UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS ARAPIRACA – UNIDADE PENEDO
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PESCA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RUTE SANTOS NUNES

PRODUÇÃO DE SONS DE PEIXES COM IMPORTÂNCIA COMERCIAL PARA A PESCA E AQUICULTURA NO BAIXO SÃO FRANCISCO

PENEDO - AL
2024

RUTE SANTOS NUNES

PRODUÇÃO DE SONS DE PEIXES COM IMPORTÂNCIA COMERCIAL PARA A PESCA E AQUICULTURA NO BAIXO SÃO FRANCISCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Borie Mojica.

PENEDO - AL

2024

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Unidade Educacional Penedo
Biblioteca Setorial Penedo - BSP

N972p Nunes, Rute Santos
Produção de sons de peixes com importância comercial para a pesca e aquicultura no Baixo São Francisco/ Rute Santos Nunes. – Penedo, AL, 2024.

49 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Borie Mojica.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca). - Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Unidade Educacional Penedo, Penedo, AL, 2024.
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus* Arapiraca)
Referências: f. 44-49.

1. Peixes – Sons 2. Ecologia acústica subaquática 3. Peixes - Comportamento acústico I. Mojica, Alfredo Borie II. Título.

CDU 639.2

Bibliotecário responsável: Gerlane Costa Silva de Farias
CRB - 4 / 1802

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS ARAPIRACA
CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA

ATA DA 153ª DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao vigésimo segundo dia do mês de agosto de 2024, o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **PRODUÇÃO DE SONS DE PEIXES COM IMPORTÂNCIA COMERCIAL PARA A PESCA E AQUICULTURA NO BAIXO SÃO FRANCISCO**, foi apresentado pela acadêmica **RUTE SANTOS NUNES**, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Pesca desta Instituição Federal de Educação Superior. Após abertura dos trabalhos pelo Prof. Dr. Alfredo Leandro Borie Mojica, que presidiu a sessão, o Trabalho foi submetido à avaliação pela banca examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Bacharelado em Engenharia de Pesca, composta por: Prof. Dr. Alfredo Leandro Borie Mojica (Orientador), Prof. Dr. Cláudio Luiz Santos Sampaio (Interno – UFAL) e a Engenheira de Pesca MSc Jhennipher da Silva Pereira (Externo - UFRPE). Após análise pela banca examinadora, o Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado APROVADA, tendo obtido nota: 9,6 (nove virgula seis).

gov.br Documento assinado digitalmente
ALFREDO LEANDRO BORIE MOJICA
Data: 02/09/2024 17:12:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Alfredo Leandro Borie Mojica
(Orientador)

gov.br Documento assinado digitalmente
CLAUDIO LUIS SANTOS SAMPAIO
Data: 02/09/2024 17:17:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Cláudio Luiz Santos Sampaio
(Examinador interno)

gov.br Documento assinado digitalmente
JHENNIPHER DA SILVA PEREIRA
Data: 04/09/2024 20:21:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Eng. de Pesca MSc Jhennipher da Silva Pereira
(Externo - UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

A minha família, em especial a meus pais, pelo apoio e incentivo às minhas escolhas, **Adriana** minha rocha e querida mãe e **Jones** meu amado e querido pai que investiram nesse sonho, as minhas irmãs **Raquel** e **Rayane** por se mostrarem pacientes nos meus momentos mais introspectivos e pelo amor, á minha prima **Lidrielly Karine** a qual me ouviu e me animou nos momentos de exaustão, ao meu **Arcanjo** que chegou como uma luz complementar.

A **Universidade Federal de Alagoas (UFAL)** e todo seu corpo institucional e ao Programa PIBIC por disponibilizar bolsa de Iniciação Científica durante a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao laboratório de **Ecologia Acústica (ECOA)**, da Unidade de Ensino Penedo e ao meu orientador **Alfredo Leandro Borie Mojica**, pela confiança e fé em mim depositadas, pelo convite para o projeto PIBIC, pelo incentivo, paciência, palavras e carinho. Agradeço a orientação que foi farol na minha trajetória acadêmica, as oportunidades e contribuições. A minha companheira de laboratório **Marise** com sua alegria e força de vontade. Ao Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura (4°CIB)- Betume pelo suporte técnico.

