

Guia de gravação e análises de sons de Peixe-boi-marinho

1ª Edição



Rebecca Umeed, Karen Lucchini, Flávio José de Lima Silva, Fernanda Loffler Niemeyer Attademo, Paula Coutinho, Fábria de Oliveira Luna, Ana Emília Barboza de Alencar, Bruna Bezerra.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

JAIR MESSIAS BOLSONARO

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministro

JOAQUIM ALVARO PEREIRA LEITE

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Presidente

FERNANDO CESAR LORENCINI

Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento de Biodiversidade

MARCOS AURÉLIO VENANCIO

Coordenação de Assessoramento Técnico e Administrativo

ELEIDE ROSA MOURA AGUIAR

Coordenação-geral de Pesquisa e Monitoramento de Biodiversidade

KEILA RÊGO MENDES

Coordenação de Pesquisa e Gestão da Informação sobre Biodiversidade

IVAN SALZO

Coordenação -Geral de Estratégias para Conservação

LUCIANA DELLA COLETTA

Coordenação do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos

FÁBIA DE OLIVEIRA LUNA



**MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE**

Como citar a obra/How to cite:

UMEED, R.; LUCCHINI, K.; SILVA, F.J.L.; ATTADEMO, F.L.N., COUTINHO, P., LUNA, F.O.; ALENCAR, A.E.B.; BEZERRA, B. 2022. **Guia de gravação e análises de sons de Peixe-boi-marinho.** Brasília: ICMBio. 45 p.

Projeto Gráfico, Diagramação / Graphic project, Diagramming:

Matheus Soares e Karen Lucchini

Revisão ortográfica / Orthographic review

Karen Lucchini e Matheus Soares

Tradução para língua inglesa / Translation:

Rebecca Umeed

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação - CIP

Brasil. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Guia de gravação e análises de sons de Peixe-boi-marinho. / Rebecca Umeed, Karen Lucchini, Flávio José de Lima Silva, Fernanda Loffler Niemeyer Attademo, Paula Coutinho, Fábria de Oliveira Luna, Ana Emília Barboza de Alencar, Bruna Bezerra. - 1.ed. Brasília: ICMBio, 2022

45 pp.: il. Color

ISBN N° -978-65-5693-058-9

1. Sirênios. 2. Vocalização. 3. Onda sonora. 4. Efeitos sonoros I. Título.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade EQSW 103/104, Bloco "C",
Complexo Administrativo - Setor Sudoeste. CEP: 70670-350 - Brasília - DF.

GUIA DE GRAVAÇÃO E ANÁLISE DE SONS DE PEIXE-BOI-MARINHOS.

Autores (ordem Alfabética)

Ana Emília Barboza de Alencar:

Bióloga, mestre e doutoranda em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2004). Afiliação: Sócia-fundadora e Diretor da GISdrone Consultoria & Mapeamento Aéreo – GISdrone; doutoranda Programa de Pós-Graduação em Geociências, Departamento de Geologia – Universidade Federal de Pernambuco; Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0579912667809245>;

E-mail: alencar_aeb@yahoo.com.br

Bruna Bezerra:

Bióloga, Mestre em Biologia Animal pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco. Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade de Bristol (Reino Unido). Afiliação: Laboratório de Ecologia Comportamento e Conservação, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco. Bolsista de produtividade Pq2 do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4772160868667222>;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3039-121X>;

Email: bruna.bezerra@ufpe.br.

Fábia de Oliveira Luna:

Bióloga Marinha; especialista em aquicultura (UFRPE); Mestre e doutora em Oceanografia (UFPE); Membro do Grupo de especialistas em Sirênios da América do Sul para a IUCN; Membro do Comitê Científico da Convenção Internacional da Baleia (CIB). Afiliação: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade / Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA): Coordenadora.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8912525041395967>;

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8960-3462>;

E-mail. fabia.luna@icmbio.gov.br.

Fernanda Loffler Niemeyer Attademo:

Médica veterinária, especialista em Direito Ambiental (Universidade de Patos) e Saúde

GUIDE FOR THE RECORDING AND ANALYSIS OF ANTILLEAN MANATEE SOUNDS.

Authors (alphabetical order)

Ana Emília Barboza de Alencar:

Biologist, master and doctorate student in Geosciences from the Federal University of Pernambuco – UFPE (2004). Affiliation: Founding partner and Director of GISdrone Consulting and Aerial Mapping – GISdrone; Doctorate student at the Postgraduate Programme in Geosciences, Department of Geology – Federal University of Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0579912667809245>;

E-mail: alencar_aeb@yahoo.com.br.

Bruna Bezerra:

Biologist, Master in Animal Biology from the Postgraduate Programme in Animal Biology at the Federal University of Pernambuco. Doctor in Biological Sciences from the University of Bristol (United Kingdom). Affiliation: Laboratory of Ecology, Behaviour and Conservation, Department of Zoology, Federal University of Pernambuco. CNPq productive scholarship holder: (National Council for Scientific and Technological Development).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4772160868667222>;

Orcid: [0000-0003-3039-121X](https://orcid.org/0000-0003-3039-121X);

Email: bruna.bezerra@ufpe.br.

Fábia de Oliveira Luna:

Marine biologist; specialist in aquaculture (UFRPE); Master and Doctor in Oceanography (UFPE); Member of the South American Group of Sirenian Specialists for the IUCN; Member of the Scientific Committee of the International Whale Convention (CIB). Affiliation: Chico Mendes Institute of Biodiversity Conservation/National Centre of Research and Conservation of Aquatic (ICMBio/CMA): Coordinator.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8912525041395967>;

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8960-3462>;

E-mail. fabia.luna@icmbio.gov.br.

Pública (Universidade de Patos); mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento (PRODEMA/UERN); doutora em Ciências Veterinárias (UFRPE). Pós-doutoranda no Programa de Pós-graduação em Biologia Animal pela Universidade Federal de Pernambuco. Laboratório de Ecologia, Comportamento e Conservação, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Membro do GAT Peixe-boi-marinho; Membro do GAT Cetáceos e Membro da Comissão de animais selvagens do CRMV-PE. Afiliação: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade / Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA): Médica Veterinária. Laboratório de Ecologia Comportamento e Conservação, Departamento de Zoologia, Universidade Federal

de Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9900812205331872>;

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2640-6714>;

E-mail: niemeyerattademo@yahoo.com.br.

Flávio José de Lima Silva:

Biólogo e doutor em Psicobiologia (Comportamento Animal). Pós-doutor em Biologia Estrutural e Funcional. Coordenador Geral do Projeto Cetáceos da Costa Branca – UERN. Membro do GAT Peixe-boi-marinho; Membro do GAT Cetáceos e Membro da Comissão de animais selvagens do CRMV-PE. Afiliação: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade / Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA): Afiliação: Docente efetivo do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da UERN.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1421802360229451>;

E-mail: flaviogolfinho@yahoo.com.br.

Karen Lucchini:

Bacharel em Ciências Biológicas, com ênfase em Biologia da Conservação (UNESP/Botucatu), Mestre e doutoranda em Biologia Animal (Comportamento Animal) pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFPE. Afiliação: Instituto Chico Mendes de Conservação

Fernanda Loffler Niemeyer Attademo:

Veterinarian, specialist in Environmental Law (University of Patos) and Public Health (University of Patos); Master in Environment and Development (PRODEMA/UERN); Doctor in Veterinarian Sciences (UFRPE). Post Doctoral Student at the Post Graduate Programme in Animal Biology at UFPE. Member of the GAT Antillean manatee; Member of GAT Cetaceans and Member of the CRMV-PR Commission of wild animals. Affiliation: Chico Mendes Institute of Biodiversity Conservation/National Centre of Research and Conservation of Aquatic Mammals (ICMBio/CMA): Veterinarian. Laboratory of Ecology, Behaviour and Conservation, Department of Zoology, Federal University of Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9900812205331872>;

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2640-6714>;

E-mail: niemeyerattademo@yahoo.com.br.

Flávio José de Lima Silva:

Biologist and doctor in Psychobiology (Animal Behaviour). Post-Doctor in Structural and Functional Biology. General Coordinator of the White Coast Cetacean Project – UERN. Member of GAT Antillean manatee; Member of GAT Cetaceans and Member of the CRMV-PE Commission of wild animals. Affiliation: Chico Mendes Institute of Biodiversity Conservation/National Centre of Research and Conservation of Aquatic Mammals (ICMBio/CMA): Affiliation: Professor at the Post Graduate Programme in Natural Sciences at UERN.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1421802360229451>;

E-mail: flaviogolfinho@yahoo.com.br.

Karen Lucchini:

Bachelor in Biological Sciences, with an emphasis on the Biology of Conservation (UNESP/Botucatu), Master and Ph.D. Student in Animal Biology (Animal Behaviour) at the Post Graduate Programme in Animal Biology at UFPE. Affiliation: Chico Mendes Institute of Biodiversity Conservation/National Centre of Research and Conservation of Aquatic Mammals

da Biodiversidade/Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA): Bolsista DTI-B (CNPq). Laboratório de Ecologia Comportamento e Conservação, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0466847532755310>;

E-mail: lucchini.karen@gmail.com.

Paula Coutinho:

Bacharel em Ciências Biológicas (Universidade Estadual de Pernambuco - UPE), Mestre e doutoranda em Biologia Animal (Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFPE). Afiliação: Laboratório de Ecologia Comportamento e Conservação, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8869934832917995>;

E-mail: paula.djanira@ufpe.br.

Rebecca Umeed:

Bióloga marinha; Bacharel (BSc(hon)) em Biologia Marinha pela Universidade de St. Andrews (Escócia); Mestre e doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal (Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFPE). Afiliação: Laboratório de Ecologia Comportamento e Conservação, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3977299693793090>;

ORCID: [0000-0002-8039-1210](https://orcid.org/0000-0002-8039-1210);

E-mail: rnumeed@gmail.com.

(ICMBio/CMA): Scholarship holder DTI-B (CNPq). Laboratory of Ecology, Behaviour and Conservation, Department of Zoology, Federal University of Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0466847532755310>;

E-mail: lucchini.karen@gmail.com.

Paula Coutinho:

Bachelor in Biological Sciences (State University of Pernambuco – UPE), Master and Ph.D. Student in Animal Biology (Post Graduate Programme in Animal Biology at UFPE). Affiliation: Laboratory of Ecology, Behaviour and Conservation, Department of Zoology, Federal University of Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8869934832917995>;

E-mail: paula.djanira@ufpe.br.

Rebecca Umeed:

Marine Biologist, Bachelor degree in Marine Biology. (University of St. Andrews, Scotland); Master and Ph.D. student in Animal Biology (Postgraduate Programme in Animal Biology at UFPE). Affiliation: Laboratory of Ecology, Behaviour and Conservation, Department of Zoology, Federal University of Pernambuco.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3977299693793090>;

Orcid: [0000-0002-8039-1210](https://orcid.org/0000-0002-8039-1210);

E-mail: rnumeed@gmail.com,

SUMÁRIO / SUMMARY

APRESENTAÇÃO / PRESENTATION	Pag. 08
1. INTRODUÇÃO / INTRODUCTION	Pag. 10
2. COMUNICAÇÃO ACÚSTICA EM PEIXES-BOIS E SUA IMPORTÂNCIA PARA O MANEJO E CONSERVAÇÃO / ACOUSTIC COMMUNICATION IN MANATEES AND ITS IMPORTANCE IN MANAGEMENT AND CONSERVATION.....	Pag. 11
3. A CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO DE COMUNICAÇÃO ACÚSTICA PARA AS AÇÕES DO PAN PEIXE-BOI-MARINHO E A GESTÃO PÚBLICA / THE CONTRIBUTION OF STUDYING ACOUSTIC COMMUNICATION TO THE PAN ANTILLEAN MANATEE PLAN AND PUBLIC MANAGEMENT.....	Pag. 14
4. O SOM: ESTRUTURA E PROPAGAÇÃO / SOUND: STRUCTURE AND PROPAGATION	Pag. 18
4.1. ESTRUTURA DOS SONS NOS SIRÊNIOS / STRUCTURE OF SIRENIAN SOUNDS	Pag. 21
4.2 PROPAGAÇÃO DO SOM / SOUND PROPAGATION	Pag. 25
5. EQUIPAMENTOS PARA MONITORAMENTO ACÚSTICO DE PEIXES- BOIS / ACOUSTIC MONITORING EQUIPMENT FOR MANATEES	Pag. 26
6. CUIDADOS AO UTILIZAR OS EQUIPAMENTOS COM OS ANIMAIS / CARE WHEN USING EQUIPMENT WITH ANIMALS.....	Pag. 32
7. ANÁLISE DE SONS / SOUND ANALYSES.....	Pag. 35
8. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS / DATA INTERPRETATION.....	Pag. 39
9. GLOSSÁRIO / GLOSSARY.....	Pag. 41
10.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / BIBLIOGRAPHIC REFERENCES	Pag. 42

APRESENTAÇÃO

O Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (CMA) é um dos Centros de Pesquisa e Conservação do ICMBio (ICMBio, 2019). Embora a portaria seja recente, o CMA foi criado pelo IBAMA em 1998 (Portaria nº143/1998), a partir do Projeto Peixe-Boi-Marinho. O projeto foi criado em 1980 tendo 40 anos de atuação efetiva na conservação do peixe-boi-marinho, seja por gestão pública, ou por meio de atividades técnicas como resgate, reabilitação e soltura. O CMA realiza e incentiva pesquisas diversas voltadas para ecologia, comportamento, bem-estar e saúde do peixe-boi-marinho. O Centro foi responsável pela criação e coordenação da Rede de Encalhe e Informação de Mamíferos Aquáticos do Nordeste do Brasil (REMAB), que por sua vez é composta por quatro rede regionais (REMANE, REMASE, REMASUL e REMANOR).

