidos, entre outros) (ANDRADE et al., 2017; JONES et al., 2020). Contudo, estudos recentes apontam que os sons explosivos são principalmente ultrassônicos em frequência, sugerindo que as definições auditivas dessas vocalizações não são apropriadas (LUÍS; COUCHINHO; DOS SANTOS, 2016).

Sons explosivos foram relatados em diferentes contextos sociais em muitas espécies de odontocetos. Estes sons foram fortemente ligados ao comportamento de socialização de golfinho-de-heaviside (*Cephalorhynchus heavisidii*) (MARTIN et al., 2019), contextos agonísticos e agressivos em golfinhos-de-hector (*Cephalorhynchus hectori*) (DAWSON, 1991), *Phocoena phocoena* (AMUNDIN, 1991), golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) (AMUNDIN, 2004) e golfinhos-pintados-do-atlântico (*Stenella frontalis*) (HERZING, 2015), assim como em comportamento de corte como foi visto também em golfinhos-pintados-do-atlântico (HERZING, 1996). Ridgway et al. (2015) considerava os sons explosivos (chamados de *squeals* ou *victory squeals* pelo autor) sinais que ocorriam diretamente após ($0,449 \pm 0,145$ s) uma tarefa concluída com sucesso, como uma forma de comemoração. Um estudo recente relatou que sons explosivos podem estar relacionados à mudança no estado comportamental de golfinho-de-bico-branco (*Lagenorhynchus albirostris*) (SIMARD; MANN; GOWANS, 2008). Como foi relatado, os sons explosivos têm como base não só os parâmetros acústicos do som, mas estão fortemente ligados ao contexto comportamental de sua emissão, assim como todas as complexidades comportamentais. Vale ressaltar que o presente trabalho analisará apenas o caráter acústico deste sinal.

O Monitoramento Acústico Passivo (MAP), utiliza de hidrofones para converter energia mecânica em energia elétrica, é uma ferramenta cada vez mais utilizada pela comunidade científica para estudar o ambiente acústico marinho, por possibilitar um monitoramento em tempo real em largas escalas de tempo, sendo útil também em ambientes remotos, de difícil acesso. Uma de suas aplicações na área da biodiversidade está na possibilidade de avaliar o comportamento e ecologia de mamíferos marinhos, especialmente cetáceos, que são animais vocalmente ativos e que podem permanecer submersos por um longo período. O MAP permite uma coleta de dados em tempo integral, e independe de boas condições climáticas e meteorológicas para o seu bom funcionamento. Desta forma, é uma ferramenta com capacidade de monitorar acusticamente o ambiente marinho em condições desfavoráveis de coleta e em qualquer horário do dia, promovendo grandes conquistas no entendimento da biologia, comportamento e ecologia dos cetáceos (ANDRIOLO et al., 2018).

O boto-cinza, *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864) (Delphinidae), distribui-se na costa tropical e subtropical das Américas do Sul e Central, desde a Nicarágua (CARR; BONDE, 2000) até Florianópolis, no Estado de Santa Catarina, Sul do Brasil

(LOPES, 1988), habitando águas costeiras e estuarinas. Esta espécie produz um repertório de assobios variável relacionado a diferentes contextos sociais, além dos cliques de ecolocalização e sons explosivos (DE ANDRADE et al., 2015; KAMMINGA, 1988; MONTEIRO-FILHO; MONTEIRO, 2001). Estudos recentes têm se concentrado em descrever o repertório sonoro geral para a espécie, com um enfoque nos assobios, comparando as características dos assobios entre populações de *Sotalia guianensis* (AZEVEDO; VAN SLUYS, 2005; DE ANDRADE et al., 2015; ROSSI-SANTOS; PODOS, 2006). Poucos estudos têm focado nos cliques de ecolocalização desta espécie (KAMMINGA, 1988) e até o momento poucos estudos apresentam um detalhamento acerca dos sons explosivos de *S. guianensis* em vida livre.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é detalhar parâmetros acústicos e propriedades espectrais de sons explosivos emitidos pelo botos-cinza de vida livre registrados no norte do estado do Espírito Santo. Através da compreensão acerca dos parâmetros acústicos e propriedades espectrais destes animais, pode-se descobrir mais sobre o papel na ecolocalização, comunicação e interações inter e intra-específica, já que os sons explosivos em algum nível parecem ser utilizados em diferentes contextos comportamentais.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

O presente estudo foi realizado entre as cidades de Vitória – ES (7752067,98 m; 360001,72 m - UTM 24S) e limite norte do Estado do Espírito Santo (7972252,32 m; 429613,26 m - UTM 24S), a área de estudo consistiu em áreas costeiras e oceânicas adjacentes ao rio Doce, incluindo a REBIO Comboios, APA Costa das Algas e REVIS de Santa Cruz (Figura 1). Os dados foram coletados pelo Projeto Megafauna/Bioacústica - Instituto Aqualie. Estes dados foram coletados após as marcas deixadas pelo desastre ambiental ocorrido em 5 de novembro de 2015, quando a barragem de rejeitos de minério se rompeu, em Bento Rodrigues, Mariana-MG. Os resíduos atingiram os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, por 600 kms até desembocar na foz do rio Doce, em Regência, município de Linhares-ES, atingindo o oceano. Dessa forma, se mostra importante estudos acerca da conservação da biodiversidade marinha e costeira do Brasil.



Figura 1: Mapa com as localizações geográficas das detecções acústicas de *S. guianensis* e *ni* realizadas através das análises dos arquivos gravados. *Ni* = Família ou espécie não identificadas. Mapa realizado pelo autor.

O método utilizado neste projeto de pesquisa foi o monitoramento acústico passivo, consistindo no arrasto de uma matriz de hidrofones rebocada por uma embarcação (ANDRIOLO et al., 2018) que percorreu transectos em zig-zag entre Vitória – ES e o limite norte do Estado do Espírito Santo (Figura 2).