Ao corpo docente do curso de Engenharia de Pesca, meu agradecimento por todo conhecimento ao longo do curso, em especial a professora **Taciana Kramer**.

As minhas amigas que a turma **2017.1** me proporcionou de conhecer **Hanny Rosyelly** e **Maria Nazaré** pela amizade, companheirismo e lealdade. Emprestando seus ombros e ouvidos.

Agradeço a todos que contribuíram ao longo da minha graduação, os quais por diferentes momentos contribuíram de forma significativa, extremamente importante para a concretização dessa etapa na minha vida. Cada uma das pessoas que cruzaram a minha vida acadêmica fez parte dessa história.

Grata!

RESUMO

Os sons é um meio de comunicação que está presente na maior parte dos animais, sejam terrestres ou aquáticos. Nos peixes os sons podem estar relacionados com vários comportamentos como territorialismo/agressão, processos de reprodução, predação e sons associados à alimentação incluindo sinalização agonística. No presente trabalho foi utilizado o método acústico passivo para avaliar os sons de várias espécies de peixes em diferentes ambientes e condições. Foi avaliada a produção de sons das seis espécies de peixes e seus respectivos comportamentos. Padrões sonoros foram emitidos por todas as espécies. Os padrões foram categorizados de acordo com os comportamentos exibidos durante a produção desses sons, permitindo uma correlação entre as manifestações acústicas e as ações comportamentais, como sons de advertências da pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) 31,85±12 Hz e piranha-preta (*Pygocentrus piraya*) 22,2±7,6 Hz. Bagre (*Cathorops agassizii*) com banda de frequência 66,5±20,6 Hz para os animais em caixa plástica, ambiente natural 73,9±40,5 Hz e tanque rede 74,1±29,5 Hz. E pacamã (*Lophiosilurus alexandri*), a espécie apresentou a segunda maior alta frequência desse estudo, média de 2599,1±168,3 Hz. Sons de alimentação da tilápia (*Oreochromis niloticus*), os peixes juvenis exibem frequências de som significativamente mais altas e durações de som mais longas em comparação com os peixes adultos, os parâmetros acústicos entre adultos e juvenis apresentaram diferenças significativas entre todos os parâmetros analisados. Sons emitidos durante a desova do curimatã–pacu (*Prochilodus argenteus*), com a duração dos sons emitidos média de 0,25±0,49 segundos, o número de pulsos em cada emissão de som teve uma média de 5,27±11,44 indo de 1 a 85 pulsos. A tecnologia acústica vem se tornando cada vez mais uma ferramenta eficiente para avaliar os sons e o comportamento dos peixes. Diante disso, a combinação de monitoramento acústico passivo e algoritmos de classificação de reconhecimento baseados em aprendizagem ajudará a monitorar as atividades de alimentação, desova e reprodução de peixes, e outros comportamentos que possam impulsionar avanços para a pesca e aquicultura. Os resultados destacam a contribuição das emissões sonoras das espécies para o entendimento da ecologia acústica dos peixes. A comunicação acústica em ambientes aquáticos é um campo de pesquisa que ainda apresenta muitos desafios. Os resultados fornecem uma base sólida para futuras investigações, contribuindo para a criação de modelos matemáticos de automação para identificação automática das espécies e seus comportamentos, assim como monitorar diferentes ambientes. Compreender e analisar como e por que essas espécies emitem sons pode oferecer percepções valiosas sobre suas interações ecológicas e estratégias de sobrevivência.

Palavras-chave: comportamento acústico; ecologia acústica subaquática; peixes – sons.