Este guia foi desenvolvido pela equipe do ICMBio/CMA, e pesquisadores do Brasil que se dedicam a pesquisas acústicas e comportamentais dos peixes-bois-marinhos. Esta publicação tem como objetivo fornecer informações básicas sobre o tema para orientar estudantes e pesquisadores sobre os métodos básicos utilizados para análises acústicas, desde técnicas de coleta e equipamentos a softwares de análises e interpretação de dados. Ao longo do guia, usamos uma linguagem simples, e os termos técnicos foram explicados cuidadosamente no glossário. Além disso, esse guia se desenvolve de maneira bilíngue, com objetivo de ampliar a disseminação das informações aqui contidas.

O GUIA DE GRAVAÇÃO E ANÁLISES DE SONS DE PEIXE-BOI-MARINHO aborda inicialmente o entendimento básico sobre acústica, incluindo definição de som, estrutura específica de sons emitidos pelos Sirênios, e sua propagação. Na sequência, trata as modalidades de comunicação acústica em peixes-boi e sua importância para o manejo e conservação da espécie. Por fim, o guia descreve técnicas, equipamentos, cuidados e recursos para coletas, análises e interpretação de

PRESENTATION

The National Centre of Research and Conservation of Aquatic Mammals (CMA) is one of the ICMBio Research and Conservation Centres (ICMBio, 2019). Although its ordinance is relatively recent, the CMA was created by IBAMA in 1998 (Portaria nº143/1998) through the Antillean Manatee Project (Projeto Peixe-boi Marinho). The project was created in 1980 and has been active for over 40 years in the conservation of Antillean manatees through public management and technical activities such as rescues, rehabilitation and reintroduction. The CMA carries out and incentivises diverse research projects focusing on the ecology, behaviour, well-being and health of Antillean manatees. The Centre was responsible for the creation and coordination of the Network of Aquatic Mammal Strandings and Information in North-eastern Brazil (REMAB), which comprises four regional networks (REMANE, REMASE, REMASUL and REMANOR).

This guide was developed by the ICMBio/CMA team and other Brazilian researchers who dedicate themselves to the research of manatee acoustics and behavioural ecology. This publication aims to provide basic information on this topic to guide and inform students and researchers on the basic methods used for acoustic analyses, from collection techniques and equipment to analysis software and data interpretation. Throughout the guide, we use simple language, and the technical terms are explained in the glossary. Furthermore, this guide is published both in Portuguese and English, with the aim of increasing the distribution of the information contained here.

The **GUIDE FOR THE RECORDING AND ANALYSIS OF ANTILLEAN MANATEE SOUNDS** initially approaches basic acoustic understanding, including a definition of sound, specific structures of sounds emitted by manatees and their propagation. Following this, it explores the modalities of acoustic communication in

interpretação de dados acústicos.

A compreensão e padronização da gravação e análises de sons contribuem para auxiliar as tomadas de decisões técnicas e institucionais daqueles que atuam diretamente na conservação dos peixes-boi, podendo incentivar a pesquisa sobre o tema no Brasil. Os estudos com vocalização e efeitos sonoros também poderão contribuir para os resultados de ações do Plano Nacional de Conservação (PAN) do Peixe-boi-marinho, fortalecendo assim as políticas públicas sobre a espécie. Este guia é uma importante ferramenta de consulta e um guia balizador para a gestão das Unidades de Conservação (UCs) e Centros de Pesquisa do ICMBio, no que se refere à realização de pesquisa, monitoramento e avaliação de solicitações de licenças SISBIO, além de fornecer subsídio para tomadas de decisão e definição de estratégias conservacionistas para a espécie.

Vale destacar que, apesar dos estudos que embasaram este guia terem sido realizados com a espécie marinha, as metodologias aqui propostas podem também ser replicadas para o peixe-boi-amazônico, bem como para essas ou outras espécies de Sirênios fora do Brasil.

Fábia de Oliveira Luna.

manatees and its importance to the management and conservation of the species. Finally, the guide describes techniques, equipment, preventative measures and resources for the collection, analysis and interpretation of acoustic data.

The comprehension and standardisation of sound recording and analysis facilitate technical and institutional decisions made by those who work directly on the conservation of manatees and thus, encourages research on this topic in Brazil. Studies on vocalisations and the effects of sound can also contribute to the results of the Antillean manatee National Conservation Plan (Plano Nacional de Conservação – PAN), thus strengthening public policies for the species. This guide is an important consultation tool and guide for the management of Conservation Units (CU) and ICMBio Research Centres, which are responsible for the research, monitoring and evaluation of SISBIO license solicitation, as well as providing support for decision making and the creation of conservationist strategies for this species.

It is worth noting that although the studies that supported this guide were performed on a marine manatee species, the methodologies proposed here can also be replicated with Amazonian manatees as well as other species of Sirenians found outside of Brazil.

Fabia de Oliveira Luna.



1. INTRODUÇÃO

O peixe-boi-marinho (*Trichechus manatus*) é um mamífero aquático ameaçado de extinção no Brasil. A espécie foi altamente explorada pela caça, pelo menos, desde o descobrimento do país, em 1500, mas relatos indicam que mesmo antes deste período o peixe-boi já era caçado pelos indígenas (Brito et al., 2019). Animais bastante dóceis e de lenta locomoção, tornaram-se alvos fáceis da caça, pois possuíam uma carne muito apreciada pelos seus exploradores, além da extração de outras partes do animal, como o óleo, ossos e couro, utilizados para diferentes finalidades (Filho, 1939). Já nos primeiros relatos sobre peixes-boi, a emissão de som por esses animais era descrita pelos historiadores e navegadores como um canto emitido por sereias, havendo essa associação com esta figura mitológica (Alves, 1994). Posteriormente, esta lenda deu origem ao nome da Ordem taxonômica à qual o peixe-boi pertence: Sirenia. Desta forma, percebemos que a emissão de sons por peixe-boi, mesmo que empiricamente, contribuiu para o conhecimento e a conservação da espécie desde os primórdios do seu descobrimento. O entendimento sobre o modo de vida e a comunicação do peixe-boi-marinho são de extrema

1. INTRODUCTION

The Antillean manatee (*Trichechus manatus*) is an aquatic mammal threatened with extinction in Brazil. The species was strongly exploited through hunting, since the discovery of the country in 1500, however, reports indicate that before this period, manatees were hunted by indigenous people (Brito et al., 2019). Manatees are very docile animals, with slow locomotion and thus, become easy hunting targets as their meat is highly appreciated by their exploiters, as well as the extraction of other parts of the animal, such as oil, bone and skin, which are used for many other purposes (Filho, 1939). In the first reports on manatees, the emission of sound by these animals was described by historians and navigators as a song emitted by mermaids, resulting in their association with this mythological creature (Alves, 1994). Later, this legend gave rise to the name of the taxonomic order to which manatees belong: Sirenia. Thus, we notice that the emission of sounds by manatees, although empirical, contributed to the knowledge and conservation of this species since its first discovery. Understanding Antillean manatees' way of life and communication is extremely important for the management and

importância para o manejo e conservação da espécie. Entretanto, o estudo desses animais requer muita cautela, dedicação e planejamento para coletar, interpretar e disseminar os resultados de pesquisas. Análises acústicas requerem ainda mais cuidado e planejamento para coletas e análises, uma vez que dependem do uso de equipamentos e softwares específicos.

conservation of the species. Therefore, the study of these animals requires caution, dedication and planning for the collection, interpretation and dissemination of potential findings. Acoustic analyses require even more care and planning in terms of collection and analyses as they depend on the use of specific equipment and software programmes.



2. COMUNICAÇÃO ACÚSTICA EM PEIXES-BOIS E SUA IMPORTÂNCIA PARA O MANEJO E CONSERVAÇÃO

Os peixes-bois possuem sentidos relativamente desenvolvidos, havendo comunicação por diversas modalidades, incluindo o som e o tato. Eles são capazes de sentir o ambiente aquático através do tato e seus pelos sensoriais, assim como emitem e captam sons diversos desse ambiente (Umeed et al., 2018; Lucchini et al., 2021). Peixes-boi produzem vocalizações até mesmo estando fora da água durante o manejo clínico (Attademo, Comunicação pessoal). No caso de médicos veterinários que acompanham diariamente os animais, o reconhecimento dessas mudanças no padrão de vocalização individual pode auxiliar na avaliação clínica dos peixes-boi.

2. ACOUSTIC COMMUNICATION IN MANATEES AND ITS IMPORTANCE IN MANAGEMENT AND CONSERVATION

Manatees have relatively well-developed senses and four known communication modalities: vision, touch, acoustic and chemical. They are capable of feeling their environment through touch and their sensory hairs, as well as through the emission and capture of different sounds found in their environment (Umeed et al., 2018; Lucchini et al., 2021). Manatees even produce vocalisations when they are out of the water, during clinical procedures (Attademo, Personal communication). The identification of stressful situations allows for the adoption of measures that aim to reduce sources of stress and, in cases of clinical alterations, facilitate the definition of situations that require

A identificação de situação de estresse possibilita a adoção de medidas para redução das fontes estressoras e, em casos de alterações clínicas, facilita a definição de situações que necessitem de intervenção veterinária imediata.

As duas espécies de peixes-boi que ocorrem no Brasil são conhecidas por produzirem sinais acústicos diversos em subsuperfície, variando de 0.64kHz a 6kHz (Sousa-Lima et al., 2002; Niezrecki et al., 2003; Mann et al., 2006; Sousa-Lima et al., 2008; Chavarría et al., 2015; Umeed et al., 2018). No entanto, sua capacidade auditiva vai mais além, com audiogramas revelando sensibilidade a até 90kHz (Chavarría et al., 2015). Estudos sugerem a existência de uma comunicação vocal eficaz em peixes-boi-amazônico (Sousa-Lima et al., 2002) e peixes-bois-marinheiros (Sousa-Lima et al., 2008; Umeed et al., 2018). Os diferentes tipos de vocalizações desses animais têm o potencial de conter informações diferentes e, possivelmente, serem utilizados em contextos comportamentais distintos, e como uma maneira de manter contato entre indivíduos da mesma espécie (Miksis-Olds & Tyack, 2009; Sousa-Lima et al., 2008).

A comunicação acústica entre animais marinhos pode sofrer interferências de ruídos ambientais (Miksis-Olds & Tyack, 2009). Esses ruídos podem causar mascaramento das frequências das vocalizações, limitando consideravelmente a informação a ser transmitida no meio (Miksis-Olds & Tyack, 2009). Portanto, torna-se de grande importância o entendimento sobre o impacto dos ruídos antropogênicos no comportamento e na comunicação vocal entre peixes-bois-marinheiros. Considerando os limiares de audição do peixe-boi, percebe-se que a audição desses animais é pouco adequada para detectar os sons de baixas frequências produzidas por embarcações, que geralmente estão entre 0.01kHz e 2kHz (Gerstein et al., 1999; Colbert et al., 1999). Por conseguinte, é possível que esses animais não sejam capazes de identificar o som de embarcações com antecedência, o que explicaria o elevado

immediate veterinary intervention.

The two species of manatees that occur in Brazil are known for producing diverse underwater acoustic signals, varying between 0.64kHz and 6kHz (Sousa-Lima et al., 2002; Niezrecki et al., 2003; Mann et al., 2006; Sousa-Lima et al., 2008; Chavarría et al., 2015; Umeed et al., 2018). However, their auditory capacities are much more extensive, with audiograms revealing sensibilities of up to 150kHz (Ramos et al., 2020). Studies indicate the existence of effective vocal communication in Amazonian manatees (Sousa-Lima et al., 2002) and Antillean manatees (Sousa-Lima et al., 2008; Umeed et al., 2018). The different types of vocalisations produced by these animals potentially contain different information and may be used in distinct behavioural contexts, as well as playing a role in maintaining contact between conspecifics (Miksis-Olds & Tyack, 2009; Sousa-Lima et al., 2008).

Acoustic communication between marine animals can be negatively affected by interferences caused by environmental noise (Miksis-Olds & Tyack, 2009). This noise can result in the masking of vocalisations frequencies, which can considerably limit signals that are transmitted underwater (Miksis-Olds & Tyack, 2009). Therefore, it is of great importance to understand the impact of anthropogenic noise on the behaviour and vocal communication of Antillean manatees. In terms of manatee hearing thresholds, it is possible to note that the hearing of these animals is less than adequate for the detection of low frequency sounds produced by boats which generally fall between 0.01kHz and 2kHz (Gerstein et al., 1999; Colbert et al., 1999). Thus, it is possible that these animals are not capable of identifying the boat noises early, which would explain the increased number of collisions between boats and manatees (Borges et al., 2007).

número de colisões entre barcos e peixes-boi (Borges et al., 2007).

Estudos mais específicos podem analisar o tipo de vocalização que o animal apresenta e mesmo se existe mais de um indivíduo no local. Além disso, sons como motores de embarcações e ruídos antrópicos, podem ser detectados para que seja elaborado um mapa com a sobreposição das ameaças sonoras em áreas de ocorrência da espécie.

More specific studies can analyse the type of vocalisations that the animal produces and identify whether there is more than one individual in the area. Furthermore, sounds such as boat motors and anthropogenic noise can be detected and mapped in order to highlight acoustic threats in areas where the species occurs.



Figura 1. Fotos A e B mostram exemplos de busca sonora ativa em ambiente estuarino. Foto C mostra a gravação de fatores abióticos que podem afetar na propagação de chamados de peixe-boi.(Fotos: A e B: Fernanda Attademo; C: Bruna Bezerra).

Figure 1. Photos A and B show active sounds searching in a estuarine environment. Photo C shows the recording of abiotic factors in a manatee habitat, which can alter the structure of manatee vocalisations (Photos: A and B: Fernanda Attademo; C: Bruna Bezerra).