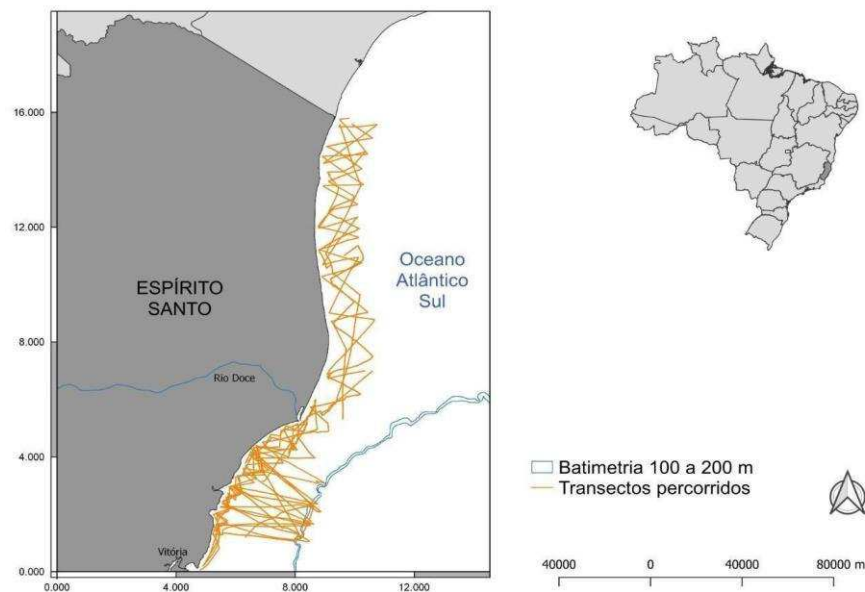


Figura 2: Mapa da área de estudo, destacando os transectos amostrados durante as 14 campanhas realizadas entre fevereiro e maio de 2019.

As campanhas de coleta de dados foram realizadas em um veleiro de 40 pés, entre 22 de fevereiro e 23 de maio de 2019, totalizando 90 dias corridos. Durante este

período, foi realizado diariamente o monitoramento climatológico através do Windy (www.windy.com) e WindGuru (www.windguru.cz) para verificar se haviam condições favoráveis para a navegação à vela na área de estudo. Contudo, para o presente estudo foram consideradas apenas dados de duas das quatorze campanhas, totalizando 19 horas de dados analisados.

Os transectos em zig-zag só não foram seguidos em casos que as condições ambientais não permitiram seguir este tipo de desenho amostral. Foram utilizados os métodos visual e acústico na busca de cetáceos (Foto 1). O monitoramento visual aconteceu durante o período de luminosidade, a olho nu ou com a utilização de binóculo em condições ambientais favoráveis: escala Beaufort até cinco, boas condições de visibilidade e altura de onda até 2m.

O monitoramento acústico foi conduzido de forma contínua através do arrasto de uma matriz de hidrofones pela embarcação. O esforço acústico foi interrompido apenas quando as condições ambientais não eram favoráveis: Beaufort a partir de seis, altura de onda superior a três metros e velocidade do vento insuficiente para a manutenção da navegação à vela. Foi utilizada uma matriz de arrasto linear (Auset Technology, Juiz de Fora, Brasil), com 50 metros de comprimento, composta por quatro hidrofones omnidirecionais (filtro passa-alta de 0,499 Hz, sensibilidade de -205 dB re 1V/ μ Pa, ganho do pré-amplificador de 20 dB, resposta de frequência de 265 kHz para o primeiro par (mais próximo à popa) e 160 kHz para o segundo par de hidrofones), O sistema acústico ainda era composto por uma placa digitalizadora SailDaq com frequência de amostragem de 500kHz/24bits conectada a um módulo de gravação PAMGuard (GILLESPIE et al., 2009). Os arquivos de áudio foram salvos no formato *wav*. e os dados de GPS da rota da navegação registrados e salvos em banco de dados apropriado.



Foto 1: Boto-cinza, *Sotalia guianensis* (P.J. van Bénédén, 1864) (Delphinidae). Fotografia de Renan Lopes Paitach.

2.2 EXTRAÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS

Para a seleção dos sons explosivos (cadeia de cliques), apenas os sinais que apresentavam início e fim bem definidos e contorno visível foram considerados, e os seguintes parâmetros foram extraídos: duração do explosivo, intervalo entre cliques (*inter click interval* - ICI) e número de cliques por cadeia. Os sinais foram identificados e medidos diretamente através da *waveform* gerada pelo *software* Raven Pro 1.6 (Cornell Laboratory of Ornithology, Cornell University, NY, USA), considerando o valor de SNR (*signal to noise ratio*) para cada sinal individual, sendo considerados somente sinais que apresentavam contorno nítido ($\text{SNR} \geq 8$ decibéis) para o estabelecimento da seleção.

Para os cliques, os parâmetros de largura de banda, frequência mínima, máxima e central foram medidos a 3 decibéis (dB) e a 10 decibéis (dB) da frequência pico. Também foi utilizado o parâmetro frequência pico. A segunda etapa da extração dos parâmetros acústicos consistiu na individualização das cadeias de cliques no *software* PAMGuard, que posteriormente foram submetidas à uma análise desenvolvida para a extração automática dos parâmetros através do pacote PAMpal (SAKAI et al., 2022) no *software* R 4.2.1 (R: *The R Project for Statistical Computing*). Os dados das extrações foram organizados em planilhas para as análises descritivas.

Simultaneamente às análises anteriores, toda a base de dados foi submetida ao processamento via *software* PAMGuard versão 2.02.03 (GILLESPIE et al., 2009), utilizando o módulo *Click Detector*, aprimorado para a detecção dos cliques pertencentes aos sons explosivos (Figura 4). Os parâmetros de detecção e de amostragem de ruído foram ajustados de modo a mitigar o ruído de fundo observado no espectrograma. Todos os arquivos indicados como momentos de ocorrência de sinais bioacústicos foram inspecionados concomitantemente no *software* Raven Pro 1.6 (janela Hann 512 pontos, FFT com 2014 pontos e sobreposição de 80%) com o objetivo de confirmar os sinais acústicos.

