

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

CAMPUS DO LITORAL PAULISTA

Lucas Pereira Santos

**ALOMETRIA ACÚSTICA: EXPLORANDO A RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS
ACÚSTICOS E TAMANHO CORPORAL EM *SOTALIA GUIANENSIS*
(CETARTIODACTYLA: DELPHINIDAE)**

SÃO VICENTE

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO” INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS
CAMPUS DO LITORAL PAULISTA**

Lucas Pereira Santos

**ALOMETRIA ACÚSTICA: EXPLORANDO A RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS
ACÚSTICOS E TAMANHO CORPORAL EM *SOTALIA GUIANENSIS*
(CETARTIODACTYLA: DELPHINIDAE)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Instituto de Biociências da UNESP – Campus
do Litoral Paulista para obtenção do título
de Bacharel em Ciências Biológicas,
modalidade Biologia Marinha.

Orientador: Mario Manoel Rollo Junior

SÃO VICENTE

2018

S237a	Santos, Lucas Pereira Alometria Acústica: Explorando a relação entre parâmetros acústicos e tamanho corporal em sotalia guianensis (Cetartiodactyla: Delphinidae) / Lucas Pereira Santos. -- São Vicente, 2018 38 p. : fotos, mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São Vicente Orientador: Mario Manoel Rollo Junior 1. bioacústica. 2. boto-cinza. 3. drone.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço minha família. Em especial ao meu pai Leandro, por me ajudar de todas as maneiras cabíveis na caminhada de formação como biólogo. Minha mãe Flávia e meu irmão Lorenzo, que sempre me apoiam e me amam de maneira incondicional. Minha vó Carmem e meu vô Carlos, que são minha fonte de calma e tranquilidade. Ao meu avô Geraldo, que foi uma das melhores pessoas da minha vida e me ajudou muito a ser quem sou hoje.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Mario por todos os ensinamentos, conversas e discussões que resultaram no presente trabalho. Pela oportunidade de trabalhar junto ao grupo de pesquisa IAPETUS e pela paciência e dedicação na construção de minha formação.

Aos irmãos e irmãs que a faculdade me deu. Em especial a família S.O.S e família Cantareira.

A todos da XIV turma do bacharel, que fizeram parte das incríveis memórias que criei nesses anos da graduação.

A minha parceira e melhor amiga Luiza, que prova todos os dias ser um anjo na minha vida.

RESUMO

O tamanho do corpo influencia as vocalizações que os animais produzem. Isso ocorre porque as propriedades dos sinais acústicos são determinadas pelos limites físicos do aparato de produção sonora do animal. Alometria acústica é a denominação dada ao estudo da relação entre sinais acústicos e tamanho do corpo em animais. Diferentes grupos zoológicos apresentam relação entre tamanho corporal e parâmetros de frequência dos sons emitidos pelos animais. Frequência Mínima ($F_{\min}$) é o parâmetro mais citado na literatura como possível indicador de tamanho do corpo em animais. O objetivo desse trabalho foi investigar a relação entre o tamanho do corpo e parâmetros acústicos numa população de boto-cinza (*Sotalia guianensis*) residente do estuário de Cananéia, sudeste de São Paulo. Três módulos de monitoramento acústico (OceanPods – LACMAM/USP) foram colocados no fundo do corpo d'água num local conhecido como Ponta da Trincheira, em Ilha Comprida, para gravar continuamente durante 72 horas. Sempre que um grupo de golfinhos era avistado, o drone era lançado para sobrevoar a área e coletar dados morfométricos individuais dos animais que vinham à superfície para respirar. Os dados de comprimento total do corpo de 30 indivíduos de boto-cinza foram obtidos a partir de análise fotogramétrica no programa Photoshop CC 2015. Parâmetros de frequência, duração e energia contida em cada assobio foram acessados através do software de análise acústica Raven Pro 1.5. Os dados de comprimento total foram sujeitos a regressão linear simples com os diferentes parâmetros de frequência. Correlação positiva foi encontrada entre $F_{\min}$ e a média de $F_{\min}$ dos assobios e comprimento total para indivíduos maiores que 1,40 metros ($p < 0,008$). Possíveis hipóteses para essa correlação são discutidas assim como perspectivas futuras para essa investigação.

INTRODUÇÃO

Alometria acústica é a denominação dada ao estudo da relação entre sinais acústicos e tamanho do corpo em animais (Fitch, 2000; Ruprecht, 2014). O tamanho do corpo tem influência nas vocalizações que um animal produz, pois as propriedades dos sinais acústicos são determinadas pelos limites físicos do aparato de produção sonora do animal (Matthews *et al.*, 1999). Portanto, o tamanho do corpo exerce limitação sobre as frequências das vocalizações dos animais, e como consequência, os diferentes tamanhos entre as espécies explicam a enorme diversidade de sons nas vocalizações animais (Hauser, 1993; Gringas, 2013; Charlton & Reby, 2016). O tamanho corporal tem ainda papel crucial na seleção de parceiros sexuais e na conquista de território para algumas espécies. Alguns parâmetros acústicos fornecem informação sobre tamanho do corpo, influenciando a seleção do parceiro e as disputas territoriais (McComb, 1991; Davies & Halliday, 1978; Charlton, 2007; Asquith, 2008; Charlton, 2013; Ruprecht, 2014).

A obtenção de dados morfométricos é fundamental para estudos nas áreas de anatomia, morfologia, fisiologia, ecologia e comportamento social. Diferentes variáveis acústicas de vocalizações animais podem providenciar informações sobre muitos atributos importantes do animal, incluindo seu tamanho, idade, sexo, status reprodutivo e estado emocional (Fitch, 1997; Ruprecht, 2014; Charlton, 2016; Favaro, 2017). As informações provenientes das vocalizações de animais são de interesse para diversos estudos teóricos nos últimos anos e o entendimento dos sistemas de comunicação é essencial em estudos de comportamento animal e ecologia (Taylor & Reby, 2010). Porém, pouca atenção tem sido dada aos processos em que a evolução dos sinais foi restringida por fatores morfológicos (Fitch, 2000). A alometria acústica, além de providenciar ampla base para predições, também proporciona maior entendimento de funções e processos biológicos relativos à produção sonora nos animais (Temerin, 1985). Além disso, o estudo dessa relação fornece excelente campo de estudos no qual é possível investigar as interações entre seleção e restrições da evolução dos sinais acústicos produzidos por animais (May-Collado, 2007; Gringas, 2013).

Para melhor entendimento do que é alometria acústica, é necessário a explanação sobre os parâmetros acústicos das vocalizações e como essas são produzidas. De acordo com a teoria fonte-filtro, a produção de sinais sonoros envolve contribuições independentes de diferentes partes do aparato vocal, mais especificamente: a 'fonte', que inclui a laringe e todas as estruturas

laríngeas e sub-laríngeas; o 'filtro' ou 'trato vocal', que consiste do tubo que liga a laringe às cavidades de ar pelas quais o som difunde no ambiente (Taylor & Reby, 2010).

Em vertebrados terrestres, vocalizações são inicialmente geradas por uma estrutura que converte o fluxo de ar vindo dos pulmões (ou sacos aéreos) em energia acústica. Essa estrutura é conhecida como fonte acústica, ou fonte de voz, e sua localização anatômica varia entre os tetrápodes. Em anfíbios, reptéis e mamíferos, a fonte é geralmente a laringe (Fitch, 2002). Em mamíferos, a transição evolutiva dos ancestrais terrestres para descendentes aquáticos parece não ter tido efeito no mecanismo de fonte acústica para a maioria das espécies aquáticas. Por exemplo, nos mamíferos terrestres e aquáticos, o fluxo de ar vindo dos pulmões resulta em vibrações nas estruturas respiratórias superiores (Reidenberg & Laitman, 2018).

Em cetáceos odontocetos, a parte superior da cabeça é altamente modificada se comparada aos outros mamíferos, possuindo estruturas que compõem o assim chamado complexo nasal (Huggenberger, 2009). Na família Delphinidae (golfinhos), é nessa região que são produzidos os estalidos de alta frequência e a maioria dos assobios (Cranford, 2000; Frankel, 2009). Todos os odontocetos, exceto cachalotes, possuem um par de estruturas conhecido como lábios fônicos, na porção superior da cabeça, bem abaixo do respiradouro. Acoplados a esses lábios estão dois sacos constituídos por lipídeos, um menor na porção posterior da cabeça e outro maior na parte anterior acima do crânio e por trás do rosto do animal, formando o órgão conhecido como Melão (Figura 1). As vibrações geradas pela passagem do ar nessas estruturas são transmitidas para a água através do melão (Frankel, 2009).

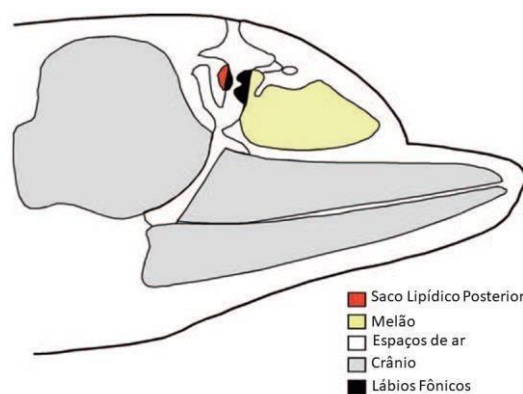


Figura 1: Representação do complexo nasal de cetáceos da Família Delphinidae.

As vibrações geram energia acústica através de amplo espectro de frequências. Quando a vibração dos lábios fônicos é periódica, os sons gerados são harmônicos e se apresentam em espectrograma¹ como faixas contínuas no tempo com variação de frequência, formando os chamados sons tonais. Esse conjunto de sons, comumente chamado de assobios, é extremamente comum na maior parte das espécies de odontocetos (Matthews *et al*, 1999; Figura 2). As frequências formantes tem origem a partir da ressonância causada pela passagem de ar pelos diferentes componentes de produção sonora, da laringe as cavidades de ar, mostrada em espectrogramas como bandas harmônicas dos sons tonais (Taylor & Reby, 2010).

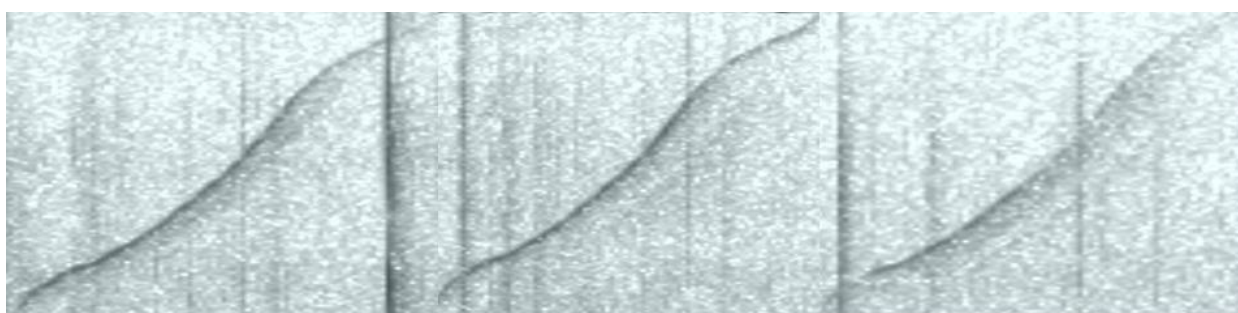


Figura 2: Exemplos de espectrogramas de um mesmo assobio registrado em diferentes gravadores que estão operando simultaneamente, ilustrando variações na energia / intensidade da emissão.