3. A CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO DE COMUNICAÇÃO ACÚSTICA PARA AS AÇÕES DO PAN PEIXE-BOI-MARINHO E A GESTÃO PÚBLICA

A avaliação da presença de peixes-boi em ambiente natural, por exemplo, pode ser realizada por meio de gravação de som. Como os animais podem passar muito tempo sem emitir sons, ou mesmo tê-los mascarados pela interferência de outros ruídos do ambiente, é importante desenvolver estratégias de gravação. Gravadores de som devem ser posicionados em áreas estratégicas, onde, mesmo sem a visualização do animal, suas vocalizações possam ser registradas, confirmando a presença da espécie. Esses locais podem ser próximos de bancos de fanerógamas marinhas (alimento natural do peixe-boi-marinho), em áreas estuarinas, e áreas com registro conhecido por moradores locais. Neste último caso, estudos etnobiológicos por meio de entrevistas semiestruturadas podem auxiliar na obtenção de informações de moradores locais quanto a presença do peixe-boi (Choi lima et al., 2017). É importante considerar o horário de gravação no planejamento estratégico. Peixes-bois-marinhos tentem a ser mais vocais no período noturno, portanto, gravações noturnas também

3. THE CONTRIBUTION OF STUDYING ACOUSTIC COMMUNICATION TO THE PAN ANTILLEAN MANATEE PLAN AND PUBLIC MANAGEMENT

The evaluation of the presence of manatees in natural habitats can be performed, for example, through the recording of sounds. As manatees can spend extended periods of time without emitting sounds, or when their sounds are masked by interference from other environmental sounds, it is important to develop recording strategies. Sound recorders should be positioned in strategic areas, where, even without visually observing the animal, their vocalisations can be registered thus, confirming the presence of the species. Thereby areas can be close to the banks of marine phanerogams (a natural Antillean manatee food resource), in estuarine areas and in areas with local residents. With regards to the latter, ethnobiological studies using semi-structured interviews can help to gather information from local residents regarding manatee presence (Choi lima et al., 2017). It is important to consider the recording period in the strategic planning stage. Antillean manatees tend to be more vocal during the night, therefore nocturnal recordings should also be considered.

deverem ser consideradas.

Os estudos sobre captação, produção e propagação de sons em peixes-boi podem contribuir para que pesquisadores e instituições possam alcançar metas do Plano de Ação Nacional para Conservação do Peixe-boi Marinho (PAN Peixe-boi Marinho). Verificando o efeito da propagação do som e da presença dos animais em áreas de forrageio, e comparando esses dados ao longo dos anos com outros aspectos ambientais, por exemplo, poderão ser verificados o efeito das mudanças climáticas nas áreas de alimentação dos peixes-boi (Ação 2.9: Avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre as áreas de forrageio e fontes de água doce do peixe-boi-marinho). Na elaboração de propostas de áreas de proteção para peixes-bois-marinhos, por meio destes estudos, é possível verificar se existe a presença de filhotes na região, caracterizando sua importância reprodutiva, ou se o local é comumente utilizado por populações, dentre outros parâmetros. Com isso, pode-se auxiliar tanto na proposta de criação de Unidades de Conservação (UC), como na elaboração do plano de manejo das UCs já existentes (Ação 3.6 Propor criação de novas áreas protegidas que contemplem o peixe-boi-marinho).

O turismo de observação de peixes-bois-marinhos, especialmente nas áreas em que são realizadas solturas da espécie, é uma importante atividade econômica para as comunidades locais. Entretanto, quando os peixes-bois-marinhos são liberados na natureza, é importante que eles adquiram comportamentos selvagens, e tenham a menor interferência antrópica possível. Por esta razão, é importante que os planos de manejo das UCs envolvidas contemplem o ordenamento desta atividade. Para auxiliar na definição dos limites entre a atividade e a presença dos peixes-bois-marinhos, estipular a capacidade de suporte de estresse dos animais, e o impacto das atividades, estudos sobre os efeitos sonoros também podem subsidiar as decisões e o monitoramento (Ação 6.4:

Studies on the capture, production and propagation of manatee sounds can help researchers and institutions to achieve the goals of the National Action Plan for the Conservation of Antillean Manatees (PAN Peixe-boi marinho). By investigating sound propagation and manatee presence in foraging areas and comparing these data throughout the years with other aspects, for example, environmental factors, it is possible to verify the effects of climate change on manatee feeding areas (Ação 2:9: Evaluate the effects of climate change on the feeding areas and freshwater sources of Antillean manatees). In studies such as these, it is possible to verify the presence of calves in specific regions. Thus, it highlights the importance of these areas for reproduction and facilitates the elaboration of potential Antillean manatee protected areas. This may aid in the creation of new Conservation Units (CU) or even in the revision of existing CU management plans (Action 3.6: Propose the creation of new protected areas for Antillean manatees).

Manatee observation tourism, especially in areas where the reintroduction of the individuals occurs, is an important economic activity for local communities. However, when Antillean manatees are re-released into the wild, it is vital that they acquire “natural” behaviours and experience the least amount of anthropogenic interference possible. Thus, it is important that the management of such CUs consider the control of anthropogenic activities. To aid in the delimitation of activities and the presence of Antillean manatees, studies on the effects of sound can also aid in decision making and monitoring strategies (Action 6:4: Articulate the insertion of manatee observation tourism ordinance in normative CU instruments with the occurrence of the species and Action 6.5: Assess the impact of observation tourism on Antillean manatees and define protocols of good practices).

Port areas, such as the Suape Port in the State of Pernambuco and Areia Branca Port in the municipality of Areia Branco in Rio Grande do

Articular a inserção do ordenamento do turismo de observação do peixe-boi-marinho em instrumentos normativos das UCs com ocorrência da espécie; e Ação 6.5: Avaliar o impacto do turismo de observação sobre o peixe-boi-marinho e definir protocolo de boas práticas).

As áreas portuárias, como o porto de Suape no Estado de Pernambuco e o Porto Areia Branca município de Areia Branca no Rio Grande do Norte, são regiões importantes para a presença dos peixes-boi. Historicamente, estas regiões possuíam populações da espécie e, atualmente, como ocorre em Areia Branca, ainda estão entre as principais áreas de encalhes de filhotes no Brasil (Balensiefer et al., 2017; PCCB-UERN informações pessoais). Sabe-se que o impacto das embarcações pode causar morte ou ferimento nos indivíduos (Borges et al., 2007; Borges et al., 2018; Basset et al., 2020), todavia, poucos são os estudos sobre como o som destas embarcações influenciam na presença ou afastamento deles. A introdução da metodologia de estudos dos efeitos sonoros poderá responder a estas lacunas, bem como propor medidas de mitigação do impacto (Ação 6.7: Propor ajustes no ordenamento da atividade de transporte em áreas portuárias, levando em consideração a presença do peixe-boi-marinho).

Os veículos náuticos de recreação, como lanchas e jet-skis, estão entre as principais causas de morte dos peixes-boi na Flórida com cerca de 20 - 25% das causas de óbito naquele país ou resultando em graves ferimentos (Basset et al., 2020). Além disso, estes veículos são capazes de emitir sons que podem afugentar os animais, separando mães de filhotes e resultando nos encalhes destes. Em áreas prioritárias, a gravação de som pode ser utilizada para verificar o impacto desta atividade, propondo áreas de realização de recreação náutica e corredores de fuga para a espécie. A fiscalização presencial destas áreas pode ser muitas vezes difícil, ou envolver grandes custos. O uso de gravadores pode auxiliar as áreas de proteção no acompanhamento das determinações de espaço, e checagem se

Norte, are known regions of manatee occurrence. Historically, populations of this species inhabit these regions and these are currently the most common areas of calf strandings in Brazil (Balensiefer et al., 2017; PCCB-UERN personal information). It is widely understood that interactions with boats can cause death or injury to individual manatees (Borges et al., 2007; Borges et al., 2018; Basset et al., 2020). However, few studies have investigated how these boats influence the presence or distribution of manatees in Brazil. Studies focusing on the effects of noise may serve to fill these gaps in knowledge, as well as facilitating the implementation of impact mitigation measures (Action 6:7: Propose adjustments to the ordinance of transport activities in port areas, taking the presence of Antillean manatees into consideration).

Recreational nautical vehicles, such as speed boats and jet-skis, are among the main causes of Florida manatee deaths and cause approximately 20-25% of deaths in the U.S. or can cause impacts resulting in serious injuries (Basset et al., 2020). Furthermore, these vehicles are capable of emitting sounds that can scare animals away, separating mothers and calves and resulting in strandings. In priority areas, recording sounds can be useful for verifying the impacts of these activities, for proposing recreational boating areas and/or flight corridors for this species. In-person inspections of these areas can often be difficult or involve great costs. Thus, the use of underwater recordings can facilitate the delimitations of protected areas and in checking the rate at which activities have been driving individuals away (Action 6.8: Propose to the relevant organisations, the ordinance of nautical recreational activities in areas of manatee occurrence).

Some activities involving boats, such as fishing, recreational or port-related activities, are important community economies and, thus, their prohibition is not possible. However, by analysing the sounds emitted as a result of these activities and

a atividade vem afugentando os indivíduos ali presentes (Ação 6.8: Propor aos órgãos competentes, o ordenamento da atividade de recreação náutica nas áreas de ocorrência do peixe-boi-marinho).

Algumas atividades que envolvem embarcações, sejam elas pesqueiras, recreativas ou portuárias, são importantes para a economia das comunidades e, devido a isso, não seria possível sua total proibição. Entretanto, analisando o som emitido pelas mesmas, e o retorno de vocalização dos peixes-boi, podem ser elaborados diferentes tipos de apetrechos, motores ou acessórios que possam reduzir o impacto aos animais. Isto pode ser feito comparando o comportamento dos animais com cada tipo de equipamento, ou mesmo das frequências emitidas (Ação 6.10 Propor a criação de instrumentos normativos regulando o uso de acessórios que tornem as embarcações menos impactantes aos peixes-bois-marinhos).

Além disso, o conhecimento sobre as sonorizações emitidas pelas mães quando estão realizando cuidado parental dos filhotes recém-nascidos, pode auxiliar no entendimento de aspectos em que fazem mãe perder seus filhotes nas primeiras semanas de vida, o que leva os mesmos ao encalhe e por consequência a necessidade de resgate para reabilitação. Caso seja possível identificar previamente situações de estresse em que podem fazer com que a mãe não consiga prestar todo cuidado parental necessário para evitar que o filhote se separe dela e encalhe, pode ser uma ferramenta de extrema importância para prevenção de encalhes dos filhotes, uma das maiores ameaças da espécie no litoral nordeste do Brasil, onde a quantidade de filhotes dependentes tem aumentado drasticamente nos últimos anos.

Vale destacar que a possibilidade de identificar a presença da mãe nas proximidades nas áreas de encalhes de filhotes, é uma das estratégias para realização da soltura imediata, ao se encontrar a mãe, o filhote pode ser devolvido de imediato à natureza, evitando que passe por todo processo de reabilitação em cativeiro artificial,

the time taken for manatee to resume vocalizing, different types of paraphernalia, motors or accessories can be developed, which can reduce the impact of these activities on manatees. This can be achieved through the comparison of manatee behaviours with each type of equipment or even through the analysis of the frequencies emitted (Action 6.10: Propose the creation of normative instruments regulating the use of accessories which cause boats to be less impactful to manatees).

Furthermore, gathering knowledge on the sounds emitted by mothers during parental care with their new-born calves can contribute to our understanding of potential causes of communication loss between mothers and calves in their first few weeks of life. Communication loss often results in strandings and, consequently, the need for rescuing and costly rehabilitation. The potential of identifying stressful situations in advance, i.e., situations where mothers unable to avoid separation from their calves, resulting in calf strandings, could become an extremely important tool for the prevention of calf strandings. The latter is one of the greatest threats to the species along the north-eastern coast of Brazil, where the quantity of dependent calves has increased drastically in the past few years.

It is worth highlighting that identifying the presence of a mother in the areas near where calf strandings occur is one of the strategies used by rescue teams for the immediate release of calves. When the mother can be located, the calf is immediately released into the wild thus, avoiding the costly and time-consuming rehabilitation process in artificial pools. Furthermore, it gives the calf the opportunity to grow in situ and with other native individuals, which is beneficial for the individual and manatee population. There is also the added reduction of financial and personal costs spent during the process of manatee rehabilitation in captivity.

tendo chance de crescer *in situ* e com outros indivíduos nativos o que é melhor para o espécime e para a população da espécie. Adicionado a redução de custos financeiros e de pessoal despendidos durante o processo de reabilitação de peixe-boi em cativeiro.



4. O SOM: ESTRUTURA E PROPAGAÇÃO

Os sons são produzidos a partir da vibração dos objetos, gerando o movimento de partículas em um meio que os transmite, causando estresses temporários que aumentam ou diminuem durante a cada vibração (United States Office of Scientific Research and Development, 1946; National Research Council, 2004; Hollar, 2013). Uma onda de pressão é emitida desta fonte de vibração, e quando essa onda se encontra com outro objeto, a vibração é passada para este, com a onda de pressão se propagando no meio (National Research Council, 2004). Desta forma, uma onda sonora que se propaga de um objeto, em uma direção externa, pode alcançar o ouvido de um receptor e, por conseguinte, causar a vibração do tímpano, iniciando o processo da audição (National Research Council, 2004; Hollar, 2013).

Ondas sonoras podem ser descritas em dois tipos de domínios: tempo e frequência. No domínio

4. SOUND: STRUCTURE AND PROPAGATION

Sounds are produced from the vibration of objects, which generates the movement of particles in a medium through which it is transmitted, causing temporary stresses which increase or decrease during each vibration (United States Office of Scientific Research and Development, 1946; National Research Council, 2004; Hollar, 2013). A pressure wave is emitted from this vibration source, and when this wave encounters another object, the vibration is passed to it, resulting in the pressure wave propagating throughout the medium (National Research Council, 2004). The sound wave which propagates from an object in an external direction can reach the ear of a receptor and can consequently cause the vibration of the eardrum, initiating the process of hearing (National Research Council, 2004; Hollar, 2013).

Sound waves can be described in two dominions: time and frequency.

temporal, o som é descrito como uma sequência de mudanças de pressão, i.e., oscilações, que ocorrem ao longo do tempo (National Research Council, 2004). No domínio da frequência, é definido em termos dos componentes tonais que compõem o som (National Research Council, 2004). Uma onda sonora tem três atributos físicos: frequência, amplitude e variação ao longo do tempo (National Research Council, 2004) (Figura 2) e é definida como a velocidade do som dividido pela frequência do som (Hollar, 2012).