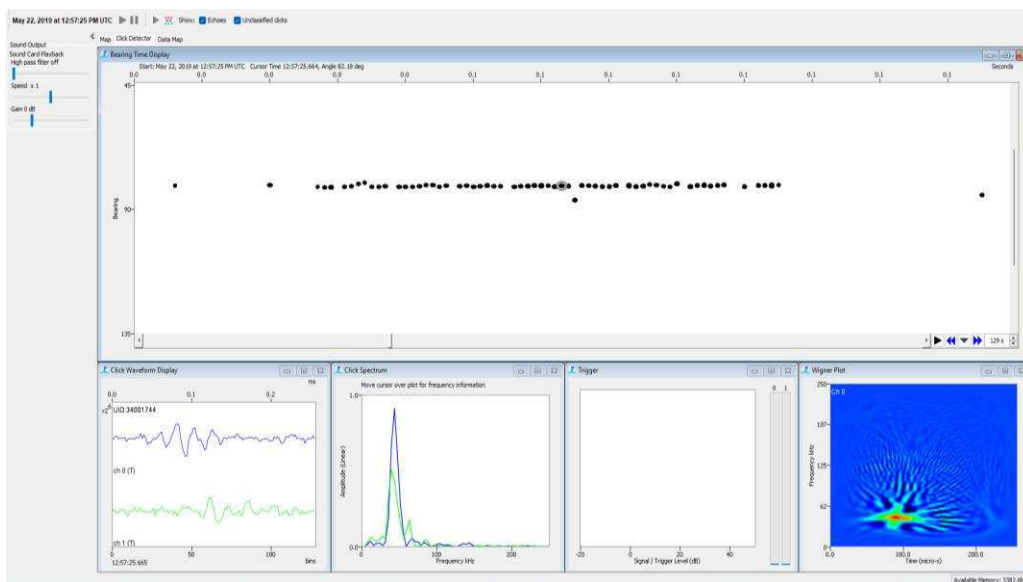


Figura 3: visualização da cadeia de cliques de um som explosivo no *software* PAMGuard versão 2.02.03, utilizando o módulo *Click Detector*.

2.3 ANÁLISE DESCRITIVA

Após a extração dos parâmetros através do pacote PAMPal (SAKAI et al., 2022), foi realizada a extração manual dos outliers, que são dados extremos possivelmente não biológicos. Os valores de média e desvio padrão dos parâmetros acústicos foram computados para cada cadeia de cliques no *software* R 4.2.1 (R: *The R Project for Statistical Computing*). A média final de cada parâmetros acústicos dos sinais explosivos produzidos pela espécie modelo de estudo, foi acessada a partir da média por cadeia. O mesmo foi feito para os parâmetros extraídos manualmente (duração do explosivo, ICI e número de cliques por cadeia).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas 19 horas inspecionadas, um total de 30 cadeias de sons explosivos, com início e fim bem definidos, foram selecionadas para análise dos parâmetros acústicos, sendo 21 atribuídos ao boto-cinza e 9 não identificados. A maior parte das detecções dos sons explosivos foram encontradas individualmente. Apenas um evento com sequência de 12 sons explosivos foi observado (Figura 4). Os sons explosivos apresentaram contorno, largura de banda e duração bastante variáveis. Séries de pulsos estereotipados não foram observadas nas gravações. Contudo, séries repetidas de sons explosivos foram encontradas em outro grupo de delfínido, como foi visto para o golfinho-liso-do-norte (*Lissodelphis borealis*), onde os sons explosivos parecem admitir um padrão estereotipado (RANKIN et al., 2007).

Para *S. guianensis* a duração do som explosivo variou de 0.01 a 0.10s (0.05 ± 0.03 s). Um total de 617 cliques compunham os explosivos (56.80 ± 30.58). Apenas dois dos 21 sons explosivos tiveram mais de 100 cliques. O intervalo entre cliques variou de 0.2 a 9.8 milissegundos (0.9 ± 0.4 ms) (Figura 4). Os valores de frequência de pico variaram de 60 a 96.4 kHz (73.66 ± 5.63 kHz). As estatísticas descritivas de todos os parâmetros acústicos são apresentadas na Tabela 1, os valores mínimos e máximos estão detalhados nas Tabelas 2 e 3, e os histogramas de todos os parâmetros medidos são apresentados nas Figuras 6, 7 e 8. Todos os sons explosivos atribuídos ao boto-cinza tiveram uma frequência pico na faixa ultrassônica (acima de 20 kHz, aproximadamente o limite superior de frequência audível para humanos). Os valores da frequência central de - 3 dB variaram entre 59.73 e 96.58 kHz (73.75 ± 5.74 kHz) enquanto a frequência central de -10 dB variou entre 10.04 e 94.86 kHz (73.56 ± 5.01 kHz). A frequência da largura de banda de - 3 dB variou de 3.48 a 70.14 kHz (6.74 ± 1.57 kHz). Os valores de largura de banda de - 10 dB ficaram entre 5.62 a 49.34 kHz (20.40 ± 6.95).