ABSTRACT

Sounds are a means of communication present in most animals, whether terrestrial or aquatic. In fish, sounds can be related to various behaviors such as territorialism/aggression, reproduction processes, predation, and sounds associated with feeding, including agonistic signaling. In the present study, the passive acoustic method was used to evaluate the sounds of various fish species in different environments and conditions. The sound production of six fish species and their respective behaviors were evaluated. Sound patterns were emitted by all species. These patterns were categorized according to the behaviors exhibited during the production of these sounds, allowing a correlation between acoustic manifestations and behavioral actions, such as warning sounds from the pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) at 31.85±12 Hz and the black piranha (*Pygocentrus piraya*) at 22.2±7.6 Hz. The catfish (*Cathorops agassizii*) had a frequency band of 66.5±20.6 Hz for the animals in plastic boxes, 73.9±40.5 Hz in a natural environment, and 74.1±29.5 Hz in net tanks. The pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) presented the second highest frequency in this study, with an average of 2599.1±168.3 Hz. Feeding sounds from tilapia (*Oreochromis niloticus*) showed that juvenile fish exhibited significantly higher sound frequencies and longer sound durations compared to adult fish, with significant differences in acoustic parameters between adults and juveniles in all analyzed parameters. Sounds emitted during the spawning of curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) had an average duration of 0.25±0.49 seconds, with the number of pulses in each sound emission averaging 5.27±11.44, ranging from 1 to 85 pulses. Acoustic technology is increasingly becoming an efficient tool for evaluating the sounds and behaviors of fish. Therefore, the combination of passive acoustic monitoring and recognition classification algorithms based on machine learning will help monitor feeding, spawning, and reproductive activities of fish, as well as other behaviors that can drive advances in fishing and aquaculture. The results highlight the contribution of sound emissions from species to understanding the acoustic ecology of fish. Acoustic communication in aquatic environments is a research field that still presents many challenges. The results provide a solid foundation for future investigations, contributing to the creation of mathematical models for the automatic identification of species and their behaviors, as well as monitoring different environments. Understanding and analyzing how and why these species produce sounds can offer valuable insights into their ecological interactions and survival strategies.

Keywords: acoustic behavior; underwater acoustic ecology; fishes - sounds

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (A) Pontos de coleta das espécies de *S.brandtii* e *P.piraya* (família Serrasalmidae) ao longo do baixo São Francisco. (B) Pontos de coleta na região da foz do rio São Francisco do bagre *C. agasiizii*. (C) Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura (4°CIB), localizado no município de Neópolis-SE, povoado Betume. 1. Viveiro escavado para manutenção de matrizes e reprodutores de tilápia. 2. Unidade de Pesquisa Aplicada, onde estão os tanques de alvenaria de 4m² para reprodução do curimatã-pacu e o laboratório onde foram instaladas as caixas plásticas para gravação do pacamã e juvenis de tilápia.....15

Figura 2 - Sistema de gravação acústico passivo portátil. (A) Hidrofone AS-1 (Aquarian áudio). (B) pré-amplificador PA-4 (Aquarian áudio). (C) Gravador digital zoom (Zoom H5).....16

Figura 3 - Método de gravação de espécies endêmicas realizando durante a pesca com rede de emalhar. A. pirambeba (*Serrasalmus brandtii*), B e C. Piranha–preta (*Pygocentrus piraya*) e pescador "Mestre joh".....17

Figura 4 - (A) Exemplar acondicionado. (B) Mecanismo sonoro encontrado no bagre, presença de músculo sonoro localizado na região posterior à bexiga natatória.....18

Figura 5 - (A) Tanque rede. (B) Exemplar.....18

Figura 6 - Utilização do método acústico passivo durante gravações realizadas na região da foz do São Francisco no fim da tarde.....19

Figura 7 - (A) Gravação dentro e (B) fora da água.....20

Figura 8 - Exemplares em momento de gravação.....21

Figura 9 - Gravador subaquático SoundTrap 300 utilizados nas gravações realizadas no viveiro escavados da Codevasf para manutenção de matrizes e reprodutores de tilápia.....21

Figura 10 - Tanque de alvenaria da Unidade de Pesquisa Aplicada da Codevasf.....22

Figura 11 - (A) Pirambeba e (B) Piranha. Oscilograma (A e B) espectrograma (A1 e B1) e espectro de energia (A2 e B2).....25