Os assobios variam entre as diferentes espécies e populações da família Delphinidae. Alguns de seus parâmetros acústicos, como duração e modulação de frequência, tendem a variar intraespecificamente (Matthews *et al*, 1999; Podos, 2002; May-Collado, 2007). Essas variações podem resultar de adaptações a condições ecológicas locais, ao isolamento geográfico e à divergência genética entre grupos e populações (Bazúa-Durán, 2004; Rossi-Santos e Podos, 2006). Além disso, pode haver variação em menor escala, como entre indivíduos, sexos e/ou grupos sociais. Essa variação interespecífica nos componentes de frequência pode ser por sua vez produto de restrições morfológicas (Matthews, 1999; Podos, 2002, May-Collado, 2007).

O tamanho dos vários componentes do aparelho de produção sonora tem efeito importante na produção acústica do animal. Uma vez que o tamanho destes componentes está relacionado ao peso ou comprimento do animal, a investigação de sinais acústicos com o propósito

¹ Também conhecido como sonograma, é a representação gráfica da variação da frequência de sons em função do tempo. As variações na intensidade de cor ou no tom de cinza estão associadas à intensidade ou energia destes sons.

de identificar parâmetros indicativos de atributos corporais é bastante promissora (FITCH, 1997; Martin *et al.*, 2011; Ruprecht, 2014; Titze, 2016; Reber *et al.*, 2017; Favaro *et al.*, 2018).

O parâmetro acústico mais citado na literatura que pode fornecer informação sobre o tamanho corporal é a frequência fundamental mínima (F_0 / $F_{\min}$) ou a média dessa frequência. F_0 ou $F_{\min}$ é a menor frequência de um som presente em espectrograma e é primeiramente determinada pelo comprimento e massa das cordas vocais, assim como a tensão ao longo delas. A relação entre o tamanho dessas estruturas com o comprimento total do corpo em animais é bem conhecida (Fitch, 2002; Evans, 2006; Pfefferle, 2006; May-Collado, 2007; Gingras, 2013; Ruprecht, 2014; Charlton, 2016). Ao longo das últimas décadas, alguns estudos evidenciaram a relação entre parâmetros acústicos e características morfológicas em diferentes grupos zoológicos, tais como primatas não humanos, anfíbios anuros, aves, mamíferos terrestres e aquáticos e até mesmo em insetos (Martin, 1972; Davies & Halliday, 1978; Ryan, 1988; Gordon, 1991; Goold, 1996; Fitch, 1997; Riede, 1999; Fitch, 2000; Rhineland, 2004; Growcott, 2011; Martin, 2011; Gringas *et al.* 2013; Ruprecht, 2014).

Ruprecht (2014) investigou a relação entre o tamanho do corpo e as propriedades acústicas específicas de vocalização em duas ordens de mamíferos: primatas e carnívoros. Os carnívoros foram representados por 43 espécies de 10 famílias. Os primatas foram representados por 47 espécies dentre 8 famílias. Correlações negativas foram encontradas entre comprimento do corpo/massa corporal e F_0 nas amostras analisadas. A razão para as correlações serem tão robustas é explícita devido à relação dos parâmetros acústicos das vocalizações animal serem limitadas pelo tamanho de seus órgãos vocais, que são por sua vez positivamente correlacionados com o tamanho corporal (Ruprecht, 2014).

Em cetáceos, o tamanho corporal foi sugerido como principal influenciador da mínima e máxima frequência de sons tonais e alguns estudos encontraram forte correlação entre esses parâmetros acústicos e comprimento total do animal (Matthews, 1999; Podos, 2002; May-Collado, 2007). Essa hipótese foi testada levando em conta as relações filogenéticas de cetáceos como fator determinante na evolução do tamanho do corpo e parâmetros de frequência. Uma correlação encontrada entre tamanho do corpo e parâmetros de frequência corroborou a hipótese. Esses estudos também mostraram que restrições impostas pelo tamanho corporal tiveram papel significativo ao longo da evolução da frequência mínima (F_0) nos sons emitidos por esses animais

(May-Collado, 2007).

Estudos feitos com cachalotes (*Physeter macrocephalus*) tendo como base a hipótese do funcionamento do órgão espermacete proposta por Norris & Harvey (1972). De acordo com essa hipótese, sons impulsivos são produzidos por ação pneumática no espermacete (*museau de singe*), um órgão na porção anterior do rosto, aproximadamente abaixo do respiradouro único. Os pesquisadores propuseram que a análise do intervalo interpulso dos estalidos emitidos pelos cachalotes seriam indicadores do comprimento da cabeça. Por essa medida, seria possível então estimar o comprimento total do animal (Norris & Harvey, 1972; Gordon, 1991; Goold, 1996; Rhineland, 2004; Growcott, 2011).

Mamíferos marinhos são notoriamente difíceis de serem estudados, particularmente no que diz respeito à coleta detalhada de dados comportamentais. A maioria das técnicas usadas para mamíferos terrestres não se aplicam para os marinhos, devido ao curto período de tempo que o animal é observado na superfície e a falta de visibilidade quando estão submersos (Nowacek, 2016). A noção de comprimento em cetáceos é importante para a maioria dos estudos comportamentais, populacionais e ecológicos (Jaquet, 2006). A mensuração do comprimento individual desses animais poderia fornecer dados de distribuição, populacionais, taxonômicos e filogenéticos para espécies amplamente distribuídas (Perryman & Lynn, 1993; 1994) e permitiria estimar parâmetros populacionais como taxa reprodutiva e idade na qual atingem a maturidade (Waters & Whitehead, 1990). O principal método não invasivo para a medição de cetáceos consiste na utilização de informações fotogramétricas, porém esse método é extremamente difícil, devido ao fato de que os animais mostram somente uma parte do corpo e por curtos períodos de tempo dificultando ainda mais a mensuração no ambiente aquático e a necessidade de um plano de visão superior à superfície da água (JAQUET, 2006).

Na última década, tecnologias emergentes estão cada vez mais sendo utilizadas por cientistas para melhorar a coleta de dados. Essas tecnologias estão se tornando vitais para o avanço nas pesquisas relacionadas ao entendimento de animais selvagens em seu habitat natural (Hodgson, 2018). O desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados (VANT) ou drones fornece meios de obter dados de perspectivas aéreas de maneira estável, com baixa poluição sonora e de baixo custo quando comparado a métodos tradicionais que restringiam as observações a partir de helicóptero ou avião (Torres, 2018). Em cetáceos, estudos que utilizaram drones obtiveram dados comportamentais, morfológicos e até mesmo conseguiram amostrar jatos de água disparados pelo

respiradouro de baleias-azul, *Balaenoptera musculus* (Durban, 2015; Christiansen, 2016; Hodgson, 2018; Torres, 2018; Dominguez-Sanchez, 2018).

Animais em cativeiro podem não produzir o repertório completo de sons da espécie. Portanto, o estudo das propriedades das emissões acústicas de animais em condições naturais e a análise do contexto em que ocorrem se faz necessário para obtenção de dados relevantes (Monteiro-Filho, 2001). O uso de técnicas de coleta de dados acústicos simultaneamente à coleta de dados visuais fornece substrato sobre o qual é possível investigar relações alométricas. O intuito desse trabalho foi analisar a relação entre tamanho corporal e características físicas de assobios produzidos por botos cinza (*Sotalia guianensis*). Este estudo fez uso combinado de monitoramento acústico passivo e dados visuais com o uso de drones para investigar essa relação. Esta é possivelmente a primeira iniciativa do tipo focada em pequenos cetáceos no território brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido no complexo estuarino Cananéia-Iguape, sul do Estado de São Paulo (Latitude: 25°00'53"S, Longitude: 47°55'36"W). O estuário se estende por aproximadamente 110 km e é caracterizado por fundos lamosos e águas relativamente rasas com profundidade máxima de 20m e média de 6 m. Diversas ilhas estão presentes na região estuarina: Cardoso, Cananéia, Iguape e Comprida, sendo esta última a maior com 70 km². Em 1984, o estuário foi designado como área de proteção ambiental devido à sua enorme importância ecológica, pesqueira e turística (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2001).

A área do estudo está localizada no local conhecido como Ponta da Trincheira, na Ilha Comprida. Esse local oferece visão privilegiada do estuário numa área próxima aos cercos de pesca artesanal, armadilhas feitas de bambu onde os animais forrageiam com alta frequência. A área amostral foi demarcada pela presença dos três módulos de monitoramento acústico (OceanPods) que formam uma área triangular em frente a dois cercos de pesca (Figuras 3, 4 e 5).

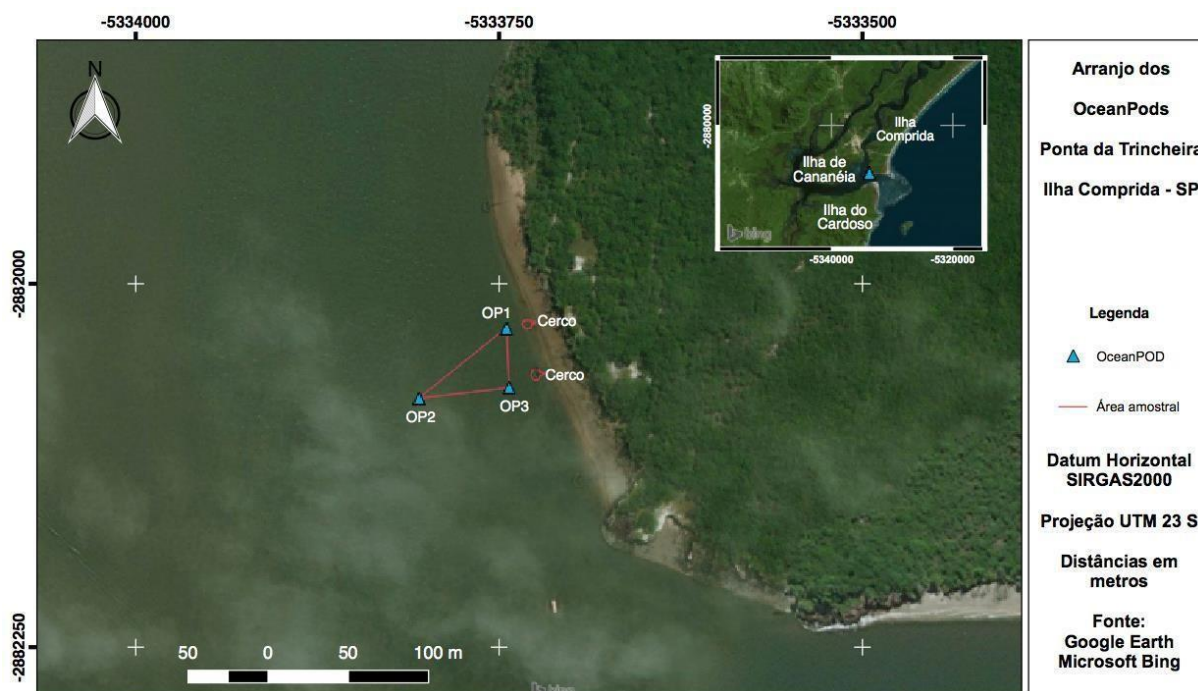


Figura 3: Mapa da Área de Estudo. A área amostral está representada como um triângulo traçado em vermelho, em frente ao local conhecido como Ponta da Trincheira. Mapa produzido pelo Laboratório de Ecologia Acústica e Espacial Marinha (IB-CLP).