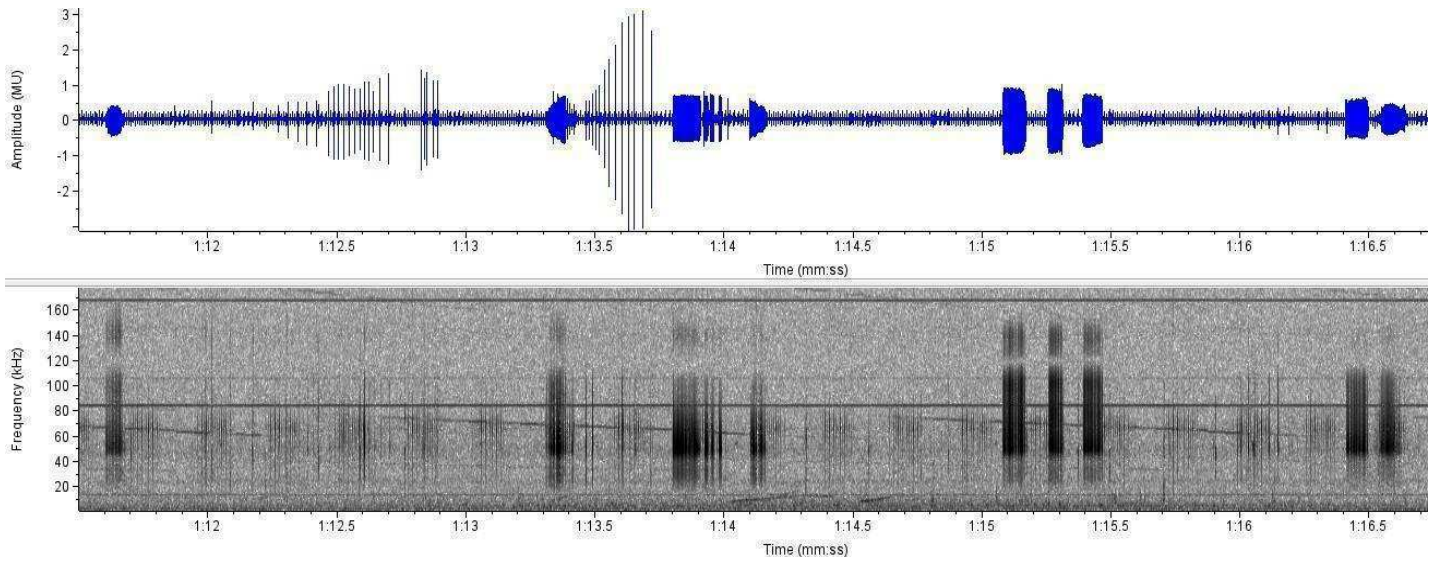


Figura 4: Painel superior: uma representação visual do som em que a amplitude (eixo y) é plotada em função do tempo (eixo x) (oscilograma). Painel inferior: uma representação gráfica do som chamado de espectrograma com frequência (kHz) no eixo y e tempo (s) no eixo x. As cores mais escuras correspondem a amplitudes relativas mais altas e as cores mais claras representam amplitudes relativas mais baixas. Parâmetros de visualização do espectrograma: tipo de janela Hann, tamanho da janela: 512; 80% de sobreposição; FFT: 1024; Janela de tempo de 5,0 segundos, faixa de frequência de 0 a 180 kHz.

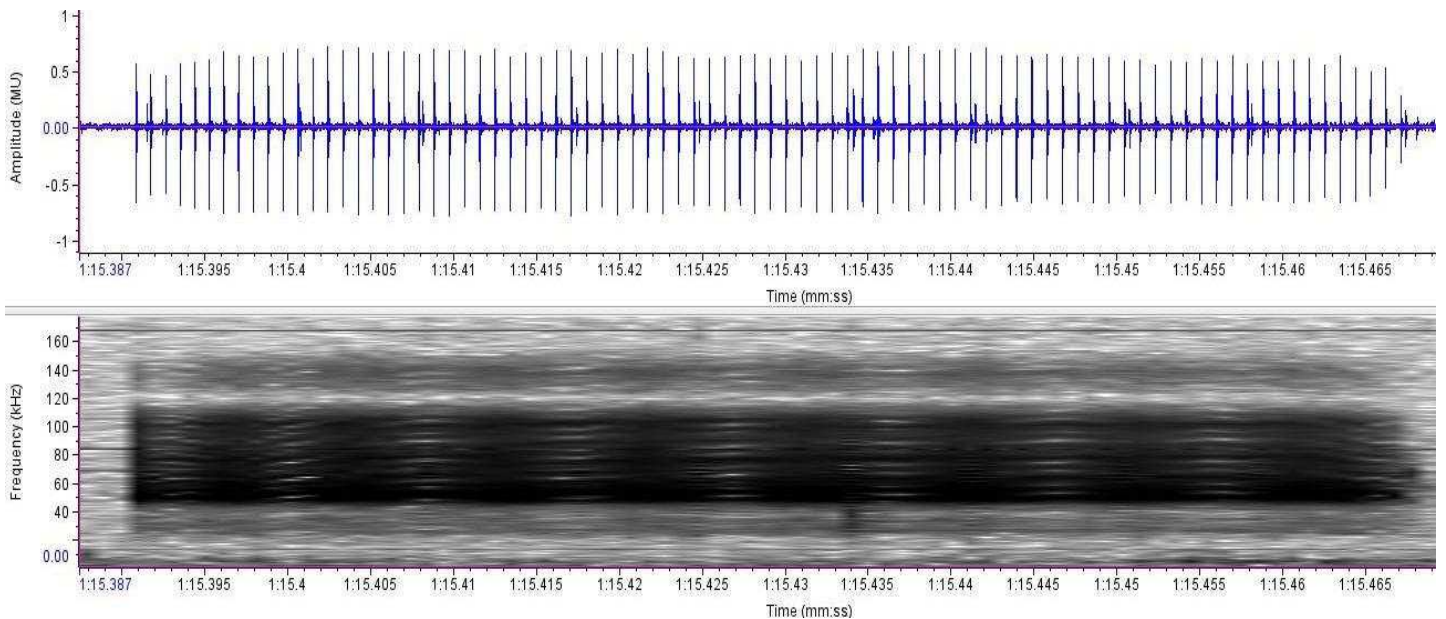


Figura 5: Detalhe dos cliques e intervalos entre clique de um som explosivo. Painel superior: uma representação visual do som em que a amplitude (eixo y) é plotada em função do tempo (eixo x). Painel inferior: uma representação gráfica do som chamado de espectrograma com frequência (kHz) no eixo y e tempo (s) no eixo x. As cores mais escuras correspondem a amplitudes relativas mais altas e as cores mais claras representam amplitudes relativas mais baixas. Parâmetros de visualização do espectrograma: tipo de janela Hann, tamanho da janela: 512; 80% de sobreposição; FFT: 1024; Janela de tempo < 1,0 segundo, faixa de frequência de 0 a 180 kHz.

