



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - UFBA

Programa de Pós-graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores

Mestrado em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores

VICTOR MELO SOUZA

**FONTES SONORAS NA PAISAGEM ACÚSTICA MARINHA
DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, NORDESTE DO BRASIL**

Salvador, julho de 2024

VICTOR MELO SOUZA

**FONTES SONORAS NA PAISAGEM ACÚSTICA MARINHA
DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ecologia: Teoria,
Aplicação e Valores, como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do
título de Mestre em Ecologia: Teoria,
Aplicação e Valores.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Roberto Rossi Santos

Salvador, julho 2024

"Sei que meu trabalho é uma gota no oceano, mas sem ele o oceano seria menor."(Madre Teresa de Calcutá)

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, à minha família, Mãe, Eliêde Souza, Pai, Sérgio Souza e irmã, Juliana Souza, pelo apoio incondicional e pelo incentivo em todas as etapas desta jornada.

Aos meus amigos de sempre, Drielle, Giovanna, Hugo, Isabele e Ruanna, por estarem ao meu lado, proporcionando momentos de alegria e apoio, mesmo à distância.

À minha colega de programa, Taína, com parceria significativa devido aos desafios impostos pelo isolamento causando pela pandemia.

Sou também grato ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Rossi, e ao Laboratório de ecologia acústica e comportamento animal (LEAC), que têm me acompanhado e orientado desde a graduação, contribuindo imensamente para o meu crescimento acadêmico e profissional.

E por fim, agradeço também à Universidade Federal da Bahia (UFBA), ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores e ao CAPES, pelo suporte institucional e financeiro, essenciais para a realização deste trabalho.

FONTES SONORAS NA PAISAGEM ACÚSTICA MARINHA DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, NORDESTE DO BRASIL

VICTOR MELO SOUZA

A ecologia da paisagem acústica é um campo de estudo dedicado à análise dos padrões e processos sonoros que acontecem em um ambiente. A paisagem acústica, ou ambiente sonoro, é composta por todos os sons presentes em um mesmo tempo e espaço, que engloba os sons produzidos por organismos vivos, os gerados por processos físicos e geológicos do ambiente ou os resultantes das atividades humanas. Essas fontes sonoras distintas interagem de forma complexa e desempenham um papel importante na ecologia de várias espécies, possibilitando diversas atividades, como a comunicação, orientação, locomoção e percepção do meio. Assim, estudos acústicos oferecem informações para uma melhor gestão ambiental, principalmente em regiões onde não existem informações acústicas documentadas, como na Baía de Todos os Santos (BTS), uma Baía considerada rica em biodiversidade que abriga uma alta variedade de atividades humanas. Esse estudo tem como foco a análise da paisagem acústica da BTS, investigando através de dois capítulos os sons originados por organismos vivos e os sons com origem das atividades humanas. No primeiro capítulo, foi produzido um artigo com objetivo de descrever as características da estrutura acústica dos assobios de uma população de boto-cinza (*Sotalia guianensis*) residente da área, buscando variações com assobios da mesma espécie registradas em outros locais. No segundo capítulo, através de dois artigos, foram investigados os sons originados de atividades humanas. O primeiro artigo teve foco na descrição acústica do som provocado pela prática destrutiva da pesca com explosivos, enquanto o segundo artigo focou na descrição dos sons provocados pelo tráfego de embarcações. Essa investigação proporcionou uma compreensão mais aprofundada da diversidade acústica da BTS, destacando a variedade de fontes sonoras registradas e ressaltando a importância de considerar os aspectos acústicos na ecologia marinha e na gestão ambiental da região.

Resumo

Os sons presentes na paisagem acústica desempenham um papel importante na ecologia de muitas espécies de animais sendo utilizados para diversas funções vitais e obter informações do ambiente. Nesse estudo, investigamos algumas fontes sonoras biológicas e antropogênicas que compõem a paisagem acústica submarina da Baía de Todos os Santos (BTS) através de dois capítulos. O primeiro capítulo, se concentra nos sons biológicos, investigando os padrões acústicos dos assobios produzidos pelo boto-cinza (*Sotalia guianensis*), espécie de golfinho residente na BTS. No segundo capítulo, são investigadas as atividades humanas que afetam a paisagem acústica da BTS através de dois artigos, sendo que o primeiro descreve o som gerado pela prática da pesca com explosivos, enquanto o segundo se propõe a descrever os sons produzidos pelo tráfego de embarcações presente na região. Foram considerados dados coletados dentro de um programa de pesquisa de longo prazo sobre a ecologia comportamental do boto-cinza e paisagens acústicas da BTS entre outubro de 2016 e maio de 2018, a partir de uma plataforma de levantamento em barco, utilizando um hidrofone HTI-90 min (sensibilidade de 165 dB em re 1 V/ μ Pa) conectado a um gravador digital TASCAM DR-40, que gravava a uma profundidade de 5 a 7 metros. Nesse período foram coletadas 24 h e 55 min referentes a sons biológicos e 20 h e 21 min contendo informações sobre sons antropogênicos. A análise contribui com informações sobre a variabilidade acústica do boto-cinza, identificando o padrão sonoro dos assobios em uma população sem registros acústicos, e revela potenciais impactos negativos a todo o ecossistema submarino local gerados por algumas atividades humanas. Através desse estudo, foram caracterizadas três fontes sonoras presentes na BTS: uma biológica e duas antropogênicas, sendo importante pois a caracterização detalhada dessas fontes permite compreender melhor como padrões naturais de comunicação dos animais e as atividades humanas modificam a paisagem acústica da região.

Palavras-chave: Paisagem acústica. Boto-cinza. Assobios. Tráfego marítimo. Pesca com explosivos. Baía de Todos os Santos.

Abstract

The sounds within the soundscape play a crucial role in the ecology of many species, being used for various vital functions and obtaining essential information from the environment. In this study, we investigated some biological and anthropogenic sound sources that compose the underwater soundscape of Todos os Santos Bay (BTS) through two chapters. The first chapter focuses on biological sounds, investigating the acoustic patterns of whistles produced by the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*), a dolphin species resident in BTS. In the second chapter, human activities that affect the underwater soundscape of BTS are investigated through two articles, with the first describing the sound generated by the practice of fishing with explosives while the second aims to describe the sounds produced by vessel traffic in the region. The data collected was considered within the long-term research program on the behavioral ecology of the Guiana dolphin and the soundscapes of the BTS between October 2016 and May 2018. Recordings were made from a boat-based survey platform using an HTI-90 min hydrophone (sensitivity of 165 dB re 1 V/ μ Pa) connected to a TASCAM DR-40 digital recorder, recording at a depth of 5 to 7 meters. During this period, 24 hours and 55 minutes of biological sounds and 20 hours and 21 minutes containing information on anthropogenic sounds were collected. The analysis provides insights into the acoustic variability of the Guiana dolphin, identifying the whistle sound patterns in a population with no previous acoustic records, and reveals potential negative impacts on the entire local underwater ecosystem caused by certain human activities. Through this study, three sound sources present in BTS were characterized: one biological and two anthropogenic. This is important because the detailed characterization of these sources allows for a better understanding of how natural animal communication patterns and human activities modify the acoustic landscape of the region.

Keywords: Soundscape. Guiana dolphin. Whistles. Vessel traffic. Blast fishing. Todos os Santos Bay.

Sumário

Estrutura da Dissertação.....	1
Introdução geral.....	2
Objetivos.....	5
Capítulo I.....	8
Capítulo II.....	25
Conclusões gerais.....	57
APÊNDICE A	58
APÊNDICE B.....	59

Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em dois capítulos como segue:

Capítulo I – Sons biológicos na paisagem acústica da Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil.

Manuscrito do capítulo: **Caracterização acústica dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na Baía de Todos os Santos, nordeste do Brasil.** Trata-se da análise da estrutura dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) através de registros acústicos da população que habita a Baía de Todos os Santos.

Capítulo II – Sons antropogênicos na paisagem acústica da Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil.

Primeiro manuscrito do capítulo: **Dropping a bombshell: acoustic characterization of blast fishing in Todos os Santos Bay, Northeastern Brazil, and its implication for marine conservation.** Trata-se da descrição do som produzido por uma bomba utilizada pela prática da pesca com explosivos na Baía de Todos os Santos.

Segundo manuscrito do capítulo: **Caracterização acústica do tráfego marítimo na Baía de Todos os Santos, nordeste do Brasil.** Trata-se da descrição do som produzido pelo tráfego de embarcações, composto pelos diferentes tipos de embarcações presentes na Baía de Todos os Santos.

Introdução geral

Os estudos dos sons estão inseridos no campo da ecologia da paisagem acústica, uma abordagem interdisciplinar que combina a ecologia das paisagens e a bioacústica, com o objetivo de compreender as interações entre os organismos e seus ambientes (Farina, 2013). Nesse contexto, a paisagem acústica é formada por três fontes de emissões sonoras: a biofonia, que engloba os sinais gerados por organismos vivos; a geofonia, proveniente de processos físicos e geológicos naturais; e a antropofonia, resultantes das atividades humanas (Pijanowski et al., 2011).

O som é uma característica presente em todos os ecossistemas e desempenha funções essenciais na vida de muitos organismos (Bradbury; Vehrencamp, 1998; Tyack, 2001; Au; Hastings, 2008). Em ambientes aquáticos, a utilização do ambiente sonoro se destaca pela eficiência na propagação, alcançando maiores distâncias devido à alta densidade da água e à menor absorção das ondas sonoras (Bradbury; Vehrencamp, 1998). Além disso, as limitações visuais nesses ambientes tornam o som o principal meio de comunicação e percepção do ambiente para algumas espécies (Au; Hastings, 2008).

A eficiência na propagação do som na água também torna os ecossistemas aquáticos mais vulneráveis aos sons provenientes de atividades humanas, conhecidos como ruídos antropogênicos (Halpern et al., 2008; Clark et al., 2009). Pesquisas apontam um aumento significativo desses ruídos nos oceanos ao longo das últimas décadas, com efeitos como o mascaramento de sinais biológicos, alterações comportamentais, danos físicos e a evasão de áreas (Richardson et al., 1995; Haver et al., 2023), o que resulta na diminuição da diversidade e da abundância de espécies em áreas específicas (Halpern et al., 2008; Duarte et al., 2021).

Devido à importância do ambiente sonoro para os ecossistemas aquáticos (Au; Hastings, 2008) e da ameaça causada pela presença de sons antropogênicos nesses ambientes (Richardson et al., 1995), os estudos sobre o ambiente sonoro marinho se tornaram importantes para compreender o funcionamento e a saúde de uma determinada região (Cominelli et al., 2024; Slišković et al., 2024). Assim, estudos acústicos em uma região como a Baía de Todos os Santos (BTS), no qual, até o momento não existem dados acústicos registrados, é fundamental para preencher essa lacuna de conhecimento, proporcionando uma compreensão mais abrangente da paisagem acústica local e dos processos ecológicos que ocorrem na região.

A BTS está localizada na costa nordeste do Brasil, no estado da Bahia, se destacando como um dos maiores ecossistemas costeiros do país (Barros et al., 2012). Com uma área aproximada de 1.233 km², profundidades que variam entre 6 e 70 metros e uma largura máxima de 50 quilômetros (Andrade and Hatje, 2009). A bacia hidrográfica dessa Baía abrange cerca de 60.000 km², sendo influenciada tanto pelas águas oceânicas quanto pela descarga de diversos rios (Cirano and Lessa, 2007). Essa combinação resulta em uma diversidade de habitats marinhos e costeiros, incluindo manguezais, recifes de corais e ilhas (Dias et al., 2011; Barros et al., 2012).

A biodiversidade marinha da BTS inclui centenas de espécies de peixes, invertebrados (Reis-Filho et al., 2010; Dias et al., 2011) e alguns mamíferos aquáticos, como o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) (Van Benédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae) (Reis; Queiroz, 1992; Batista et al., 2014; Bandeira, 2019), espécie de cetáceo vulnerável (Secchi et al., 2018) que dependem do ambiente sonoro como principal forma de comunicação e percepção ambiental (Bradbury; Vehrencamp, 1998). Reconhecido como uma sentinela ambiental, essa espécie desempenha um papel crucial na avaliação da saúde do ecossistema, refletindo as condições ambientais locais (Nery et al., 2010; Moura et al., 2014).

Apesar da rica biodiversidade a BTS enfrenta desafios ambientais devido à intensa presença humana, que realizam atividades como o turismo, atraindo visitantes por suas praias, ilhas e herança cultural (Caroso et al., 2011), além das operações portuárias, que movimentam milhões de toneladas anualmente (Andrade; Hatje, 2009), e a pesca artesanal, que envolve cerca de 70.000 famílias (Rios, 2019), com registros de práticas ilegais como a pesca de explosão (Reis-Filho; Loiola, 2022). Assim, essas atividades representam um potencial de impactos, que podem comprometer o equilíbrio ecológico da BTS.

Deste modo, o presente estudo tem como objetivo descrever algumas fontes sonoras biológicas e antropogênicas que compõem a paisagem acústica da BTS, buscando identificar fontes sonoras específicas na região e compreender possíveis ameaças. Além disso, o estudo da paisagem acústica na BTS visa aumentar a conscientização sobre os desafios específicos enfrentados pelos ecossistemas aquáticos nessa região.

No primeiro capítulo “Sons biológicos na paisagem acústica da Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil”, é apresentado um artigo intitulado “Caracterização acústica dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil”. Esse artigo tem como objetivo caracterizar os padrões acústicos dos assobios de boto-cinza

registrados na BTS, comparando o resultado encontrado com assobios de populações da mesma espécie registrados em outras localidades e evidenciando possíveis variações na estrutura dos assobios emitidos pela população de boto-cinza que habita a BTS.

No segundo capítulo, “Sons antropogênicos na paisagem acústica da Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil”, são apresentados dois artigos. O primeiro artigo é intitulado “Dropping a bombshell: acoustic characterization of blast fishing in Todos os Santos Bay, Brazil, and its implication for marine conservation”, descrevendo as características acústicas da explosão originada pela prática da pesca com explosivos. O segundo artigo apresentado neste capítulo é intitulado “Caracterização acústica do tráfego marítimo na Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil”. Nesse artigo é apresentada a alteração que o tráfego marítimo causa na paisagem acústica, analisando os sons provocados por cada tipo de embarcação encontrada na região.

Objetivos

Objetivo Geral

Caracterizar fontes sonoras específicas que compõe a paisagem acústica da Baía de Todos os Santos, descrevendo alguns sons de origem biológica e antropogênica presentes na região.

Objetivos específicos

- I. Caracterizar sons biológicos, focando em descrever os padrões acústicos dos assobios utilizados pelo boto-cinza (*Sotalia guianensis*) em uma população que habita a Baía de Todos os Santos.
- II. Caracterizar sons antropogênicos, descrevendo os sons produzidos por diferentes atividades humanas, como a prática da pesca com explosivos e pelo tráfego de embarcações presentes na Baía de Todos os Santos.

Referências Bibliográficas

- Andrade, J.B.D., Hatje, V., 2009. Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos. Edufba, Salvador, p. 288.
- Au, W. W., Hastings, M. C., 2008. Principles of marine bioacoustics. Springer, New York, p. 680.
- Bandeira, V.R., 2019. Ecologia Populacional do boto-cinza *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864) na Baía de Todos os Santos. Dissertation, Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Geremoabo, 147, Ondina, Salvador, Zip code: 40170-290, Bahia, Brazil.
- Barros, F., Costa, P. C., Cruz, I., Mariano, D. L., Miranda, R. J., 2012. Habitats bentônicos na Baía de Todos os Santos. Revista Virtual. Química, (5):551–65.
- Batista, R. L. G., Alvarez, M. R., Reis M. S., Cremer, M. J., Schiavetti, A., 2014. Site fidelity and habitat use of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae), in the estuary of the Paraguaçú River, northeastern Brazil. North-Western Journal of Zoology, 10(1).
- Bradbury. J. W., Vehrencamp. S. L., 1998. Principles of animal communication. Sinauer, Sunderland.
- Caroso, C., Tavares, F., Pereira, C., 2011. Baía de Todos os Santos: Aspectos Humanos. Edufba, Salvador, p.599.
- Cirano, M., Lessa, G.C., 2007. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. Revista brasileira de geofísica 25, 363–387. Cole, R.H., 1948. Underwater Explosions. Princeton University Press, Princeton, USA. Conceição, M.R.,
- Clark, C. W., Ellison, W. T., Southall, B. L., Hatch, L., Van Parijs, S. M., Frankel, A., Ponirakis, D., 2009. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. Marine Ecology Progress Series, 395, 201-222.
- Cominelli, S., Bellin, N., Brown, C. D., Rossi, V., Lawson, J., 2024. Acoustic features as a tool to visualize and explore marine soundscapes: Applications illustrated using marine mammal passive acoustic monitoring datasets. Ecology and Evolution, 14(2), e10951.
- Dias, J.F., Gonçalves, A.M., Fernandez, W.S., Silbiger, H.L.N., Fiadi, C.B., Schmidt, T.C.D. S., 2011. Ichthyofauna in an estuary of the Mataripe area, Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. Braz. J. Oceanogr. 59, 75–95.
- Duarte, C. M., Chapuis, L., Collin, S. P., Costa, D. P., Devassy, R. P., Eguiluz, V. M., Juanes, F., 2021. The soundscape of the Anthropocene ocean. Science, 371(6529), eaba4658.
- Farina, A., 2014. Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications. Springer, New York.
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., d'Agrosa, C., Watson, R., 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. Science, 319(5865), 948-952.
- Haver, S. M., Haxel, J., Dziak, R. P., Roche, L., Matsumoto, H., Hvidsten, C., Torres, L. G., 2023. The variable influence of anthropogenic noise on summer season coastal underwater soundscapes near a port and marine reserve. Marine Pollution Bulletin, 194, 115406.