Coleta de Dados

As coletas ocorreram entre os dias 7 e 9 de fevereiro de 2017. Para a coleta de dados acústicos empregaram-se técnicas de monitoramento acústico passivo. Já os dados visuais foram coletados através do registro de vídeos em alta resolução feitos por drone quadricóptero DJI Phantom 3 Professional.

Monitoramento Acústico Passivo

Três módulos de gravação acústica subaquática (OceanPods) desenvolvidos no Laboratório de Acústica e Meio Ambiente (LACMAM) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (<http://lacmam.poli.usp.br/Submarina.html#Acust equip>) foram lançados da proa de uma embarcação de pequeno porte e desceram até a profundidade de aproximadamente 6m (Figura 5, A). Desta forma, dispuseram um triângulo de formato aproximadamente retângulo, compreendendo o espaço ocupado por dois cercos de pesca. Todos os OceanPods foram recuperados depois de 72 h de gravação contínua. As gravações foram feitas a uma taxa de amostragem de 48 kHz e resolução de 16 bits. A sensibilidade do sistema foi de -150 dB re

1V/ μ Pa- 1 (Informações técnicas dos equipamentos podem ser encontradas no link acima). A disposição espacial dos módulos autônomos possibilitou utilizar os diferentes gravadores como fontes individuais de coleta sonora. A análise da energia contida nos assobios permitiria então confirmar a identidade dos animais mais próximos de cada módulo através da inspeção do conteúdo dos vídeos.



Figura 4: Imagens da área de estudo. Em A), no fundo, estão os dois cercos representados na Figura anterior. Em B) remoção da rede no interior de um cerco de pesca, que também é local de atração para os botos cinza.

Monitoramento visual por drone

A estimativa visual da localização de indivíduos de botos cinza que se movessem no interior da área delimitada pelos OceanPods foi feita pelo drone, que sobrevoou a área em visada vertical a uma altura de 60 m (Figura 5, B). Os sobrevôos foram diurnos e feitos em períodos de até 30 minutos sempre que as condições meteorológicas permitiram e nos momentos em que os botos eram avistados próximos aos cercos. Os vídeos foram registrados em resolução máxima de

4k (3840 x 2160 pixels) e posteriormente convertidos em laboratório a resolução inferior de 720p (1280 x 720 pixels) para facilitar a inspeção visual.

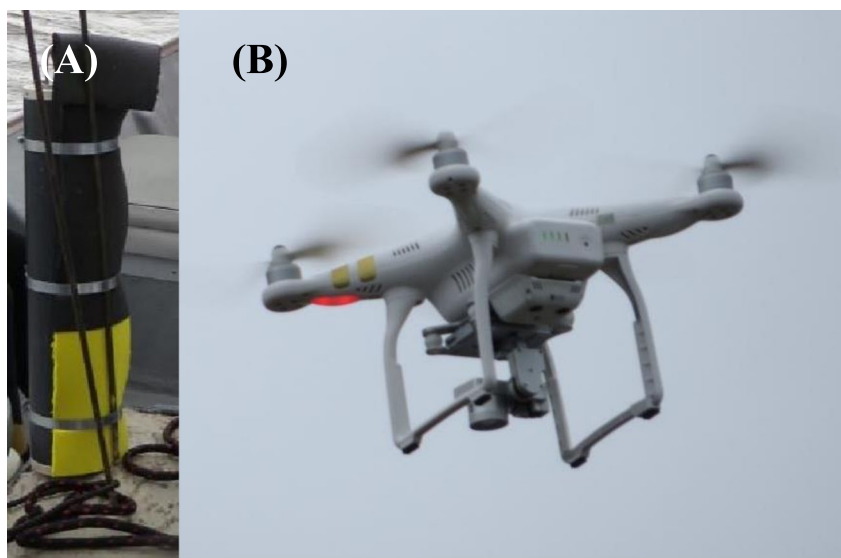


Figura 5: Instrumentos utilizados na coleta dos dados. Em A) OceanPods; em B) Drone DJI Phantom 2 Professional, em operação.

Análise de Dados

Fotogrametria Aérea e Morfometria

Para estimar o tamanho corporal dos botos, foi empregada metodologia baseada em estudos prévios de fotogrametria de cetáceos por meio de drones (Durban, 2015; Christiansen, 2016). Medidas das imagens, em pixels, podem ser convertidas em tamanho real usando o valor da dimensão longitudinal do sensor da câmera e o número de pixels que compreende uma medida já conhecida mostrada na imagem (Durban, 2015; Christiansen, 2016). Utilizando o drone DJI Phantom Professional, gravações de vídeo em resolução 4k foram feitas sobre indivíduos ou grupos de botos que se encontrassem dentro da área de estudo. Para cada animal que subia para respirar, caso a maior parte do corpo estivesse exposta acima da linha d'água, instantâneos (imagens estáticas) eram capturados e salvos como arquivos de formato PNG. Dados adicionais eram coletados para cada frame: hora exata da respiração, altura do drone no momento de captura do frame e referência visual de escala.

Os instantâneos foram analisados através do software Photoshop CC 2015, seguindo

metodologia adaptada de Christiansen (2016). Primeiramente, as medidas de comprimento foram obtidas em pixels, utilizando a ferramenta *Ruler* do Photoshop CC 2015. A medida de comprimento total foi feita a partir da ponta do rostro do animal até a furca caudal (Figura 6). Essas medidas foram então convertidas para o tamanho real (em metros), usando como referência de escala objetos de dimensão conhecida presentes nas gravações de vídeo. Um total de 31 minutos e 07 segundos de gravações de vídeo foram analisadas. Todos os dados foram compilados em planilhas do MS Excel para posterior importação em um programa de análise estatística.



Figura 6: Representação da análise fotogramétrica de *Sotalia guianensis* através da ferramenta *Ruler* no software Photoshop CC 2015.

Análise acústica

Todos os conjuntos de gravações de sons correspondentes aos períodos de operação do drone foram analisados no software Raven Pro 1.5 (Bioacoustics Research Program, Universidade

de Cornell, EUA). As gravações foram segmentadas em arquivos de áudio (formato WAV) com 3min de duração pelo próprio sistema de aquisição digital do módulo autônomo. Cada arquivo de áudio foi analisado manualmente através da inspeção visual de espectrogramas e todos os sons tonais (assobios) detectados foram selecionados e quantificados. Para cada assobio, os seguintes parâmetros acústicos foram coletados nas seleções: duração (em segundos); frequência mínima ($F_{\min}$), frequência máxima ($F_{\max}$) e frequência delta, que indica a variação entre mínima e máxima (em KHz); energia e potência média (em decibéis). Os dados foram compilados em uma planilha, exportada a seguir em um arquivo no formato de texto delimitado por vírgulas (.csv). Os assobios que estavam presentes nos três módulos acústicos foram agrupados e as médias dos valores dos parâmetros de frequência ($F_{\min}$, delta e $F_{\max}$) dos assobios identificados em cada um dos módulos foram calculadas. Esses valores das médias foram então preparados para análise estatística.

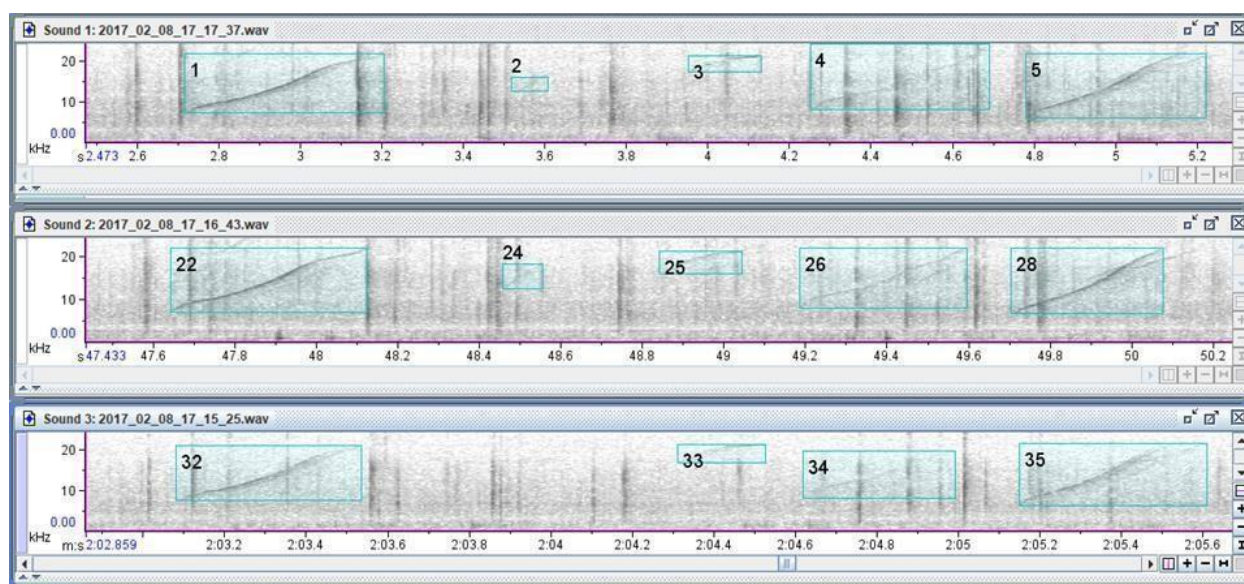


Figure 7: Representação de espectrogramas sob inspeção visual e análise, produzidos no Raven Pro, contendo assobios selecionados nos três diferentes OceanPods.

Também foram selecionados os assobios com maior energia de cada módulo (em dB re 1uPa a 1m), pois indicavam uma maior proximidade do animal ao módulo de gravação acústica, isso foi feito para atribuir o assobio ao real animal vocalizador quando dois indivíduos ou mais subiam a superfície. O indivíduo mais próximo desse módulo e que estava presente nas gravações visuais foi atribuído como o animal vocalizador do assobio.

Os assobios foram então submetidos a uma análise temporal para identificar os sons pertencentes a cada indivíduo. Todos os assobios que estavam no intervalo de tempo de até 5

segundos no qual um boto aparecia na gravação de vídeo eram atribuídos a esse indivíduo. Aos assobios foram então atribuídos as medidas de comprimento total dos indivíduos gravados no mesmo intervalo de tempo no banco de dados. Todos os dados foram compilados numa planilha em formato de texto delimitado por vírgulas (.csv).

Análise dos Dados

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente de programação R, operando dentro do software RStudio (RStudio Team, 2018). Os conjuntos de dados contendo os parâmetros de frequência mínima ($F_{\min}$), frequência delta e frequência máxima ($F_{\max}$) dos assobios de cada módulo de monitoramento acústico foram plotados em gráficos do tipo boxplots para analisar a variabilidade dos parâmetros acústicos entre os módulos. As frequências mínimas dos assobios de cada módulo também foram plotadas em boxplots para comparação entre eles.