Para os nove sons explosivos não identificados (Ni), encontrou-se uma duração que variou de 0.0001 a 0.0023s (0.04 ± 0.01 s). No geral, um total de 460 cliques compunham os explosivos Ni (51.11 ± 22.34). Nenhum explosivo desta categoria apresentou mais de 100 cliques, o valor mínimo por cadeia foi de 21 cliques e o valor máximo foi de 91 cliques. O intervalo entre cliques variou de 16.7 a 66.8 ms

(0.7 ± 0.06 ms). Os valores de frequência de pico variaram de 10.80 a 85.6 kHz (50.38 ± 13.86 kHz). Os valores da frequência central de -3 dB variaram entre 10.67 a 86.15 kHz (50.34 ± 13.95 kHz) enquanto a frequência central de -10 dB variou entre 10.04 a 94.86 (50.82 ± 13.53 kHz). A frequência da largura de banda de -3 dB variou de 3.55 a 19.87 kHz (8.43 ± 1.52 kHz), enquanto os valores de largura de banda de -10 dB ficaram entre 5.73 a 58.01 kHz (22.68 ± 4.71 kHz). Os valores mínimos e máximos de cada parâmetro estão detalhados nas Tabelas 2 e 3.

A duração média (0.05 ± 0.03 s) dos sons explosivos do boto-cinza foram menores em comparação com outros delfínidos (e.g. golfinho-de-bico-branco (*Lagenorhynchus albirostris*) (0.33 ± 0.11 s) (SIMARD; MANN; GOWANS, 2008) e golfinho-corcunda-indopacífico (*Sousa chinensis*) (1.7 ± 0.018 s) (VAN PARIJS; CORKERON, 2001). A duração média também foi menor em comparação com outro estudo que descreveu parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza. ANDRADE et al., (2017) encontrou uma duração média maior do que a descrita neste trabalho (0.108 ± 0.0913 s), contudo utilizando um nº amostral bem maior (197 sons explosivos de boto-cinza).

Um estudo recente realizado em ambiente de simpatria entres botos-cinza e toninhas (*Pontoporia blainvillei*), descreveu parâmetros acústicos para 21 sons explosivos de toninha. O número mínimo de cliques foi 6 e o máximo foi 93 (24.2 ± 23.9). A frequência inicial mínima foi de 69.0 kHz e a máxima foi de 82.1 kHz (77 ± 3.81 kHz). Já a duração variou entre 0.019 e 0.276 s (0.075 ± 0.065 s) (CREMER et al., 2017).

Apenas dois dos 21 sons explosivos apresentaram mais de 100 cliques, diferente do observado por ANDRADE et al. (2017) para maioria dos 197 sons explosivos analisados. No entanto, é importante considerar a diferença no número de indivíduos, a área estudada, tipo de estrutura populacional entre outras variáveis existentes no estudo de ANDRADE et al. (2017). LAMMERS; AU; HERZING, (2003) relataram números de cliques de sons explosivos para duas espécies de delfínidos: mais que 70 cliques de golfinhos-pintados-do-atlântico (*Stenella frontalis*), e menos que 70 cliques de golfinhos-rotadores (*Stenella longirostris*).

No presente trabalho, os sons explosivos de boto-cinza tiveram um valor médio de ICI (0.9 ± 0.4 ms) maior do que foi relatado por (ANDRADE et al., 2017) (0.7 ± 0.3 ms). Em outras espécies de delfínidos, sons explosivos com ICI curto foram relatados

principalmente durante contextos associados às funções sociais (DAWSON, 1991; RANKIN et al., 2007; SIMARD; MANN; GOWANS, 2008).

Sons explosivos com energia em frequências ultrassônicas foram unânimes para o boto-cinza. Contudo, ANDRADE et al. (2017) relatou que 25% dos sons explosivos de boto-cinza tiveram uma frequência pico em uma frequência audível para os humanos. Para outras espécies de delfínidos, um valor médio da frequência pico abaixo de 20 kHz foi relatado. Sons explosivos produzidos por baleias orca (*Orcinus orca*) tinham valores de frequência pico abaixo de 20 kHz (FORD, 1989, 1991). Cerca de 20% dos pulsos do golfinho-pintado-do-atlântico (*Stenella frontalis*) e 17,8% dos pulsos do golfinho-rotador (*Stenella longirostris*) tiveram pico de frequência abaixo de 20 kHz (LAMMERS; AU; HERZING, 2003). Quanto aos valores de frequência central, foi encontrada uma ampla variação de valores de largura de banda de 3 e 10 dB nos pulsos do boto-cinza. De acordo com AU (1993), esses parâmetros acústicos são importantes para a caracterização dos sinais pulsados. No entanto, poucos estudos acústicos de odontocetos relataram essas medições para sons explosivos (RANKIN et al., 2011; SIMARD; MANN; GOWANS, 2008).

Apesar do presente estudo não abordar aspectos comportamentais relacionados aos sons explosivos, vale ressaltar que o presente trabalho analisou apenas o caráter acústico deste sinal, contribuindo para o aumento do conhecimento do repertório acústico da espécie, assim como para o entendimento das demais complexidades comportamentais. Quanto ao aspecto comportamental, vários estudos sugerem que os sons explosivos podem desempenhar um importante papel na manutenção do contato entre indivíduos que estão fisicamente próximos. De acordo com BRANSTETTER et al., (2012), os sons explosivos do golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) são altamente direcionais e podem estar relacionados à comunicação entre membros próximos do grupo. Um estudo das vocalizações do golfinho-rotador (*Stenella longirostris*) no Havaí relatou que os sons explosivos também foram emitidos quando os indivíduos estavam próximos uns dos outros, sugerindo que esses sons podem estar relacionados à comunicação entre indivíduos próximos (LAMMERS; SCHOTTEN; AU, 2006). A emissão de sons explosivos também já foi registrada durante a alimentação e socialização em grupos de boto-cinza que contava com a presença de filhotes na Baía da Guanabara. A presença de filhotes em grupos de boto-cinza poderia ser um fator importante na emissão deste

tipo de vocalização, uma vez que um alto grau de interação entre os indivíduos pode ser observado em grupos com filhotes (ANDRADE et al., 2017).