- Moura, J. F., Hauser-Davis, R. A., Lemos, L., Emin-Lima, R., and Siciliano, S., 2014. Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) as marine ecosystem sentinels: ecotoxicology and emerging diseases. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* Volume 228, 1-29.
- Nery, M. F., Simão S. M., and Pereira, T., 2010. Ecology and behavior of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in Sepetiba Bay, South-eastern Brazil. *Journal of Ecology and the Natural Environment* 2(9): 194–200.
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Pieretti, N., 2011. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216.
- Reis, M.S.S. Queiroz, E.L., 1992. Distribuição, observações e capturas acidentais de *Sotalia fluviatilis* (Gervais, 1853) na Baía de Todos os Santos. *Anais da V Reunião de Trabalho de Especialistas em Mamíferos Aquáticos da América do Sul*, Buenos Aires.
- Reis-Filho, J.A., Loiola, M., 2022. Dimensions of fishing with explosives in the Brazilian central coast from data mining and fishers' perception: concentrated and problematic, yet avoidable. *Ocean Coast. Manag.* 216, 105985.
- Reis-Filho, J.A., Nunes, J.A.C.C., Ferreira, A., 2010. Estuarine ichthyofauna of the Paraguaçu river, Todos os Santos bay, Bahia, Brazil. *Biota Neotropica* 10, 301–311.
- Richardson, W.J., Greene, C.R. Jr., Malme, C.I., Thomson, D.H., 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press, San Diego, p.576.
- Rios, K. A. N., 2019. As comunidades tradicionais pesqueiras da Baía de Todos os Santos. *Mares: Revista de Geografia e Etnociências*, 1(1), 27-38.
- Secchi, E., Santos, M. D. O., Reeves, R., 2018. *Sotalia guianensis* (errata version published in 2019). The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e. T181359A144232542.
- Slišković, M., Boljat, H. U., Ančić, I., 2024. Marine Soundscape. In: Grgurić, D., Luttenberger, L. R. (Eds.), *Aural Experience and Soundscape Management*, Vol. 1. CRC. 79-114.
- Tyack, P. L., 2001. Marine Mammal Social Organization and Communication. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. 10.1006/rwos.2001.0437.

Capítulo I**SONS BIOLÓGICOS NA PAISAGEM ACÚSTICA DA BAÍA DE TODOS OS
SANTOS, NORDESTE DO BRASIL**

Artigo a ser submetido ao periódico “Journal of the Acoustical Society of America”

Caracterização acústica dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil

Victor Melo Souza^{1 2} | Marcos R. Rossi-Santos^{1 2}

1 Programa de Pós-Graduação Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

2 Laboratório de Ecologia Acústica e Comportamento Animal, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Resumo

O som desempenha um papel fundamental na ecologia do boto-cinza (*Sotalia guianensis*), pois através da utilização de diversos tipos de sinais sonoros essa espécie de golfinho realiza funções essenciais para sua sobrevivência. O objetivo deste estudo é registrar a estrutura acústica dos assobios de uma população isolada de boto-cinza que habita a Baía de Todos os Santos (BTS) e investigar as possíveis diferenças em comparação com a estrutura dos assobios da mesma espécie registrados em diferentes localidades geográficas. Os dados acústicos foram coletados entre 2016 e 2018, a partir de uma plataforma de levantamento em barco, usando um sistema portátil composto por um hidrofone HTI-90 min (sensibilidade de 165 dB em re 1 V/ μ Pa) conectado a um gravador digital TASCAM DR-40 a 7 metros de profundidade com uma resposta de frequência de até 30 kHz. Em laboratório, os dados coletados foram analisados utilizando espectrogramas gerados no software Raven Pro 1.6. No total foram coletadas 24 h 55 m de gravações, com 3078 assobios identificados, analisando os parâmetros da frequência e do tempo. A comparação com dados de outras localidades foi realizada por meio do Teste T de duas amostras, aplicado através do programa MatLab 2021a. As análises revelaram a estrutura acústica dos assobios do boto-cinza na BTS e indicaram variações nos parâmetros de frequência e tempo em comparação com os assobios registrados em outros locais. O estudo destaca a importância da caracterização dos assobios do boto-cinza para a identificação da população, compreensão da comunicação e implementação de medidas de conservação.

Palavras-chave: Paisagem acústica. Boto-cinza. Assobios. Baía de Todos os Santos. Bioacústica

Abstract

The use of sounds plays a fundamental role in the ecology of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*), as this dolphin species performs essential functions for its survival through the utilization of various types of sounds. The objective of this study is to record the acoustic structure of whistles from an isolated population of Guiana dolphins inhabiting the Baía de Todos os Santos (BTS) and investigate potential differences compared to whistle structures of the same species recorded in different geographic locations. Acoustic data were collected between 2016 and 2018 from a survey platform on a boat, using a portable system consisting of an HTI-90 min hydrophone (sensitivity of approximately 165 dB re 1 V/ μ Pa) connected to a TASCAM DR-40 digital recorder at 7 meters deep. In the laboratory, the collected data were analyzed using spectrograms generated in Raven Pro 1.6 software. In total, 24 hours and 55 minutes of recordings were collected, identifying 3078 whistles, with parameters of frequency and time analyzed. A comparison with data from other locations was conducted using a two-sample T-test, implemented through MatLab 2021a software. The analyses revealed the acoustic structure of Guiana dolphin whistles in the BTS and indicated variations in frequency and time parameters compared to whistles recorded in other locations. The study highlights the importance of characterizing Guiana dolphin whistles for population identification, understanding communication, and implementing conservation measures.

Keywords: Soundscape. Guiana dolphin. Whistles. Todos os Santos Bay. Bioacoustics

Introdução

O ambiente sonoro desempenha um papel essencial na ecologia de diversos organismos (Bradbury and Vehrencamp, 1998), especialmente em ambientes aquáticos, devido às limitações visuais impostas pelo meio e pela propagação mais eficiente do som, por causa das propriedades físicas da água (Au and Hastings, 2008). Assim, muitos animais marinhos, como os cetáceos – grupo de mamíferos que inclui baleias e golfinhos – dependem intensivamente do ambiente sonoro para atividades essenciais, como comunicação, orientação, navegação e alimentação (Payne and McVay, 1971; Richardson et al., 1995; Janik and Slater, 1998).

Entre os cetáceos, o boto-cinza, *Sotalia guianensis* (Van Benédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae), é uma espécie de golfinho endêmica da América do Sul e Central que apresenta uma elevada adaptabilidade ambiental, sendo frequentemente encontrado em regiões de Baías e estuários (Jefferson et al., 2011; Lodi and Borobia, 2013). Este golfinho desempenha um papel importante no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, regulando as populações de suas presas como predador de topo (Nery et al., 2010) e atuando como indicador da saúde ambiental local, especialmente em relação a poluição e qualidade da água (Moura et al., 2014).

O boto-cinza *Sotalia guianensis*, possui a capacidade de produzir diferentes tipos de sinais sonoros, como assobios e cliques de ecolocalização, cada qual desempenhando funções específicas (Au and Lammers, 2014; Leão et al., 2016). Os assobios, em particular, apresentam frequências altas e curta duração, com variações significativas nesses parâmetros (Andrade et al., 2015) e desempenham um papel importante na comunicação, coesão social, reconhecimento individual e estruturação hierárquica dentro dos grupos (Richardson et al., 1995; Azevedo and Simão, 2002; Lima and Le Pendu, 2014).

A análise dos assobios permite identificar características específicas de cada população e investigar como a espécie se adapta a diferentes condições ambientais (Rossi-Santos and Podos, 2006; Moron et al., 2019). Até o momento, registros acústicos foram documentados para 11 populações de botos-cinza *Sotalia guianensis* em localidades como Brasil, Costa Rica e Venezuela (Azevedo and Van Sluys, 2005; May-Collado and Wartzok, 2009; Rossi-Santos and Podos, 2006; Andrade et al., 2014; Barrios-Garrido et al., 2016; Moron et al., 2018). Entretanto, ainda existem locais no qual não existem registros acústicos, como na Baía de Todos os Santos (BTS).

A BTS está localizada na região nordeste do Brasil, sendo classificada como uma das maiores e mais importantes áreas costeiras do país (Andrade and Hatje, 2009). Essa Baía é

caracterizada por uma rica diversidade de ecossistemas, que suportam uma variada fauna que vai de invertebrados, peixes e mamíferos marinhos, como o boto-cinza (Reis and Queiroz, 1992; Batista et al., 2014; Bandeira, 2019). Apesar de sua relevância ecológica para a BTS, o boto-cinza permanece pouco estudado na região. Esse cenário ressalta a necessidade de pesquisas adicionais para compreender melhor essa espécie e os desafios para sua conservação (Domit et al., 2020).

Assim, os estudos acústicos se tornam uma importante abordagem (Au and Hastings, 2008), pois permitem investigações detalhadas das características das vocalizações e contribuindo para a compreensão da ecologia acústica e das adaptações a diferentes habitats (Moron et al., 2018). Esses estudos oferecem um meio eficiente e não invasivo de monitorar, entender e proteger essa espécie, fornecendo uma visão detalhada dos ecossistemas e suas interações (Richardson et al., 1995; Erbe and Farmer, 2000).

O objetivo deste estudo é descrever a estrutura acústica dos assobios de uma população de boto-cinza que habita a BTS e investigar as possíveis diferenças em comparação com assobios da mesma espécie registrados em outras localidades geográficas, buscando ampliar o conhecimento sobre a adaptação acústica, com foco em uma região onde não existem registros sobre a utilização do ambiente acústico pela espécie.

Material e Métodos

Área de estudo

A Baía de Todos os Santos (BTS), está localizada na costa nordeste do Brasil, no estado da Bahia, entre as latitudes 12°65'S e 13°15'S e as longitudes 38°45'W e 38°90'W (Andrade and Hatje, 2009), essa região possui uma área de aproximadamente 1.233 km², com profundidade entre 6 e 70 m, largura máxima de 50 km e uma área de bacia de 60.000 km² (Cirano and Lessa, 2007). Os ecossistemas presentes são influenciados pelas águas do Oceano Atlântico Sul Ocidental e por diversos rios que deságuam em sua costa, com destaque ao Paraguaçu, Jequié e Subaé (Cirano and Lessa, 2007; Andrade and Hatje, 2009).

A BTS foi reconhecida como uma área de importância ecológica através da criação da Área de Proteção Ambiental da Baía de Todos os Santos (APA-BTS) em 1999 (Rios, 2019). A região abriga uma combinação de ambientes marinhos e costeiros, incluindo estuários, recifes de corais e manguezais (Barros et al., 2012; Vasconcelos Ramos et al., 2023), que sustenta uma

rica biodiversidade de fauna e flora (Andrade and Hatje, 2009; Oliveira-Silva et al., 2024). Entre os animais residentes da região, o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) é frequentemente avistado em regiões específicas, como na ilha de Itaparica e no Rio Paraguaçu (Reis et al., 1993; Spínola, 2006; Batista et al., 2014).

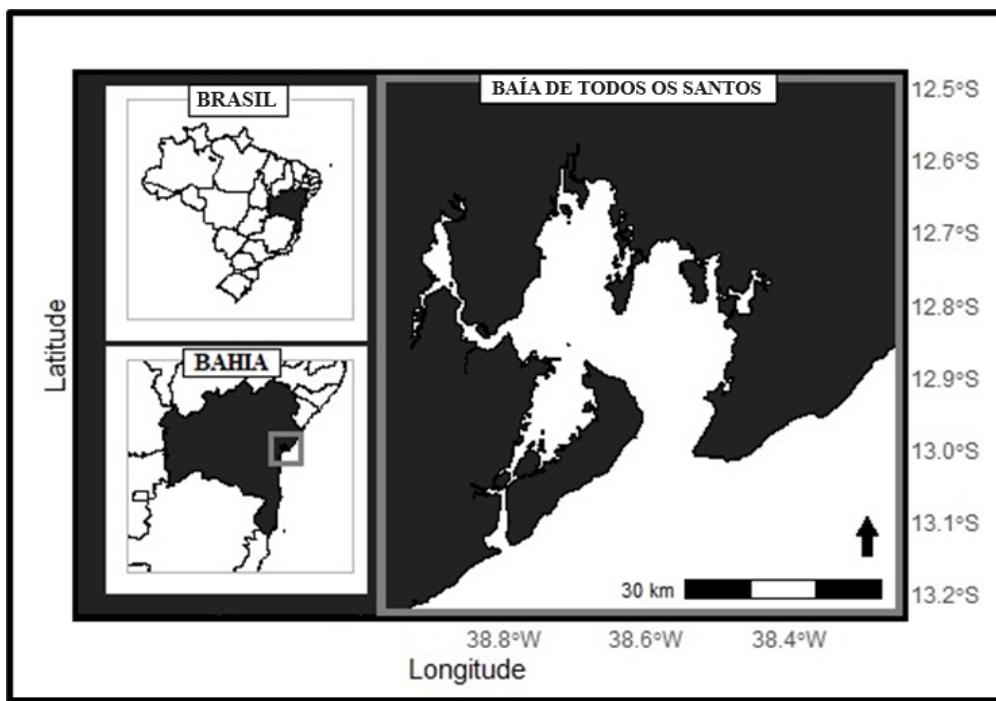


Figura 1. Mapa da Baía de Todos os Santos (BTS), destacando os limites geográficos da região e sua localização na Bahia e no Brasil.

Coleta de dados

As campanhas ocorreram durante os meses de outubro e novembro de 2016; janeiro, maio, agosto e dezembro de 2017; e abril e maio de 2018, através de saídas com duração de três dias consecutivos e ocorrendo duas vezes em cada mês, com coleta realizadas no período diurno. Os dados fazem parte de um programa de pesquisa de longo prazo sobre a ecologia comportamental de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) e paisagens sonoras ao redor da costa (Rossi-Santos et al., 2016), seguindo rotas previamente definidas em laboratório que percorria regiões da BTS com maior probabilidade de avistagens de botos-cinza, como estuários e áreas próximas ao Rio Paraguaçu.

A embarcação utilizada foi um veleiro oceânico Cal 9.2 (32 pés), equipado com um motor Volvo de um cilindro, escolhido pelo baixo impacto acústico associado a esse tipo de embarcação (Bemfica-Araujo, 2019). Durante a coleta, o veleiro era posicionado a uma distância mínima de 50 m em relação aos animais mais próximos, gerando arquivos de áudios

formado wav com 30 min de duração por grupo identificado pela equipe. As gravações foram realizadas manualmente através de um hidrofone HTI 96min (sensibilidade de 165 dB re 1V/ μ Pa) submerso 5-7 m de profundidade e conectado a um gravador digital Tascam DR-40, gravando até a frequência de 30 kHz.

Essa faixa de frequência foi utilizada para mitigar os efeitos do fenômeno “Lloyd's mirror”, um fenômeno acústico que pode causar distorções nos sinais acústicos capturados especialmente em ambientes aquáticos, portanto, ao realizar análises acústicas em ambientes aquáticos é fundamental considerar desse efeito e implementar abordagens adequadas para garantir a precisão e a validade dos resultados obtidos nas pesquisas acústicas (Tyack and Clark, 2000; Au and Hastings, 2008).

Análise de dados

Em laboratório, cada assobio foi selecionado manualmente por meio de espectrogramas gerados no software Raven Pro 1.6 (Bioacoustics Research Program, Cornell Lab of Ornithology). Com uma configuração padronizada de 1024 pontos de resolução (FFT) e uma janela de Hann de 512 pontos, com 50% de overlap. Os critérios de seleção incluíram uma definição segura do início e do final dos assobios, a visibilidade completa do contorno e estarem sem sobreposições com qualquer outro sinal sonoro.

Para a análise do contorno, os assobios coletados foram divididos em seis categorias diferentes: ascendente (ASC), descendente (DES), ascendente-descendente (ASC-DES), descendente-ascendente (DES-ASC), constante (CONST) e múltiplo (MULT), seguindo classificações previamente estabelecidas para a espécie em trabalhos anteriores (May-Collado; Wartzok, 2009; Deconto; Monteiro-Filho, 2013). A análise da frequência (medida em Hertz – Hz) e do tempo (medido em segundos - s), foram realizadas através das medidas dos parâmetros: frequência inicial, frequência final, frequência máxima, frequência mínima, 1º quartil, 2º quartil, 3º quartil e a duração dos assobios (Andrade *et al.*, 2014; Moron *et al.*, 2019).

Para identificar as diferenças entre os assobios registrados neste estudo e aqueles caracterizados em outras localidades, foi aplicado o Teste T para duas amostras independentes (Zar, 1999). Essa análise comparou os dados acústicos dos assobios coletados na BTS individualmente com registros de 11 diferentes localidades na América do Sul e Central, conforme indicado na Figura 2. A comparação foi realizada utilizando o software Matlab 2021a, considerando as médias, desvios padrão e tamanhos das amostras disponíveis na literatura,

utilizando um nível de significância de $\alpha = 0,05$ (Andrade et al., 2014; Moron et al., 2019). Detalhes sobre os valores utilizados nas comparações estão disponíveis no **APÊNDICE A**.



Figura 2. Mapa da América do Sul e Central indicando as localizações de estudos prévios sobre as características acústicas dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*). Cada ponto no mapa representa um local de investigação, conforme identificado na legenda.

Resultados

A coleta de dados ocorreu ao longo de 19 dias de campo, realizando um total de 179 horas de esforço amostral. Durante esse período, foram coletadas 24 horas e 55 minutos de gravações acústicas na presença de botos-cinza. Posteriormente, no laboratório, 3078 assobios foram selecionados para análise. A quantidade de assobios registrados em cada categoria analisada neste estudo está representada na Figura 2. Com a maioria dos assobios classificados como ascendente, totalizando 70,15% das ocorrências, seguida das categorias: descendente-ascendente (14,96%), ascendente-descendente (6,36%), múltiplo (5,45%), descendente (2,83%) e constante (0,25%).

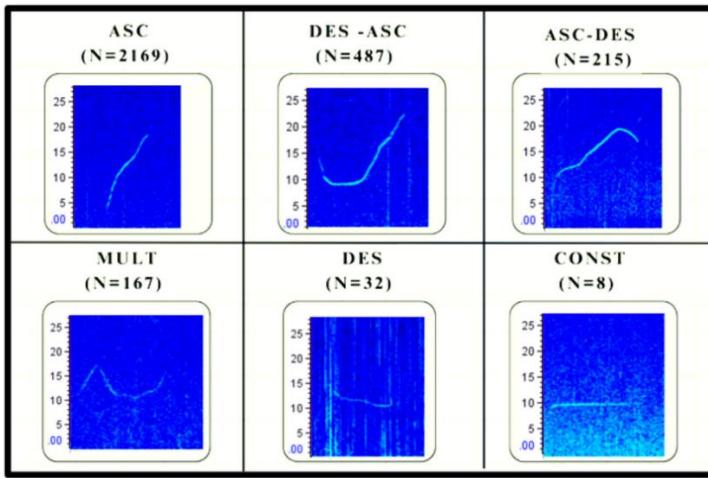


Figura 2. Espectrogramas destacando um exemplo de assobio para cada categoria de contorno, onde: ASC = Ascendente, DES – ASC = Descendente-ascendente, ASC -DES = Ascendente-descendente, MULT = Múltiplo, DES = Descendente, CONST = constante. O número de assobios registrados em cada categoria está representado na letra N. A Configuração dos espectrogramas foi 1024 pontos de resolução (FFT), janela de Hann de 512 pontos e 50% de overlap.