Figura 12 - Box Plot da Pirambeba (*S.brandtii*) e Piranha (*P. piraya*). Contendo os parâmetros acústicos: Baixa frequência (Hz), Máxima frequência (Hz), Pico de frequência (Hz) e Duração do som (s). O gráfico exibe tanto a mediana (linha horizontal dentro da caixa) quanto a média (representada por pontos vermelhos sobrepostos).....27

Figura 13 - (A) *C. agassizii* em caixa plástica, (B) Tanque rede, (C) Caixa plástica, (A.1, B.1 e C.1) Espectro de energia.....29

Figura 14 - Box Plot dos parâmetros acústicos: Baixa frequência (Hz), Máxima frequência (Hz), Pico de frequência (Hz) e Duração do som (s). Para diferentes grupos experimentais

(C.P: Caixa plástica, A.N: Ambiente natural e T.R: Tanque rede). O gráfico exibe tanto a mediana quanto a média.....31

Figura 15 - Oscilograma (acima) e espectrograma (abaixo) do Pacamã (*Lophiosilurus alexandri*).....32

Figura 16 - Sons de atividade alimentar em viveiro. (A) Espectrograma mostrando toda a dinâmica do viveiro em momento de alimentação, indicando o lançamento da ração, a atividade alimentar, chuva e alguns invertebrados. (B) Espectro de energia de uma mastigação.....34

Figura 17 - Sons de mastigação em ambiente controlado.....35

Figura 18 - Box Plot dos parâmetros acústicos de *O. niloticus*, adulta e juvenil.....37

Figura 19 - Sons emitidos durante o processo de desova. (A) Trem de pulsos e (B) Pulsos individuais.....38

Figura 20 - Correlação entre o número de pulso e o tempo de duração durante o processo de desova.....41

Figura 21 - (A) análise multidimensional não métrica com todas as espécies. (B) NMDS - Espécies: piranha, pirambeba, curimatã-pacu, bagre natural, tanque rede e caixa plástica.....42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de indivíduos de pirambeba e piranha-preta gravados por cidade. Pão de açúcar (PA), Traipu (TR), Lagoa Comprida (LC), Propriá (PR), Penedo (PE) e Piaçabuçu (PB).....16

Tabela 2 - Estatística descritiva dos parâmetros acústicos utilizados. Média ± Desvio Padrão (Mínimo e Máximo) e valor de *p* através do teste não-paramétrico de Mann-whitney, α=0,05 (5%).....26

Tabela 3 - Estatística descritiva: Média ± Desvio Padrão (Mínimo e Máximo) e o valor de *p-value* obtido através do teste de Kruscal-Wallis. (C.P: Caixa plástica, T.R: Tanque rede e H.N: Harmônico do ambiente natural).....30

Tabela 4 - Estatística descritiva média, desvio padrão, mínimo e máximo de *Lophiosilurus alexandri*.....33

Tabela 5 - Estatística dos parâmetros acústicos utilizados. Média ± Desvio Padrão (Mínimo e Máximo) e valor de p através do teste não-paramétrico de Mann-whitney, α=0,05 (5%), de *O. niloticus*.....36

Tabela 6 - Estatística descritiva média, desvio padrão, mínimo e máximo de *Prochilodus argenteus*.....40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
2 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13
3 METODOLOGIA 14
3.1 Áreas de estudo 14
3.2 Método de coleta 15
3.2.1 Serrasalmus Brandtii ; Pygocentrus piraya 16
3.2.2 Cathorops agassizii 17
3.2.3 Lophiosilurus alexandri 19
3.2.4 Oreochromis niloticus 20
3.2.5 Prochilodus argenteus 22
3.3 Análises 22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 24
4.1 Avaliação dos sons de advertência das espécies pirambeba (*Serrasalmus brandtii,* Serrasalmidae) e piranha-preta (*Pygocentrus piraya,* Serrasalmidae) durante a captura da pesca artesanal 24
4.2 Avaliação do som produzido pelo bagre *(Cathorops agassizii,* Ariidae*)* em cativeiro e detectados no ambiente natural na região da foz do rio São Francisco 27
4.3 Avaliação dos sons de advertência do pacamã (*Lophiosilurus alexandri*, Pseudopimelodidae) em ambiente controlado 31
4.4 Avaliação do som de alimentação da tilápia (*Oreochromis niloticus*, Cichlidae), em diferentes ambientes e fases de desenvolvimento 33
4.5 Avaliação dos sons durante a desova do curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*, Prochilodontidae) em ambiente controlado 37
5 NMDS (ANÁLISE DE ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL NÃO MÉTRICO) 412
6 CONCLUSÃO 43
REFERÊNCIAS 44