Espécie	N	Banda de -3dB				Banda de -10dB				N cliques	Duração		
		Frequência pico		Frequência central	Largura de banda	Frequência mínima	Frequência máxima	Frequência central	Largura de banda			Frequência mínima	Frequência máxima
		ICI	Média±DP (ms)										
<i>S. guianensis</i>	21	0.9±0.4	73.66±5.63	73.75±5.74	6.74±1.57	70.37±5.58	77.12±6.00	73.56±5.01	20.40±6.95	63.36±5.43	83.76±6.71	56.80±30.58	0.05±0.03
Ni	9	0.7±0.06	50.38±13.86	50.34±13.95	8.43±1.52	46.12±14.02	54.55±13.92	50.82±13.53	22.68±4.71	39.48±13.56	62.16±13.91	51.11±22.34	0.04±0.01

Tabela 1: Estatística descritiva dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza. Média ± desvio padrão. Ni= espécie não identificada; N= número de sons explosivos; ICI: inter click interval. DP= desvio padrão; kHz= quilohertz; s= segundos; ms = milissegundos.

Parâmetros acústicos	Unidade	Valores de mínimos e máximos
Número de cliques	-	13 - 102
Intervalo entre cliques	ms	0.2 - 9.8
Frequência pico	kHz	60 - 96.4
Frequência central -3dB	kHz	59.73 - 96.58
Largura de banda -3dB	kHz	3.48 - 70.14
Frequência mínima -3dB	kHz	56.20 - 94.10
Frequência máxima -3dB	kHz	63.25 - 100.14
Frequência central -10dB	kHz	60.98 - 94.50
Largura de banda -10dB	kHz	5.62 - 49.34
Frequência mínima -10dB	kHz	43.46 - 88.29
Frequência máxima -10dB	kHz	65.10 - 107.28
Duração do explosivo	s	0.0127 - 0.1057

Tabela 2: Valores mínimos e máximos dos parâmetros acústicos dos sons explosivos de *S. guianensis*.

Parâmetros acústicos	Unidade	Valores de mínimos e máximos
Número de cliques	-	21 - 91
Intervalo entre cliques	ms	16.7 - 66.8
Frequência pico	kHz	10.80 - 85.6
Frequência central -3dB	kHz	10.67 - 86.15
Largura de banda -3dB	kHz	3.55 - 19.87
Frequência mínima -3dB	kHz	7.80 - 81.04
Frequência máxima -3dB	kHz	13.07 - 91.25
Frequência central -10dB	kHz	10.04 - 94.86
Largura de banda -10dB	kHz	5.73 - 58.01
Frequência mínima -10dB	kHz	4.25 - 77.74
Frequência máxima -10dB	kHz	14.67 - 114.40
Duração do explosivo	s	0.0001 - 0.0023

Tabela 3: Valores mínimos e máximos dos parâmetros acústicos dos sons explosivos de Ni. Ni = espécies não identificadas.

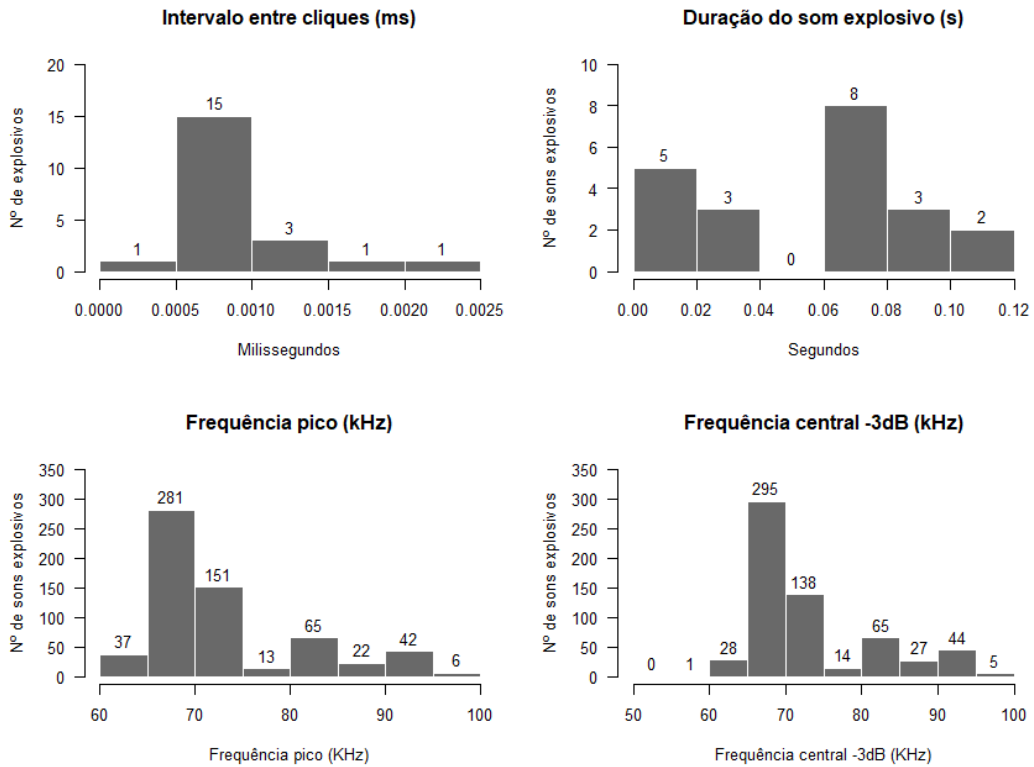


Figura 6: Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza: ICI (m), Duração do som explosivo (s), Frequência pico (kHz) e Frequência central -3dB (kHz).