A análise estatística descritiva apresentou os valores de média, máximo, mínimo e desvio padrão de sete parâmetros de frequência e da duração, conforme exibido na Tabela 2. Os resultados revelaram assobios produzidos nas frequências entre 1,388 kHz até 29,927 kHz com a duração variando em 0,952 entre o valor mínimo e o máximo. Entretanto, por causa de limitações metodológicas adotadas não foram registrados assobios em frequências superiores a 30 kHz.

Tabela 2. Estatísticas descritivas dos parâmetros da frequência e do tempo dos assobios do boto-cinza registrados na Baía de Todos os Santos (BTS).

Parâmetro acústico	Média	Mínimo	Máximo	SD
Frequência inicial (kHz)	9,849	1,388	29,890	3,731
Frequência final (kHz)	19,021	1,603	29,927	4,705
Frequência mínima (kHz)	9,377	1,388	26,416	3,516
Frequência máxima (kHz)	19,248	3,371	29,927	4,548
Frequência do primeiro quartil (kHz)	11,496	1,875	27,750	3,468
Frequência do segundo quartil (kHz)	13,267	2,343	28,218	3,532
Frequência do terceiro quartil (kHz)	15,394	2,671	28,406	3,742
Duração (s)	0,313	0,032	0,984	0,151

Dos assobios analisados, 1633 (53,05%) apresentaram frequências entre 10 kHz e 20 kHz, representando a maior parte da amostra. Em seguida, 1333 (43,31%) assobios estavam na faixa de 20 kHz a 30 kHz. Enquanto 103 (3,35%) assobios alcançaram a frequência máxima até 10 kHz. Esses resultados mostram um número maior de assobios produzidos em frequências mais altas, com menor número de assobios produzidos em frequências abaixo de 10 kHz.

As médias dos parâmetros de frequência e duração, apresentadas na Tabela 1, foram comparadas com dados previamente documentados para a espécie em 11 localidades, totalizando 88 comparações, representadas na Figura 3. Os resultados mostraram similaridade estatística em 10 comparações correspondente 11,36%, sendo 7 relacionadas aos parâmetros de frequência e 3 à duração.

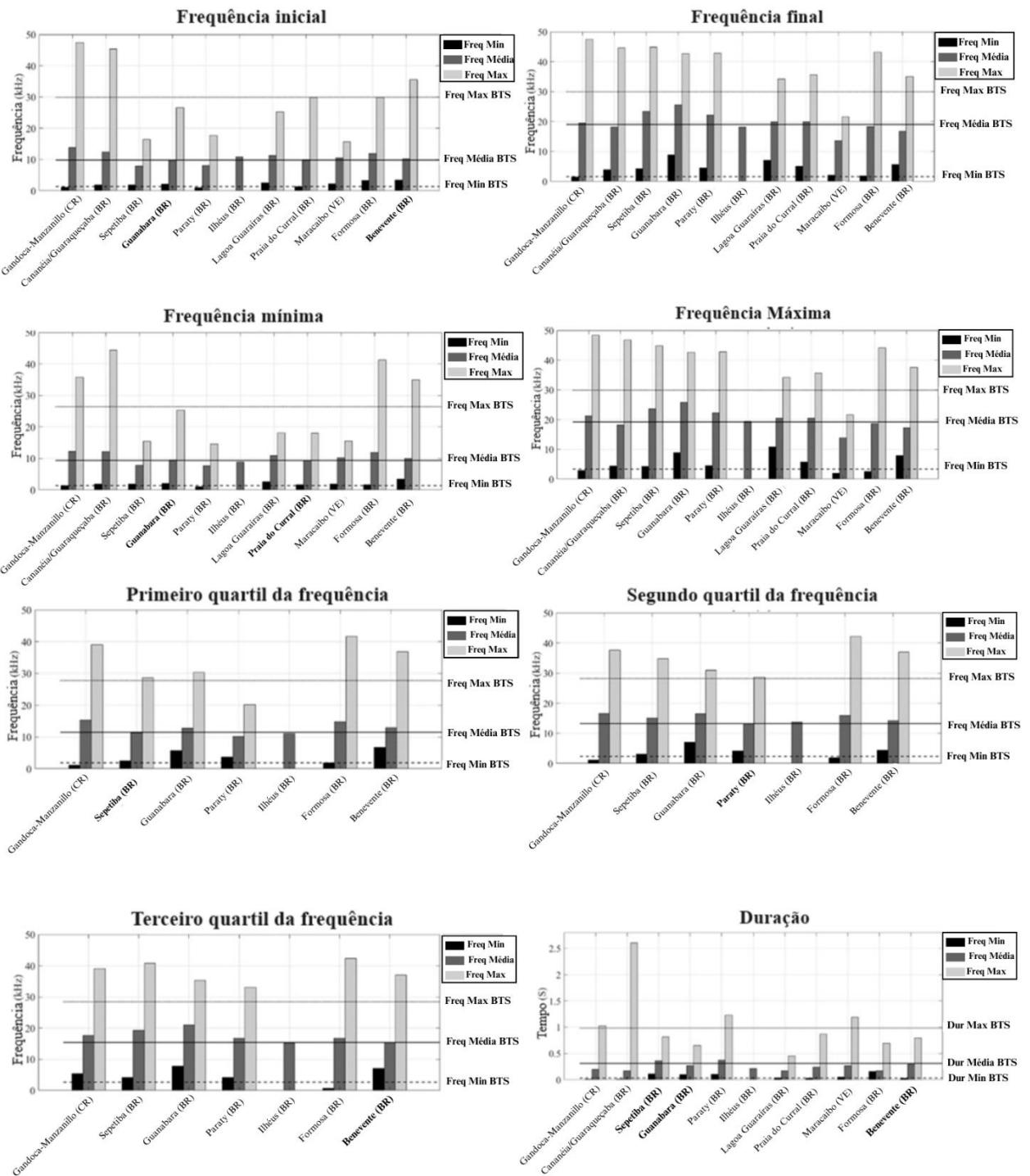


Figura 3. Gráficos representando valores da média (linha constante), mínimo (linha tracejada) e máximo (linha pontilhada) dos parâmetros dos assobios de boto-cinza registrados na Baía de Todos os Santos, em comparação com os valores em diferentes locais. As barras no gráfico correspondem aos valores, da média (cinza escuro), do valor mínimo (preto) e o valor máximo (cinza claro) de cada local em que houve comparação dos dados. Em negrito estão destacados os locais que apresentaram similaridade estatística ($p < 0.05$). Os dados utilizados para a comparação estão presentes no **APÊNDICE A**.

Discussão

Os assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na BTS foram caracterizados por uma predominância de contornos ascendentes, apresentando variações nos parâmetros de frequência e duração em comparações com assobios em outras localidades, com a maioria dos assobios ocorrendo em frequências superiores a 10 kHz. A caracterização é importante para entender os padrões de comunicação da espécie em diferentes localidades (Azevedo and Van Sluys, 2005; Rossi-Santos and Podos, 2006), além de fornecer informações que podem refletir adaptações a ambientes específicas a diferentes ambientes (Moron et al., 2019).

A predominância da categoria ascendente foi consistentemente identificada em populações de botos-cinza (May-Collado and Wartzok, 2009; Andrade et al., 2014). Esse contorno influencia diretamente os parâmetros de frequência dos assobios, sendo caracterizado por um aumento gradual da frequência ao longo do tempo (Azevedo and Van Sluys, 2005). A prevalência dessa categoria reflete características acústicas específicas da espécie, oferecendo um potencial significativo para o aprimoramento da detecção e classificação em sistemas de monitoramento passivo (Moron et al., 2019).

Os parâmetros de frequência e de tempo apresentaram poucas semelhanças com os valores registrados na literatura para outras populações, com o parâmetro da duração apresentando maior similaridade estatística entre as comparações. A pouca semelhança estatística é resultado da alta capacidade de adaptação acústica dessa espécie (Azevedo and Van Sluys, 2005; Rossi-Santos and Podos, 2006), que permite variações no repertório de suas emissões sonoras para possibilitar a comunicação em habitats com diferentes condições ambientais (Moron et al., 2019).

Estudos anteriores sugeriam que a estrutura acústica dos assobios variava de acordo com um gradiente latitudinal, demonstrando maior semelhança entre populações geograficamente mais próximas (Rossi-Santos and Podos, 2006). Contudo, resultados mais recentes indicam que essas diferenças podem estar associadas à propagação do som em ambientes diversos (Deconto and Monteiro-Filho, 2013) e uma interação complexa de fatores evolutivos, ecológicos e sociais específicos de uma determinada região (Moron et al., 2019).

Assim, a estrutura acústica dos assobios na BTS reflete variações específicas que podem ser influenciadas por condições ambientais, como temperatura, salinidade, profundidade e turbidez (Leão et al., 2015), e por pressões antropogênicas, que causam modificações da estrutura acústica buscando amenizar os efeitos dos sons originados por atividades humanas

(Pais et al., 2017; Martins et al., 2018). Além disso, fatores sociais, como os assobios-assinatura também podem contribuir para as diferenças acústicas entre as diferentes regiões (Figueiredo and Simão, 2009; Lima and Le Pendu, 2014).

Este estudo representa a caracterização acústica dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na BTS. No entanto, a metodologia aplicada, embora tenha sido adotada para garantir maior confiabilidade nas análises, pode ter limitado a amplitude dos resultados. A maioria dos assobios registrados estavam entre 10 e 30 kHz, enquanto estudos anteriores, utilizando sistemas de gravação de banda larga, detectaram frequências superiores a 60 kHz (May-Collado & Wartzok, 2009; Andrade et al., 2014). Isso sugere a presença de assobios em frequências superiores a 30 kHz, não selecionados neste trabalho.

Estudos sobre a caracterização acústica dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) desempenham um papel crucial na compreensão dos mecanismos de comunicação e adaptação, se caracterizando como uma ferramenta acústica para investigar as variações interpopulacionais e os efeitos de fatores ecológicos e antrópicos na estrutura dos assobios. Assim, mais pesquisas acústicas são necessárias na região, como o desenvolvimento de sistemas de monitoramento passivo, permitindo o acompanhamento das dinâmicas populacionais e a detecção de mudanças no comportamento acústico ao longo do tempo.

Conclusão

Este estudo oferece uma contribuição importante ao fornecer a primeira caracterização acústica dos assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) na Baía de Todos os Santos, fornecendo dados inéditos sobre os padrões acústicos da espécie em uma região pouco explorada. A partir dos parâmetros analisados, foi possível caracterizar a estrutura acústica e destacar as variações específicas com assobios de outras populações, ampliando o conhecimento sobre a comunicação e abrindo caminhos para a aplicação de novos estudos acústicos com essa espécie na região.

Referências Bibliográficas

- Andrade, J.B.D., and Hatje, V. (2009). *Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos* (Salvador, Edufba,), p. 288.
- Andrade, L. G., I. M. S. Lima, H. S. Macedo, R. R. Carvalho, J. Lailson-Brito, Jr., Flach, L., and Azevedo A. F. (2014). “Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: Using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southern Brazil”. *Acta Ethologica* **18**:47–57.
- Andrade, L. G., I. M. S. Lima, L. Bittencourt, T. L. Bisi, J. Lailson-Brito, Jr., and Azevedo A. F. (2015). “High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil.” *Journal of the Acoustical Society of America* **137**: EL15–19.
- Au, W. W., and Hastings, M. C. (2008). *Principles of marine bioacoustics* (New York: Springer), p. 680.
- Au, W. W., and Lammers, M. O. (2014). “Cetacean acoustics”. *Springer Handbook of Acoustics*, 843-875.
- Azevedo, A. F., and Simão, S. M. (2002). “Whistles produced by marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil”. *Aquatic Mammals*, **28**(3), 261-266.
- Azevedo, A. F., and Van Sluys, M. (2005). “Whistles of tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in Brazil: Comparisons among populations.” *Journal of the Acoustical Society of America* **117**:1456–1464.
- Bandeira, V.R. (2019). “Ecologia Populacional do boto-cinza *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864) na Baía de Todos os Santos”. Dissertation, Graduate Program in Ecology: Theory, Application and values, Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Geremoabo, 147, Ondina, Salvador, Zip code: 40170-290, Bahia, Brazil.
- Barrios-Garrido, H., Turris-Morales, D., Nash, C. M., Delgado-Ortega, G., and Espinoza-Rodriguez, N. (2016). “Acoustic Parameters of Guiana Dolphin (*Sotalia guianensis*) Whistles in the Southern Gulf of Venezuela”. *Aquatic Mammals*, **42**(2).
- Barros, F., Costa, P. C., Cruz, I., Mariano, D. L., and Miranda, R. J. (2012). “Habitats bentônicos na Baía de Todos os Santos”. *Revista Virtual de Química*.
- Batista, R. L. G., Alvarez, M. R., Reis M. S., Cremer, M. J., and Schiavetti, A. (2014). “Site fidelity and habitat use of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae), in the estuary of the Paraguaçú River, northeastern Brazil.” *North-Western Journal of Zoology*, **10**(1).
- Bemfica-Araujo, T. (2019). “Embarcações à vela na conservação marinha: Uma investigação sobre a percepção dos atores envolvidos”. Dissertation, Graduate Program in Ecology: Theory, Application and values, Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Geremoabo, 147, Ondina, Salvador, Zip Code: 40170-290, Bahia, Brazil.
- Bradbury, J. W., and Vehrencamp, S. L. (1998). *Principles of animal communication* (Vol. 132). (Sunderland, Sinauer Associates).
- Caroso, C., Tavares, F., and Pereira, C. (2011). *Baía de Todos os Santos: Aspectos Humanos* (Salvador, Edufba), p.599.

- Cirano, M., and Lessa, G. C. (2007). "Oceanographic characteristics of baía de Todos os Santos, Brazil." *Revista Brasileira de Geofísica*, **25**, 363-387.
- Deconto, L. S., and Monteiro-Filho, E. L. (2013). "High initial and minimum frequencies of *Sotalia guianensis* whistles in the southeast and south of Brazil." *The Journal of the Acoustical Society of America*, **134**(5), 3899-3904.
- Domit, C., Caballero, S., Miranda, A., Fruet, P., Torres-Florez, J. P., Cunha, H., and Andriolo, A. (2021). "Report of the *Sotalia guianensis* pre-assessment workshop: main results and status of the current knowledge". *J Cetacean Res Manag* (suppl.), **22**, 333-378.
- Erbe, C., and Farmer, D. M. (2000). "A software model to estimate zones of impact on marine mammals around anthropogenic noise." *The Journal of the Acoustical Society of America*, **108**(3), 1327-1331.
- Figueiredo, L. D., and Simao, S. M. (2009). "Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil," *J. Acoust. Soc. Am.* **126**, 1563–1569.
- Janik, V. M., and Slater, P. J. (1998). "Vocal learning in mammals." *Advances in the Study of Behavior*. **27**, 59-99.
- Jefferson, T. A., Webber, M. A., and Pitman, R. (2011). "Marine mammals of the world: a comprehensive guide to their identification". Elsevier.
- Leão, D. T., Monteiro-Filho, E. L., and Silva, F. J., (2016). "Acoustic parameters of sounds emitted by *Sotalia guianensis*: dialects or acoustic plasticity". *Journal of Mammalogy*, **97**(2), 611-618.
- Lima, A., and 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.
- Lodi, L., and Borobia, M. (2013). *Baleias, botos e golfinhos do Brasil: guia de identificação* (Rio de Janeiro, Technical Books Editora), p.480.
- Martins, D. T. L., Rossi-Santos, M. R., and Silva, F. J. D. L. (2018). "Effects of anthropogenic noise on the acoustic behaviour of *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864) in Pipa, North-eastern Brazil." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **98**(2), 215-222.
- May-Collado, L. J., and Wartzok, D. (2009). "A characterization of Guyana Dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles from Costa Rica: The importance of broadband recording systems." *Journal of the Acoustical Society of America* **125**:1202–1213.
- Moron, J. R., Lopes, N. P., Reis, S. S., Mamede, N., Reis, S. S., Toledo, G., and Andriolo, A. (2019). "Whistle variability of Guiana dolphins in South America: Latitudinal variation or acoustic adaptation?." *Marine Mammal Science*, **35**(3), 843-874.
- Moura, J. F., Hauser-Davis, R. A., Lemos, L., Emin-Lima, R., and Siciliano, S. (2014). "Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) as marine ecosystem sentinels: ecotoxicology and emerging diseases." *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume* **228**, 1-29.