1 INTRODUÇÃO

A comunicação por meio de sons é uma habilidade importante para muitos organismos aquáticos. A capacidade de produzir e detectar sons é fundamental para a sobrevivência e reprodução desses organismos. Diante da descoberta de que organismos aquáticos possuem a capacidade de se comunicarem através da produção de sons (Tyack, 1998), foram realizados estudos para identificar os comportamentos associados a esses sons, que podem ser produzidos por mecanismos que se enquadram em dois grupos: estridulação, que é o atrito de partes do corpo, e vibração da bexiga natatória produzida por músculos sônicos especializados (Ladich; Fine 2003, 2006; Parmentier *et al.,* 2017).

Mais de 100 famílias e 1.187 espécies conhecidas podem emitir frequências sonoras relacionadas a diversos comportamentos, como territorialismo/agressão, processos de reprodução, predação e sons associados à alimentação (Ladich; Tricas; Boyd, 2014), incluindo sinalização agonística (Ladich; Myrberg, 2006), resposta ao estresse (Ladich; Bass, 1998; Ladich, 2000) e alarme (Bessey; Heithaus, 2013).

No entanto, ainda há uma carência em relação à produção sonora de peixes de água doce. A falta de estudos para a categorização desses sons dificulta a identificação dos sons produzidos por peixes presentes em gravações de longo prazo e, portanto, impede a determinação precisa da composição das espécies de peixes. Para identificar sons de peixes nessas paisagens sonoras, é preciso de catálogos de sons validados, e uma das formas de validação são as gravações das espécies em cativeiro. A análise eficaz de conjuntos de dados acústicos de longo prazo contribui para a compreensão e detecção da variação do comportamento (Li *et al.,* 2024) dos organismos presentes nas paisagens acústicas. Com a formulação dos catálogos acústicos, estes sons podem ser utilizados para localizar espécies (Mann *et al.,* 2008), avaliar diversidade (Desiderá *et al.,* 2019), monitorar populações (Luczkovich; Sprague, 2002), identificar o período reprodutivo e de áreas de desova (Luczkovich, 2008), além de estimar a abundância de peixes nessas agregações (Rowell *et al.,* 2017) e a densidade populacional (Marques *et al.,* 2013).

No baixo São Francisco, existem ao menos 150 espécies nativas identificadas, porém uma porcentagem significativa vem apresentando baixa produção comercial, e algumas espécies como o pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) estão ameaçadas de extinção em várias regiões em consequência a alterações nas condições de reprodução e de desenvolvimento dos peixes nos ambientes naturais, que são causadas principalmente por ações antropogênicas (Codevasf, 2023). Essas ações impactam de forma negativa o ciclo natural desses organismos,

gerando uma perceptível redução na biodiversidade de peixes (Gomes; Brito, 2017; Soares *et al.,* 2020), crustáceos (Montenegro *et al.,* 2001) e o desaparecimento de várias espécies nas capturas.

A acústica passiva tem sido utilizada para localizar locais de desova (Rountree *et al.,* 2006). Segundo Godinho (2017), também pode ser aplicada "no estudo de outros aspectos da biologia da desova, como a estação de desova, a variação diária de chamados, os gatilhos de desova, o comportamento de acasalamento e a influência de represas e suas liberações suplementares na desova".

Em cativeiro, o monitoramento acústico de algumas espécies de peixes indica uma correlação entre os sons e a desova (Montie *et al.,* 2017). Os cantos característicos dos peixes vocais estão sincronizados com o comportamento de desova, permitindo a previsão dos períodos reprodutivos e dos períodos próximos à desova (Vieira *et al.,* 2019), como também para programas de reprodução seletiva.