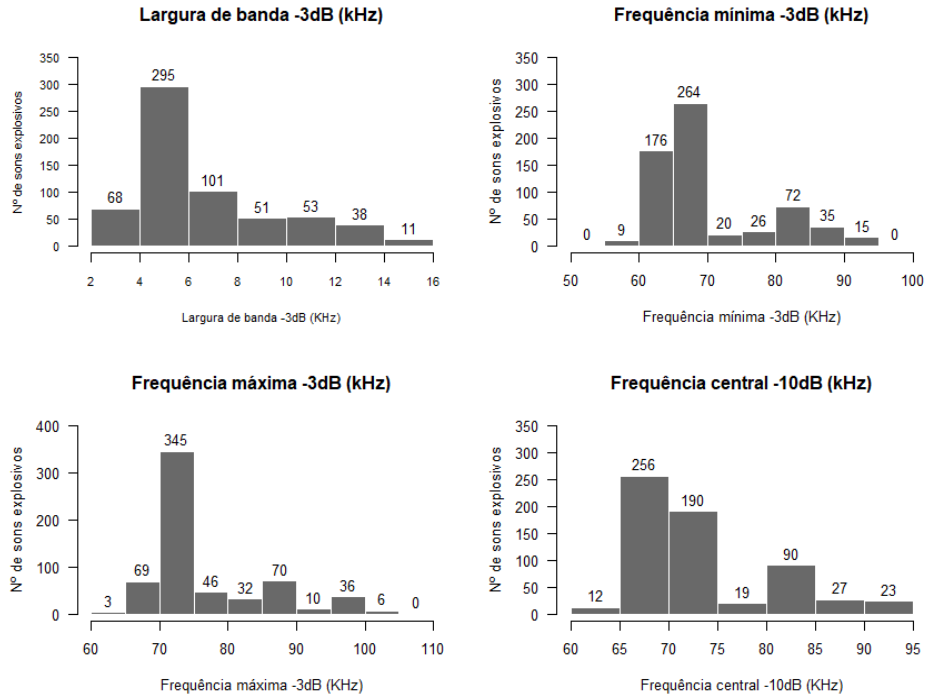


Figura 7: Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza: Largura de banda -3dB (kHz), Frequência mínima -3dB (kHz), Frequência máxima -3dB (kHz), Frequência central -10dB (kHz).

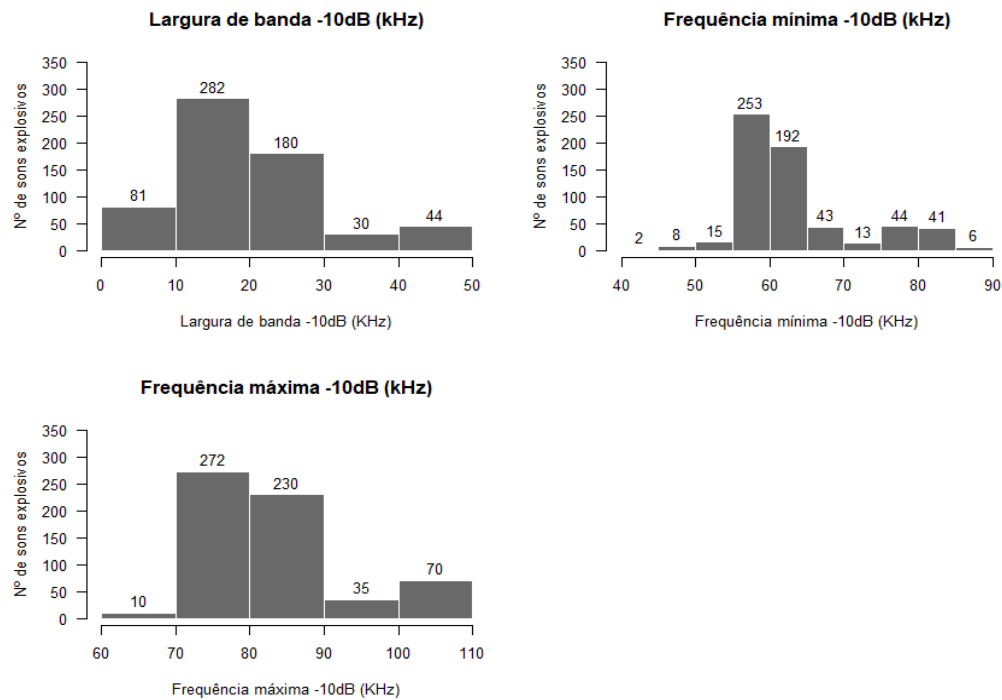


Figura 8: Histogramas dos parâmetros acústicos dos sons explosivos do boto-cinza: Largura de banda -10dB (kHz), Frequência mínima -10dB (kHz), Frequência máxima -3dB (kHz).

4 CONCLUSÃO

Este estudo traz uma caracterização detalhada acerca dos sons explosivos produzidos por boto-cinza com base nas análises dos parâmetros acústicos destes sinais. Os indivíduos desta espécie registrados na porção norte do estado do Espírito Santo apresentaram um repertório variável de sons explosivos. Importante destacar também que, apesar de um estudo local, investigações semelhantes são importantes para compreender o repertório acústico e seu papel para a espécie, bem como compreender se estes sinais teriam um papel classificatório e de distinção entre populações.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, T. O. S. et al. Vocalizations of Amazon river dolphins (*Inia geoffrensis*): Characterization, effect of physical environment and differences between populations. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 139, n. 3, p. 1285–1293, mar. 2016.
- AMUNDIN, M. **Sound production in odontocetes with emphasis on the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*)** Stockholm, Sweden: University of Stockholm, 1991.
- AMUNDIN, M. High-Frequency Burst-Pulse Sounds in Agonistic/Aggressive Interactions in Bottlenose Dolphins, *Tursiops truncatus*. 1 jan. 2004.
- ANDRADE, L. G. DE et al. Burst pulses of Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) in southeastern Brazil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 141, n. 4, p. 2947–2956, abr. 2017.
- ANDRIOLO, A. et al. Marine Mammal Bioacoustics Using Towed Array Systems in the Western South Atlantic Ocean. Em: ROSSI-SANTOS, M. R.; FINKL, C. W. (Eds.). **Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America**. Coastal Research Library. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 22p. 113–147.
- AU, W. W. L. **The Sonar of Dolphins**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 1993.
- AU, W. W. L.; GREEN, M. Acoustic interaction of humpback whales and whale-watching boats. **Marine Environmental Research**, v. 49, n. 5, p. 469–481, jun. 2000.
- AU, W. W. L.; HASTINGS, M. C. **Principles of Marine Bioacoustics**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2009.
- AU, W. W. L.; HERZING, D. L. Echolocation signals of wild Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 113, n. 1, p. 598–604, jan. 2003.
- AZEVEDO, A. F.; VAN SLUYS, M. Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 117, n. 3, p. 1456–1464, mar. 2005.
- BRANSTETTER, B. K. et al. Directional properties of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) clicks, burst-pulse, and whistle sounds. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 131, n. 2, p. 1613–1621, fev. 2012.
- CARR, T.; BONDE, R. K. Tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) Occurs in Nicaragua, 800 Km North of Its Previously Known Range. **Marine Mammal Science**, v. 16, n. 2, p. 447–452, 2000.
- CREMER, M. J. et al. Social sounds produced by franciscana dolphins, *Pontoporia blainvillei* (Cetartiodactyla, Pontoporiidae). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 141, n. 3, p. 2047–2054, mar. 2017.