A frequência se refere ao número de vezes por segundo em que o padrão vibratório oscila, e é medida utilizando unidades de Hertz (Hz) ou quilohertz (kHz) por segundo. A amplitude se refere à pressão sonora, e é geralmente medida utilizando decibel (dB). A variação temporal inclui vários fatores, como duração (ms).

In the time dominion, sound is described as a sequence of pressure changes, i.e., oscillations that occur throughout time (National Research Council, 2004). The frequency dominion is defined in terms of the tonal components which comprise the sound (National Research Council, 2004). A soundwave has three physical contributions: frequency, amplitude and variation throughout time (National Research Council, 2004) (Figure 2) and is defined as the speed of sound divided by sound frequency (Hollar, 2012).

Frequency refers to the number of times per second a vibration pattern oscillates and is measured using units of Hertz (Hz) or kilohertz (kHz) per second. Amplitude refers to sound pressure and is generally measured using decibels (dB). Temporal variation includes several factors, including duration (ms).

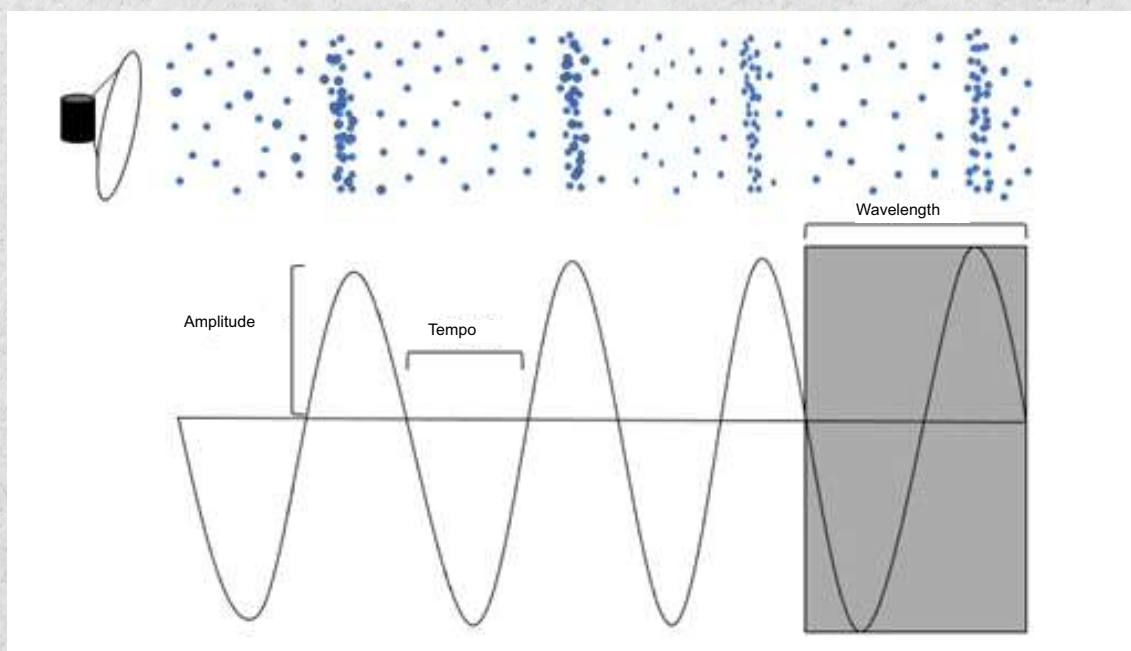


Figura 2. Desenho de uma onda sonora, ilustrando a amplitude, o tempo e o comprimento de onda (wavelength) do som no meio.

Figure 2. Schematic drawing of a soundwave, illustrating amplitude, time and wavelength of the sound in a medium.

A velocidade do som no ar sob condições padrões de temperatura e pressão é 331.45 ± 0.05 m/s (Bohn, 1988). Porém, fatores como temperatura e umidade afetam a elasticidade e a densidade de ar, respectivamente, então a velocidade muda dependendo destas variáveis (Bohn, 1988). Nos oceanos, a velocidade de som geralmente aumenta para 1450 m/s a 1550 m/s. Entretanto, isso varia dependendo do pH, salinidade e temperatura (Seghal et al., 2010, Lynch et al., 2018). Sons enfraquecem enquanto eles se transmitem no meio e em distâncias grandes da fonte do som, não podem ser detectados. A força de um som é identificada através da sua intensidade, que é definida como a taxa em que energia sonora se transmite em uma área de 1 cm^2 localizado diretamente no percurso da transmissão do som (United States Office of Scientific Research and Development, 1946). A escala decibel é o mais comumente utilizada para medir intensidade de som. Uma intensidade padrão é selecionada, conhecido como intensidade de referência, com que as outras intensidades de sons são comparadas (United States Office of Scientific Research and Development, 1946).

Uma das maneiras mais eficazes de analisar sons é utilizando espectrogramas (e.g. Figura 3), devido à sua facilidade de interpretação (Fulop & Fitz, 2006). Eles se originaram no começo da Segunda Guerra Mundial, em 1939, e foram originalmente chamados espectrógrafos de som (Fulop & Fitz, 2006). As análises resultantes destes espectrógrafos foram chamadas de espectrogramas (Fulop & Fitz, 2006). Os espectrogramas convencionais fornecem uma imagem demonstrando como a energia do som está distribuída em tempo e frequência (Fulop & Fitz, 2006).

The speed of sound in air, under standard temperature and pressure conditions, is 331.45 ± 0.05 m/s (Bohn, 1998). However, factors such as temperature and humidity affect the elasticity and density of air, respectively. Therefore, speed changes depending on these variables (Bohn, 1998). In the oceans, the speed of sound generally increases to between 1450m/s-1550m/s. However, this depends on pH, salinity and temperature (Seghal et al., 2010, Lynch et al., 2018). Sounds weaken during their transmission in a medium and are not detected at extended distances from sound sources. The force of sound is identified through its intensity, which is defined as the rate at which sound is transmitted in an area of 1cm^2 located directly in the path of sound transmission (United States Office of Scientific Research and Development, 1946). The decibel scale is the most commonly used to measure sound intensity. A standard intensity is selected, known as a reference intensity, to which other sound intensities are compared (United States Office of Scientific Research and Development, 1946).

One of the most effective methods of analysing sounds is using spectrograms (e.g., Figure 3) due to their ease of interpretation (Fulop & Fitz, 2006). They originated during the start of World War II in 1939 and were originally known as sound spectrographs (Fulop & Fitz, 2006). The resulting analyses from the spectrographs were known as spectrograms (Fulop & Fitz, 2006). Conventional spectrograms provide an image demonstrating how sound energy was distributed in time and frequency (Fulop & Fitz, 2006).

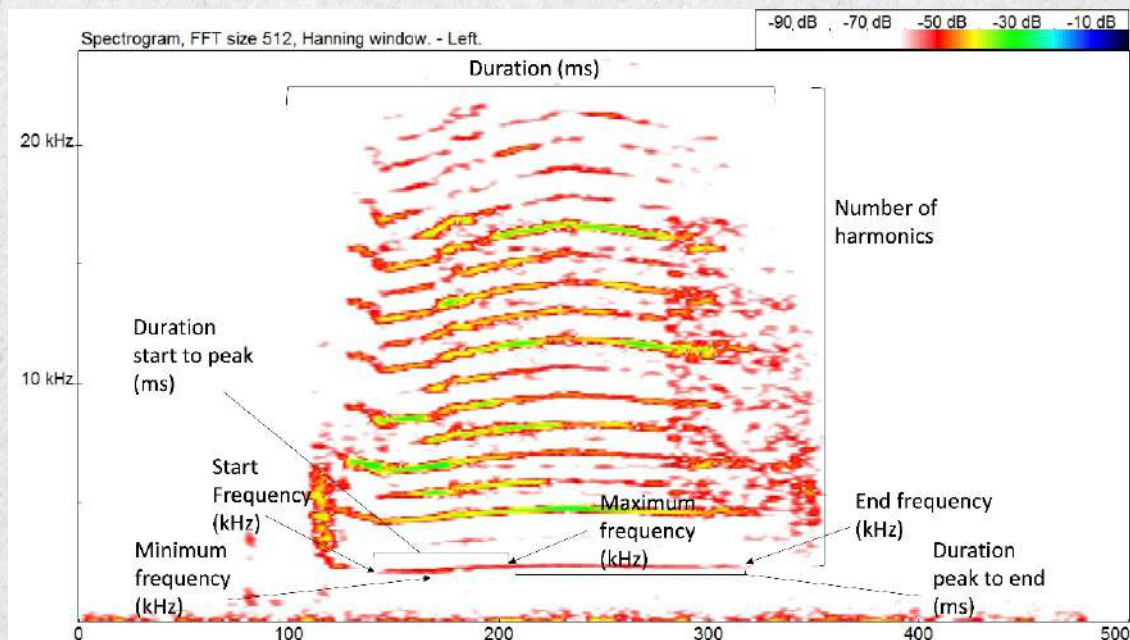


Figura 3. Exemplo de onde obter as características físicas das vocalizações dos peixes-boi. O espectrograma foi gerado no BatSound.

4.1 ESTRUTURA DOS SONS NOS SIRÊNIOS

Vocalizações produzidas por animais marinhos em subsuperfície geram vibrações com densidades semelhantes à da água, assim, o som é transmitido de maneira eficiente para o ambiente (Tyack, 2000; Umeed, 2016). Chapla et al. (2007) constatou que os tecidos moles da cabeça dos peixes-boi têm densidade semelhante à da água do mar, o que sugere uma propagação facilitada das ondas sonoras de um meio para outro. No entanto, o caminho definitivo da transferência do som para a água ainda não foi estabelecido claramente para esses animais (Landrau-Giovanetti et al., 2014; Umeed, 2016).

O mecanismo de produção de som em Sirênios é relativamente desconhecido (Landrau-Giovanetti et al., 2014). Estudos mostram que os peixes-bois-marinhos não possuem cordas vocais verdadeiras em sua laringe (Caldwell e Caldwell, 1985), portanto, acredita-se que outras estruturas homólogas possam ser responsáveis pela geração de sons (Landrau-Giovanetti et al., 2014; Umeed, 2016). A produção e a estrutura das vocalizações nos *Trichechus manatus*, tem sido bastante

Figure 3. Example of where to obtain the physical characteristics of manatee vocalisations. Spectrogram generated in BatSound.

4.1 STRUCTURE OF MANATEE SOUNDS

Vocalisations produced by marine animals underwater generate vibrations with densities similar to that of water, and thus, sound is transmitted in an effective way in the environment (Tyack, 2000; Umeed, 2016). Chapla et al. (2007) noted that the soft tissues of manatee heads have a density similar to that of water, which suggests the facilitation of soundwave propagation from one medium to another. However, the definitive path of sound transference to water has still not been clearly established for these animals (Landrau-Giovanetti et al., 2014; Umeed, 2016).

The mechanism of sound production in sirenians is relatively unknown (Landrau-Giovanetti et al., 2014). Studies have shown that Antillean manatees do not have true vocal cords in their larynges (Caldwell & Caldwell, 1985). Therefore, it is believed that other homologous structures may be responsible for the generation of sounds (Landrau-Giovanetti et al., 2014; Umeed, 2016). The production and structure of vocalisations in *Trichechus manatus* have been well studied (Niezrecki et al.,

estudada (Niezrecki et al., 2003; Nowacek et al., 2003; Mann et al., 2006; O'Shea & Poche, 2006; Sousa-Lima et al., 2008; Chavarría et al., 2015; Umeed et al., 2018). Suas vocalizações são compostas por uma frequência fundamental e, dependendo do tipo de vocalização, pelas demais frequências harmônicas (Phillips et al., 2004; O'Shea & Poche, 2006; Umeed et al., 2018). Elas são geralmente compostas por uma sílaba e podem ser produzidas individualmente, ou formar uma sequência de várias vocalizações (Sousa-Lima et al., 2008; Chavarría et al., 2015; Umeed et al., 2018).

As medidas das variáveis estruturais (frequência em Hz ou kHz e duração em s ou ms) são retiradas da frequência fundamental. As variáveis de frequência usualmente são frequência máxima, frequência mínima, frequência de máxima energia, frequência no começo da vocalização e frequência no final da sílaba (Figura 3). As variáveis temporais incluem duração de sílaba, duração do começo da vocalização, até o pico da frequência máxima e duração do pico até o final da sílaba. O número de harmônicas também é contado. Se organizadas de maneira adequada (Figura 3), essas medidas fornecem informações sobre o tipo de vocalização, e podem ser utilizadas para identificar o sexo e a faixa etária dos peixes-bois-marinhos (Umeed et al., 2018). Essas variáveis podem ser dispostas em uma planilha conforme na Figura 4 para análises posteriores.

2003; Nowacek et al., 2003; Mann et al., 2006; O'Shea & Poche, 2006; Sousa-Lima et al., 2008; Chavarría et al., 2015; Umeed et al., 2018). Their vocalisations are composed of one fundamental frequency and, depending on the type of vocalisation, by other harmonic frequencies (Phillips et al., 2004; O'Shea & Poche, 2006; Umeed et al., 2018).

The measurements of structural variables (frequency in Hz or kHz, duration in s or ms) are recorded from the fundamental frequency. The frequency variables are usually the maximum and minimum frequencies, frequency of maximum energy, frequency at the start of the call and frequency at the end of the call (Figure 3). The temporal variables include call duration, duration from the start of the call to the peak maximum frequency and duration from the peak to the end of the call. The number of harmonics is also counted. If organised efficiently (Figure 4), these measurements can provide information about the type of vocalisation and can be used to identify the sex and age group of Antillean manatees (Umeed et al., 2018). These variables can be recorded in a spreadsheet, as shown in Figure 4, for posterior analyses.