Os seguintes parâmetros foram então submetidos à uma análise de regressão linear simples contra o comprimento total: (1) média das frequências mínimas ($F_{\min}$), (2) média das frequências delta, (3) média das frequências máximas ($F_{\max}$) obtidas a partir do mesmo assobio gravado simultaneamente nos três módulos; (4) frequência mínima ($F_{\min}$), (5) frequência delta, (6) frequência máxima ($F_{\max}$) do assobio de maior energia gravado dentre os três módulos; (7) duração do assobio de maior energia e (8) média da duração dos assobios obtidas a partir do mesmo assobio gravado simultaneamente nos três módulos. Cada uma dessas relações foi plotada com gráficos de dispersão de pontos por meio do pacote de manipulação de gráficos *ggplot2* no Rstudio.

RESULTADOS

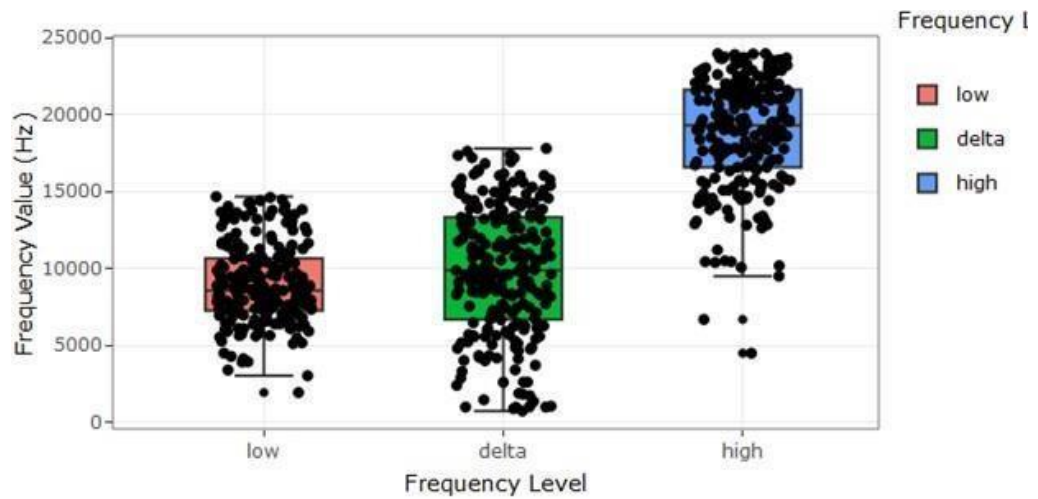
No total, foram identificados 873 assobios gravados pelos três módulos subaquáticos. Os assobios foram combinados com seus correspondentes gravados nos outros módulos, totalizando 291 tríades do mesmo assobio, gravados em cada um nos três módulos de monitoramento acústico.

Nos 31 minutos e 07 segundos de gravações analisados, foi possível estimar o tamanho de 30 animais ($n=30$) que vinham a superfície respirar. Todos os animais medidos tinham comprimento total acima de 1,10 metros. Foram selecionados indivíduos com comprimento maior que 1,40 m ($n=16$) para análise específica da relação nesses animais.

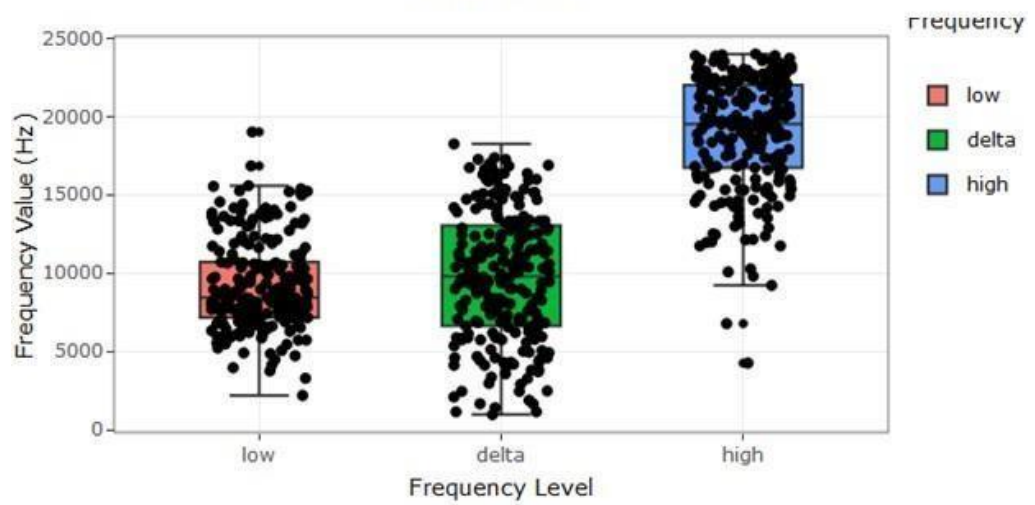
Os boxplots mostram que a Frequência Mínima ($F_{\min}$) dos assobios é o parâmetro mais

constante e com menor variação quando comparado com os parâmetros Frequência Máxima ($F_{\max}$), Frequência Delta e a duração dos assobios (Figura 8). Essa tendência fica ainda mais explícita quando se compara a $F_{\min}$ entre os módulos de gravação acústica (Figura 9).

OP1



OP2



OP3

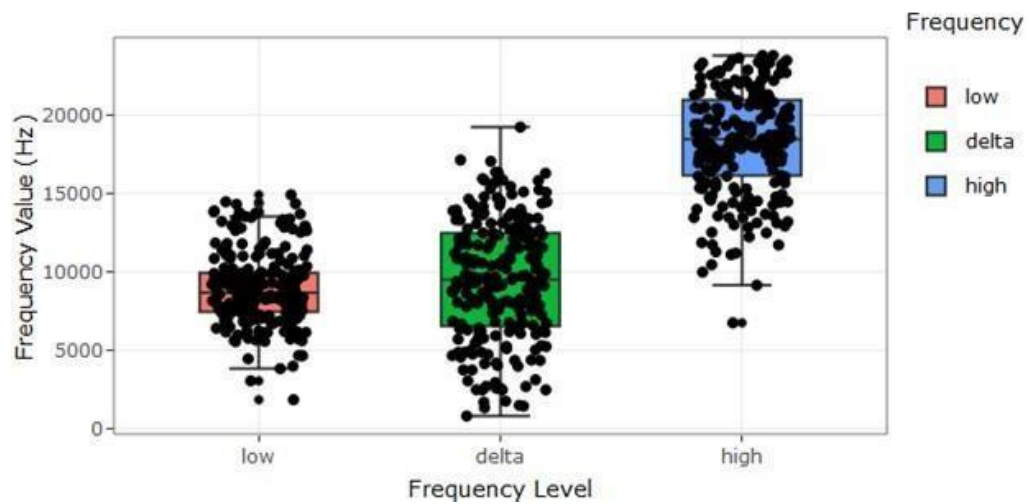
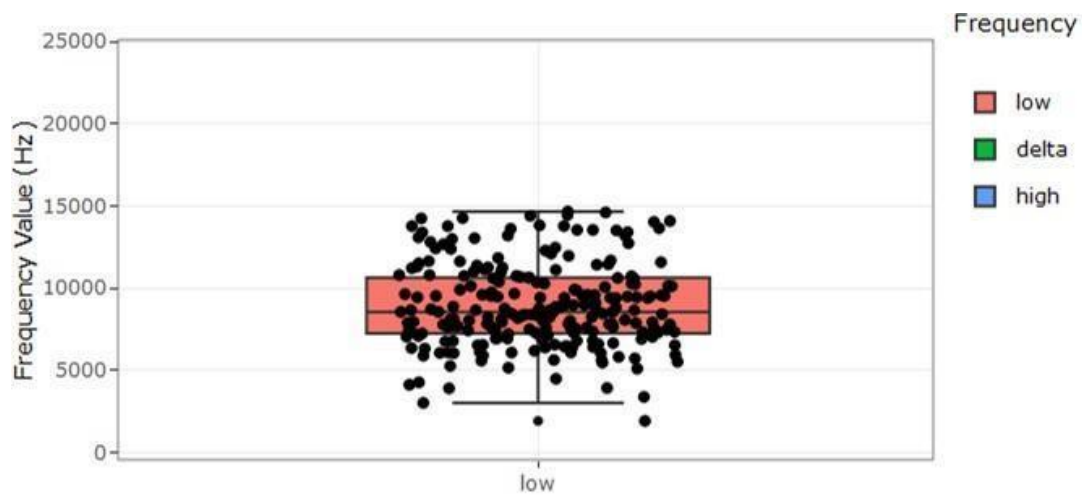
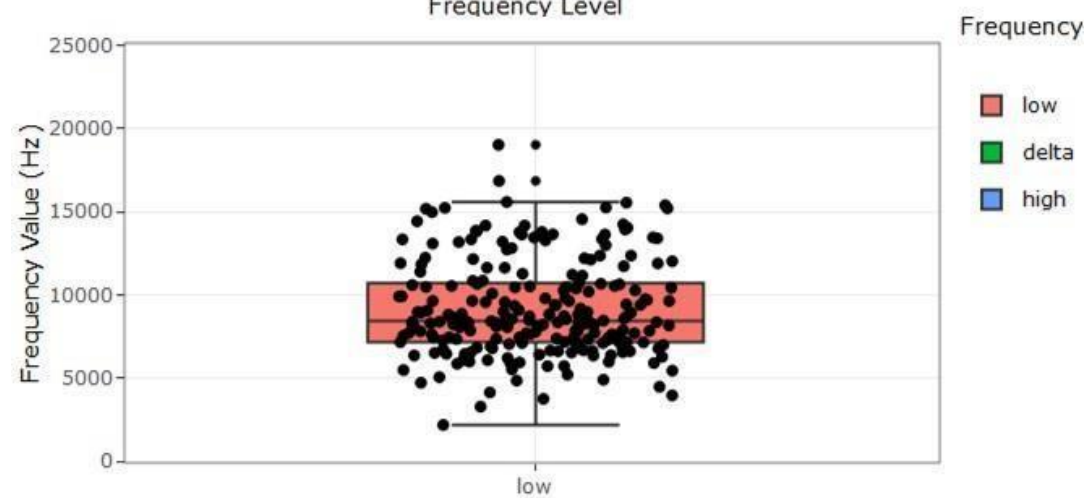


Figura 8: Gráfico de boxplots comparando os parâmetros de frequência entre os OceanPods (OPs).