- Nery, M. F., Simão S. M., and Pereira, T. (2010). “Ecology and behavior of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in Sepetiba Bay, South-eastern Brazil.” *Journal of Ecology and the Natural Environment* **2**(9): 194–200.
- Oliveira-Silva, J. T., Olavo, G., and Lopes, P. R. D. (2024). Documenting the ichthyofauna and the current conservation status of one of the largest Brazilian bays. *Regional Studies in Marine Science*, 103646.
- Pais, F.S., Cardoso, R.P., Rossi-Santos, M.R., Wedekin, L., Silva, F.J.L., Monteiro-Filho, E. L.A., and Leao, D.T. (2018). “Anthropogenic noise and Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Brazil: ecological and conservation concerns”. In: Rossi-Santos, M., Finkl, C. (Eds.), *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America*. Coastal Research Library, vol. 22. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56985-7_13.
- Payne. R. S., and McVay. S. (1971). “Songs of humpback whales”. *Science*. **173**(3997). 585-597.
- Reis, L.W.D., Queiroz, E.L., (1993). “Observações sobre o comportamento de *Sotalia fluviatilis* (Gervais, 1853) na Baia de. In: Todos os Santos.” *Anais do,XI. Encontro Anual de Etologia*, Bauru, SP.
- Reis, M.S.S. and Queiroz, E.L. (1992). “Distribuição, observações e capturas accidentais de *Sotalia fluviatilis* (Gervais, 1853) na Baía de Todos os Santos.” *Anais da V Reunião de Trabalho de Especialistas em Mamíferos Aquáticos da América do Sul*, Buenos Aires.
- Richardson, W.J., Greene, C.R. Jr., Malme, C.I., and Thomson, D.H. (1995). *Marine Mammals and Noise* (Academic Press, San Diego), p.576.
- Rios, K. A. N. (2019). “As comunidades tradicionais pesqueiras da Baía de Todos os Santos.” *Mares: Revista de Geografia e Etnociências*, **1**(1), 27-38.
- Rossi-Santos, M. R., and Podos, J. (2006). “Latitudinal variation in whistle structure of the estuarine dolphin *Sotalia guianensis*”. *Behaviour*, **143**:347–364.
- Rossi-Santos, M.R., Souza, V.M., Araujo, T.B., Lewis, D. (2016). “Soundscape ecology of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) habitat in the Todos os Santos bay, Northeastern Brazil.” In: *Proceedings of the Listening to Aquatic Mammals in Latin America Workshop*. p.15.
- Spínola, J.L. (2006). “Atividade comportamental diurna do boto-cinza, *Sotalia guianensis* (Van Bédenen, 1964) (Cetacea, Delphinidae), na Barra do Rio Paraguaçu, Estado da Bahia.” Dissertation, Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba, Zip code: 81530-000, Paraná, Brazil.
- Tyack, P. L., and Clark, C. W. (2000). “Communication and acoustic behavior of dolphins and whales”. In *Hearing by whales and dolphins*, Springer, p. 156-224.
- Vasconcelos Ramos, M. A., Pérez-Alberti, A., Nuto Nóbrega, G., and Otero, X. L. (2023). Spatiotemporal Variability in Soil Properties and Composition in Mangrove Forests in Baía de Todos os Santos (NE Brazil). *Land*, **12**(7), 1392.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis* (Englewood Cliffs, Prentice Hall).

Capítulo II

SONS ANTROPOGÊNICOS NA PAISAGEM ACÚSTICA DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BRASIL.

Artigo publicado no periódico “Marine Pollution Bulletin”

Dropping a bombshell: acoustic characterization of blast fishing in Todos os Santos Bay, Brazil, and its implication for marine conservation

Victor Melo Souza ^{1 2} | Alexander Gavrilov ³ | Marcos R. Rossi-Santos ^{1 2}

1 Programa de Pós-Graduação Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores, Universidade Federal da Bahia,
Salvador, Brasil

2 Laboratório de Ecologia Acústica e Comportamento Animal, Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia

3 Centre for Marine Science and Technology, Curtin University, Perth 6845, Australia

Abstract

Blast fishing is an illegal fishing method that not only affects fish populations and the marine ecosystem, but also local food security and local economy. Despite its effects, blast fishing continues to persist in many coastal regions around the world, including Todos os Santos Bay (BTS - Baía de Todos os Santos) in Northeastern Brazil. This study provides the first acoustic record of underwater explosions along this region. The acoustic data were collected between 2016 and 2018, from a boat-survey platform, using a portable system consisting of an HTI-90 min hydrophone (sensitivity of about 165 dB re 1 V/ μ Pa) connected to a TASCAM DR-40 digital recorder (combined frequency response up to 30 kHz), recording at 7 m depth. The acoustic analysis was performed using both RAVEN 1.6 and MATLAB 2021a softwares. The results revealed a distinctive underwater explosion signal detected in the BTS, indicating evidence of blast fishing activities. The acoustic characterization of blast fishing in BTS provides crucial information on its occurrence and extent of this destructive practice worldwide.

Keywords: Blast fishing. Underwater explosion. Noise. Todos os Santos Bay. Brazil

1. Introduction

Explosives have been utilized as a high predatory fishing technique – also known as blast fishing - for over a century, mostly occurring in low-income countries (Chan and Hodgson, 2017). The use of blast fishing became more popular after the World War II, when unexploded ammunition became an easy and cheap source to be used by local fishermen communities in Southeast Asian countries, like Hong Kong, Malaysia, Philippines and Indonesia (McManus et al., 1997; Cornish and McKellar, 1998; Chan and Hodgson, 2017).

Considering the ecological context, blast fishing can affect an entire marine web, once its effects can reach many species, such as bottom-based coral reefs, local fish stocks (Pet-Soede and Erdmann, 1998) and top predators, like cetaceans (Ketten, 1995; Santos et al., 2010; Braulik et al., 2017), considered as environmental sentinels (Wells et al., 2004; Roman, 2014). The damage caused by blast fishing varies widely (Guard and Masaiganah, 1997), influenced by the explosion's depth, local water depth, types and sizes of explosives and seafloor substrate (Naughton, 1985; Braulik et al., 2015), always resulting in a complete obliteration of the natural habitat (Slade and Kalangahe, 2015).

Furthermore, blast fishing generates negative impacts on different economic sectors such as fisheries, tourism and human health, due to the enormous number of mutilations and even deaths to those fishermen who insist on using this practice (Silva and Nascimento, 2009). Other factors leading to blast fishing practices are population and economic pressures, which cause intense competition among fishermen in some regions (Galvez and Sadorra, 1988). This problem is known as “Malthusian overfishing” (Pauly et al., 1989) and is increasing rapidly, as human populations grow in coastal developing countries (McManus et al., 1997).

As a result of these combined pressures, the use of blast fishing has spread to other countries outside Asia, such as in eastern Africa, in Tanzania, facing the eastern Indian Ocean (Wells, 2009; Braulik et al., 2017); in western Africa, in Liberia, bathed by the eastern south Atlantic Ocean (Glassco, 2017); and even far beyond as eastern south America, in Brazil, which coastline extends to the western south Atlantic Ocean (Lima, 1994; Reis-Filho and Loiola, 2022).

Acoustically, blast fishing produces an underwater explosion, which releases a large amount of energy in a short time, generating a shock wave characterized by a sound pressure rising almost instantaneously to a large peak value and then slowly descends (Cole, 1948). Another characteristic of the underwater explosion sound is an event called oscillating gas

bubbles (Malige et al., 2018), represented in the analyses by small pulses after the shock wave, in which the pulse's time and size depend on the depth of the explosion (Chapman, 1988). These unique characteristics provide a very distinctive type of sound, and, depending on the distance, it can be easily discriminated from any other sound (Woodman et al., 2003).

Despite the known harm to marine fauna, ocean and human health and economy, as mentioned above, blast fishing is scarcely documented, with few studies about the distribution or intensity of this activity around the world (Hampton-Smith et al., 2021), but nearly nothing is found considering the acoustic perspective. To date, the most extensive study was a passive acoustic monitoring along the Tanzania coast, identifying hotspots and blast frequency of occurrence over 2960 km transect (Braulik et al., 2017).

In Brazil, blast fishing is considered illegal, prohibited since 1967, through the Law 221. Both fishing with explosives and buying/using explosion-captured fish are crimes, which can lead to punishments such as fines or even imprisonment (Conceição and Celestino, 2007). However, even though it is considered a crime, blast fishing is a widespread practice in some Brazilian regions, like the Todos os Santos Bay (henceforth, BTS) (Ramos, 2006). In the bay, there were conducted some studies investigating the social and political basic aspects involving this practice (Lima, 1994; Ramos, 2006; Aguiar Junior and Dias, 2007; Silva and Nascimento, 2009; Reis-Filho and Loiola, 2022). Nevertheless, there is no study so far about blast fishing acoustics in this region and even throughout the country.

The use of acoustic analysis has been shown to be an efficient tool to understand and monitor different soundscape components, such as biological and anthropogenic sounds in marine environments, providing crucial information to decision-makers and ultimately contributing with marine management and conservation (Erbe et al., 2012; Williams et al., 2015; McCauley et al., 2017). This work reports, for the first time, an acoustic record of an underwater explosion event caused by blast fishing in the BTS, describing the explosion's characteristic sound. Presenting the acoustic features of blast fishing in Brazil, we intend to contribute for a better understanding of the anthropogenic noise impacts worldwide.

2. Methods

2.1. Study area

The BTS, or Baía de Todos os Santos, in Portuguese, in Bahia State, northeastern Brazil ($12^{\circ}50'S$ and $38^{\circ}38'W$) is considered the largest bay ecosystem in the country, with 1.223 km^2

(Andrade and Hatje, 2009). The water depth of this bay varies from 6 to 70 m (mean of 9 m) and its maximum width is 50 km, with a basin area of 60.000 km², with 90 % drained by the Paraguaçu, Jaguaripe, Subaé rivers and small peripheral watercourses (Cirano and Lessa, 2007).

Besides the geographical, historical, and cultural importance (Moura, 2011), the BTS is home to 241 fishing communities and 70.000 families who have fishing as their main, often the only income (Rios, 2019). Artisanal fishing is the most common activity in the region (Almeida, 1996), carried out using traditional wooden or fiberglass motorized and sailing boats (Andrade and Hatje, 2009). A diverse range of fishing gear is utilized in the BTS, and in general fishing is conducted with low environmental impact based on traditional knowledge (Andrade and Hatje, 2009; Rios, 2019). However, although prohibited, blast fishing continues to widely occur in the region (Reis-Filho and Loiola, 2022).

The BTS is considered a rich region in marine biodiversity, with over 200 fish species already catalogued (Reis-Filho et al., 2010; Dias et al., 2011), with a large portion targeted for fishing (Soares et al., 2011). Blast fishing results in the indiscriminate capture of various fish species. It has been documented 54 fish species caught through blast fishing, either as the primary target or inadvertently, when detonations were aimed at another specific group of fish (Reis-Filho and Loiola, 2022).

Other species also suffer from this kind of practice. The Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) is a vulnerable cetacean species (Secchi et al., 2018), resident in the area (Batista et al., 2014; Bandeira, 2019), occurring mostly near the Paraguaçu river and Itaparica island (Reis et al., 1993; Batista et al., 2014). The BTS is considered a gap of knowledge for this species. Studies to evaluate the Guiana dolphin's population parameters and potential threats have been suggested as priority (Domit et al., 2020).

2.2. Data collection

Acoustic data collection was performed within a long-term research program on the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) behavioral ecology and soundscapes around the coast (Rossi-Santos et al., 2016), between October 2016 and May 2018. This research was conducted onboard a 32-ft sailboat (Mariner Cal 9.2) powered by a Volvo engine (1 cylinder), only when the sea conditions were unfavorable to sail navigation. During data collection, the engine was always off, hence not producing any extra noise to hamper the data.

Sound recording was performed using a portable system consisting of an HTI-90 min hydrophone (sensitivity of about 165 dB re 1 V/ μ Pa) connected to a TASCAM DR-40 digital recorder (combined frequency response up to 30 kHz). Recordings were made at 7 m depth. The team started the recording manually whenever they identified an acoustic event of interest (in soundscape monitoring, we mostly focus on scattered points in the area to record diverse anthropogenic and biological sound sources, Rossi-Santos et al., 2016), collecting information such as: type of sound, source descriptions, geographic coordinates, time and water depth.

2.3. Data analysis

The underwater explosion was aurally identified right away in the field recording and then marked on the field sheet to be reviewed and analyzed. Later in the laboratory the sound was manually checked using spectrograms generated by RAVEN Pro 1.6 software (Cornell University), with 1024-point resolution and 512-point Hann window. As explosions are transient signals, for any assessment of potential environmental impact on marine fauna is necessary to measure the peak sound level and the sound exposure level in frequency band. Thus, the amplitude variation, the peak pressure level, the maximum received level, the sound exposure level and the Power spectrum density were extracted from the waveform and power spectrum graphics obtained using a customized code in MATLAB R2021a software (Mathworks®).

3. Results

From the recordings, it was possible to recognize the explosion from the blast fishing technique. The explosion was recorded on July 17th, 2017, 9:09 a.m., at coordinates 12.99820°S and 38.79327°W, approximately 2.35 km of the coast, with average depth of 18 m. The explosion's amplitude is represented through the waveform graphic, Fig. 1, representing a shock wave characterized mainly by its amplitude, which quickly reaches a maximum value of 14.22 Pa and a minimum value of - 15.52 Pa, with amplitude decaying thereafter. It is also possible to observe shorter pulses in amplitude formed after the shock wave, forming the oscillating gas bubble effect (Malige et al., 2018).

The Power spectrum density (PSD) graphic, Fig. 2, allows the visualization of the signal energy in relation to its frequency, where the PSD explosion level reaches its peak in 100.7 dB re 1 μ Pa²/Hz while its minimum value is 34.17 dB re 1 μ Pa²/Hz (left side). This energy density can also be observed visually by analyzing the spectrogram (on the right).

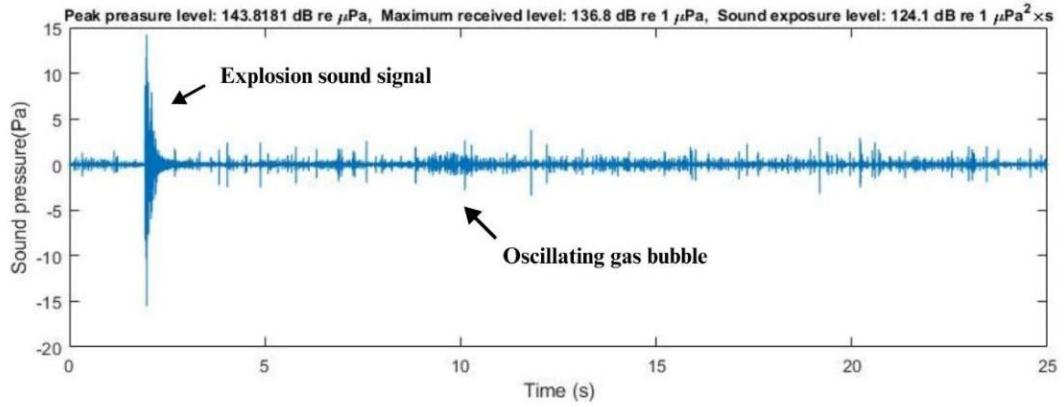


Fig. 1. - Waveform of the explosion recorded at the BTS, Northeastern Brazil, showing the peak pressure level (143.8181 dB re μPa), the maximum received level (136.8 dB re 1 μPa), and the sound exposure level (124.1 dB re 1 μPa 2xs).

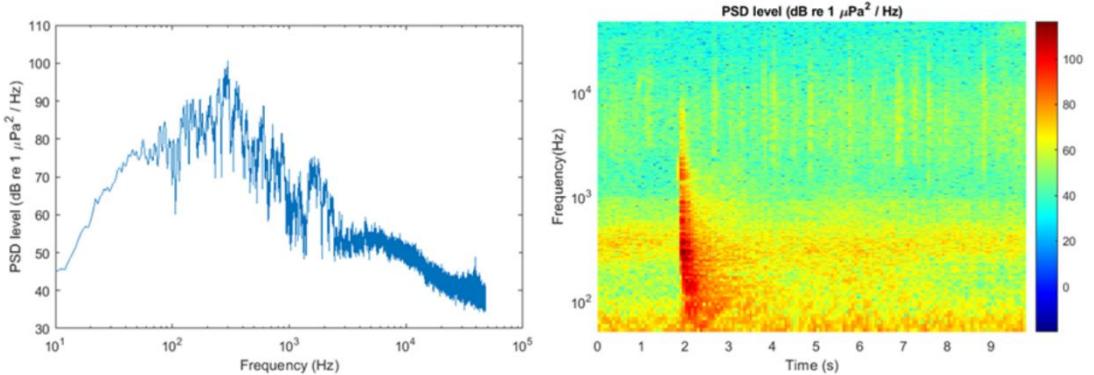


Fig. 2. - Power spectrum density (PSD) (left) and spectrogram (right) of the explosion recorded in the BTS, Northeastern Brazil.

4. Discussion

4.1. Acoustics characterization of underwater explosion

The explosion recorded in this work follows a pattern already recorded for underwater explosions (Cole, 1948; Blatstein, 1968; Malige et al., 2018). This pattern is highly reproducible (Chapman, 1988), well defined when recorded within 2 km of the explosion location and it is easily discriminated from any other sound (Woodman et al., 2003). The PSD analysis showed that the recorded explosion liberated a large quantity of energy in a short period of time, where the largest amount of energy is located at lower frequencies (as seen in Fig. 2 above).

The blast location in this study was approximately 2.35 km from the nearest coast, in a sector within the BTS where blast fishing has been highly prevalent for over a decade (Reis-Filho and Loiola, 2022). Also, the explosion was recorded in the morning, as previously

presented, a period when blast fishing occurs more frequently within the BTS (Reis- Filho and Loiola, 2022), as it also does in other locations around the world (Braulik et al., 2017).

Recording the occurrence of blast fishing in BTS contributes to a broader understanding in global marine ecosystems (Braulik et al., 2017). And as this study records, for the first time, an underwater explosion generated by the practice of blast fishing in Brazilian waters, it can play a part in expanding this understanding.

4.2. Blast fishing in BTS and its impacts on local communities and the local fauna

In the BTS, blast fishing was first documented by Pinto (1935). Since then, poverty's increase in coastal regions and migrant populations' arrival, not familiar with the local traditional fishing, contributed to spread this practice. From the 1980s, the press started to publish on accidents regarding the practice, warning about the risks and damages caused by fishing with explosives (Lula, 1996). Although blast fishing occurs near traditional fishing villages, this activity is disapproved by the most of communitarian councils (Reis-Filho and Loiola, 2022). Through questionnaires and interviews, on the other hand, some people have assumed they were bombers, affirming that blast fishing is much more profitable compared to traditional fishing, which leads them not to intend to abandon this practice (Aguiar Junior and Dias, 2007).

The use of underwater explosions for fishing raises important questions about the environmental and socioeconomic impacts of this activity in the region (Reis-Filho and Loiola, 2022). In addition to immediate damage to marine biodiversity, such as habitat destruction and mortality of local species, explosions can cause significant disturbances in coastal ecosystems (Saila et al., 1993; Santos et al., 2010). This matter negatively affects traditional fishing activities and the livelihoods of local communities (Wilson and Wilson, 2015). Furthermore, the use of products derived from blast fishing compromises human health, as these products can be harmful if consumed (Petrossian, 2015).