Number	File time	Vocal sign	Behavioural situation	File number	Number of Syllables	Syllable Duration (ms)	Frequency of maximum energy (kHz)	Maximum frequency (kHz)	Minimum frequency (kHz)	Δ Frequency (kHz)	Start Frequency (kHz)	Stop Frequency (kHz)	Duration start to peak (ms)	Duration peak to end (ms)	Number of harmonics	Inter-harmonic frequency (kHz)
1	08:00	Squeak	Rest	1	1	88.62	3.36	3.61	3.39	0.22	3.54	3.39	22.59	66.03	4	1.16

Figura 4. Exemplo da organização no Excel de dados da estrutura física de vocalizações obtidas de espectrogramas.

Figure 4. Example of organising acoustic variables in Excel from vocalisations obtained in spectrograms.

As frequências fundamentais das vocalizações produzidas por peixes-bois-marinhos adultos e juvenis variam entre 0.64kHz e 8.1kHz (Chavarría et al., 2015; Umeed et al., 2018). Estudos recentes mostram que podem alcançar 150kHz, até produzindo vocalizações com componentes ultrassônicos (Ramos et al., 2020). Seis tipos de vocalizações foram descritas para peixes-bois-marinhos (Umeed et al., 2018), de maneira que algumas são específicas de machos, fêmeas e juvenis (Figura 5).

As vocalizações de filhotes em cativeiro têm sido menos estudadas, ainda havendo uma carência desses dados na literatura. Observações preliminares de um filhote macho com idade de dois anos no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA), mostrou a produção de apenas um tipo de vocalização quando o animal se encontrava isolado. Essa vocalização possui um número de frequências harmônicas muito maior do que as vocalizações de adultos e juvenis, alcançando frequências acima de 40kHz (Figura 6). Diferenças também têm sido observadas em peixes-bois machos em semi-cativeiro (Guimarães et al., 2019) e pares de mães com filhotes em vida livre (Umeed et al., 2019, Figura 6), o que introduz a ideia de que o tipo de habitat pode influenciar nos tipos de vocalizações produzidas pelos peixes-bois-marinhos.

The fundamental frequencies of vocalisations produced by adult and juvenile Antillean manatees vary between 0.64kHz and 8.1kHz (Chavarría et al., 2015; Umeed et al., 2018). Recent studies have shown that these frequencies can reach up to 150kHz and that manatees can even produce vocalisations with ultrasonic components (Ramos et al., 2020). Six types of vocalisations have been described for Antillean manatees (Umeed et al., 2018), with some being specific to males, females and juveniles (Figure 5).

The vocalisations of calves in captivity have been less well studied, with these data lacking in the literature. Preliminary observations of a two-year old male calf in the Chico Mendes Institute of Biodiversity Conservation/National Centre of Research and Conservation of Aquatic Mammals (ICMBio/CMA), showed the production of only one type of vocalisation when the animal was isolated. This vocalisation had a much greater number of harmonics compared to adult and juvenile vocalisations, reaching frequencies of over 40kHz (Figure 6). Differences have also been observed in male manatees in semi-captivity (Guimarães et al., 2019) and mother-calf pairs in the wild (Umeed et al., 2019, Figure 6), which introduces the idea that habitat type can influence the kinds Duration (ms) Frequency (kHz) of vocalisations produced by Antillean manatees.

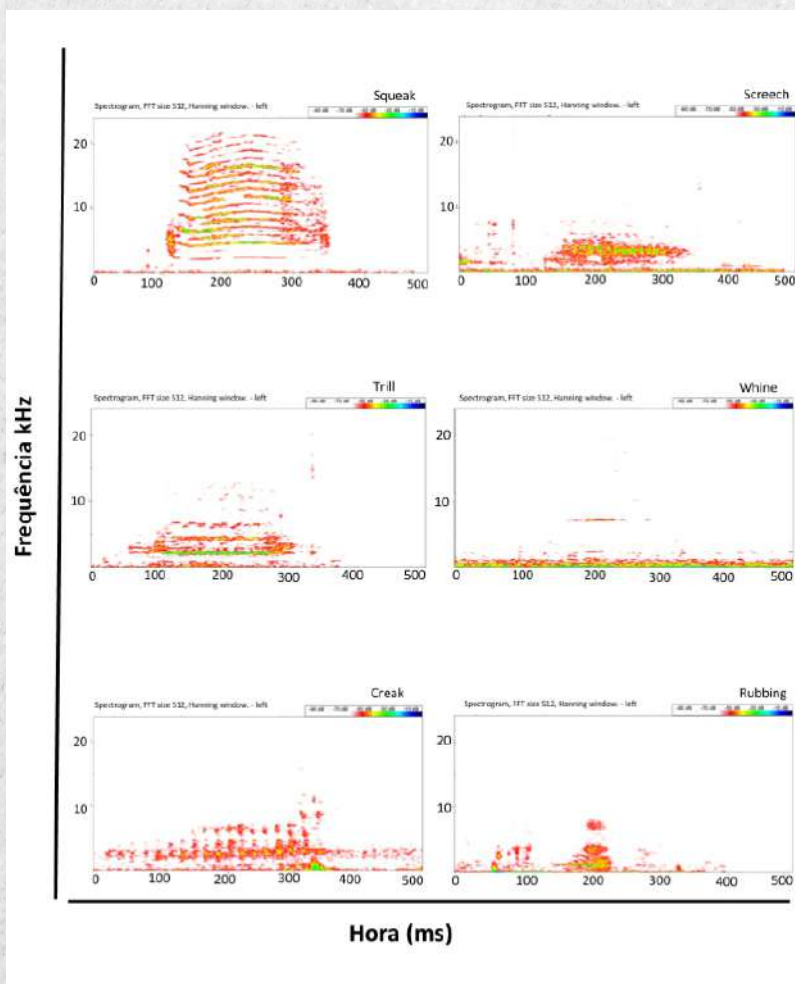


Figura 5. Espectrogramas de tipos de vocalizações emitidas por peixes-bois-marinhos mantidos no oceanário do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA) em Itamaracá, Pernambuco, Brasil. Espectrograma construído com o software BatSound. Fonte: Umeed et al., 2018.

Figure 5. Spectrograms of types of vocalisations produced by Antillean manatees kept in the oceanariums of the Centro Nacional de Pesquisa e Conservação e Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA) in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. Spectrograms constructed with the BatSound software: Source: Umeed et al., 2018.

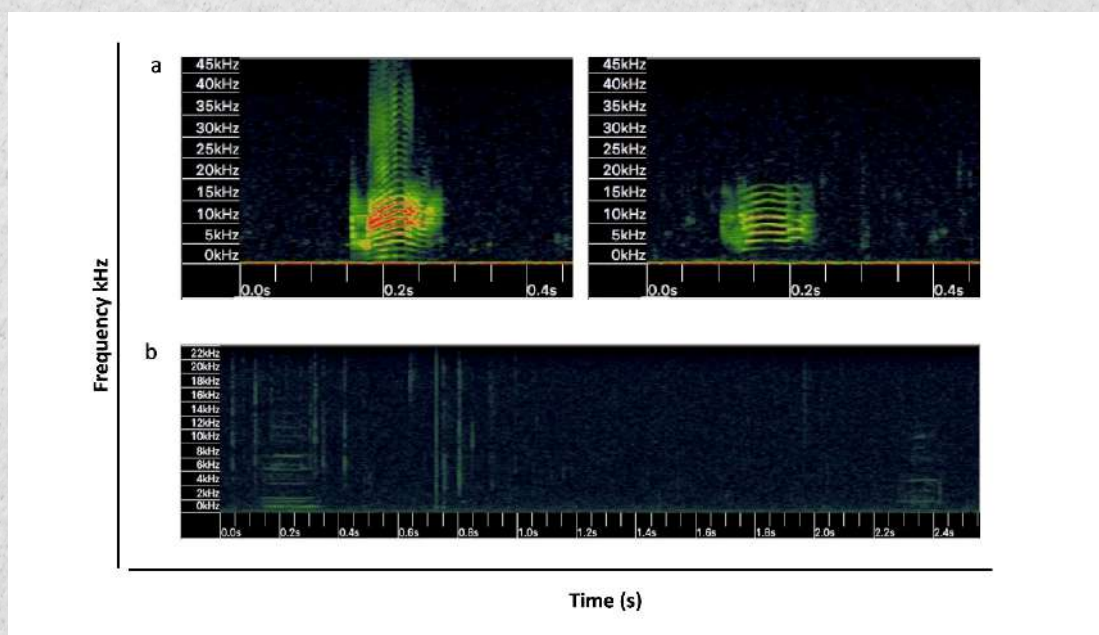


Figura 6. a) Espectrograma de duas vocalizações produzidas por Leno, peixe-boi filhote localizado no ICMBio/CMA, na Ilha de Itamaracá, Pernambuco, Brasil. b) Espectrograma de uma interação de chamada e resposta entre mãe e filhote de vida livre. Os espectrogramas foram gerados utilizando o software Kaleidoscope, Wildlife Acoustics.

Figure 6. a) Spectrogram of two vocalisations produced by Leno, a manatee calf located in the ICMBio/CMA, on Itamaracá Island, Pernambuco, Brazil. b) Spectrogram of a call-response interaction between a wild mother and calf. The spectrograms were generated using Kaleidoscope pro5, Wildlife Acoustics.

4.2 PROPAGAÇÃO DO SOM

Quando sinais acústicos são transmitidos dentro da água, eles sofrem uma redução da força com o aumento da distância (Sehgal et al., 2010). Essa diminuição na intensidade acústica se chama perda de propagação, e pode ser causada por três fatores: espalhamento geométrico, atenuação e anomalia de propagação (Sehgal et al., 2010). É quase impossível modelar a anomalia de propagação, porém, o espalhamento geométrico trata das perdas de sinais que ocorrem devido aos efeitos de foco e desfocagem, causados pelo espalhamento de ondas acústicas no oceano, como o resultado de refração e reflexão (Sehgal et al., 2010). A atenuação é a perda de um sinal associado à absorção dependente da frequência em subsuperfície (Sehgal et al., 2010). A absorção de som diminui com a diminuição de pH, ou seja, flutuações de pH podem determinar a distância até onde um som pode ser transmitido (Ilyina et al., 2009). Em águas rasas, a temperatura da coluna de água e a salinidade também controlam a propagação do som (Lynch et al., 2018).

Em águas rasas existem ainda duas barreiras: a superfície e o substrato (Forrest, 1994). Por consequência, sons acima de uma determinada frequência se propagam com atenuação mínima abaixo da água (Forrest, 1994). O alcance efetivo da comunicação em ambientes aquáticos depende de vários fatores, como características da perda de propagação da área, frequência e amplitude das vocalizações emitidas, sensibilidade auditiva dos animais e ruído ambiente (Miksis-Olds & Tyack, 2009; Umeed, 2016). Essas informações nos levam à conclusão de que os peixes-bois-marinheiros em vida livre devem utilizar estratégias para alterar as estruturas das suas vocalizações, devido às mudanças físicas entre as águas do manguezal e do oceano em que habitam, resultando assim em uma plasticidade vocal.

4.2 SOUND PROPAGATION

When acoustic signals are transmitted underwater, they suffer a reduction in force with increasing distance (Sehgal et al., 2010). This decrease in acoustic intensity is known as a propagation loss and can be caused by three factors: geometric spreading, attenuation and propagation anomalies (Sehgal et al., 2010). It is almost impossible to model propagation anomalies, however, geometric spreading is the term used for signal loss which occurs due to the focusing and defocusing of soundwaves caused by spreading in the ocean as a result of refraction and reflection (Sehgal et al., 2010). Attenuation is the loss of acoustic signals associated with frequency-dependent absorption at the surface (Sehgal et al., 2010). Sound absorption decreases with a decrease in pH, i.e., fluctuations in pH can determine the distance at which a soundwave can be transmitted (Ilyina et al., 2009). In shallow waters, water column temperature and salinity can also control sound propagation (Lynch et al., 2018).

There are two further barriers in shallow water, the surface and substrate (Forrest, 1994). Consequently, sounds above a determined frequency are propagated with minimal attenuation underwater (Forrest, 1994). The effective reach of communication in aquatic environments depends on several factors such as characteristics of propagation loss in the area, frequency and amplitude of emitted vocalisations, auditory sensitivity of animals and environmental noise (Miksis-Olds & Tyack, 2009; Umeed, 2016). This information leads us to the conclusion that wild Antillean manatees could use strategies for altering the structure of their vocalisations due to physical changes between mangrove and ocean waters which they inhabit - thus resulting in vocal plasticity.



5. EQUIPAMENTOS PARA MONITORAMENTO ACÚSTICO DE PEIXES-BOIS

O registro dos sons dos peixe-bois deve ser realizado com equipamentos de gravação subaquático sensíveis às frequências acústicas emitidas por esses animais. Dessa forma, é minimamente recomendado um hidrofone com frequência linear de resposta entre 20Hz e 20kHz, acoplado a um gravador com frequência de resposta similar. A gravação deve ser monitorada por auriculares acoplados ao gravador, também com frequência de resposta similar. Exemplos de equipamentos de gravação subaquática estão listados na Tabela 1. A taxa de amostragem do gravador deve ser de pelo menos 16-bit e 48 kHz, durante a gravação de adultos e juvenis, e 16-bit 96kHz durante a gravação de infantes, mantendo a regulagem do nível de gravação do gravador no formato manual, quando possível. A diferença das configurações 48kHz e 96kHz existe porque as vocalizações produzidas por peixes-boi infantes têm frequências muito mais altas comparadas aos juvenis e adultos. Portanto, para capturar a estrutura completa das vocalizações dos mesmos, é necessário aumentar a taxa de amostragem.