OP1



OP2



OP3

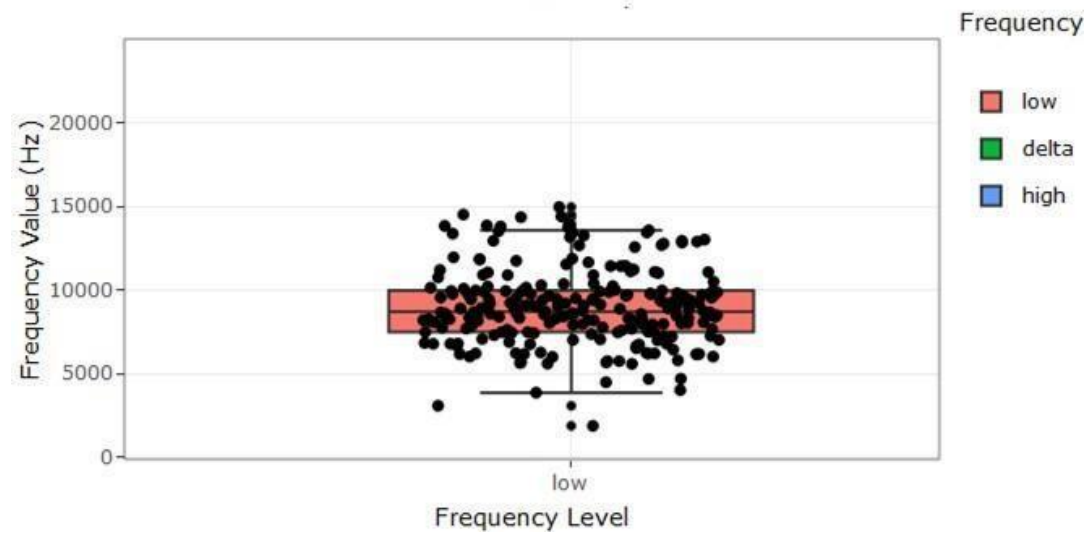


Figura 9: Gráfico de boxplots comparando F_{Min} entre os OceanPods (OPs).

Frequência Delta

As análises não revelaram correlação entre comprimento total do corpo (CT) com as frequências delta dos assobios de maior energia ou com as médias das frequências (Figura 10). A regressão linear entre frequência delta e CT (Figura 10, A) e média da frequência delta e CT (Figura 10, B) não revelam relação entre as variáveis. Os valores de p das regressões com frequência delta ou média dessa frequência foram 0,127 e 0,244, respectivamente, indicando que a regressão não é significativa.

Frequência Máxima ($F_{\text{máx}}$)

As regressões lineares para $F_{\text{máx}}$ dos assobios de maior intensidade e das médias de $F_{\text{máx}}$ com CT também não indicaram uma correlação significativa (Figura 11). Os valores de p para $F_{\text{máx}}$ e a média de $F_{\text{máx}}$ foram 0,398 e 0,497 respectivamente, indicando que os dados da regressão não foram significativos.

Frequência Mínima ($F_{\text{mín}}$)

A frequência Mínima ($F_{\text{mín}}$) e as médias de $F_{\text{mín}}$ com CT apresentaram uma fraca correlação positiva entre as variáveis (figura 11). Os valores de p para $F_{\text{mín}}$ e Média de $F_{\text{mín}}$ foram 0,091 e 0,179 respectivamente, indicando não significância da correlação. Entretanto, a curva de regressão linear mostra uma correlação mais forte para indivíduos maiores que 1,40 metros.

Quando analisado a relação entre $F_{\text{mín}}$ e as médias de $F_{\text{mín}}$ com CT apenas dos indivíduos maiores que 1,40 metros (Figura 12), percebe-se uma clara correlação positiva entre as variáveis. Com valores de p para $F_{\text{mín}}$ de 0,008 e as médias de $F_{\text{mín}}$ com valor de p igual a 0,001, indicando significância entre os dados.

Duração

A duração dos assobios e a média das durações foram não apresentaram relação com CT (figura 13). Os valores de p para duração e média das durações dos assobios gravados simultaneamente nos três módulos foram 0,654 e 0,275, respectivamente, portanto não indicaram significância.

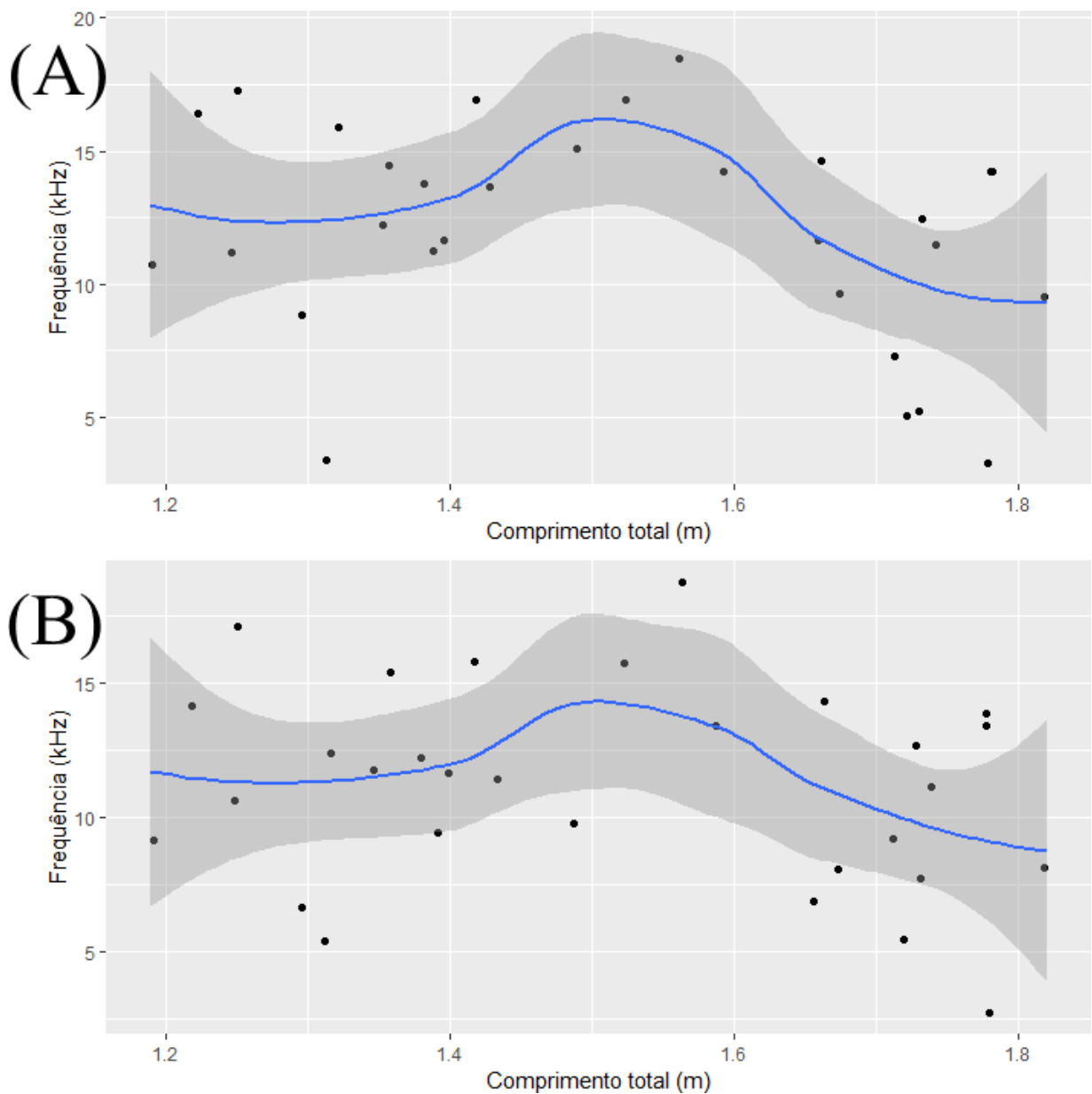


Figura 10: (A) regressão linear entre Frequência Delta dos assobios de maior energia com Comprimento Total ($p = 0,127$). (B) Regressão entre Média da Frequência Delta dos assobios gravados nos três módulos com Comprimento Total ($p = 0,244$). A área sombreada representa o intervalo de confiança.

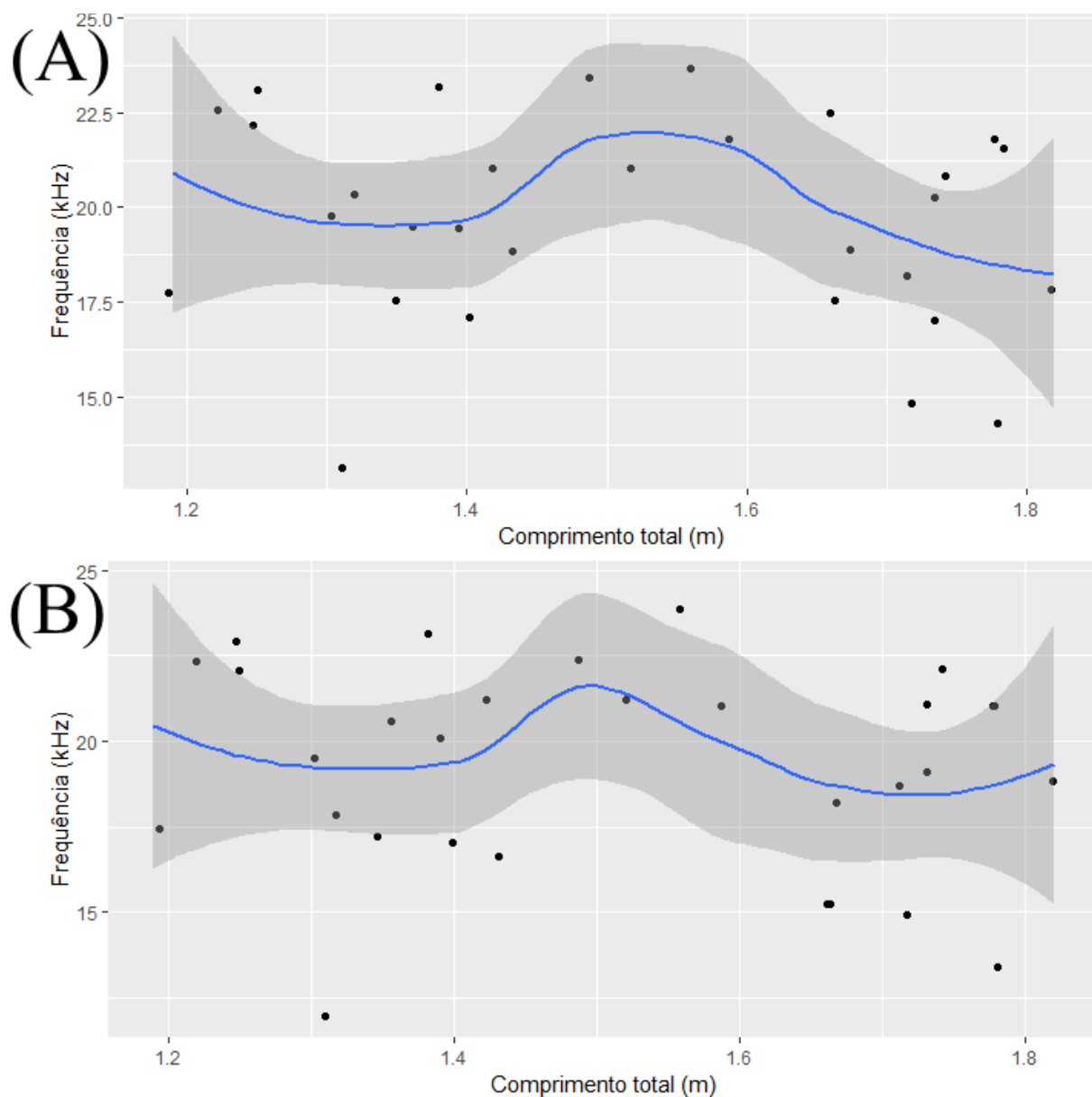


Figura 11: (A) regressão linear entre Frequência Máxima ($F_{\text{máx}}$) dos assobios de maior energia com Comprimento Total ($p = 0,398$). (B) Regressão entre Média da $F_{\text{máx}}$ dos assobios gravados nos três módulos com Comprimento Total ($p = 0,497$). A área sombreada representa o intervalo de confiança.