It is also known that local targets are often shoals of fish, such as Mullets (*Mugil spp.*) and Pilchards (Clupeidae and Engraulidae). However, other bycatch species are also captured, as mentioned before. This may include but not limit to fishes such as Jacks (Carangidae), snappers (*Lutjanus spp.*), sea bass (*Centropomus spp.*), grunts (Haemulidae), mojarras (Gerreidae), croakers (Scianidae), damselfishes (Pomacentridae), flatfishes (Bothidae) and

wrasses (Labridae) (Reis-Filho and Loiola, 2022), plus invertebrates, such as crabs and squids, which are discarded after the capture (Gillett and Tauati, 2018). For other key species, such as the Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in the area, the potential impact is evident since the explosion acoustic parameters presented energy intensity loud enough to overlap dolphin communication (Pais et al., 2018). Other impacts, such as behavioral rupture, physiological stress, and even auditory losses (Richardson et al., 1995) should and must be better investigated, opening a door to the continuity of the present study. Taking this into consideration, this study also highlights the need for conservation measures and regulations to mitigate its devastating effects (Erbe et al., 2012).

4.3. Acoustic analysis to monitor blast fishing

This study suggests the use of a long-term Passive Acoustic Monitoring (Zimmer, 2011; Erbe et al., 2012; Braulik et al., 2017) in order to understand the occurrence of blast fishing in the BTS, characterizing multiples blast events, their locations (Woodman et al., 2003), and depth estimation (Malige et al., 2018). While not the solution to this problem, acoustic studies may provide soundscape information of the entire environment (Farina, 2014), helping to support and guide decision-makers for good practices on environmental management and conservation (Erbe et al., 2012; Williams et al., 2015; Braulik et al., 2017).

5. Conclusion

In the BTS, the practice of blast fishing is a historical problem, and it happens openly around the region, depleting and damaging natural environments. Our study contributed with the first acoustic record and description of an underwater explosion, evidencing blast fishing in this area, and providing initial analysis of its impacts on the region. This work presents an important baseline for further investigation.

References

- Aguiar Junior, T.R.D., Dias, E.J.D.R., 2007. Comunidades litorâneas afetadas pela pesca com explosivos na Baía de Todos os Santos–BA: uma análise da condição sócio-econômico-ambiental. *Candobá*, Salvador 3 (1), 40–44.
- Almeida, V.G., 1996. Caracterização taxonômica, ecológica e anatômica da ictiofauna. In: Relatório Técnico Final. Programa de monitoramento dos ecossistemas ao norte da baía de Todos os Santos.
- Andrade, J.B.D., Hatje, V., 2009. Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos. Edufba, Salvador, p. 288p.
- Bandeira, V.R., 2019. Ecologia Populacional do boto-cinza *Sotalia guianensis* (Van Beneden, 1864) na Baía de Todos os Santos. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal da Bahia.
- Batista, R.L.G., Alvarez, M.R., Reis, M.S.S., Cremer, M.J., Schiavetti, A., 2014. Site fidelity and habitat use of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae), in the estuary of the Paraguaçú River, northeastern Brazil. *North-West J Zool* 10 (1), 93–100.
- Blatstein, I.M., 1968. Ocean-basin reverberation from large underwater explosions: part 1: source-level and propagation-loss modelling. In: Ocean Acoustic Modelling (SACLANTCEN Conference Proceedings CP-17), Part 5, 1975, pp. 24-1–24-9.
- Braulik, G., Wittich, A., Macaulay, J., Kasuga, M., Gordon, J., Davenport, T.R., Gillespie, D., 2017. Acoustic monitoring to document the spatial distribution and hotspots of blast fishing in Tanzania. *Mar. Pollut. Bull.* 125 (1–2), 360–366.
- Braulik, G.T., Wittich, A., Macaulay, J., Kasuga, M., Gordon, J., Gillespie, D., Davenport, T.R.B., 2015. Fishing with Explosives in Tanzania: Spatial Distribution and Hotspots. Wildlife Conservation Society Tanzania Program, Zanzibar, p. 19.
- Celestino, M., 2007. Agressão além-mar pesca com bomba: um crime social, cultural e ambiental. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, Santos, SP, Brasil.
- Chan, A., Hodgson, P.A., 2017. A Systematic Analysis of Blast Fishing in South-East Asia and Possible Solutions. Conference Paper. <https://doi.org/10.1109/UT.2017.7890330>.
- Chapman, N.R., 1988. Source levels of shallow explosive charges. *J. Acoust. Soc. Am.* 84 (2), 697–702.
- Cirano, M., Lessa, G.C., 2007. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. *Revista brasileira de geofísica* 25, 363–387. Cole, R.H., 1948. Underwater Explosions. Princeton University Press, Princeton, USA. Conceição, M.R.,
- Cornish, A.S., McKellar, D., 1998. A history of fishing with explosives and poisons in Hong Kong waters. *Naga* 21 (3), 4–9.
- Dias, J.F., Gonçalves, A.M., Fernandez, W.S., Silbiger, H.L.N., Fiadi, C.B., Schmidt, T.C.D., 2011. Ichthyofauna in an estuary of the Mataripe area, Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* 59, 75–95.
- Domit, et al., 2020. *Sotalia guianensis* pre-assessment workshop: main results and status of the current knowledge. International Whaling Commission (SC/68B/REP/05), 70p.

- Erbe, C., MacGillivray, A., Williams, R., 2012. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (5), 423–428.
- Farina, A., 2014. Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications. Springer, Dordrecht, Netherlands, p. 315p.
- Galvez, R.E., Sadorra, M.S.M., 1988. Blast fishing: a Philippine case study. *Tropical Coastal Area Management* 3 (1), 9–10.
- Gillett, R., Tauati, M.I., 2018. Fisheries in the Pacific. In: Regional and National Information. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, vol. No. 625. FAO, Apia, p. 412.
- Glassco, E.C.M., 2017. Challenges Caused by IUU Fishing in the Offshore: Lessons for Liberia's Fisheries Based on a Global Review and Analysis.
- Guard, M., Masaiganah, M., 1997. Dynamite fishing in southern Tanzania, geographical variation. *Intensity of Marine Pollution Bulletin* 34 (10), 758–762.
- Hampton-Smith, M., Bower, D.S., Mika, S., 2021. A review of the current global status of blast fishing: causes, implications and solutions. *Biol. Conserv.* 262, 109307.
- Ketten, D.R., 1995. Estimates of blast injury and acoustic trauma zones for marine mammals from underwater explosions. In: Kastelein, R.A., Thomas, L.A., Nachtigall, P.E. (Eds.), *Sensory Systems of Aquatic Mammals*. De Spil Publishers, Woerden, pp. 391–408.
- Lima, M.C.D.S., 1994. A pesca predatória com explosivo na Baía de Todos os Santos. Marinha do Brasil, Salvador, p. 9p.
- Lula, A., 1996. Pesca predatória com uso de explosivos na Baía de Todos os Santos. Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Monografia de Gradação.
- Malige, F., Patris, J., Buchan, S.J., Glotin, H., 2018. Acoustical analysis of submarine explosions in northern Chile on long terms continuous recordings. DCLDE 2018.
- McCauley, R., Day, R., Swadling, K., Fitzgibbon, Q., Watson, R., Semmens, J., 2017. Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton. *Nature Ecology and Evolution* 1 (7), 0195.
- McManus, J.W., Reyes Jr, R.B., Nanola Jr, C.L., 1997. Tropical marine fisheries and the future of coral reefs: a brief review with emphasis on Southeast Asia. *Coral Reefs* 16 (1), S121–S127.
- Moura, M., 2011. A larga barra da baía: essa província no contexto do mundo. EDUFBA, Salvador, 242p.
- Naughton, J., 1985. Blast fishing in the Pacific. *South Pacific Commission Fisheries Newsletter* 33, 16–20.
- Pais, F.S., Cardoso, R.P., Rossi-Santos, M.R., Wedekin, L., Silva, F.J.L., Monteiro-Filho, E. L.A., Leao, D.T., 2018. Anthropogenic noise and Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Brazil: ecological and conservation concerns. In: Rossi-Santos, M., Finkl, C. (Eds.), *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America*. Coastal Research Library, vol. 22. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56985-7_13.
- Pauly, D., Silvestre, G., Smith, I.R., 1989. On development, fisheries and dynamite: a brief review of tropical fisheries management. *Nat. Resour. Model.* 3 (3), 307–329.

- Petrossian, G.A., 2015. Preventing illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing: a situational approach. *Detect. Underst. Non-Compliance Conserv. Rules* 189, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.09.005>.
- Pet-Soede, L., Erdmann, M.V., 1998. Blast fishing in southwest Sulawesi, Indonesia. *Naga* 21 (2), 4–9.
- Pinto, O., 1935. Pesca ilegal na Baía de Todos os Santos. *Revista do Museu Paulista* 8 (9).
- Ramos, M., 2006. Agressão além do mar-Pesca com bomba, um crime social, cultural e ambiental. Faculdade de Comunicação e Marketing/Centro Universitário da Bahia- FIB, Salvador, p. 77p.
- Reis, L.W.D., Queiroz, E.L., 1993. Observações sobre o comportamento de *Sotalia fluviatilis* (Gervais, 1853) na Baía de. In: Todos os Santos. Anais do,XI. Encontro Anual de Etologia, Bauru, SP.
- Reis-Filho, J.A., Loiola, M., 2022. Dimensions of fishing with explosives in the Brazilian central coast from data mining and fishers' perception: concentrated and problematic, yet avoidable. *Ocean Coast. Manag.* 216, 105985.
- Reis-Filho, J.A., Nunes, J.A.C.C., Ferreira, A., 2010. Estuarine ichthyofauna of the Paraguaçu river, Todos os Santos bay, Bahia, Brazil. *Biota Neotropica* 10, 301–311.
- Richardson, W.J., Greene, J.R., Malme, C.I., Thomson, D.H., 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press, San Diego and London, p. 576p.
- Rios, K.A.N., 2019. As comunidades tradicionais pesqueiras da Baía de Todos os Santos. Mares: *Revista De Geografia E Etnociências* 1 (1), 27–38.
- Rossi-Santos, M.R., Souza, V.M., Araujo, T.B., Lewis, D., 2016. Soundscape ecology of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) habitat in the Todos os Santos bay, Northeastern Brazil. In: Proceedings of the Listening to Aquatic Mammals in Latin America Workshop. p.15.
- Saila, S.B., Kocic, V.L., McManus, J.W., 1993. Modelling the effects of destructive fishing practices on tropical coral reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 94, 51–60.
- Santos, M.E.D., Couchinho, M.N., Luis, A.R., Goncalves, E.J., 2010. Monitoring underwater explosions in the habitat of resident bottlenose dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.* 128 (6), 3805–3808.
- Secchi, E., Santos, M.C.O., Reeves, R., 2018. *Sotalia guianensis* (errata version published in 2019). In: The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e. T181359A144232542. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T181359A144232542.en>.
- Silva, I.G., Nascimento, D.M.C., 2009. As razões da pesca com explosivos no mar do Subúrbio Ferroviário em Salvador, BA. In: Anais do XIII Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, M.G., Brasil.
- Slade, L.M., Kalangahe, B., 2015. Dynamite fishing in Tanzania. *Mar. Pollut. Bull.* 101 (2), 491–496.
- Soares, L.S.H., Lopez, J.P., Muto, E.Y., Giannini, R., 2011. Capture fishery in northern Todos os Santos Bay, tropical southwestern Atlantic, Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* R. 59, 61–74.
- Wells, R.S., Rhinehart, H.L., Hansen, L.J., et al., 2004. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: developing a health monitoring system. *EcoHealth* 1, 246–254.

- Wells, S., 2009. Dynamite fishing in northern Tanzania—pervasive, problematic and yet preventable. *Mar. Pollut. Bull.* 58 (1), 20–23.
- Williams, R., Wright, A.J., Ashe, E., Blight, L.K., Bruintjes, R., Canessa, R., Wale, M.A., 2015. Impacts of anthropogenic noise on marine life: publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean Coast. Manag.* 115, 17–24.
- Wilson, J.R., Wilson, M.N., 2015. The Economic Impacts of Dynamite Fishing in Tanzania (Unpublished Report for Marine and Coastal Environmental Management Project (MACEMP) and Minister of Livestock and Fisheries Development (MLFD)).
- Woodman, G.H., Wilson, S.C., Li, V.Y., Renneberg, R., 2003. Acoustic characteristics of fish bombing: potential to develop an automated blast detector. *Mar. Pollut. Bull.* 46 (1), 99–106.
- Zimmer, W., 2011. *Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans*. Cambridge University Press, London, p. 368p.

Artigo a ser submetido ao periódico “Marine Pollution Bulletin”

Caracterização acústica do tráfego marítimo na Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil

Victor Melo Souza ^{1 2} | Marcos R. Rossi-Santos ^{1 2}

1 Programa de Pós-Graduação Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

2 Laboratório de Ecologia Acústica e Comportamento Animal, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Resumo

A poluição sonora nos ambientes aquáticos tem gerado preocupações crescentes em todo o planeta, devido aos possíveis impactos sobre a biodiversidade marinha. Entre as diversas atividades humanas, o tráfego marítimo é reconhecido como o principal contribuinte na emissão sonora, especialmente em áreas costeiras e na plataforma continental. Este estudo teve como objetivo caracterizar os sons gerados pelo tráfego marítimo na Baía de Todos os Santos (BTS), analisando os padrões sonoros emitidos por cada modelo de embarcação presente na região. A BTS é considerada como uma das maiores baías do Brasil com uma grande relevância ecológica, pois possui uma rica biodiversidade marinha que inclui centenas de espécies de peixes, recifes de corais e mamíferos aquáticos, como o boto-cinza *Sotalia guianensis* (Van Benédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae). Além disso, a região tem grande importância econômica, abrigando desde comunidades pesqueiras até diversos portos que movimentam milhões de toneladas por ano. Os dados acústicos foram coletados entre 2016 e 2018, a bordo de um veleiro oceânico Cal 9.2 (32 pés), utilizando um hidrofone HTI-90 min (-165 dB re 1 V/ μ Pa) conectado a um gravador TASCAM DR-40 (até 30 kHz), operando a profundidades de 5 a 7 m. A análise foi realizada no software MATLAB 2021a, no qual foi registrado a intensidade dos sinais sonoros através das medidas do Nível de Exposição Sonora (Sound Exposure Level - SEL) e do Nível de Pressão de Pico (Peak Pressure Level - PPL), enquanto a distribuição da intensidade sonora ao longo das frequências foi examinada por meio da divisão da faixa de frequência em 36 bandas de 1/3 de oitavas, com a medição individual do Nível de Pressão Sonora (Sound Pressure Level – SPL), em adicional, foram gerados gráficos espectrogramas para facilitar a diferenciação dos sons emitidos pelos diferentes modelos registrados. Os resultados identificaram sete modelos distintos de embarcações conforme características físicas e mecânicas, com valores de SEL variando entre 111,5 e 143,6 dB re 1 μ Pa² xs enquanto os valores de PPL variaram entre 135,3 e 147,94 dB re μ Pa. A análise da distribuição da intensidade na frequência revelou valores maiores de SPL em frequências abaixo de 1.000 Hz na maioria dos modelos de embarcações, com o maior valor registrado em 119,4 dB re 1 μ Pa na frequência de 630 Hz. O alto número de modelos de embarcações registrados revelaram um tráfego local diversificado, sendo superior na maioria das comparações com outros estudos, enquanto os valores e a variação na intensidade sonora produzida pelos diferentes modelos é semelhante aos valores registrados em regiões que possuem um tráfego marítimo declarado como intenso, indicando possíveis impactos acústicos semelhantes, em adicional, o elevado nível de SPL encontrados em frequências baixas destaca o potencial impacto do tráfego marítimo especialmente em espécies sensíveis a essas frequências. Esses resultados evidenciam o tráfego marítimo como uma fonte significativa de poluição sonora na BTS, com potenciais impactos na biodiversidade local e nas atividades humanas. A pesquisa alerta para um problema que pode comprometer toda a região, além de fornecer dados visando a criação de práticas mais sustentáveis de navegação na região.

Palavras-chave: Paisagem acústica. Tráfego marítimo. Ruídos antropogênicos. Baía de Todos os Santos.

Abstract

The increasing presence of anthropogenic noise in aquatic environments has become a significant concern in recent decades. Numerous anthropogenic sources contribute to the propagation of underwater noise pollution, with maritime traffic emerging as a principal contributor frequently observed in coastal areas and on the continental shelf. This study aims to characterize the sounds originating from maritime traffic in the Todos os Santos Bay (BTS), distinguishing between each type of vessel present in the region. Acoustic data were collected between 2016 and 2018, using a portable system consisting of an HTI-90 min hydrophone (sensitivity of approximately 165 dB re 1 V/ μ Pa) connected to a TASCAM DR-40 digital recorder (combined frequency response up to 30 kHz), recording at a depth of 7 m. Acoustic analysis was conducted using MATLAB 2021a software. The study identified seven distinct vessel types, each exhibiting unique acoustic signatures that contribute to the diversity of anthropogenic sounds in the region. This acoustic characterization of vessel traffic in the BTS is essential for assessing the potential impacts of these sounds on the marine soundscape, providing valuable information for marine conservation and resource management.

Keywords: Soundscape. Vessel Traffic. Anthropogenic noise. Todos os Santos Bay.

1. Introdução

O aumento da presença humana nos oceanos tem gerado preocupações em relação aos efeitos da poluição sonora sobre a biodiversidade marinha (McDonald et al., 2006; Halpern et al., 2008; Halliday et al., 2020). Os sons originados por atividades humanas são conhecidos como ruídos antropogênicos, no qual, o tráfego marítimo se destaca como principal fonte emissora em ambiente marinhos (Hildebrand, 2005; Dellong et al., 2024), sendo capaz de produzir uma grande variedade de sinais e gerar emissões contínuas em áreas com intensa movimentação de embarcações (Erbe et al., 2012; Viola et al., 2017; Jalkanen et al., 2022).