DAWSON, S. M. Clicks and Communication: The Behavioural and Social Contexts of Hector's Dolphin Vocalizations. **Ethology**, v. 88, n. 4, p. 265–276, 1991.

DE 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 ethologica**, v. 18, n. 1, p. 47–57, fev. 2015.

FORD, J. K. B. Acoustic behaviour of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia. **Canadian Journal of Zoology**, v. 67, n. 3, p. 727–745, 1 mar. 1989.

FORD, J. K. B. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. **Canadian Journal of Zoology**, v. 69, n. 6, p. 1454–1483, 1 jun. 1991.

GILLESPIE, D. et al. PAMGUARD: Semiautomated, open source software for real-time acoustic detection and localization of cetaceans. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, p. 2547, 1 maio 2009.

HERZING, D. Synchronous and Rhythmic Vocalizations and Correlated Underwater Behavior of Free-ranging Atlantic Spotted Dolphins (*Stenella frontalis*) and Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Bahamas. **Animal Behavior and Cognition**, v. 2, n. 1, p. 14–29, 1 fev. 2015.

HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. [s.d.].

JONES, B. et al. Sounds produced by bottlenose dolphins (*Tursiops*): a review of the defining characteristics and acoustic criteria of the dolphin vocal repertoire. **Bioacoustics**, v. 29, n. 4, p. 399–440, 3 jul. 2020.

KAMMINGA, C. Echolocation Signal Types of Odontocetes. Em: NACHTIGALL, P. E.; MOORE, P. W. B. (Eds.). **Animal Sonar: Processes and Performance**. NATO ASI Science. Boston, MA: Springer US, 1988. p. 9–22.

LAMMERS, M. O. et al. **Echolocation in Bats and Dolphins**. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, 2004. p. 414–419

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

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

LOPES, P. C. S. Ocorrência de uma população de *Sotalia fluviatilis* Gervais, 1853, (cetácea, delphinidae) no limite sul de sua distribuição, Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, v. 1, n. 1, p. 57–62, 1 jan. 1988.

LUÍS, A. R.; COUCHINHO, M. N.; DOS SANTOS, M. E. A Quantitative Analysis of Pulsed Signals Emitted by Wild Bottlenose Dolphins. **PLOS ONE**, v. 11, n. 7, p. e0157781, 6 jul. 2016.

MARTIN, M. J. et al. To buzz or burst-pulse? The functional role of Heaviside's dolphin, *Cephalorhynchus heavisidii*, rapidly pulsed signals. **Animal Behaviour**, v. 150, p. 273–284, abr. 2019.

MONTEIRO-FILHO, E. L.; MONTEIRO, K. D. Low-frequency sounds emitted by *Sotalia fluviatilis guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in an estuarine region in southeastern Brazil. **Canadian Journal of Zoology**, v. 79, n. 1, p. 59–66, jan. 2001.

R: The R Project for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 24 dez. 2022.

RANKIN, S. et al. Patterned burst-pulse vocalizations of the northern right whale dolphin, *Lissodelphis borealis*. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 121, n. 2, p. 1213–1218, fev. 2007.

RANKIN, S. et al. Description of sounds recorded from Longman's beaked whale, *Indopacetus pacificus*. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 130, n. 5, p. EL339–EL344, nov. 2011.

RICE, D. W. Classification (Overall). Em: PERRIN, W. F.; WÜRSIG, B.; THEWISSEN, J. G. M. (Eds.). **Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)**. London: Academic Press, 2009. p. 234–238.

RICHARDSON, W. J. et al. **Marine Mammals and Noise**. [s.l.] Academic Press, 1995.

RIDGWAY, S. et al. On doing two things at once: dolphin brain and nose coordinate sonar clicks, buzzes, and emotional squeals with social sounds during fish capture. **Journal of Experimental Biology**, p. jeb.130559, 1 jan. 2015.

RIDGWAY, S. H. et al. Forward shift of feeding buzz components of dolphins and belugas during associative learning reveals a likely connection to reward expectation, pleasure and brain dopamine activation. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, n. 16, p. 2910–2919, 15 ago. 2014.

RIDGWAY, S. H.; DIBBLE, D. S.; KENNEMER, J. A. Timing and context of dolphin clicks during and after mine simulator detection and marking in the open ocean. **Biology Open**, v. 7, n. 2, p. bio031625, 15 fev. 2018.

ROSSI-SANTOS, M.; PODOS, J. Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. **Behaviour**, v. 143, 1 mar. 2006.

SAKAI, T. et al. **PAMpal: Load and Process Passive Acoustic Data**. , 8 nov. 2022. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=PAMpal>>. Acesso em: 24 dez. 2022

SIMARD, P.; MANN, D. A.; GOWANS, S. Burst-Pulse Sounds Recorded from White-Beaked Dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*). **Aquatic Mammals**, v. 34, n. 4, p. 464–470, 1 dez. 2008.

VAN PARIJS, S. M.; CORKERON, P. J. Vocalizations and Behaviour of Pacific Humpback Dolphins *Sousa chinensis*. **Ethology**, v. 107, n. 8, p. 701–716, 2001.