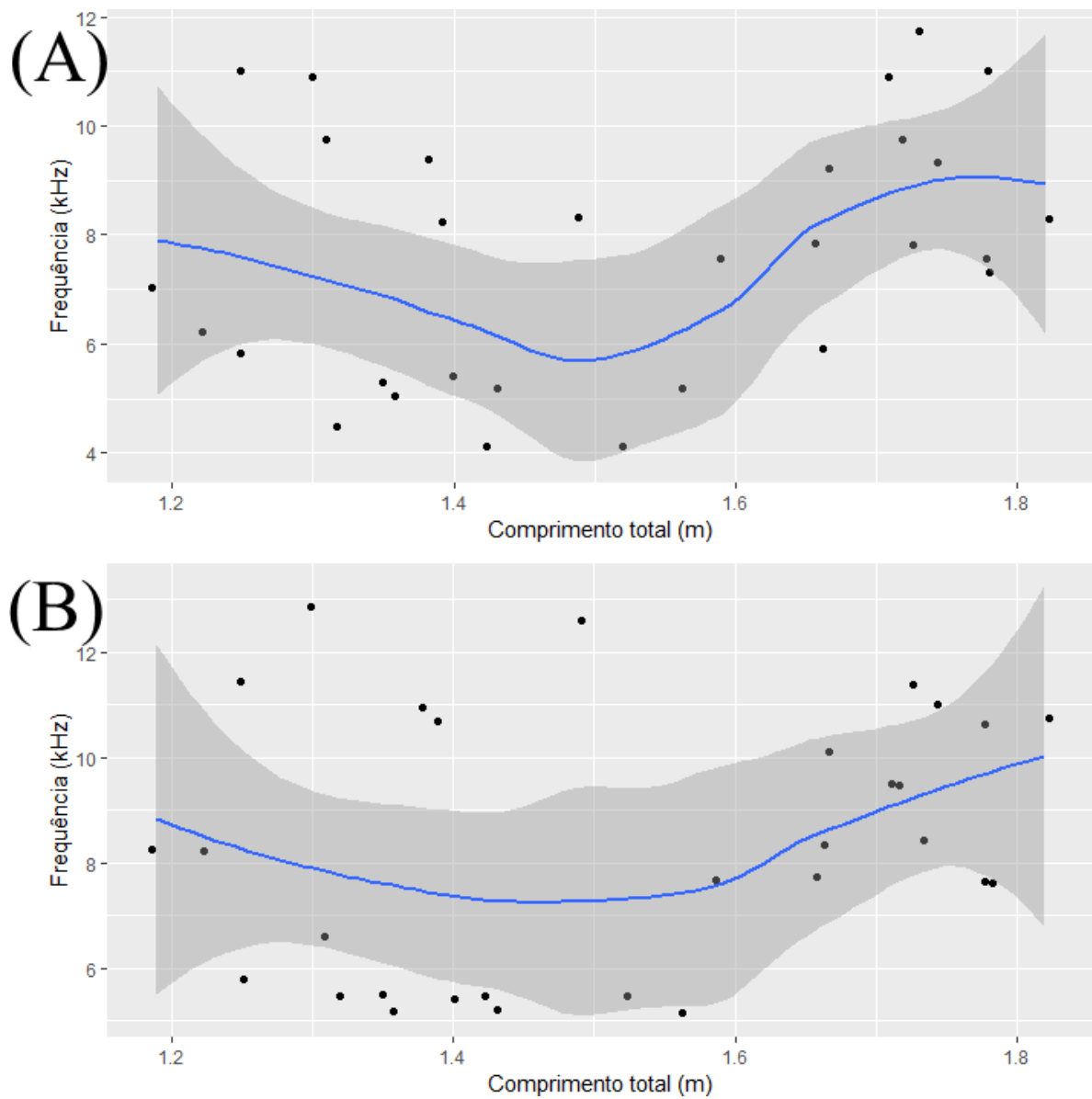


Figura 12: (A) Regressão linear entre Frequência Mínima dos assobios de maior energia com Comprimento Total ($p = 0,091$). (B) Regressão entre Média da Frequência Mínima dos assobios gravados nos três módulos com Comprimento Total ($p = 0,179$). A área sombreada representa o intervalo de confiança.

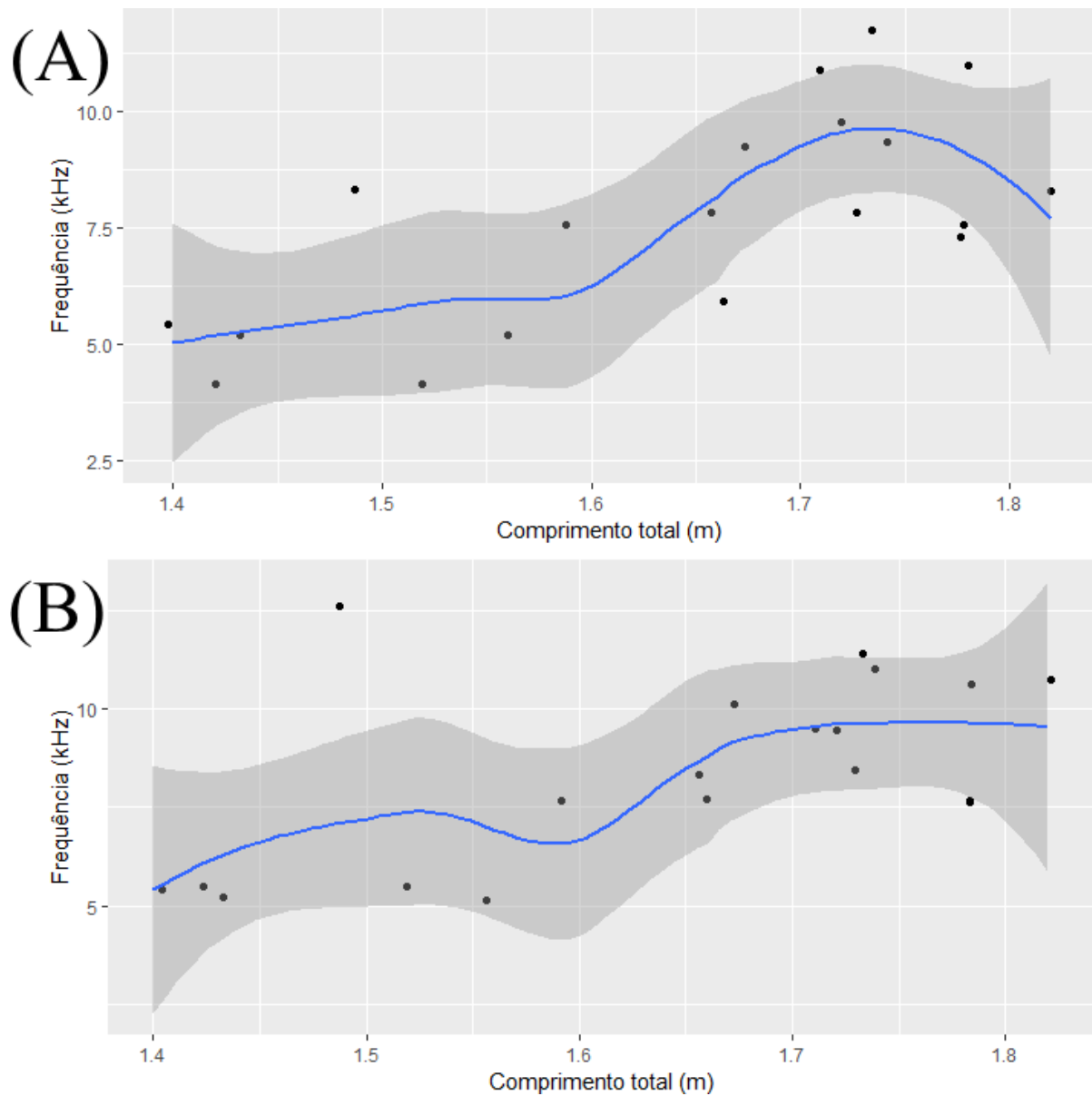


Figura 13: (A) Regressão linear entre Frequência Mínima dos assobios de maior energia com Comprimento Total para indivíduos com comprimento a partir de 1,40 metros ($p = 0,008$). (B) Regressão entre Média da Frequência Mínima dos assobios gravados nos três módulos com Comprimento Total para indivíduos com comprimento a partir de 1,40 metros ($p = 0,001$). A área sombreada representa o intervalo de confiança.