O tráfego marítimo produz sinais sonoros que variam de acordo com diferentes características técnicas e operacionais das embarcações (Erbe et al., 2012). As de pequeno porte, devido aos sistemas de propulsão, hélices e estrutura do casco, frequentemente produzem ruídos em altas frequências (Erbe and Farmer, 2000). Por outro lado, as de grande porte são associadas emissões sonoras tanto em baixas frequências, resultantes dos motores e maquinários, como em frequências mais altas geradas pela cavitação das hélices (Arveson and Vendittis, 2000; Aguilar Soto et al., 2006).

Devido a diversidade dos ruídos antropogênicos emitidos, os efeitos podem atingir todo o ecossistema local, incluindo espécies de peixes (Sarà et al., 2007; Popper and Hastings, 2009), invertebrados (Nousek-McGregor and Mei, 2016; Jézéquel et al., 2021) e de predadores de topo, como os cetáceos (Richardson et al., 1995), grupo de mamíferos marinhos composto por baleias e golfinhos, fortemente ligadas ao ambiente sonoro (Jefferson et al., 2011; Lodi and Borobia, 2013). Além disso, a presença contínua de emissões sonoras pode comprometer o equilíbrio de ecossistemas locais, resultando na diminuição da diversidade e na redução da abundância de espécies em áreas específicas (Hatch et al., 2008; Erbe et al., 2016).

Assim, estudos acústicos sobre os potenciais efeitos do tráfego marítimo pelo mundo estão se tornando cada vez mais importantes (Erbe et al., 2012; Amron et al., 2021). Através de informações acústicas produzidas é possível identificar os padrões sonoros produzidos em diversas localidades (Garrett et al., 2016), além de permitir a identificação das diferentes fontes sonoras antropogênicas em uma região (Halliday et al., 2017), oferecendo informações para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão dos efeitos da poluição sonora nos oceanos (Picciulin et al., 2010; Bittencourt et al., 2014).

No Brasil, as pesquisas se concentram em avaliar os impactos do ruído sobre animais específicos, com os cetáceos (Sousa-Lima and Clark, 2009; Pais, et al., 2018; Rossi-Santos, 2019), devido à grande importância dos sons para esse grupo, que utilizam o ambiente sonoro para realizar ações como navegação, busca por alimento e seleção sexual (Bradbury and Vehrencamp, 1998; Au and Hastings, 2008). No entanto, existem poucas pesquisas que buscam descrever os padrões acústicos das fontes de sons antropogênicos encontradas em regiões costeiras do país (Bittencourt et al., 2014).

Essa lacuna de conhecimento é evidente em várias regiões do Brasil, incluindo na Baía de Todos os Santos (BTS), uma região que possui uma grande importância ecológica e econômica para país (Andrade and Hatje, 2009; Caroso, et al., 2011). Reconhecida como uma das maiores Baías do Brasil, abriga uma rica biodiversidade, que inclui diversas espécies de peixes, recifes de corais (Reis-Filho et al., 2010) e alguns mamíferos aquáticos, como o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) (Van Benédén, 1864) (Cetacea, Delphinidae) (Reis and Queiroz, 1992; Batista et al., 2014). Espécie de cetáceo que desempenha um papel importante na região, regulando as populações de suas presas (Nery et al., 2010) e atuando como indicador da saúde ambiental (Moura et al., 2014).

Apesar de sua relevância ecológica, reconhecida pela Área de Proteção Ambiental da Baía de Todos os Santos (APA-BTS) (Rios, 2019). A BTS abriga também uma ampla variedade de atividades humanas, com sete portos em operação (Andrade and Hatje, 2009) e cerca de 241 comunidades pesqueiras (Rios, 2019), além de ser um importante polo de transporte e turismo do país (Caroso et al., 2011). Esse cenário contribui para a presença de uma ampla variedade de embarcações, que inclui desde pequenas embarcações de pesca artesanal, lazer e turismo até grandes navios de carga e transporte.

Este estudo tem como objetivo caracterizar os sons emitidos pelo tráfego marítimo na BTS, analisando os padrões acústicos associados às diferentes embarcações registradas na região. A pesquisa busca fornecer informações descritivas sobre essa atividade e contribuir para a compreensão dos possíveis impactos ambientais decorrentes da poluição sonora, além de incentivar estudos voltados para a preservação da biodiversidade marinha e adoção de práticas mais sustentáveis.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A Baía de Todos os Santos (BTS), está localizada na costa nordeste do Brasil, entre as latitudes $12^{\circ}65'S$ e $13^{\circ}15'S$ e as longitudes $38^{\circ}45'W$ e $38^{\circ}90'W$. Com uma área total de aproximadamente 1.233 km^2 , sendo reconhecida como uma das maiores baías do país (Andrade and Hatje, 2009). A profundidade de suas águas varia de 6 a 70 metros e sua largura máxima atinge 50 quilômetros, enquanto a área de sua bacia hidrográfica é estimada em 60.000 km^2 . A região abriga uma rica diversidade de ambientes marinhos e costeiros (Reis-Filho et al., 2010; Barros et al., 2012), influenciados tanto pelas águas oceânicas quanto pela descarga de diversos rios, como Paraguaçu, Jaguaripe, Subaé (Cirano and Lessa, 2007).

O tráfego marítimo na região é importante desde o século XVI, sendo considerado o principal porto do Atlântico Sul (Andrade and Hatje, 2009). Atualmente a BTS abriga sete portos operando que movimentam aproximadamente 35 milhões de toneladas por ano (Caroso et al., 2011). A região abriga também aproximadamente 241 comunidades pesqueiras, com aproximadamente 70.000 famílias que utilizam a pesca artesanal representa a principal fonte de renda (Rios, 2019). Em adicional o turismo é responsável por atrair visitantes devido as praias, ilhas e herança cultural da região (Caroso et al., 2011).

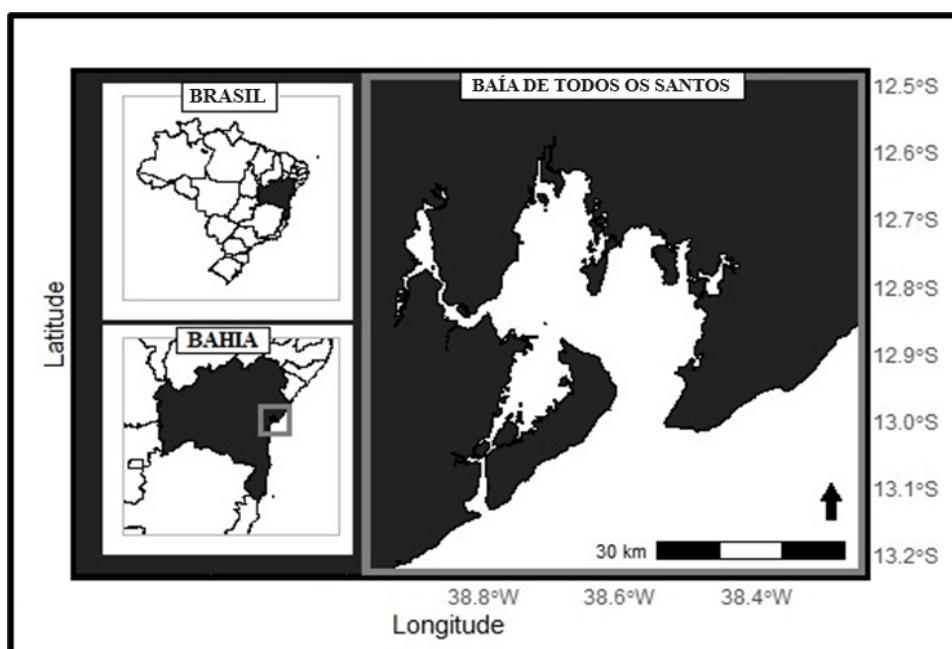


Fig. 1. - Mapa da Baía de Todos os Santos (BTS), destacando os limites geográficos da região e sua localização na Bahia e no Brasil.

2.2 Coleta de dados

Os dados utilizados fazem parte de um programa de pesquisa de longo prazo sobre a ecologia comportamental de botos-cinza (*Sotalia guianensis*) e paisagens sonoras ao redor da costa (Rossi-Santos et al., 2016). As coletas de dados foram realizadas 2016 e 2018, durante os meses de outubro e novembro de 2016; janeiro, maio, agosto e dezembro de 2017; e abril e maio de 2018, com campanhas de campo que ocorreram duas vezes por mês durante três dias consecutivos. A embarcação utilizada foi um veleiro oceânico Cal 9.2 (32 pés), equipado com um motor Volvo de um cilindro, acionado apenas em condições desfavoráveis à navegação à vela, segundo rotas predefinidas em laboratório e navegadas com o auxílio de GPS para garantir precisão nos registros.

Os modelos das embarcações foram definidos por meio de registros visuais, incluindo fotografias e o registro do porte (pequeno, médio ou grande porte), tipo de motor (centro ou popa) e material do casco (fibra, aço, plástico ou madeira). Para os registros acústicos, foi utilizado um hidrofone HTI 96min (sensibilidade de 165 dB re 1V/ μ Pa), conectado a um gravador digital Tascam DR-40, operando em profundidades entre 5 e 7 metros. Durante as gravações, o veleiro estava sempre com o motor auxiliar desligado, com gravações iniciadas manualmente assim que uma embarcação era detectada visualmente a até 100 metros de distância e encerradas quando essa distância era excedida.

2.3. Análise dos dados

A identificação dos modelos de embarcações foi realizada em laboratório, utilizando as fotografias como referência e complementada pelos registrados durante as coletas de campo. Para a caracterização acústica, as análises foram realizadas no software MATLAB 2021a, considerando frequências de até 20.000 Hz (Rako et al., 2013; Jalkanen et al., 2022), registrando medidas de intensidade sonora e da distribuição da intensidade ao longo das frequências, associadas a cada modelo de embarcação (Popper and Hastings, 2009; Rako et al., 2013).

A intensidade sonora foi medida por meio do Nível de Exposição Sonora (Sound Exposure Level - SEL) (Merchant et al., 2012) e do Nível de Pressão de Pico (Peak Pressure Level - PPL) (Popper and Hastings, 2009). Enquanto a distribuição da intensidade sonora ao longo das frequências foi examinada por meio da divisão da faixa de frequência em 36 bandas de 1/3 de oitavas (Rako et al., 2013), com a medição individual do Nível de Pressão Sonora (Sound Pressure Level - SPL) em cada banda. Adicionalmente, foram gerados gráficos

espectrogramas e da análise do SPL, permitindo a observação de padrões temporais e espaciais (Li et al., 2020).

3. Resultados

A coleta de dados ocorreu distribuída em 19 dias de campo, com um total de 179 horas de esforço amostral, nesse período foram catalogadas 88 embarcações e agrupadas em 7 modelos distintos. Para o registro acústicos, foram coletadas 20 horas e 21 minutos de sons gerados pelo tráfego marítimo. A tabela 1 apresenta um resumo detalhado dos modelos de embarcações identificados, incluindo suas características físicas e mecânicas, o número de avistagens realizadas e o tempo total de gravação dos sons associados a cada modelo.

Tabela 1. Coleta de dados sobre o tráfego marítimo registrado na Baía de Todos os Santos.

Modelo da embarcação	Características	Número de Avistagens	Tempo de gravação
Traineira	Pequeno porte, motor de centro, casco de madeira	22	05:11
Escuna	Médio porte, motor de centro ou de popa, casco de madeira, fibra	13	03:09
Ferry boat	Grande porte, motor de popa, casco de aço	17	03:57
Lancha	Pequeno a médio porte, motor de popa ou centro, casco de fibra	9	02:13
Moto aquática	Pequeno porte, motor popa ou centro, casco fibra ou plástico	5	01:27
Navio de carga	Grande porte, motor de centro, casco de aço	10	01:51
Rebocador	Médio porte, motor de centro, casco de aço	12	02:33

A análise da intensidade sonora, exposta na tabela 2, revelou o valor do SEL variando de 111,5 a 143,6 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ xs}$ entre os modelos. A maior correlação desses valores foi com o porte da embarcação, no qual, modelos com grande porte como Ferry Boat e Navios de Carga, exibiram os maiores valores de SEL. Em seguida, Escunas e Rebocadores, registraram valores intermediários. Por fim, as embarcações de pequeno porte, Traineiras, Motos Aquáticas e Lanchas apresentaram os menores níveis de SEL.

Os valores de PPL também estão apresentados na tabela 2, e apresentaram uma variação de 135,3 a 147,94 dB re μPa . A análise revelou que o material do casco teve a maior influência nos níveis de PPL, seguido pelo porte das embarcações. Modelos construídos em aço e de grande porte, como Navios de Carga e Ferry Boats, exibiram os maiores valores de PPL. Embarcações com casco de aço ou fibra, incluindo Motos Aquáticas, Rebocadores e Lanchas, apresentaram valores intermediários. Enquanto aquelas com casco de madeira, como Traineiras e Escunas, registraram os menores níveis de PPL.

Tabela 2. Energia média produzida por cada modelo de embarcação que compõem o tráfego marítimo na BTS. Medidas analisadas: SEL: Nível de Exposição Sonora (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ xs}$) e PPL; Nível Pressão Pico (dB re μPa).

Embarcação	SEL (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ xs}$)	PPL (dB re μPa)
Traineira	111.5	135.3
Escuna	134.1	141.1
Ferry Boat	143.6	148.1
Lancha	125.4	146.9
Moto Aquática	125.2	144.2
Navio de Carga	138.4	149.7
Rebocador	130.8	144.9

A análise da distribuição da energia em faixas de frequência, por meio do SPL em bandas de 1/3 de oitava, permitiu identificar as frequências mais impactadas. Cada modelo apresentou um perfil acústico distinto, com a maioria exibindo os valores máximos de SPL em frequências inferiores a 1.000 Hz, a única exceção foi a Escuna, que registrou o valor máximo na frequência central de 3.150 Hz. Os resultados detalhados da análise de SPL para as bandas de 1/3 de oitava estão apresentados no **APÊNDICE A**.

A figura 2 mostra um comparativo das medidas de SPL entre os diferentes modelos, evidenciando que as embarcações de grande e médio porte registraram os maiores valores, com o Ferry Boat (119,4 dB re 1 μ Pa em 630 Hz), o Navio de Carga (114,8 dB re 1 μ Pa em 315 Hz), a Escuna (115,8 dB re 1 μ Pa em 3150 Hz) e o Rebocador (110,7 dB re 1 μ Pa em 630 Hz). Enquanto, as de pequeno porte apresentaram os menores valores, com as Traineiras (87,2 dB re 1 μ Pa em 400 Hz), Lanchas (100,5 dB re 1 μ Pa em 800 Hz) e Motos Aquáticas (100,4 dB re 1 μ Pa em 800 Hz).

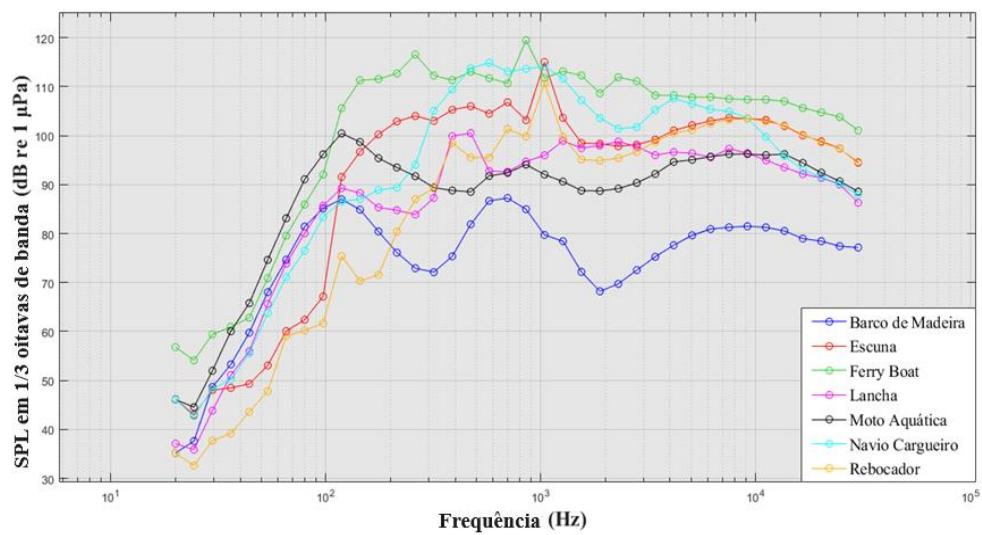


Fig. 2. - Nível de pressão sonora (SPL) em 1/3 oitavas de bandas de frequência do tráfego marítimo registrado na Baía de Todos os Santos.

Para uma análise mais detalhada da distribuição da energia na frequência, foram elaborados gráficos para cada modelo de embarcação que ilustram os valores de SPL nas 36 bandas de 1/3 de oitava (Fig. 3 a 9). Em adicional, complementando a análise quantitativa da medida do SPL, também foram gerados gráficos de espectrogramas, para a visualização da variação da energia produzida na frequência ao longo do tempo.

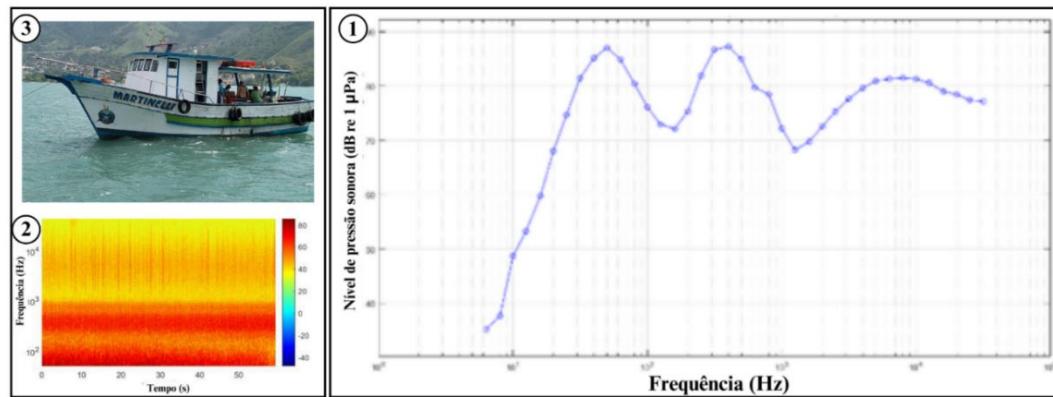


Fig. 3. – Som registrado para o modelo: Barco de madeira. (1) Nível de pressão sonora em 1/3 de oitavas de bandas de frequência (dB em re 1 μ Pa); (2) Espectrograma, registrando a variação da energia do som na frequência durante 1 minuto (dB em re 1 μ Pa²/Hz); (3) Foto representativa (Fonte: www.atlanticusfishing.com.br). Dados utilizados para a análise presentes no **APÊNDICE A**.