5. ACOUSTIC MONITORING EQUIPMENT FOR MANATEES

Recording manatee sounds should be performed with underwater recording equipment that is sensitive to the acoustic frequencies of the sounds emitted by these animals. Thus, a hydrophone with a linear frequency response between 20Hz and 20kHz is the minimum recommendation, together with a recorder which has a similar frequency response. The recordings should be monitored by earphones attached to the recorder, which should also have a similar frequency response. Examples of underwater recording equipment are listed in Table 1. The sample rate of the recorder should be at least 16-bit and 48kHz, during adult and juvenile recordings and 16-bit 96kHz during calf recordings, maintaining the recording level setting as “manual” when possible. The difference between the 48kHz and 96kHz configurations exist as vocalisations produced by calves have much higher frequencies compared to juveniles and adults. Therefore, in order to capture the complete structure of manatee vocalisations, it is necessary to increase the sample rate. However, when the sample rate is 96kHz and 16-bits,

Porém, enquanto a taxa de amostragem for de 96 kHz e 16 bits, o tamanho do arquivo da gravação aumenta consideravelmente, devido ao aumento de informações contidas nas gravações. Gravações devem ser realizadas em formato WAV, sem compressão, para preservar as propriedades dos sons, e para que os mesmos possam ser usados posteriormente em estudos complementares.

the size of the recorded file increases considerably due to an increase in the information contained in the recordings. Recordings should be taken in WAV format in order to preserve the sound properties and to allow for the recordings to be used posteriorly in complementary studies.

Equipamento	Marca	Local sugerido de compra
Equipment: AudioMoth 1.1.0	Open Acoustics Devices	https://www.openacousticdevices.info/purchase
Hidrofone modelo SQ26-H1 conectado à um gravador Zoom H1	Cetacean Research Technology hydrophone	https://www.cetaceanresearch.com/hydrophone-systems/crt/sq26-h1/index.html
Sistema de gravação nRUDAR-mk2	Cetacean Research Technology hydrophone	https://www.cetaceanresearch.com/hydrophone-systems/rudar/index.html
Sistema de Hidrofone Dolphin ear Pro-Series	DolphinEar	https://dolphinear.com/pro.html
Hidrofone SM3-H1 conectado em um gravador SM4 ou SM2	Wildlife acoustics	https://www.wildlifeacoustics.com/products/song-meter-sm4
SoundTrap 300	Ocean Instruments, New Zealand	http://www.oceaninstruments.co.nz/soundtrap-300/
LS1/LS2/LS1X/LS2X Multicard Recorder	Loggerhead Instruments	https://www.loggerhead.com/acoustic-dataloggers-2

Tabela 1. Exemplos de equipamentos de gravação subaquática para obtenção de vocalizações de peixes-boi. Outros sistemas de gravação podem ser utilizados, desde que possuam especificações semelhantes aos listados aqui.

Table 1. Examples of underwater recording equipment for the capture of manatee vocalisations. Other recording systems can be used as long as the specifications are similar to those mentioned here.

Em ambiente de cativeiro, para evitar que os peixes-boi mordam, engulam ou interajam com o hidrofone, é recomendado inseri-lo dentro de um cano de PVC com furos diversos (Figuras 7 a 11). Esse cano deve ser, preferencialmente, semelhante aos canos do oceanário-recinto, para não despertar o interesse dos animais, por se tratar de algo novo ou diferente. Para gravações em ambiente natural, o hidrofone pode ser usado diretamente na água, sem a necessidade de proteção, visto que a distância entre o equipamento de gravação e os animais usualmente é maior.

In captive environments, the insertion of hydrophones into PVC pipes with several holes at the base (Figures 7 to 11) is recommended in order to avoid manatees biting, swallowing or interacting with the hydrophone. This pipe should, preferably, be similar to the pipes located in the oceanariums to avoid drawing the animals' attention to a new and different object. For recordings in natural environments, the hydrophone can be used directly in the water without protection, as the distance between the recording equipment and the animals is usually greater.



Figura 7. Exemplo de equipamento de gravação subaquático. A - D) Detalhes do cano de PVC com furos para posicionamento do hidrofone em seu interior; Medida de comprimento dos canos em B e C: 1 m. E) Hidrofone modelo SQ26-H1, conectado a um gravador Zoom H1; F) AudioMoth (Fotos: Rebecca Umeed)

Figure 7. Example of underwater recording equipment. A-D) Details of a PVC pipe with holes where the hydrophone is positioned inside; Measurements of the length of the pipes in B and C: 1m. E) Hydrophone model SQ26-H1 connected to a Zoom H1 recorder; F) AudioMoth. (Photos: Rebecca Umeed).



Figura 8. Posicionamento do cano com hidrofone para proteção do equipamento (Fotos: Paula Coutinho).

Figure 8. Positioning of the pipe with hydrophone inside for the protection of the equipment (Photos: Paula Coutinho).



Figura 9. Uso do cano com hidrofone para proteção do equipamento (Foto: Fernanda Attademo).

Figure 9. Use of a hydrophone with a pipe for the protection of the equipment (Photo: Fernanda Attademo).



Figura 10. Animal interagindo com o equipamento, sem risco de ingestão do hidrofone pela proteção do cano (Foto: Fernanda Attademo).

Figure 10. Animals interacting with the equipment, with no risk of ingesting the hydrophone due to its protection by the pipe (Photo: Fernanda Attademo).



Figura 11. Animais e equipamento, no mesmo recinto, evitando riscos com a utilização do hidrofone dentro do cano de proteção(Foto Fernanda Attademo).

Após o uso, recomenda-se que os equipamentos que ficaram sob a água sejam lavados com água doce e seguramente secados, para evitar oxidação dos componentes de gravação. Quando não estiver em uso, seu armazenamento deve ser em local arejado, livre de umidade ou de exposição solar, e sem as baterias, para evitar vazamentos que podem danificar o equipamento.

Durante a realização das gravações, o gravador portátil (ex. Zoom H1) não pode ser molhado, e deve ser mantido longe da exposição solar direta, a fim de evitar superaquecimento, danos ao equipamento e a consequente perda de gravações. No entanto, outros equipamentos podem ser completamente submergidos em água, a exemplo do Sistema de gravação nRUDAR-mk2 ou hydromoth.

Esses casos são interessantes para gravações passivas de maior duração, ou para o ou para o

Figure 11. Animals and equipment in the same pool. The researcher is using the hydrophone inside the pipe for protection to avoid the potential risk of ingestion by the manatee (Photo: Fernanda Attademo).

After using this equipment, we recommend that it should be cleaned using freshwater and thoroughly dried to avoid the oxidation of the recording components. When the equipment is not being used, it should be kept in a ventilated, dry area out of direct sunlight and with the batteries removed to avoid leaks which could damage the equipment.

During recordings, portable recorders (e.g., Zoom H1) are not water-resistant and must be kept out of direct sunlight in order to avoid overheating, damage to equipment and consequently a loss of recordings. However, other equipment can be submerged underwater, such as the recording system nRUDAR-mk2 or hydromoth. This type of equipment is useful for long-term passive recordings or for the accompaniment of animals during individual dives.

Other passive recording equipment from

acompanhamento dos animais durante mergulhos autônomos.

Outros equipamentos com os gravadores passivos da Wildlife Acoustics e Open Acoustic Devices que também permitem um tempo prolongado de gravações passivas. Um ponto para se observar nestes últimos é a qualidade das baterias e o tempo levado para preencher o cartão de memória, de forma que seja feita a troca periódica dos mesmos.

Dependendo da situação, as gravações podem ser feitas sob condições experimentais, após apresentação de algum estímulo sonoro aos animais. Sons dos animais podem ser reproduzidos artificialmente sob a água, com auxílio de amplificadores subaquáticos, visando estimular respostas vocais. Um exemplo de amplificador subaquático é o LL916, acoplado a um AC203E Circuit Master (Marca Lubell).

Durante a reprodução artificial das vocalizações, recomenda-se uso de volume semelhante ao encontrado na natureza, para minimizar potencial estresse aos animais. Quando em cativeiro, deve-se tomar cuidado extra no volume de reprodução de vocalizações, visto que as paredes do oceanário podem alterar a estrutura dos sons.

Além das gravações diurnas, gravações noturnas dos animais também são recomendadas, tendo em vista que estudos preliminares indicam maior taxa de vocalização dos peixes-boi durante a noite (Costa et al., 2018).

Para armazenamento das gravações, recomenda-se o uso de discos rígidos ou “flash drives” externos, assim como um sistema de armazenamento em nuvem, como o Google Drive, Dropbox, iCloud, ou sistemas semelhantes.

Wildlife Acoustics and Open Acoustic Devices, also allows for the capture of long periods of passive recordings. It is important to pay close attention to the battery quality and time taken to fill memory cards in order to replace each accordingly.

Depending on the situation, the recordings can be taken under different experimental conditions, after the presentation of sound stimuli to the animals. Animal sounds can be reproduced artificially underwater with the aid of underwater speakers, with the aim of stimulating vocal responses. An example of an underwater speaker is the LL916 together with a AC203E Circuit Master (Lubell's Labs).

During the artificial reproduction of vocalisations, it is recommended that a volume similar to that found in nature is used in order to minimise potential stress to the animals. When in captivity, extra care should be taken with the volume of the vocalisation playback, since the walls of the oceanariums can alter the structure of sounds.

We also recommended nocturnal recordings since preliminary studies have shown that manatees produce vocalisations at a greater rate during the night (Costa et al., 2018).

To store recordings, hard disks or external flash drives should be used, as well as an online storage system such as Google Drive, Dropbox, iCloud or similar systems.



6. CUIDADOS AO UTILIZAR OS EQUIPAMENTOS COM OS ANIMAIS

Os peixes-boi são animais curiosos, especialmente aqueles em reabilitação, ou que já passaram por esse processo. Por esta razão, podem interagir com o hidrofone inserido na água, levando-o à boca. Neste caso, o equipamento tanto pode ser engolido pelo animal, como vir a sofrer danos. Visando salvaguardar o bem-estar do animal, a atividade de gravação de sons deve ser bem planejada, elaborando uma estrutura de proteção que evite o contato direto com o equipamento, conforme previamente mencionado e ilustrado na Figura 7.

É importante que veterinários, pesquisadores e tratadores obedeçam a protocolos de biossegurança para evitar potenciais contaminações dos animais e dos pesquisadores. Esses protocolos são buscados para impedir a transmissão de doenças, já que tanto os peixes-bois como os humanos são mamíferos, o que torna a transmissão entre essas espécies, mais fácil de ocorrer. Além disso, borrifos de água e ar chegam à superfície, muitas vezes próximos aos pesquisadores e tratadores, quando os peixes-bois respiram. Essas medidas devem sempre serem adotadas, mas deve-se

6. CARE WHEN USING EQUIPMENT WITH ANIMALS

Manatees are curious animals, especially those undergoing rehabilitation or those that have already gone through this process. For this reason, they can interact with the hydrophone which is inserted into the water and may attempt to chew and/or ingest it. In cases such as these, the equipment can be swallowed by the animal and may also become damaged. Thus, recording activities should be well planned, and recording equipment should have protective structures (Figure 7) in order to avoid direct contact between the animals and equipment and to protect the well-being of the animals.

It is important that veterinarians, researchers and keepers obey biosafety protocols to avoid the potential contamination of both animals and humans. These protocols aim to stop the transmission of diseases since both manatees as well as humans are mammals, which facilitates the transmission of diseases between species. Furthermore, sprays of water and air reach the surface, often in close proximity to keepers and researchers, when manatees breathe. These measures should always

ter uma atenção especial, sendo particularmente ainda mais importantes, em época em que há epidemias/pandemias de agente patógenos, a exemplo do COVID19.

Cuidados simples como o uso de máscaras, faceshield (e.g. Figura 12), higienização e testagem para COVID e outros patógenos (a depender da situação no período das pesquisas) dos membros da equipe constantes devem ser adotados. Antes e após a atividade, devem ser lavados mãos e antebraços com sabão antisséptico e álcool etílico 70%. O equipamento também deve ser higienizado, de acordo com as normas do fabricante. Em nenhuma hipótese, deve ter a troca de recinto, sem antes higienizar equipamento e participantes.

be adopted, but even more so during periods of epidemics/pandemics of pathogenic agents, such as COVID-19.

Simple precautions such as masks, face shields (e.g., Figure 12), sanitation and COVID-19 and other pathogen (depending on the situation during the research period) testing of consistent team members should be adopted. Before and after activities, hands and forearms should be cleaned with antiseptic soap and 70% ethyl alcohol. Equipment and participants should not move between pools before thorough sanitisation.



Figura 12. Medidas profiláticas básicas durante observação comportamental e gravação de vocalizações de peixe-boi-marinho em cativeiro (Foto: Carlos Neto).

Figure 12. Basic prophylactic measures during behavioural observations and vocalisation recordings of manatees in captivity (Photo: Carlos Neto).

Recomenda-se que os animais sejam monitorados durante as gravações *ad libitum* e durante gravações experimentais sob o uso de reprodução artificial de sons para estímulo de resposta (experimentos de “playback”). O acompanhamento dos animais pré e pós-experimento é recomendado para detecção de potenciais impactos negativos. Para esse acompanhamento, podem ser realizadas observações comportamentais focais, com sessões de duração 10 minutos, por exemplo, para cada indivíduo (Altmann, 1974).

Qualquer sinal de alteração comportamental negativa, como respostas de habituação ou estereotipia, deve ser seguido por interrupção dos experimentos de playback, a fim de minimizar potenciais estresses para os animais. O entendimento da história natural da espécie também é importante para o planejamento e elaboração desses experimentos, uma vez que é baseado nessas informações que se torna possível determinar alterações comportamentais (Breland & Breland, 1961). Além disso, os experimentos devem ser previamente aprovados em comitês de ética institucionais.

It is recommended that the animals should be monitored during *ad libitum* and experimental recordings using artificial playbacks of sounds to stimulate responses (playback experiments). The accompaniment of animals pre- and post-experiment is recommended for the detection of potential negative impacts. This accompaniment can be achieved using focal behavioural observations, for example, sessions lasting 10 minutes per animal (Altmann, 1974).

Any sign of negative alterations in animal behaviours, such as habituation or stereotypy, should be followed by the immediate interruption of playback experiments to minimise manatee exposure to potential stress. Understanding the natural history of this species is also important for the planning and development of experiments such as playback experiments since this information provides insights into potential behavioural alterations (Breland & Breland, 1961). Furthermore, all experiments should be pre-approved by institutional ethics committees.