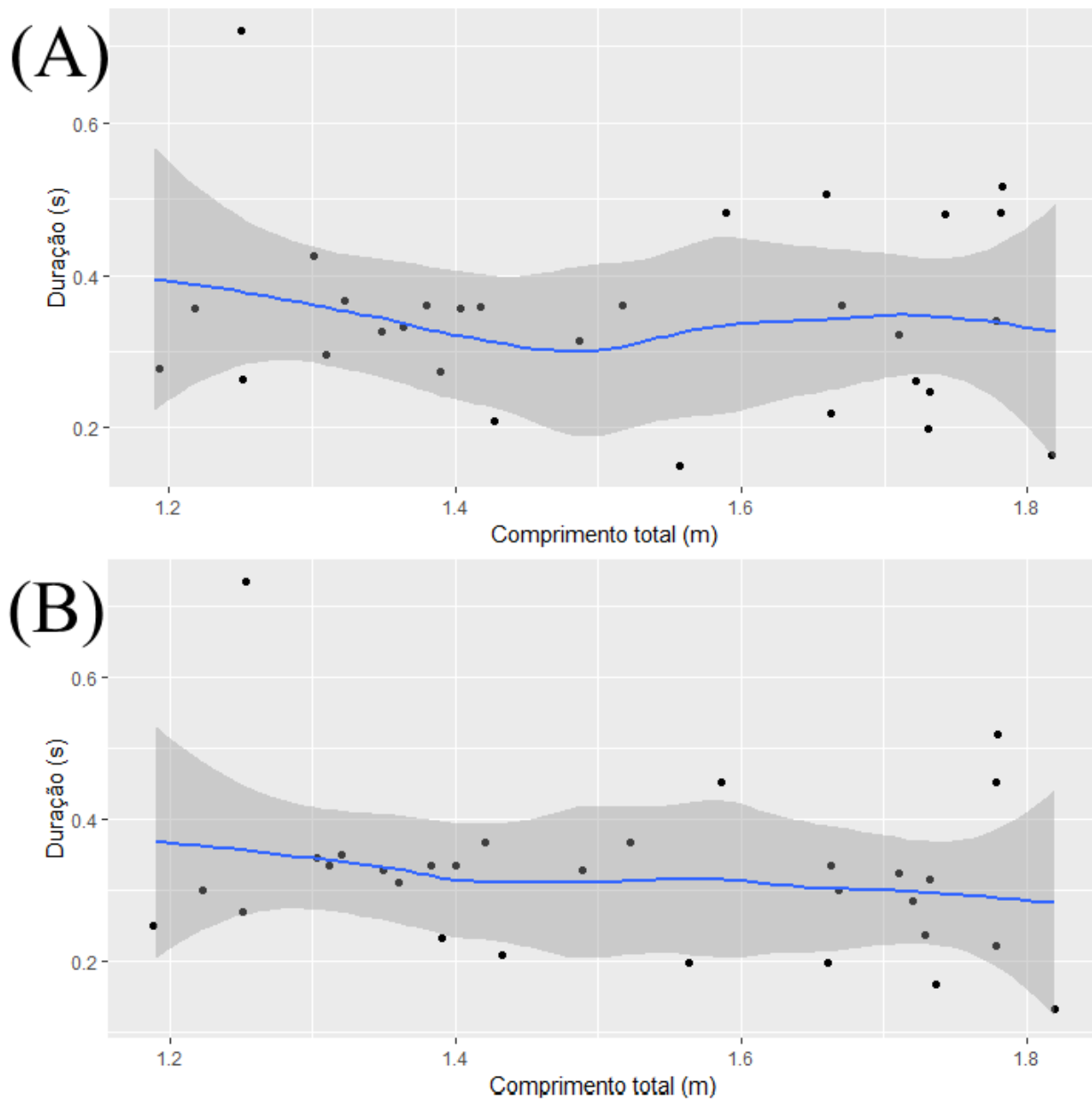


Figura 14: (A) Regressão linear entre duração dos assobios de maior energia com Comprimento Total (0,654). (B) Regressão entre Média da duração dos assobios gravados nos três módulos com Comprimento Total (0,275). A área sombreada representa o intervalo de confiança.

DISCUSSÃO

Em estudo prévio sobre a relação alométrica entre tamanho corporal e sinais acústicos foi comentado que as gravações e medições de tamanho do corpo deveriam vir do mesmo animal, para que se levassem em conta dados intraespecíficos de tamanho de corpo e variação de frequência. Dessa maneira, não seriam necessárias correções filogenéticas dos resultados (May-Collado, 2007).

É importante pontuar que o uso combinado de drones e módulos de gravação acústica possibilitaram o acesso a dados com grande dificuldade de serem obtidos para cetáceos. O uso de drones para coleta de dados de baleias e golfinhos representa uma nova e emergente metodologia científica através da qual diversas investigações podem ser conduzidas (Durban, 2015; Christiansen, 2016; Torres, 2018). A área amostral de monitoramento acústico com três diferentes fontes de recepção sonora permitiu visualizar variações nos parâmetros dos assobios que representam os diferentes valores das variáveis do mesmo assobio, gravadas em diferentes módulos. Isso quer dizer que para todos os assobios gravados dentro da área amostral, os parâmetros dos assobios sempre estavam sendo coletados de maneira mais clara por pelo menos um dos módulos que estava mais próximo do animal vocalizador. Portanto nota-se que com o uso de uma rede de módulos de gravação acústica simultânea a chance de obter dados mais confiáveis de um determinado tipo de som é maior.

Nesse trabalho foram coletados dados visuais e acústicos para indivíduos de boto-cinza, *Sotalia guianensis*, de uma mesma população. Dessa maneira, os resultados das regressões lineares representariam uma relação alométrica baseada nas variações de frequência e de tamanho corporal da espécie em um nível populacional. O único parâmetro acústico a indicar uma correlação positiva com o comprimento total dos indivíduos em *Sotalia guianensis* foi a $F_{\min}$ e as médias de $F_{\min}$. Essa relação entre Comprimento Total do corpo e $F_{\min}$ pode ser expressa na função: $y = \alpha + \beta \cdot x$, onde α representa o intercepto dos pontos e β a inclinação da curva de regressão.

Assim como em outros grupos zoológicos, os resultados demonstraram que $F_{\min}$ é o parâmetro dos assobios de botos-cinza que mais se aproxima de ser um indicativo do tamanho corporal para a espécie. A capacidade de fazer previsões sobre o tamanho do corpo usando pistas

auditivas forneceria ao animal vantagens evolutivas na seleção de bons companheiros e na redução dos riscos de embates (Fitch & Hauser 2002, Morton 1977; Charlton, 2007; Asquith, 2008; Charlton, 2013; Ruprecht, 2014). Portanto, os assobios poderiam representar uma transmissão de informação morfológica na comunicação entre os animais.

A correlação positiva entre as variáveis inicia em 1,40 metros (Figura 12). Os botos-cinza *Sotalia guianensis* atingem maturidade sexual com um tamanho entre 1,5 e 1,7 metros (Rosas *et al*, 2002; Rosas e Monteiro-Filho, 2002). Observando-se o resultado da regressão linear entre $F_{\min}$ e Comprimento Total intui-se que a correlação começa a ser perceptível a partir dos comprimentos nos quais os indivíduos atingem a maturidade sexual. Isso poderia ser explicado, em parte, pela hipótese dos assobios assinatura, na qual indivíduos de algumas espécies de delfínídeos produzem assobios distintos que podem representar características individuais do fonador (Janik, 2013). Alguns estudos evidenciaram a ocorrência de assobios assinatura em botos-cinza (Figueiredo e Simão, 2009; Lima e Le Pendu, 2014). Evidências de que filhotes copiam os assobios de suas mães até atingirem maturidade sexual foram encontradas para golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*).

Uma hipótese que pode explicar a correlação positiva em indivíduos com tamanho maior é a de que animais que estão atingindo maturidade sexual tendem a produzir assobios com indicativos de tamanho corporal de maneira mais significativa do que os imaturos. O n amostral é reconhecidamente baixo ao tratar dessa relação, portanto há de se ter cuidado em apreciar os resultados neste momento. Assim sendo, um incremento do esforço amostral poderá revelar novas informações acerca da relação entre sinais acústicos e tamanho corporal em cetáceos. A investigação da relação alométrica entre sinais acústicos e atributos corporais tem grande potencial para trazer possíveis contribuições para estudos populacionais e conservação de cetáceos. Investigações futuras poderão revelar padrões nas relações entre sinais acústicos e atributos corporais de cetáceos que, por sua vez, poderão expressar estimativas mais robustas do tamanho corporal através da análise de sons.

REFERÊNCIAS

- Adler-Fenchel, H. S. (1980). Acoustically Derived Estimate of the Size Distribution for a Sample of Sperm Whales (*Physeter catodon*) in the Western North Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(12), 2358–2361. <https://doi.org/10.1139/f80-283>
- Allison, M. J. (1981). Dolphin Vocalization Mechanisms, 212(May), 1977–1979.
- Arruda, J., Ketten, D., Yamato, M., & Cramer, S. (2009). 3D visualization of the odontocete melon using computerized tomography, 3.
- Asquith, A., & Altig, R. (2008). Male Call Frequency as a Criterion for Female Choice in *Hyla cinerea*. *Journal of Herpetology*, 24(2), 198–201. <https://doi.org/10.2307/1564229>
- Frankel, A. S. (2009). Sound production. In *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)* (pp. 1056-1071.).
- BAZÚA-DURÁN, C. (2004). Differences in the whistle characteristics and repertoire of Bottlenose and Spinner Dolphins. *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*, 76, 386–392.
- Bøttcher, A., Gero, S., Beedholm, K., Whitehead, H., & Madsen, P. T. (2018). Variability of the inter-pulse interval in sperm whale clicks with implications for size estimation and individual identification. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144(1), 365–374.
- Rosas, F. C. W., & Monteiro-Filho, E. L. (2002). Reproduction of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*) on the coast of Paraná, southern Brazil. *Journal of Mammalogy*, 83(2), 507-515.
- Rosas, F. C. W., Barreto, A. S., & Monteiro-Filho, E. L. D. A. (2003). Age and growth of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*)(Cetacea, Delphinidae) on the Paraná coast, southern Brazil. *Fishery Bulletin*, 101(2), 377-383.
- Charlton, B. D., Frey, R., McKinnon, A. J., Fritsch, G., Fitch, W. T., & Reby, D. (2013). Koalas use a novel vocal organ to produce unusually low-pitched mating calls. *Current Biology*, 23(23), 1035–1036.
- Charlton, B. D., & Reby, D. (2016). The evolution of acoustic size exaggeration in terrestrial mammals. *Nature Communications*, 7, 12739.

- Charlton, B. D., Reby, D., & McComb, K. (2007). Female red deer prefer the roars of larger males. *Biology Letters*, 3(4), 382–385.
- Christiansen, F., Dujon, A. M., Sprogis, K. R., Arnould, J. P. Y., & Bejder, L. (2016). Noninvasive unmanned aerial vehicle provides estimates of the energetic cost of reproduction in humpback whales. *Ecosphere*, 7(10), 1–18.
- Cranford, T. W. (1999). The Sperm Whale's Nose: Sexual Selection On A Grand Scale? 1. Marine mammal science, 15(4), 1133-1157.
- Cranford, T. W., McKenna, M. F., Soldevilla, M. S., Wiggins, S. M., Goldbogen, J. A., Shadwick, R. E., ... Hildebrand, J. A. (2008). Anatomic geometry of sound transmission and reception in Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*). *Anatomical Record*, 291(4), 353–378.
- Cranford, T. W., Amundin, M., & Norris, K. S. (1996). Functional morphology and homology in the Odontoceti nasal complex implications for sound generation. *Journal of Morphology*, 228(3), 223–285.
- Dalglish, T., Williams, J. M. G. ., Golden, A.-M. J., Perkins, N., Barrett, L. F., Barnard, P. J., ... Watkins, E. (2007). *Passive Acoustic Monitoring of Cetacens. Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 136).
- Domínguez-Sánchez, C. A., Acevedo-Whitehouse, K. A., & Gendron, D. (2018). Effect of drone-based blow sampling on blue whale (*Balaenoptera musculus*) behavior. *Marine Mammal Science*, 34(3), 841–850.
- Duarte de Figueiredo, L., & Simão, S. M. (2009). Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(3), 1563–1569.