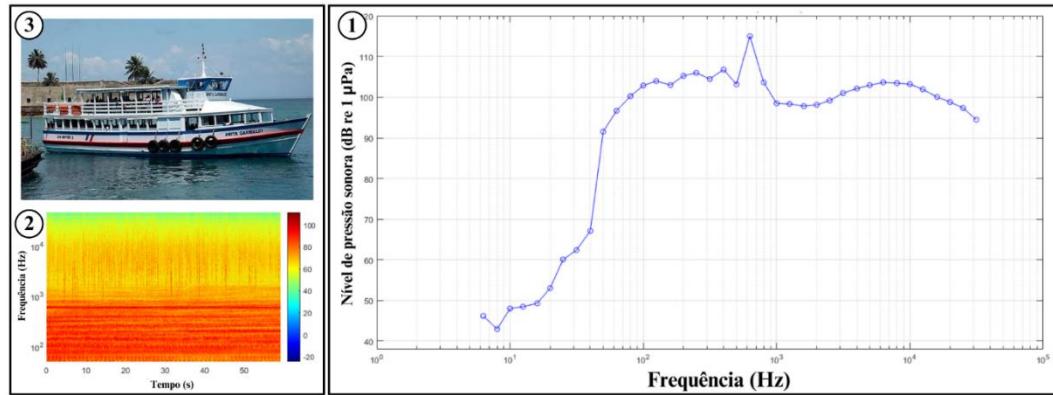


Fig. 4. – Som registrado para o modelo: Escuna. (1) Nível de pressão sonora em 1/3 de oitavas de bandas de frequência (dB em re 1 μ Pa); (2) Espectrograma, registrando a variação da energia do som na frequência durante 1 minuto (dB em re 1 μ Pa²/Hz); (3) Foto representativa (Fonte: www.deboaturismo.com.br). Dados utilizados para a análise presentes no **APÊNDICE A**.

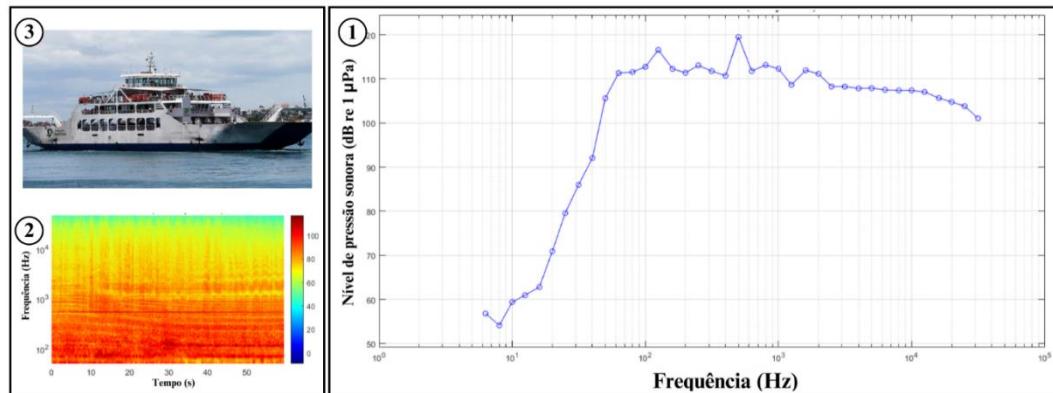


Fig. 5. - Som registrado para o modelo: Ferry Boat. (1) Nível de pressão sonora em 1/3 de oitavas de bandas de frequência (dB em re 1 μ Pa); (2) Espectrograma, registrando a variação da energia do som na frequência durante 1 minuto (dB em re 1 μ Pa²/Hz); (3) Foto representativa (Fonte: www.internacionaltravessias.com.br). Dados utilizados para a análise presentes no **APÊNDICE A**.

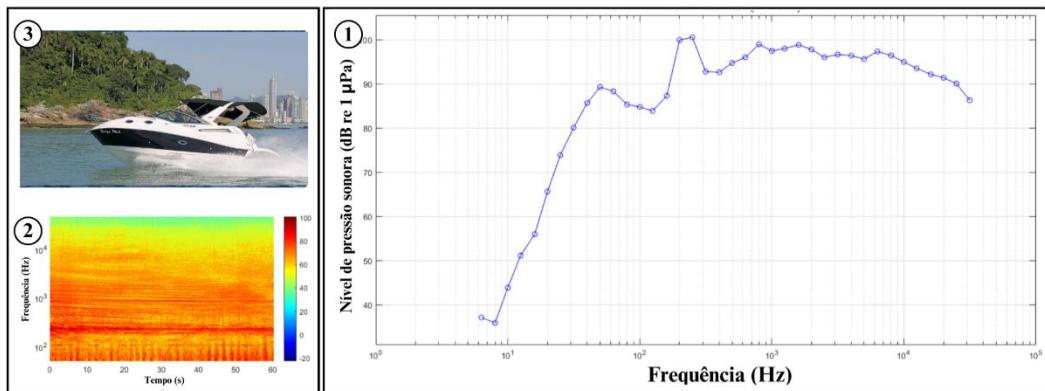


Fig. 6. - Som registrado para o modelo: Lancha. (1) Nível de pressão sonora em 1/3 de oitavas de bandas de frequência (dB em re 1 μPa); (2) Espectrograma, registrando a variação da energia do som na frequência durante 1 minuto (dB em re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$); (3) Foto representativa (Fonte: www.bahiapasseios.com.br). Dados utilizados para a análise presentes no **APÊNDICE A**.

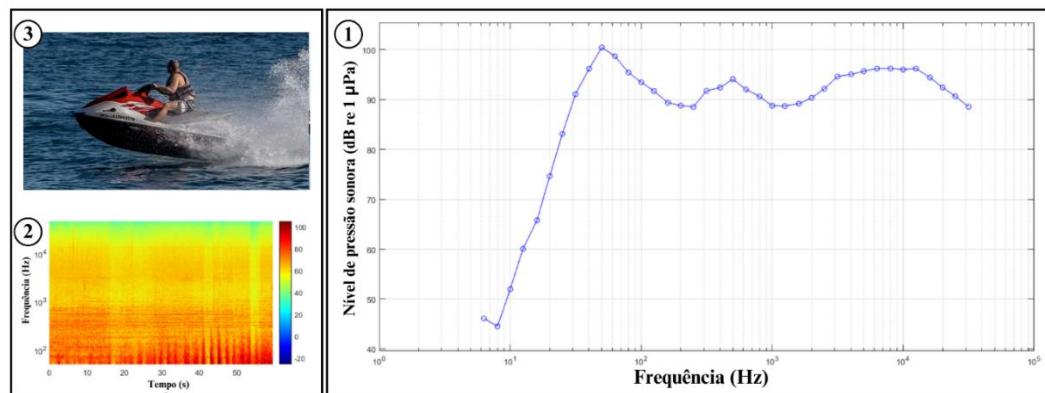


Fig. 7. - Som registrado para o modelo: Moto aquática. (1) Nível de pressão sonora em 1/3 de oitavas de bandas de frequência (dB em re 1 μPa); (2) Espectrograma, registrando a variação da energia do som na frequência durante 1 minuto (dB em re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$); (3) Foto representativa (Fonte: www.perfilnautico.com.br). Dados utilizados para a análise presentes no **APÊNDICE A**.

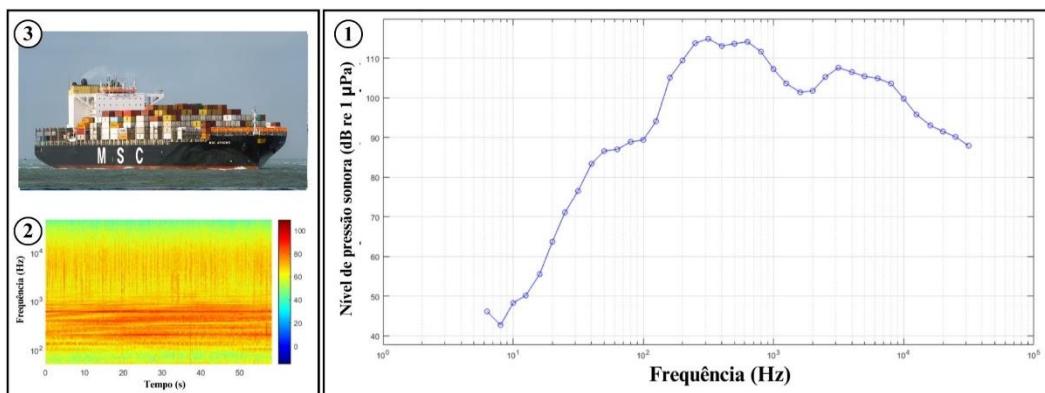


Fig. 8. - Som registrado para o modelo: Navio cargueiro. (1) Nível de pressão sonora em 1/3 de oitavas de bandas de frequência (dB em re 1 μPa); (2) Espectrograma, registrando a variação da energia do som na frequência durante 1 minuto (dB em re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$); (3) Foto representativa (Fonte: www.perfilnautico.com.br). Dados utilizados para a análise presentes no **APÊNDICE A**.

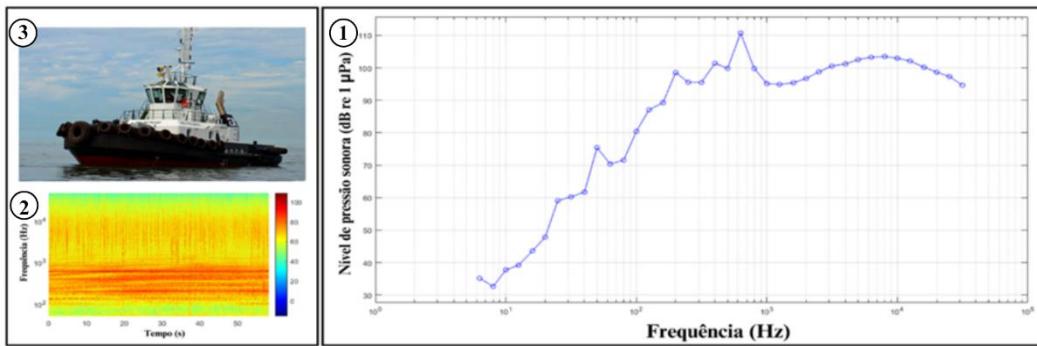


Fig. 9. - Som registrado para o modelo: Rebocador. (1) Nível de pressão sonora em 1/3 de oitavas de bandas de frequência (dB em re 1 μ Pa); (2) Espectrografia, registrando a variação da energia do som na frequência durante 1 minuto (dB em re 1 μ Pa²/Hz); (3) Foto representativa (Fonte: www.estaleirob3.com.br). Dados utilizados para a análise presentes no APÊNDICE A.

4. Discussão

Os resultados destacam que o som gerado pelo tráfego marítimo na BTS varia em valores de SEL e PPL entre os modelos de embarcações, com os maiores valores de SPL concentrados em frequências baixas. Os valores de SEL e PPL evidenciam como a composição do tráfego marítimo afeta a paisagem acústica de diversas formas (Bittencourt et al., 2014; Gervaise et al., 2015). Em adicional, os elevados níveis de SPL em baixas frequências levantam preocupações quanto aos possíveis impactos sobre organismos marinhos que utilizam essas frequências para produzirem sinais sonoros (McQuinn et al. 2011; Rako et al., 2013).

Sete modelos foram registrados e abrangearam desde embarcações de grande porte, como navios de carga e ferry boats, responsáveis por registrarem os maiores níveis de energia sonora liberada (Erbe and Farmer, 2000), até embarcações de pequeno porte, como traineiras, que se destacam pelo alto número de avistagens, podendo criar zonas de emissões sonoras constantes em áreas específicas (Rako et al., 2013). Assim, a diversidade de embarcações na BTS pode ser considerada com um potencial problema, pois possuem a capacidade de gerar impactos variados no ambiente sonoro na região (Gervaise et al., 2015).

Os valores máximos de SPL foram registrados predominantemente em frequências abaixo de 1.000 Hz, com exceção da escuna. Os valores registrados foram semelhantes a regiões com o tráfego marítimo reconhecido como um problema ambiental, como Southold Bay, Nova York (Samuel et al., 2005), Lawrence Marine Park, Canadá (McQuinn et al., 2011), no arquipélago de Cres-Losijn (Rako et al., 2013) e em um estuário em Portugal (Vasconcelos et al., 2007). Nessas regiões essa atividade está sendo associado a alterações significativas nos

ecossistemas marinhos e à degradação do habitat (Merchant et al., 2012; Rako et al., 2013; Amron et al., 2021; Helal et al., 2024).

O tráfego marítimo na BTS representa uma ameaça significativa para a biodiversidade local. Entre os organismos afetados se destaca o boto-cinza (*Sotalia guianensis*), no qual, os parâmetros acústicos registrados apresentaram intensidade de energia com potencial para sobrepor a comunicação e a orientação desses golfinhos (Pais et al., 2018; Martins et al., 2018). Para essa espécie, o ruido antropogênico pode interferir processos vitais, causando mudanças comportamentais, evasão de áreas ruidosas e impactos em padrões reprodutivos e alimentares (Maciel et al., 2023).

A realização de trabalhos acústicos são fundamentais para a preservação da biodiversidade marinha na BTS, mesmo que não sejam a solução para esse problema, os estudos acústicos podem fornecer informações para avaliar a extensão dos ruídos antropogênicos e seus efeitos nos ecossistemas (Mitson, 1995; Hatch et al., 2008; Buscaino et al., 2016; McKenna et al., 2024), sendo utilizados como ferramentas para algumas ações como a implementação de rotas de navegação específicas, a utilização de embarcações com tecnologias de propulsão mais silenciosas e a criação de zonas de proteção acústica (Au and Hastings, 2008; Erbe et al., 2019).

Assim, este estudo apresenta uma descrição acústica do tráfego marítimo na BTS, porém algumas limitações devem ser consideradas. A caracterização acústica foi realizada com base em uma amostra limitada de embarcações representativas, o que pode não capturar plenamente a diversidade de tipos e tamanhos presentes no tráfego marítimo local. Por fim, o estudo reafirma a necessidade de uma maior compreensão dos impactos da poluição sonora sobre os ecossistemas marinhos, apontando para a importância de uma abordagem integrada, que leve em consideração tanto os fatores acústicos quanto os ecológicos, no planejamento de políticas de conservação na região.

5. Conclusão

Na BTS, o tráfego marítimo representa um problema significativo que afeta a paisagem acústica da região de diferentes maneiras, gerando uma gama diversificada de ruídos antropogênicos. Este estudo oferece o primeiro registro acústico da área, com a descrição dos sons produzidos por sete modelos de embarcações, detalhando o tráfego marítimo na região. Dessa forma, a pesquisa fornece uma análise inicial dos impactos dessa atividade, estabelecendo uma importante linha de base para investigações futuras.

Referências

- Aguilar Soto, N., Johnson, M., Madsen, P. T., Tyack, P. L., Bocconcelli, A., Fabrizio Borsani, J., 2006. Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*)?. Mar. Mamm. Sci. 22(3), 690-699.
- Amron, A., Hidayat, R. R., Sefnianti, Y. H., Sari, R. J., 2021. Underwater noise of commercial vessels in Nusakambangan Strait and the relationship with distance. Omni-Akuatika, 17(1), 46-59.
- Andrade, J.B.D., Hatje, V., 2009. Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos. Salvador, Edufba. p. 288p.
- Arveson, P. T., Vendittis, D. J., 2000. Radiated noise characteristics of a modern cargo ship. J. Acoust. Soc. Am., 107(1), 118-129.
- Au, W. W., Hastings, M. C. 2008. Principles of marine Bioacoustics. New York. Springer.
- Barros, F., Costa, P. C., Cruz, I., Mariano, D. L., Miranda, R. J., 2012. Habitats bentônicos na Baía de Todos os Santos. Ver. Virt. Quím, (5):551–65.
- Batista, R. L. G., Alvarez, M. R., Reis M. S., Cremer, M. J., and Schiavetti, A., 2014. Site fidelity and habitat use of the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae), in the estuary of the Paraguaçú River, northeastern Brazil. North-Western Journal of Zoology, 10(1).
- Bittencourt, L., Carvalho, R. R., Lailson-Brito, J., Azevedo, A. F., 2014. Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. Mar. Pollut. Bull., 83(1), 331-336.
- Bradbury, J. W., Vehrencamp, S. L., 1998. Principles of animal communication (Vol. 132). Sunderland, Sinauer Associates.
- Buscaino, G., Ceraulo, M., Pieretti, N., Corrias, V., Farina, A., Filiciotto, F., Mazzola, S., 2016. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. Scientific reports, 6(1), 34230.
- Caroso, C., Tavares, F., Pereira, C., 2011. Baía de Todos os Santos: Aspectos Humanos. Salvador, Edufba. p.599.
- Cirano, M., Lessa, G. C., 2007. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. Rev. Bras. Geofís, 25, 363-387.
- Dellong, D., Kinda, B. G., Le Courtois, F. 2024. Noise From Marine Traffic. Noisy Oceans: Monitoring Seismic and Acoustic Signals in the Marine Environment, 223-237.
- Erbe, C., Dähne, M., Gordon, J., Herata, H., Houser, D. S., Koschinski, S., Janik, V. M., 2019. Managing the effects of noise from ship traffic, seismic surveying and construction on marine mammals in Antarctica. Frontiers in Marine Science, 6, 647.
- Erbe, C., Farmer, D. M., 2000. A software model to estimate zones of impact on marine mammals around anthropogenic noise. J. Acoust. Soc. Am., 108(3), 1327-1331.