7. ANÁLISE DE SONS

É recomendada a construção de espectrogramas (Figura 8) para confirmação da presença ou ausência de vocalizações de peixes-boi nas gravações. Para processamento delas, diversos softwares de análise de sons estão disponíveis no mercado. Alguns possuem versões gratuitas, enquanto outros necessitam de assinatura ou licença (tabela 2). Esses programas permitem a construção de espectrogramas, favorecendo a obtenção das características físicas dos sons, como frequência e duração. A obtenção dos parâmetros permite a comparação dos sons obtidos com o descrito na literatura sobre comunicação acústica de peixe-boi-marinho, facilitando o processo de identificação dos sinais.

É recomendada a construção de um banco de dados de vocalizações dos indivíduos mantidos em cativeiro, para fins de comparações futuras, principalmente no caso dos animais envolvidos em programas de soltura em ambiente natural. As gravações dos sons podem ser um elemento adicional para eventuais identificações dos animais através de seus parâmetros acústicos, uma vez que há evidências da assinatura vocal em peixes-boi (Sousa-Lima et al, 2002).

7. SOUND ANALYSES

The use of spectrograms is recommended (Figure 8) for the confirmation of the presence or absence of manatee vocalisations during recordings. To process these recordings, several analysis software programmes are available. Some of these are free of cost, while others require a paid license (table 2). These programmes allow for the construction of spectrograms, facilitating the observation of the physical characteristics of sounds, such as frequency duration should be measured using the waveform, rather than the spectrogram to achieve more accurate results. The analysis of these parameters allows for the comparison of recorded sounds with those available in Antillean manatee acoustic communication literature and can facilitate the process of signal identification.

The construction of a database containing the vocalisations of captive individuals would allow for future vocalisation comparisons, especially for animals involved in reintroduction programmes. The analysis of recorded vocal signal structural parameters may be used as an additional method of individual identification, since there is evidence that manatees

A análise da estrutura física das vocalizações pode ser realizada de forma manual, onde o pesquisador preenche uma planilha com todos os dados previamente detalhados. Este terá que medir as variáveis manualmente, utilizando as funções fornecidas pelos softwares, dos quais alguns são listados abaixo (Tabela 2). No entanto, alguns softwares, como o Kaleidoscope, fornecem análises automatizadas, onde o pesquisador precisa apenas seguir as instruções para a análise que deseja realizar, e o programa gera os resultados através de uma planilha com várias características físicas do som coletado. Esse método automatizado é particularmente interessante para fins de estudos comparativos.

produce signature vocalisations (Sousa-Lima et al., 2002).

The physical structure of vocalisations can be analysed manually, where the data is recorded in a spreadsheet. For this, the researcher has to manually measure the variables, using the functions provided by the software programmes which are listed below (Table 2). However, some software programmes, such as Kaleidoscope, provide automatic analyses, where the researcher only needs to follow the instructions for specific analyses, and the programme presents the results in a spreadsheet. This automatic method is particularly interesting for comparative studies.

Programa	Site para obtenção ou divulgação do software
Raven	https://ravensoundsoftware.com
Avisoft	http://www.avisoft.com
Bioacoustics em R	https://marce10.github.io
BatSound	https://batsound.com
Kaleidoscope	https://www.wildlifeacoustics.com/products/kaleidoscope -pro
SigView	https://www.sigview.com
Audacity	https://www.audacityteam.org
Koe	https://koe.io.ac.nz/# !

Tabela 2. Exemplos de softwares que podem ser utilizados para criação de espectrogramas para análise da estrutura física dos sons.

Table 2. Examples of software programmes that can be used for the creation of spectrograms for the analysis of sound structures.

Seja qual for a opção escolhida, é importante realizar algumas análises manuais para verificar se não houve erros no processo automatizado do software. Também é importante que o pesquisador busque informações sobre os requerimentos das análises que pretende realizar, preferencialmente antes de iniciar a realização dos experimentos. Isso é importante pois algumas análises, como níveis de pressão sonora, requerem a calibração prévia (antes da coleta de dados) do equipamento, para facilitar a análise posterior dos dados. Essas informações geralmente são fornecidas nos manuais que acompanham os programas.

Os equipamentos listados anteriormente (Tabela 1) detalham gravadores passivos e manuais comumente utilizados em acústica subaquática. Existem benefícios no uso de ambos os gravadores. No entanto, a escolha do tipo de gravador depende muito da metodologia e dos objetivos do estudo em questão. Gravadores autônomos-passivos, como o Wildlife Acoustics SM2 e Sm4 e o hydromoth da Open Acoustic Devices, por exemplo, são mais adequados para pesquisas onde a intenção é estudar variações diárias e/ou ao longo de períodos extensos. Esses gravadores podem ser programados e deixados no campo até que o quantitativo de gravações seja atingido. Já os gravadores manuais, como o modelo da Cetacean Research, são mais adequados para gravações ocasionais, como encontros com mães e filhotes em vida livre, ou pesquisas experimentais, a exemplo de playbacks.

Uma vantagem da utilização dos equipamentos do Wildlife Acoustics, é que o software de análise de som oferecido pelos mesmos (Kaleidoscope) foi criado para levar em conta todas as configurações dos seus equipamentos (SM2 e SM4). Isso significa que quando estes são utilizados em estudos, na hora de realizar as análises autônomas no Kaleidoscope, o programa e equipamento possuem as mesmas configurações (exemplo: calibração). Além disso, as informações de coordenadas geográficas, data e hora já são salvas nos arquivos de gravação.

Regardless of the programme used, it is important to perform some manual analyses to verify that there are no errors in the software automatic processing. It is also important that the researcher is aware of specific analysis requirements, preferably before commencing their experiments. This is important as some analyses, such as sound pressure level, require equipment calibration (before data collection) to allow for posterior data analysis. This information is generally provided in the manuals that accompany the programmes.

The equipment listed above (Table 1) include passive and manual recorders commonly used in underwater acoustics. There are benefits to using each type of recorder, however, the choice of recorder depends on the methodology and aims of the study. Passive-autonomous recorders, such as Wildlife Acoustics SM2 and Sm4 and the hydromoth from Open Acoustic Devices, for example, are adequate for research where the aim is to study daily variations and/or during prolonged periods of time. These recorders can be programmed and left in the field until the desired number of recordings have been collected. Whereas manual recorders, such as Cetacean Research models, are adequate for occasional recordings, such as mother-calf encounters in the wild or for experimental research, such as playback experiments.

One advantage of using Wildlife Acoustics equipment is that the sound analysis software offered by the same company (Kaleidoscope) was created based on the equipment (SM2 and SM4) configurations. This means that when performing the autonomous analyses in Kaleidoscope using recordings collected with Wildlife Acoustics equipment, the programme and equipment have the same configurations. Furthermore, geographical coordinates, dates and times are saved in the recordings' metadata great advantage of using Hydromoth recorders from Open Acoustic Devices

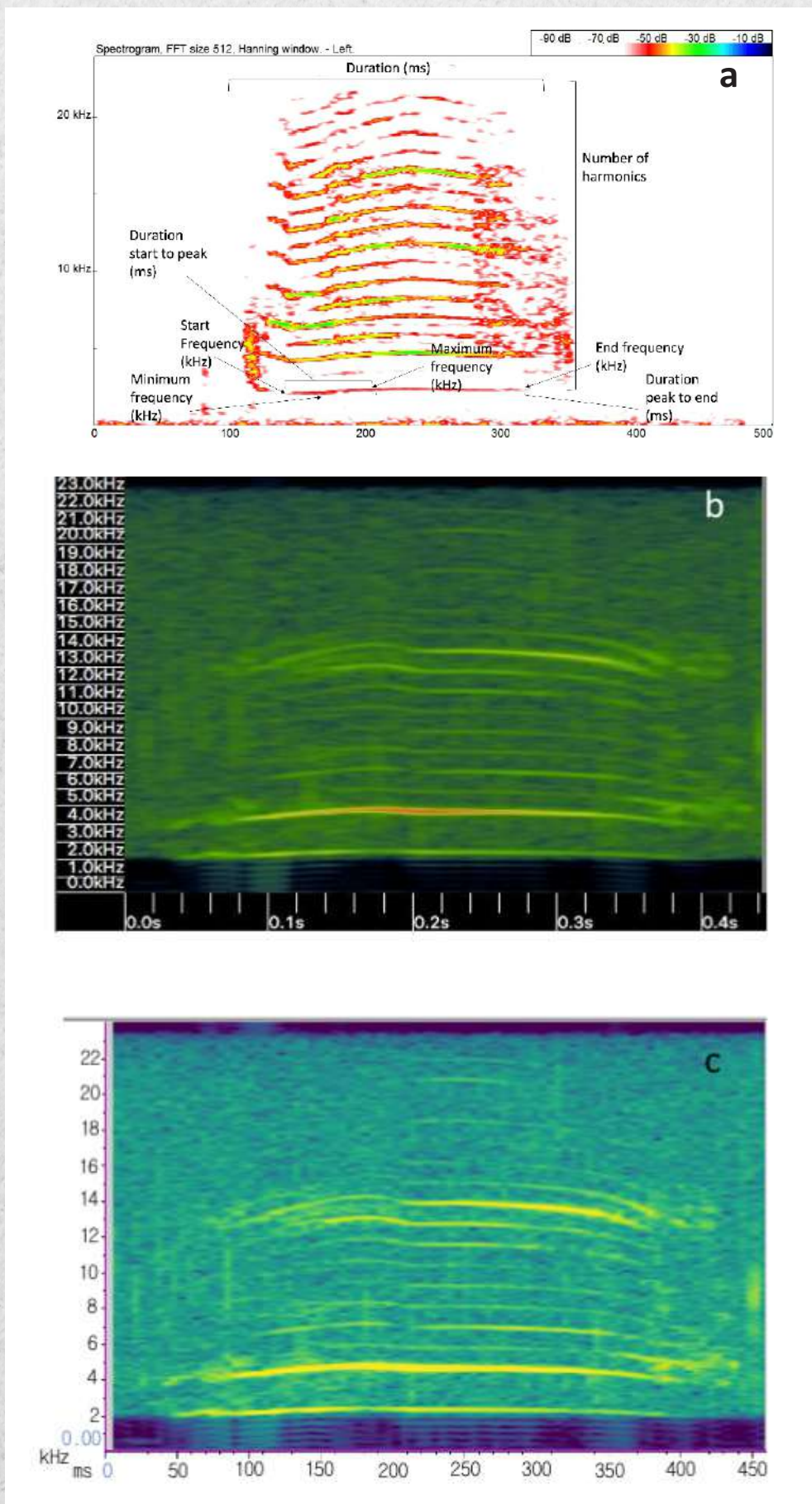


Figure 13. Espectrograma da vocalização “Squeak” emitida por um peixe-boi-marinho no oceanário do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA), em Itamaracá, Pernambuco, Brasil. Espectrogramas construídos com os softwares a) BatSound, b) Kaleidoscope, e c) Raven.

Figura 13. Spectrogram of the vocalisation “Squeak” produced by a manatee in an oceanarium at the Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos (ICMBio/CMA), Itamaracá Island, Pernambuco, Brazil. The spectrograms were constructed using a) BatSound, b) Kaleidoscope and c) Raven.



8. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os registros sonoros devem ser interpretados de acordo com objetivo da gravação. Por exemplo, para gravações com o intuito de levantamento da espécie em uma determinada área, a detecção de um sinal acústico produzido por peixes-boi em espectrogramas das gravações já seria suficiente para confirmar a presença da espécie na área.

Para estudos mais aprofundados em bioacústica, como descrição de variáveis sonoras, investigações sobre o contexto de vocalizações ou efeitos de experimentações de “playback de vocalizações”, a interpretação dos dados deverá seguir protocolos específicos, de acordo com os objetivos do estudo.

Em análises sobre variações da emissão dos sons entre classes de idade (ontogenia), sexo, indivíduos, ou entre distintos ambientes, deve-se considerar as diferenças dos parâmetros acústicos verificadas nas gravações, tais como duração, número de harmônicas e diferentes medidas de frequência (por exemplo, frequência máxima, mínima, média, e de máxima energia do som).

8. SOUND ANALYSES

Sound recordings should be interpreted in accordance with the aims of the research. For example, for research with the aim of surveying this species in a specific area, the detection of an acoustic signal produced by a manatee in the spectrograms would be enough to confirm the presence of the species in a determined area.

For more in-depth bioacoustics studies, such as the description of sound variables, the investigation of vocalisation context or the effects of playback experiments using manatee vocalisations, data interpretation should follow specific guides which are in accordance with the aims of the study.

For analyses on the variations of sounds between age classes (ontogeny), sex, individuals or between environments, differences in the acoustic parameters of sounds identified in the recordings should be taken into consideration, such as duration, the number of harmonics and different average frequencies (for example, maximum, minimum and average frequencies and frequency of maximum energy of each sound).

Para determinar a precisão da classificação dos tipos de vocalizações é recomendado utilizar uma análise canônica de função discriminante (DFA), ou uma Análise Multivariada Permutacional (PERMANOVA). Na DFA, várias análises estatísticas são realizadas, como a análise de Wilks Lambda. Esse teste é o mais interessante para identificar quais variáveis são responsáveis, estatisticamente falando, para a diferenciação dos tipos de vocalizações. A DFA também calcula os valores Eigen, que demonstram o quanto os dois fatores selecionados (cegamente) pela DFA são responsáveis pela diferenciação, em forma de porcentagens. Isso pode fornecer dados mais didáticos, e mais fáceis de interpretar pelo público geral, por exemplo.

To determine the accuracy of the classification of types of vocalisations, the use of a discriminant function analysis (DFA) is recommended, or a Permutation Multivariate Analysis (PERMANOVA). In the DFA, several acoustic analyses are performed, such as Wilks Lambda. This test identifies which variables are statistically responsible for the differentiation between vocalisations types. DFAs also calculate Eigenvalues which demonstrate the extent to which two factors, blindly selected by the DFA, are responsible for the differentiation between sounds and are presented in the form of percentages. This can provide more didactic data which can be more easily interpreted by the public, for example.