Assim, para que seja possível capturar esses sons, é necessário fazer uso da acústica passiva, uma nova tecnologia aplicada a peixes de água doce, que provê benefícios importantes para a investigação científica, já que é uma ferramenta observacional com uma capacidade de monitoramento remoto permanente ou de longa duração, e fornece importantes informações sobre padrões diários e sazonais (Rountree *et al.,* 2006).

O uso da acústica passiva é particularmente útil em ambientes aquáticos onde a observação direta é difícil, como águas profundas ou turvas, e em áreas onde a presença humana pode perturbar ou estressar os animais; assim, é possível que a coleta desses sons não seja invasiva ou destrutiva (Rountree *et al.,* 2006).

O Monitoramento Acústico Passivo (MAP) é uma das principais aplicações da acústica passiva, sendo cada vez mais usado como um método para caracterizar as paisagens sonoras subaquáticas e a biofonia, para estudar a diversidade acústica de peixes. Essa técnica consiste em colocar hidrofones em áreas estratégicas para coletar sons emitidos por animais aquáticos. O hidrofone coleta sinais acústicos dos organismos sonoros presentes na água e os converte em sinais elétricos. Os sinais elétricos são então transformados em sinais digitais, computadorizados e depois analisados usando softwares acústicos ou algoritmos de aprendizagem (Pinho *et al.,* 2017; Lindseth; Lobel, 2018). Os hidrofones são capazes de detectar sons em uma ampla faixa de frequência, permitindo a identificação de diferentes espécies e comportamentos acústicos.

Isso demonstra a aplicabilidade e importância da ferramenta acústica passiva, que pode ser utilizada como ferramenta complementar para validar e identificar as espécies que

produzem os sons detectados no ambiente natural, monitorar as populações e avaliar as ações de peixamento (repovoamento) com fins de subsidiar a atividade pesqueira da região.

Diante disso, a combinação de monitoramento acústico passivo e algoritmos de classificação de reconhecimento baseados em aprendizagem ajudará a monitorar as atividades de alimentação, desova e reprodução de peixes (Li *et al.,* 2024), e outros comportamentos que possam impulsionar avanços para a pesca e aquicultura.

2 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Objetivo geral

Investigar e catalogar os sons produzidos por espécies de peixes com importância comercial na região do Baixo São Francisco, visando à aplicação desses conhecimentos para a gestão e manejo da pesca e aquicultura, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência das atividades pesqueiras e aquícolas.

- Objetivos específicos

a) Avaliar os sons de advertência das espécies pirambeba (*Serrasalmus brandtii,* Serrasalmidae) e piranha-preta (*Pygocentrus piraya,* Serrasalmidae) durante a captura da pesca artesanal;
b) avaliar o som produzido pelo bagre *(Cathorops agassizii,* Ariidae*)* em cativeiro e detectados no ambiente natural na região da foz do rio São Francisco no período de verão e inverno;
c) avaliar os sons de advertência do pacamã (*Lophiosilurus alexandri*, Pseudopimelodidae) em ambiente controlado;
d) avaliar os sons de alimentação da tilápia (*Oreochromis niloticus*, Cichlidae), em diferentes ambientes e fases de desenvolvimento;
e) avaliar os sons durante a desova do curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*, Prochilodontidae);
f) desenvolver um catálogo dos sons das espécies de peixes do baixo rio São Francisco, que farão parte da fonoteca da UFAL, e que contribua para a identificação das espécies no ambiente natural.