- Erbe, C., MacGillivray, A., Williams, R., 2012. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. *J. Acoust. Soc. Am.*, 140(2), 804-813.
- Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., Dooling, R., 2016. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Mar. Pollut. Bull.* 103(1-2), 15-38.
- Garrett, J. K., Blondel, P., Godley, B. J., Pikesley, S. K., Witt, M. J., Johanning, L., 2016. Long-term underwater sound measurements in the shipping noise indicator bands 63 Hz and 125 Hz from the port of Falmouth Bay, UK. *Mar. Pollut. Bull.*, 110(1), 438-448.
- Gervaise, C., Aulanier, F., Simard, Y., Roy, N., 2015. Mapping probability of shipping sound exposure level. *J. Acoust. Soc. Am.*, 137(6), EL429-EL435.
- Halliday, W. D., Insley, S. J., Hilliard, R. C., de Jong, T., Pine, M. K., 2017. Potential impacts of shipping noise on marine mammals in the western Canadian Arctic. *Mar. Pollut. Bull.* 123(1-2), 73-82.
- Halliday, W. D., Pine, M. K., Insley, S. J. 2020. Underwater noise and Arctic marine mammals: Review and policy recommendations. *Environmental Reviews*, 28(4), 438-448.
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., d'Agrosa, C., Watson, R., 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865), 948-952.
- Hatch, L., Clark, C., Merrick, R., Van Parijs, S., Ponirakis, D., Schwehr, K., Wiley, D., 2008. Characterizing the relative contributions of large vessels to total ocean noise fields: a case study using the Gerry E. Studds Stellwagen Bank National Marine Sanctuary. *Environ. manag.* 42, 735-752.
- Helal, K. M., Fragasso, J., Moro, L., 2024. Underwater noise characterization of a typical fishing vessel from Atlantic Canada. *Ocean Engineering*, 299, 117310.
- Hildebrand, J. A., 2005. Impacts of anthropogenic sound. *Marine mammal research: conservation beyond crisis*, 101-124.
- Jalkanen, J. P., Johansson, L., Andersson, M. H., Majamäki, E., Sigray, P., 2022. Underwater noise emissions from ships during 2014–2020. *Environ. Pollut.*, 311, 119766.
- Jefferson. T A., Webber. M. A., and Pitman. R. (2011). “Marine mammals of the world: a comprehensive guide to their identification”. Elsevier.
- Jézéquel, Y., Bonnel, J., Chauvaud, L. 2021. Potential for acoustic masking due to shipping noise in the European lobster (*Homarus gammarus*). *Marine Pollution Bulletin*, 173, 112934.
- Li, J., White, P. R., Roche, B., 2020. Seafloor noise ensemble from vessel manoeuvre in the central North Sea. *Ocean Engineering*, 196, 106836.
- Lodi, L., and Borobia, M. (2013). *Baleias, botos e golfinhos do Brasil: guia de identificação* (Rio de Janeiro, Technical Books Editora), p.480.
- Maciel, I., Belderrain, T., Alves, M. A. S., Tardin, R., 2023. Stay here, but keep quiet: the effects of anthropogenic noise on Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in southeastern Brazil. *Marine Biology*, 170(12), 165.

- Martins, D. T. L., Rossi-Santos, M. R., and Silva, F. J. D. L. (2018). "Effects of anthropogenic noise on the acoustic behaviour of *Sotalia guianensis* (Van Bénéden, 1864) in Pipa, North-eastern Brazil." Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, **98**(2), 215-222.
- McDonald, M. A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., 2006. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *J. Acoust. Soc. Am.*, **120**(2), 711-718.
- McKenna, M. F., Rowell, T. J., Margolina, T., Baumann-Pickering, S., Solsona-Berga, A., Adams, J. D., Hatch, L. T., 2024. Understanding vessel noise across a network of marine protected areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, **196**(4), 369.
- McQuinn, I.H., Lesage, V., Carrier, D., Larrivée, G., Samson, Y., Chartrand, S., Michaud, R., Theriault, J., 2011. A threatened beluga (*Delphinapterus leucas*) population in the traffic lane: vessel-generated noise characteristics of the Saguenay-St. Lawrence Marine Park. Canada. *J. Acoust. Soc. Am.* **130**, 3661–3673.
- Merchant, N. D., Witt, M. J., Blondel, P., Godley, B. J., Smith, G. H., 2012. Assessing sound exposure from shipping in coastal waters using a single hydrophone and Automatic Identification System (AIS) data. *Mar. Pollut. Bull.*, **64**(7), 1320-1329.
- Mitson, R. B., 1995. Underwater noise of research vessels: review and recommendations. ICES Cooperative Research Reports (CRR).
- Moura, J. F., Hauser-Davis, R. A., Lemos, L., Emin-Lima, R., Siciliano, S., 2014. Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) as marine ecosystem sentinels: ecotoxicology and emerging diseases. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* Volume 228, 1-29.
- Nery, M. F., Simão S. M., Pereira, T., 2010. Ecology and behavior of the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) in Sepetiba Bay, South-eastern Brazil. *Journal of Ecology and the Natural Environment* **2**(9): 194–200.
- Noisek-McGregor, A. E., Mei, F. T. L., 2016. Does noise from shipping and boat traffic affect predator vigilance in the European common hermit crab? In: Popper, A. N., Hawkins, A. (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life II*. Springer, pp. 767–774.
- Pais, F.S., Cardoso, R.P., Rossi-Santos, M.R., Wedekin, L., Silva, F.J.L., Monteiro-Filho, E. L.A., Leao, D.T., 2018. Anthropogenic noise and Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Brazil: ecological and conservation concerns. In: Rossi-Santos, M., Finkl, C. (Eds.), *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America*. Coastal Research Library, vol. 22. Springer.
- Picciulin, M., Sebastianutto, L., Codarin, A., Farina, A. 2010. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. *Marine Ecology Progress Series*, **408**, 21-36.
- Popper, A. N., Hastings, M. C., 2009. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. *J. Fish. Bio.*, **75**(3), 455-489.
- Rako, N., Picciulin, M., Vilibić, I., Fortuna, C. M., 2013. Spatial and temporal variability of sea ambient noise as an anthropogenic pressure index: the case of the Cres-Lošinj archipelago,

Croatia. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom. J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom, 93(1), 27-36.

Reis, M.S.S., Queiroz, E.L., 1992. Distribuição, observações e capturas acidentais de *Sotalia fluviatilis* (Gervais, 1853) na Baía de Todos os Santos. Anais da V Reunião de Trabalho de Especialistas em Mamíferos Aquáticos da América do Sul, Buenos Aires.

Reis-Filho, J.A., Loiola, M., 2022. Dimensions of fishing with explosives in the Brazilian central coast from data mining and fishers' perception: concentrated and problematic, yet avoidable. Ocean Coast. Manag. 216, 105985.

Reis-Filho, J.A., Nunes, J.A.C.C., Ferreira, A., 2010. Estuarine ichthyofauna of the Paraguaçu river, Todos os Santos bay, Bahia, Brazil. Biota Neotropica 10, 301–311.

Richardson, W.J., Greene, C.R. Jr., Malme, C.I., Thomson, D.H., 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press, p.576.

Rios, K. A. N., 2019. As comunidades tradicionais pesqueiras da Baía de Todos os Santos. Mares: Revista de Geografia e Etnociências, 1(1), 27-38.

Rossi-Santos, M. R., 2019. Louder than love: Anthropogenic noise overlaps humpback whale songs in coastal soundscapes of Bahia, Brazil. Proc. Mtgs. Acoust. 37, 040007.

Rossi-Santos, M.R., Souza, V.M., Araujo, T.B., Lewis, D., 2016. Soundscape ecology of the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) habitat in the Todos os Santos bay, Northeastern Brazil. In: Proceedings of the Listening to Aquatic Mammals in Latin America Workshop. p.15.

Samuel, Y., Morreale, S.J., Clark, C.W., Greene, C.H., Richmond, M.E., 2005. Underwater, low-frequency noise in a coastal sea turtle habitat. J. Acoust. Soc. Am. 117, 1465–1472.

Sarà, G., Dean, J. M., d'Amato, D., Buscaino, G., Oliveri, A., Genovese, S., Mazzola, S. 2007. Effect of boat noise on the behaviour of bluefin tuna *Thunnus thynnus* in the Mediterranean Sea. Marine Ecology Progress Series, 331, 243-253.

Sousa-Lima, R. S., Clark, C. W., 2009. Whale sound recording technology as a tool for assessing the effects of boat noise in a Brazilian marine park. Can. Acoust. 26(1), 59-63.

Vasconcelos, R.O., Amorim, M.C.P., Ladich, F., 2007. Effects of ship noise on the detectability of communication signals in the Lusitanian toadfish. J. Exp. Biol. 210, 2104–2112.

Viola, S., Grammauta, R., Sciacca, V., Bellia, G., Beranzoli, L., Buscaino, G., Riccobene, G., 2017. Continuous monitoring of noise levels in the Gulf of Catania (Ionian Sea). Study of correlation with ship traffic. Mar. Pollut. Bull, 121(1-2), 97-103.

Conclusões gerais

As descobertas feitas neste estudo expandem o conhecimento sobre a ecologia da paisagem acústica da Baía de Todos os Santos (BTS). Os resultados obtidos registraram uma variedade de fontes sonoras presentes na região e descreveram os padrões das características acústicas de alguns sons biológicos e antropogênicos, que afetam o meio acústico de diferentes maneiras. A variedade de fontes presentes na BTS destaca a complexidade das possíveis interações acústicas nesse ecossistema marinho, assim, novas pesquisas devem ser realizadas buscando entender melhor o ambiente sonoro local.

Para aprimorar o conhecimento sobre a paisagem sonora da BTS, é fundamental implementar esforços mais sistemáticos de caracterização, como a realização de transectos regulares e o uso de equipamentos de monitoramento acústico passivo. Além disso, estudos futuros poderiam direcionar seu foco para outras fontes sonoras que compõem essa paisagem acústica, incluindo diferentes espécies biológicas, bem como fontes antropogênicas adicionais, ampliando a compreensão sobre as interações e os impactos acústicos nesse ecossistema marinho.

Conclui-se que estudos acústicos na BTS são fundamentais para uma gestão ambiental mais eficaz e sustentável, a caracterização detalhada das fontes sonoras fornece uma base para monitoramento e tomada de decisões visando a conservação em uma região no qual não existem registros acústicos documentados. O registro da pesca destrutiva utilizando explosivos e do diversificado tráfego de marítimo alertam para o impacto destrutivo dessas atividades humanas sobre o ambiente local, afetando diretamente várias espécies, como o boto-cinza, que precisa utilizar o ambiente sonoro para sua sobrevivência.

APÊNDICES

APÊNDICE A -Tabela contendo as informações utilizadas para a comparação os parâmetros de assobios do boto-cinza (*Sotalia guianensis*) registrados nesse estudo com parâmetros registrados em populações localizadas em outras regiões.

Localização (Autor)	Freq Inicial	Freq Final	Freq Min	Freq Max	1º Quartil	2º Quartil	3º Quartil	Duração
Gandoca-Manzanillo (Costa Rica)	Média (SD)	13.83(6.16)	19.51 (6.36)	12.31 (5.16)	21.21 (5.82)	15.37 (5.35)	16.60 (5.33)	17.60 (5.36) 0.20 (0.187)
	Min - Max	1.13 - 47.36	1.52 - 47.36	1.38 - 35.75	3.00 - 48.40	1.10 - 39.06	1.13 - 37.60	5.37 - 39.06 0.007 - 1.027
Baía de Cananéia e Guaraqueçaba (Brasil)	Média (SD)	12.40 (5.22)	18.17 (5.35)	12.22 (5.39)	18.23 (5.38)			0.17 (0.12) 0.01 - 2.61
	Min - Max	1.89 - 45.37	3.99 - 44.64	1.89 - 44.32	4.41 - 46.85			
Baía de Sepetiba (Brasil)	Média (SD)	7.93 (2.47)	23.42 (7.78)	7.77 (2.32)	23.68 (7.76)	11.32 (3.80)	15.02 (5.21)	19.27 (5.20) 0.36 (0.135)
	Min - Max	1.87 - 16.40	4.31 - 44.90	1.87 - 15.46	4.31 - 44.90	2.43 - 28.59	3.09 - 34.78	4.21 - 40.78 0.111 - 0.826
Baía de Guanabara (Brasil)	Média (SD)	9.88 (3.90)	25.58 (7.38)	9.52 (3.55)	25.79 (7.51)	12.79 (3.74)	16.54 (4.80)	20.96 (6.07) 0.272 (0.105)
	Min - Max	2.15 - 26.53	8.90 - 42.65	2.15 - 25.40	8.90 - 42.65	5.72 - 30.37	7.03 - 30.9	7.78 - 35.34 0.100 - 0.652
Paraty (Brasil)	Média (SD)	8.09 (2.49)	22.26 (7.99)	7.74 (2.20)	22.33 (7.94)	10.29 (2.94)	13.00 (4.34)	16.72 (6.07) 0.376 (0.159)
	Min - Max	1.03 - 17.71	4.59 - 42.84	1.03 - 14.53	4.59 - 42.84	3.65 - 20.15	4.21 - 28.68	4.22 - 33.00 0.104 - 1.231
Ilhéus (Brasil)	Média (SD)	10.87	18.25	8.93	9.39	11.09	13.72	15.14 0.211
	Min - Max							
Lagoa Guaráras (Brasil)	Média (SD)	11.37 (3.35)	19.92 (4.64)	10.96 (2.80)	20.49 (4.13)			0.17 (0.08) 0.04 - 0.45
	Min - Max	2.64 - 25.22	7.04 - 34.20	2.64 - 18.13	10.80 - 34.20			
Praia do Curral (Brasil)	Média (SD)	10.04 (3.61)	19.90 (4.87)	9.35 (2.57)	20.48 (4.50)			0.24 (0.14) 0.03 - 0.87
	Min - Max	1.38 - 29.87	5.00 - 35.65	1.68 - 17.95	5.80 - 35.65			
Maracaíbo (Venezuela)	Média (SD)	10.48 (2.65)	13.56 (2.88)	10.21 (0.15)	13.86 (2.82)			0.27 (0.15) 0.05 - 1.19
	Min - Max	2.22 - 15.70	2.07 - 21.64	1.89 - 15.54	2.03 - 21.64			
Baía Formosa (Brasil)	Média (SD)	11.90 (3.84)	18.30 (4.76)	11.90 (3.84)	18.70 (4.73)	14.82 (4.63)	15.93 (4.55)	16.73 (4.88) 0.175 (0.122)
	Min - Max	3.37 - 29.81	1.87 - 43.12	1.68 - 41.21	2.65 - 44.11	1.87 - 41.62	1.87 - 42.19	1.63 - 42.37 0.16 - 0.696
Baía de Benevente (Brasil)	Média (SD)	10.22 (6.23)	16.73 (7.01)	10.00 (6.30)	17.21 (7.06)	12.86 (6.49)	14.27 (6.84)	15.44 (7.11) 0.298 (0.147)
	Min - Max	3.51 - 35.56	5.62 - 35.02	3.51 - 34.95	7.95 - 37.56	6.71 - 36.91	4.47 - 37.00	7.09 - 37.02 0.033 - 0.795
Baía de Todos os Santos (Brasil)	Média (SD)	9.84 (3.73)	19.02 (4.70)	9.37 (3.51)	19.24 (4.54)	11.49 (3.46)	13.26 (3.53)	15.39 (3.74) 0.313 (0.151)
	Min - Max	1.38 - 29.89	1.60 - 29.92	1.38 - 26.41	3.37 - 29.92	1.87 - 27.75	2.34 - 28.21	2.67 - 28.40 0.032 - 0.984

APÊNDICE B – Tabela contendo dados sobre o valor do SPL em 1/3 oitavas de bandas de frequência para cada modelo de embarcação registrado na Baía de Todos os Santos.

Frequências		centrais	Ferry	Moto	Navio de	Rebocado	
(Hz)	Traineira	Escuna	Boat	Lancha	Aquática	Carga	r
6.3	35.192	42.985	54.130	37.111	46.116	46.154	35.161
8	37.632	46.219	56.819	35.877	44.549	42.719	32.632
10	48.685	48.041	59.420	43.853	51.995	48.319	37.735
12.5	53.279	48.494	60.959	51.111	60.060	50.180	39.183
16	59.764	49.317	62.832	55.986	65.804	55.579	43.586
20	68.048	53.068	70.901	65.638	74.632	63.733	47.817
25	74.673	60.102	79.571	73.863	83.126	71.126	59.069
31.5	81.432	62.399	85.967	80.069	91.094	76.523	60.207
40	85.169	102.900	112.709	85.692	96.196	83.385	61.708
50	87.017	106.016	113.051	89.282	100.461	86.596	75.412
63	84.888	104.020	116.567	88.292	98.708	87.020	70.346
80	80.438	105.285	111.362	85.341	95.412	88.911	71.556
100	76.121	103.011	112.273	84.769	93.499	89.393	80.403
125	72.932	100.265	111.556	83.891	91.718	94.063	87.054
160	72.129	100.265	111.556	87.284	89.382	105.088	89.252
200	75.358	104.509	111.764	99.917	88.806	109.450	98.546
250	81.897	96.693	111.306	100.522	88.531	113.776	95.558
315	86.687	98.491	112.283	92.770	91.776	114.886	95.487
400	87.262	91.561	105.611	92.630	92.411	113.056	101.384
500	84.982	106.817	110.703	94.725	94.091	113.651	99.825
630	79.719	103.179	119.494	95.989	92.052	114.126	110.707
800	78.464	94.489	101.078	98.953	90.625	111.653	99.776
1000	72.179	98.359	108.655	97.457	88.782	107.239	95.140
1250	68.226	103.659	113.146	97.998	88.715	103.612	94.902
1600	69.737	97.381	103.819	98.803	89.188	101.422	95.401
2000	72.552	97.834	111.937	97.786	90.357	101.773	96.704
2500	75.272	98.838	104.763	96.018	92.177	105.259	98.744
3150	77.632	115.041	111.767	96.644	94.640	107.599	100.543
4000	79.643	98.155	111.134	96.399	95.067	106.486	101.178
5000	80.930	99.197	108.257	95.596	95.705	105.420	102.512
6300	81.286	100.050	105.659	97.332	96.226	104.913	103.262
8000	81.496	101.959	107.032	96.420	96.245	103.579	103.481
10000	81.279	101.048	108.241	94.970	96.026	99.787	102.946
12500	80.546	103.235	107.375	93.528	96.238	95.814	102.090
16000	78.984	103.481	107.381	92.154	94.436	93.046	100.176
20000	78.455	102.128	107.838	91.373	92.445	91.525	98.668