- Durban, J. W., Fearnbach, H., Perryman, W. L., & Leroi, D. J. (2015). Photogrammetry of killer whales using a small hexacopter launched at sea. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(June), 1–5.
- Elie, J. E., & Theunissen, F. E. (2018). Zebra finches identify individuals using vocal signatures unique to each call type. *Nature Communications*, 9(1).
- Evans, S., Neave, N., & Wakelin, D. (2006). Relationships between vocal characteristics and body size and shape in human males: An evolutionary explanation for a deep male voice. *Biological Psychology*, 72(2), 160–163.
- Evans, W. E., & Maderson, P. F. A. (1973). Mechanisms of sound production in delphinid cetaceans: A review and some anatomical considerations. *Integrative and Comparative Biology*, 13(4), 1205–1213.
- Favaro, L., Gamba, M., Gili, C., & Pessani, D. (2017). Acoustic correlates of body size and individual identity in banded penguins. *PLoS ONE*, 12(2).
- Fitch, W. T. (1999). Morphology and development of the human vocal tract: A study using magnetic resonance imaging. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106(3), 1511–
- Fitch, W. T., & Hauser, M. D. (2003). Unpacking "Honesty": Vertebrate Vocal Production and Evolution of Acoustic Signals. *Acoustic Communication*, 65–137.
- Fitch, W. T. S. (1997). Vocal tract length and formant frequency dispersion correlate with body size in rhesus macaques. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102(2 Pt 1).
- Fitch, W. (2000). Skull dimensions in relation to body size in nonhuman mammals: The causal bases for acoustic allometry. *Zoology-Analysis of Complex Systems*.
- Genevois, F., & Bretagnolle, V. (1994). Male blue petrels reveal their body mass when calling. *Ethology Ecology & Evolution*, 6(3), 377–383.
- Gingras, B., Boeckle, M., Herbst, C. T., & Fitch, W. T. (2013). Call acoustics reflect body size across four clades of anurans. *Journal of Zoology*, 289(2), 143–150.

- Goebel, M. E., Perryman, W. L., Hinke, J. T., Krause, D. J., Hann, N. A., Gardner, S., & LeRoi, D. J. (2015). A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biology*, 38(5), 619–630.
- Goold, J. C. (1996). Signal processing techniques for acoustic measurement of sperm whale body lengths. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(5), 3431–3441.
- Gordon, J. C. D. (1991). Evaluation of a method for determining the length of sperm whales (*Physeter catodon*) from their vocalizations. *Journal of Zoology*, 224, 301–314.
- Growcott, A., Miller, B., Sirguy, P., Slooten, E., & Dawson, S. (2011). Measuring body length of male sperm whales from their clicks: the relationship between inter-pulse intervals and photogrammetrically measured lengths. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(1), 568–573.
- Harbor, F., Mammal, M., Division, T., Fisheries, S., Marine, N., Service, F., & Jolla, L. (2015). Individual-based photogrammetric measures of length , growth and shape to infer body condition and reproductive status of southern resident killer whales, (March), 1–29.
- Harris, T. R., Fitch, W. T., Goldstein, L. M., & Fashing, P. J. (2006). Black and white colobus monkey (*Colobus guereza*) roars as a source of both honest and exaggerated information about body mass. *Ethology*, 112(9), 911–920.
- Hauser, M. D. (1993). The evolution of nonhuman primate vocalizations: effects of phylogeny, body weight, and social context. *The American Naturalist*, 142(3), 528–42.
- Hodgson, J. C., Mott, R., Baylis, S. M., Pham, T. T., Wotherspoon, S., Kilpatrick, A. D., ... Koh, L. P. (2018). Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5), 1160–1167.
- Huggenberger, S., Rauschmann, M. A., Vogl, T. J., & Oelschläger, H. H. A. (2009). Functional morphology of the nasal complex in the harbor porpoise (*Phocoena phocoena* L.). *Anatomical Record*, 292(6), 902–920.

- Janik, V. M. (2014). Cetacean vocal learning and communication. *Current Opinion in Neurobiology*, 28, 60–65.
- Janik, V. M., & Sayigh, L. S. (2013). Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 199(6), 479–489.
- Killebrew, D. (2001). Sound Production of a Neonate Bottlenose Dolphin, (January), 34–44.
- Kunzel. (2013). How Well Does Average Fundamental Frequency Correlate with Speaker Height and Weight? *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Lass, N. J., & Brown, S. (1978). Correlational study of speakers' heights, weights, body surface areas, and speaking fundamental frequencies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 63(4), 1218–1220.
- Lima, A., & Le Pendu, Y. (2014). Evidence for signature whistles in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(6), 3178–3185.
- Lima, A., & Le Pendu, Y. (2014). Evidence for signature whistles in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Ilhéus, northeastern Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(6), 3178–3185.
- Martin, J. P., Doucet, S. M., Knox, R. C., & Mennill, D. J. (2011). Body size correlates negatively with the frequency of distress calls and songs of Neotropical birds. *Journal of Field Ornithology*, 82(3), 259–268.
- Masataka. (2013). Lack of Correlation Between BS and F0 Japanese Macaques. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- MATTHEWS, J. N., RENDELL, L. E., GORDON, J. C. D., & MACDONALD, D. W. (1999). a Review of Frequency and Time Parameters of Cetacean Tonal Calls. *Bioacoustics*, 10(1), 47–71.

- May-Collado, L. J., Agnarsson, I., & Wartzok, D. (2007). Reexamining the relationship between body size and tonal signals frequency in whales: A comparative approach using a novel phylogeny. *Marine Mammal Science*, 23(3), 524–552.
- May-Collado, L. J., Agnarsson, I., & Wartzok, D. (2007). Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. *BMC Evolutionary Biology*, 7(1), 136.
- McComb, K. E. (1991). Female choice for high roaring rates in red deer, *Cervus elaphus*. *Animal Behaviour*, 41(1), 79–88.
- Melorose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). No Title No Title. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1.
- Miyao, S. Y., Nishihara, L., & Sarti, C. C. (1986). Características físicas e químicas do sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. *Boletim Do Instituto Oceanográfico*, 34, 23–36.
- Monteiro-Filho, E. L. a., & Monteiro, K. D. K. a. (2001). Low-frequency sounds emitted by *Sotalia fluviatilis guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in an estuarine region in southeastern Brazil. *Canadian Journal of Zoology*, 79(1), 59–66.
- Morton, E. S., & Naturalist. (2013). On the Occurrence and Significance of Motivation-Structural Rules in Some Bird and Mammal Sounds.
- Norris, K. S., & Harvey, G. W. (1972). Theory for the Function of the Spermaceti Organ of the Sperm Whale (*Physeter catodon* L.). In *NASA Special Publication 262, Animal Orientation and Navigation.*, ed. S. R., 397–417.
- Peters, R. (1983). The ecological implications of body size, 327.
- Pfefferle, D., & Fischer, J. (2006). Sounds and size: identification of acoustic variables that reflect body size in hamadryas baboons, *Papio hamadryas*. *Animal Behaviour*, 72(1), 43–51.
- Pisanski, K., Oleszkiewicz, A., & Sorokowska, A. (2016). Can blind persons accurately assess body size from the voice? *Biology Letters*, 12(4), 1–4.

- Podos, J., Da Silva, V. M. F., & Rossi-Santos, M. R. (2002). Vocalizations of Amazon River Dolphins, *Inia geoffrensis*: Insights into the Evolutionary Origins of Delphinid Whistles. *Ethology*, 108(7), 601–612.
- Popper, Arthur N, Simmons, Andrea M, Fay, R. R. (2003). *Springer Handbook of Auditory research*.
- Reber, S. A., Janisch, J., Torregrosa, K., Darlington, J., Vliet, K. A., & Fitch, W. T. (2017). Formants provide honest acoustic cues to body size in American alligators. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11.
- Rendall, D., Kollias, S., Ney, C., & Lloyd, P. (2005). Pitch (F0) and formant profiles of human vowels and vowel-like baboon grunts: the role of vocalizer body size and voice-acoustic allometry. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(2), 944–955.
- Rhineland, M. Q., & Dawson, S. M. (2004). Measuring sperm whales from their clicks: stability of interpulse intervals and validation that they indicate whale length. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 115(4), 1826–1831.
- Riede, T., & Fitch, T. (1999). VOCAL TRACT LENGTH AND ACOUSTICS OF VOCALIZATION IN THE DOMESTIC, 2867, 2859–2867.
- Rodriguez, R. L., Araya-Salas, M., Gray, D. A., Reichert, M. S., Symes, L. B., Wilkins, M. R., Hibel, G. (2015). How acoustic signals scale with individual body size: Common trends across diverse taxa. *Behavioral Ecology*, 26(1), 168–177.
- Rossi-Santos, M. R. (2015). Oil Industry and Noise Pollution in the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Soundscape Ecology of the Southwestern Atlantic Breeding Ground. *Journal of Coastal Research*, 299, 184–195.
- Rossi-Santos, M. R., & Podos, J. (2006). Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, 143(3), 347–364.

- Ruprecht, R. (2014). Acoustic allometry in mammals. Tese de Doutorado. uniwien.
- Ryan, M. J. (1988). Constraints and patterns in the evolution of anuran acoustic communication. *The Evolution of the Amphibian Auditory System*.
- Santos, M. C. O., & Rosso, S. (2007). Ecological aspects of marine tucuxi dolphins (*Sotalia guianensis*) based on group size and composition in the Cananéia Estuary, southeastern Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 6(1), 71–82.
- Schaeffer-Novelli, Y., de Souza Lima Mesquita, H., Cintrón-Molero, G., & Cintron-Molero, G. (1990). The Cananéia Lagoon Estuarine System, São Paulo, Brazil. *Estuaries*, 13(2), 193.
- Schaeffer-novelli, Y., & Paulo, S. (1990). The Cananéia Lagoon Estuarine System, São Paulo, Brazil 1. *Estuaries*, 13(2), 193–203.
- Shieh, B. Sen, Liang, S. H., Liao, C. Y., & Chiu, Y. W. (2017). Song frequency correlates with latitude and individual body size in the cicada *Mogannia formosana* Matsumura (Hemiptera: Cicadidae). *Acta Ethologica*, 20(2), 147–155.
- Sueur, J., Mackie, D., & Windmill, J. F. C. (2011). So small, so loud: Extremely high sound pressure level from a Pygmy aquatic insect (corixidae, micronectinae). *PLoS ONE*, 6(6).
- Taylor, A. M., & Reby, D. (2010). The contribution of source-filter theory to mammal vocal communication research. *Journal of Zoology*, 280(3), 221–236.
- Teloni, V., Zimmer, W. M. X., Wahlberg, M., & Madsen, P. T. (2004). Consistent acoustic size estimation of sperm whales using clicks. *Journal of Cetacean Research and Management*, 9(2), 127–136.
- Titze, I., Riede, T., & Mau, T. (2016). Predicting Achievable Fundamental Frequency Ranges in Vocalization Across Species. *PLoS Computational Biology*, 12(6), 1–13.
- Torres, L. G., Nieukirk, S. L., Lemos, L., & Chandler, T. E. (2018). Drone Up! Quantifying Whale Behavior From a New Perspective Improves Observational Capacity. *Frontiers in Marine Science*, 5(September), 1–14.

Whitlow, W. L. A. (2000). *Hearing by Whales and Dolphins* (Vol. 12).

Zwamborn, E. M. J., & Whitehead, H. (2016). The International Journal of Animal Sound and its Recording Repeated call sequences and behavioural context in long-finned pilot whales off Cape Breton , Nova, 4622.

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Discente: LUCAS PEREIRA SANTOS

Título: "Alometria acústica em botos cinza, *Sotalia guianensi*."

Orientador: Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Junior

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Biologia Marinha

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Junior	AP
Prof. Dr. Otto Bismarck Fazzano Gadig	AP

PARECER:

Aprovado com louvor

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que o discente **Lucas Pereira Santos** obteve o seguinte conceito:



APROVADO



REPROVADO

São Vicente, 05 de dezembro de 2018.

[Assinatura]
Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Junior

[Assinatura]
Prof. Dr. Otto Bismarck Fazzano Gadig