9. GLOSSÁRIO

Termo	Significado
Comunicação	Sinal de um organismo que altera o padrão de comportamento de outro .
Vocalização	Sinal acústico produzido por estruturas físicas nos corpos de animais, emitindo um tipo de som .
Frequência fundamental	Primeiro harmônico do qual todas as medidas de estrutura física são retiradas .
pH	Medida da quantidade de hidrogênio na água . Quanto mais perto de zero, mais ácido, 7 é neutro , e acima de 7 é considerado alcalino .
Salinidade	Medida da quantidade de sal (ppm) dissolvido na água.
Propagação de som	Passagem do som por um meio compressível ou sólido .
Ruído antropogênico	Ruído produzido por seres humanos , como motores de embarcações, empreendimentos aquáticos, sonares, etc.
Espectrograma	Representação visual de sinais acústicos. Permitem a análise estrutural destes sinais, através da obtenção de medidas de frequência e temporais.

9. GLOSSARY

Term	Definition
Communication	When a signal that is produced by an organism alters the behavioural pattern of another.
Vocalisation	The acoustic signal produced by anatomical structures in animal bodies producing a type of sound.
Fundamental frequency	First harmonic from which all structural measurements are taken
pH	Measurement of the quantity of hydrogen in water. The closer the value is to 0 the more acidic it is, 7 is neutral and above 7 is considered to be alkaline.
Salinity	Measurement of salt (ppm) dissolved in water
Sound propagation	Passage of sound through a compressible or solid medium
Anthropogenic noise	The noise produced by humans, such as boat motors, aquatic businesses, sonar etc.
Spectrogram	Visual representation of acoustic signals. Allow for the structural analysis of signals through the observation frequency and temporal measurements.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. - Behaviour 49: 227-267.
- Alves, M.S. (1994). dicionário de Camões. Lisboa: Universitária Editora.
- Anzolin, D.G., Carvalho, P.S.M. de, Viana-Jr., P.C., Normande, I.C. & Souto, A.S. (2014). Stereotypical behaviour in captive West Indian manatee (*Trichechus manatus*). – J. Mar. Biol. Assoc. UK 94: 1133-1137.
- Arévalo-Sandi, A.R. & Castelblanco-Martínez, D.N. (2016). Interactions between calves of Amazonian manatees in Peru: a study case. - Acta Biológica Colombiana 21(2): 355-364.
- Balensiefer, D.C., Attademo, F.L.N., Sousa, G.P., Freire, A.C.D.B., Cunha, F.A.G.C., Alencar, A.E.B., Silva, F.J.D.L. & Luna, F.D.O. (2017). Three decades of Antillean manatee (*Trichechus manatus*) stranding along the Brazilian coast. - Tropical Conservation Science 10: 1-9.
- Bassett BL, Hostetler JA, Leone E, Shea CP and others (2020) Quantifying sublethal Florida manatee–watercraft interactions by examining scars on manatee carcasses. Endang Species Res 43:395-408
- Bills, M.L., Samuelson, D.A., & Larkin, I.L. (2013). Anal glands of the Florida manatee, *Trichechus manatus latirostris*: A potential source of chemosensory signal expression. - Marine Mammal Science, 29(2): 280-292.
- Bohn, D.A. (1988). Environmental effects of the speed of sound. Journal of the Audio Engineering Society, 36(4): 223-231.
- Borges, J.C.G., Vergara-Parente, J.E., Alvite, C.M.D.C., Marcondes, M.C.C. & Lima, R.P.D. (2007). Embarcações motorizadas: uma ameaça aos peixes-boi marinhos (*Trichechus manatus*) no Brasil. - Biota Neotropica, 7(3): 199-204.
- Borges, J.C.G.; Rebelo, V.A.; Santos, S.S.; Attademo, F.L.N.; Normande, I.C.; Veloso, T.M.G.; Marmontel, M.; Vergara-Parente, J.E. (2018) Colisões ocasionadas por embarcações motorizadas em peixes-bois marinhos (*Trichechus manatus*) no Brasil In: XVIII Reunión de Trabajo de Expertos en Mamíferos Acuáticos y al XII Congreso de la SOLAMAC, 2018, Lima. XVIII Reunión de Trabajo de Expertos en Mamíferos Acuáticos y al XII Congreso de la SOLAMAC. Lima: 2018. p.88 – 88
- Bradbury, J.W. & Vehrencamp, S.L. (2011). Principles of animal communication. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Breland, K. & Breland, M. (1961). The misbehavior of organisms. Am Psychol 16: 681-684.
- Brito, C. (2019). People, manatees and the aquatic environment in early modern americas: Confluence and divergence in the historical relationships between humans and animals. Rev. Bras. Hist. 39(81).
- Calwell, D.K. & Caldwell, M.C. (1985). Handbook of marine mammals. Academic Press Inc.
- Castellote, M. & Fossa, F. (2006). Measuring acoustic activity as a method to evaluate welfare in captive beluga whales (*Delphinapterus leucas*). - Aquatic Mammals, 32: 325.
- Chapla, M., Nowacek, D., Rommel, S., Sadler, V. (2007). CT Scans and 3D reconstructions of florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) heads and ear bones. - Hearing Research 228: 123-135.
- Chavarría M.R., Castro, J. & Camacho A. (2015). The relationship between acoustic habitat, hearing and tonal vocalizations in the Antillean manatee (*Trichechus manatus*, Linnaeus, 1758). - Biology Open 4: 1237-1242.
- Colbert, D.E., Gaspard, J.C., Reep, R.L., Mann, D. A. & Bauer, G.B. (1999). Four-choice sound localization abilities of two Florida Manatees, *Trichechus manatus latirostris*. - Journal of Experimental Biology 216: 2768–2768.
- Costa, B., Umeed, R., Attademo, F., Normande, I.C. & Bezerra, B. (2018). Comportamento vocal noturno e diurno do Peixe-boi-marinho (*Trichechus manatus*). - IV Simpósio Pernambucano de Ecologia. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

- Dantas, G.A. (2009). Ontogenia do padrão vocal individual do peixe-Boi da Amazônia *Trichechus inunguis* (Sirenia, Trichechidae). - Dissertação de Mestrado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior – Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.
- Dudzinski, K.M., Thomas, J.A. & Gregg, J.D. (2009). Communication in marine mammals. In: Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, p. 260-269.
- Filho, V.C. (1939). Alexandre Rodrigues Ferreira. Vida e obra do grande naturalista brasileiro. Vol. 144, serie 5. 228p Editora Companhia editora nacional.
- Forrest, T.G. (1994). From sender to receiver: propagation and environmental effects on acoustic signals. - American Zoologist 34: 644-654.
- Fulop, S.A. and Fitz, K. (2006). A spectrogram for the Twenty-First Century. Acoustics Today 2(3), 26:33.
- Gerstein, E.R., Gerstein, L., Forsythe, S.E. & Blue, J.E. (1999). The underwater audiogram of the West Indian manatee (*Trichechus manatus*). - Journal of the Acoustical Society of America 105: 3575– 3583.
- Griebel, U. & Schmid, A. (1996). Color vision in the manatee (*Trichechus manatus*). - Vision Research 36: 2747-2757.
- Guimarães, L., Umeed, R., Lucchini, K., Bezerra, B. & Borges, J. 2019. Monitoramento do comportamento vocal de peixes-boi-marinhos (*Trichechus manatus*) após translocação do cativeiro para o semi-cativeiro. Anais XXXVII Encontro Anual de Etologia: Interações entre animais, sociedade e ambiente / editores Andrea Roberto Bueno Ribeiro ... [et al.]. – São Paulo: FMU, 2019.
- Hollar, S. (2013). Sound. Britannica Educational Publishing, Chicago.
- ICMBio - Portaria 554/2020 - Dispõe sobre a localização dos Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação - CNPC vinculados à DIBIO no âmbito do Instituto Chico Mendes e dá outras providências. 22 de junho de 2020.
- Iyina, T., Zeebe, R.E., Maier-Reimer, E. & Heinze, C. (2009). Early detection of ocean acidification effects on marine calcification. Global Biogeochemical Cycles, v. 23, n. 1, 2009.
- Ketten, D.R., Odell, D.K. & Domning, D.P. (1992). Structure, function and adaptation of the manatee ear. In: Marine Mammal Sensory Systems (Thomas, J.A., Kastelein, R.A. & Supin, A.Y., eds). Plenum Press, New York, p.77-95.
- Landrau-Giovannetti, N., Mignucci-Giannoni, A.A., Reidenberg, J.S. (2014). Acoustical and anatomical determination of sound production and transmission in West Indian (*Trichechus manatus*) and Amazonian (*T. inunguis*) manatees. - Anatomical Record (Hoboken) 297: 1896–907.
- Lynch, J.F., Gawarkiewicz, G.G., Lin, Y.T., Duda, T.F. & Newhall, A.E. (2018). Impacts of ocean warming on acoustic propagation over continental shelf and slope regions. - Oceanography 31(2):17-181.
- Lucchini, K., Umeed, R., Guimarães, L., Santos, P., Sommer, I., & Bezerra, B. (2021). The role of touch in captive and semi-captive Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*), Behaviour, 158(3-4), 291-313
- Mann, D.A., O'Shea, T.J. & Nowacek, D.P. (2006). Nonlinear dynamics in manatee vocalizations. - Marine Mammal Science 22: 548-555.
- McIloughlin, M.P., Stewart, R. & McElligott, A.G. (2019). Automated bioacoustics: methods in ecology and conservation and their potential for animal welfare monitoring. - Journal of the Royal Society Interface 16(155): 20190225.
- Miksis-Olds, J.L. & Tyack, P.L. (2009). Manatee (*Trichechus manatus*) vocalization usage in relation to environmental noise levels. - The Journal of the Acoustical Society of America 125: 1806–1815.

- National Research Council. (2004). Hearing Loss: Determining Eligibility for Social Security Benefits. Committee on Disability Determination for Individuals with Hearing Impairments. Robert A. Dobie and Susan B. Van Hemel, editors. Board on Behavioral, Cognitive, and Sensory Sciences, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- Niezrecki, C., Phillips, R., Meyer, M. & Beusse, D.O. (2003). Acoustic detection of manatee vocalizations. - Journal of the Acoustical Society of America, 114: 1640-1647.
- Nowacek, D. P. (2003). Intraspecific and geographic variation of West Indian manatee (*Trichechus manatus spp.*) vocalizations (L). Journal of the Acoustical Society of America, 114:66.
- O'Shea, T. J., and L. B. Poche. (2006). Aspects of underwater sound communication in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). Journal of Mammalogy 87:1061–1071.
- Phillips, R., C. Niezrecki and D. O. Beusse. (2004). Determination of West Indian manatee vocalization levels and rate. Journal of the Acoustical Society of America, 115:422–428.
- Ramos, E.A., Maust-Mohl, M., Collom, K.A, Brady, B., Gerstein, E.R., Magnasco, M.O. and Reiss, D. (2020). The Antillean manatee produces broadband vocalizations with ultrasonic frequencies. Journal of the Acoustical Society of America 147: EL80.
- Reep, R.L. & Bonde, R.K. (2006). The Florida manatee: biology and conservation. University Press of Florida, Gainesville, Florida, 189 pp.
- Rosas, F.C.W. (1994). Biology, conservation and status of the Amazonian manatee *Trichechus inunguis*. - Mammal Review 24: 49-59.
- Sehgal, N., Bode, P., Das, S., Hernandez-Monteagudo, C., Huffenberger, K., Lin, Y.T., Ostriker, J.P. & Trac, H. (2010). Simulations of the microwave sky. - The Astrophysical Journal 709(2): 920.
- Sousa-Lima, R.S. (1999). Comunicação acústica em peixes-boi (Sirenia: Trichechidade): Repertório, discriminação vocal e aplicações no manejo e conservação das espécies no Brasil. - Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- Sousa-Lima, R.S., Paglia, A.P. & Fonseca, G.A.B. (2002). Signature information and individual recognition in the isolation calls of Amazonian manatees, *Trichechus inunguis* (Mammalia: Sirenia). - Animal Behaviour 63: 301–310.
- Sousa-Lima, R.S., Paglia, A.P. & Fonseca, G.A.B. (2008). Gender, age, and identity in the isolation calls of antillean Manatees (*Trichechus manatus*). - aquatic Mammals 34:109–122.
- Tyack, P.L. (2000). Functional aspects of cetacean communication. In: Cetacean Societies: Field studies of dolphins and whales (Mann, J., Connor, R.C., Tyack, P.L. & Whitehead, H., eds). University of Chicago Press, Chicago, p. 270-308.
- Umeed, R. (2016). Comportamento vocal em *Trichechus manatus*. – Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco.
- Umeed, R., Attademo, F.L.N. & Bezerra, B. (2018). The influence of age and sex on the vocal repertoire of the Antillean manatee (*Trichechus manatus*) and their responses to call playback. - Marine Mammal Science 34(3): 577-594.
- Umeed, R., Alcantara, L., Lucchini, K., Borges, J. & Bezerra, B. (2019). Description of vocalizations produced during interactions of two mother-calf pairs of Antillean Manatee, *Trichechus manatus*. Anais XXXVII Encontro Anual de Etologia: Interações entre animais, sociedade e ambiente / editores Andrea Roberto Bueno Ribeiro ... [et al.]. – São Paulo: FMU.

- Wood, J.D. (2010). Marine mammal species Conservation: a review of developments in the uses of acoustics. - *Journal of International Wildlife Law & Police* 13: 311-325.
- United States Office of Scientific Research and Development. National Defense Research Committee, I. B. (1946). *The Physics of Sound in the Sea*. Washington, D.C.: Office of Scientific Research and Development, National Defense Research Committee, Division 6. [Pdf] Retrieved from the Library of Congress, <https://www.loc.gov/item/2015490953/>.