3 METODOLOGIA

3.1 Áreas de estudo

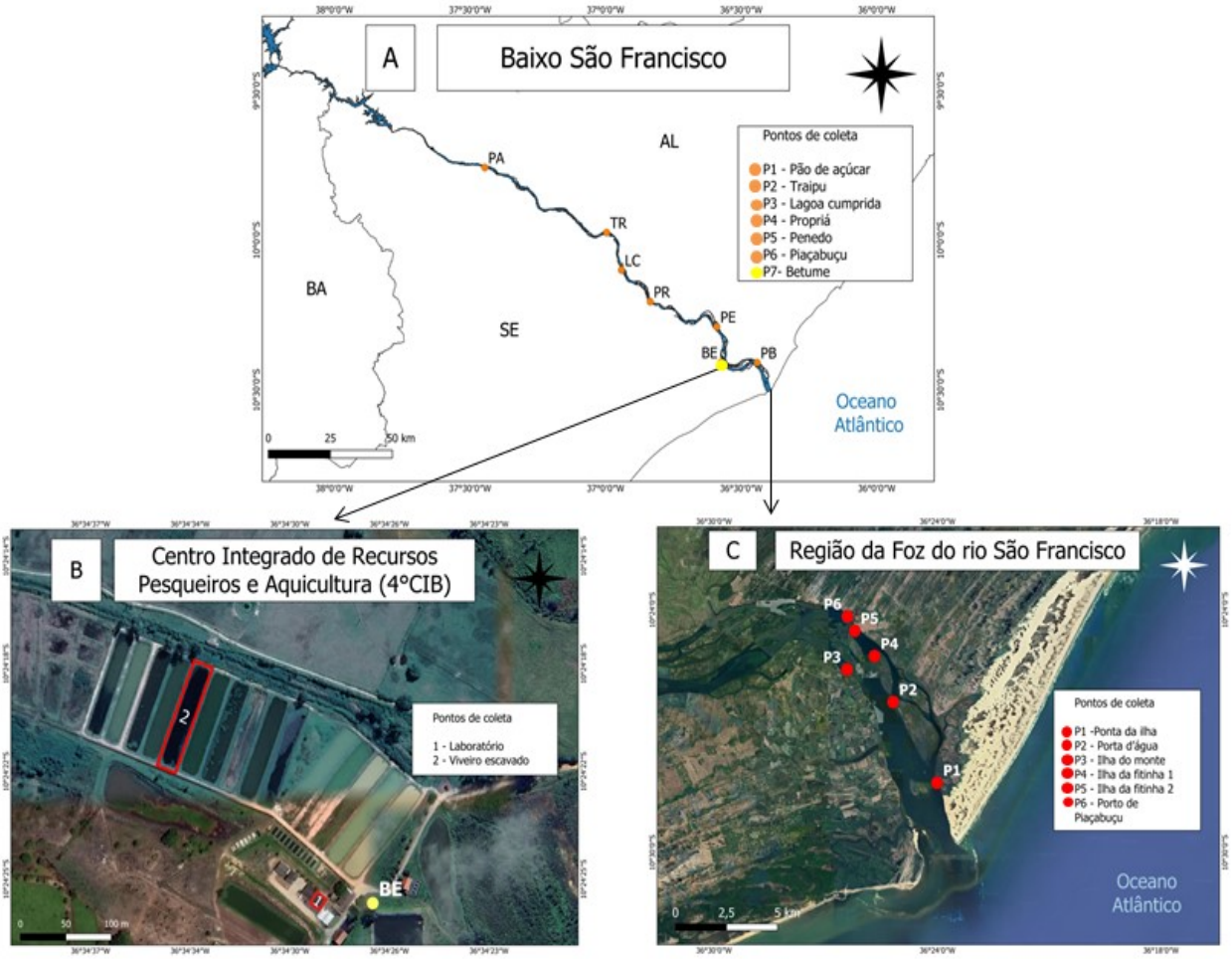
O estudo foi desenvolvido em três áreas: Baixo São Francisco, Foz e Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura (4°CIB).

A região do baixo São Francisco, onde foram feitas as coletas das espécies pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) e piranha-preta (*Pygocentrus piraya*) (Figura 1A), corresponde a 5% da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Abrangendo estados nordestinos como a Bahia 9,5%, Pernambuco 22,8%, Alagoas 43,9% e Sergipe 23,8%. No Baixo São Francisco o clima é mais ameno devido à proximidade do mar. A região mostra uma mudança na distribuição anual das chuvas do interior para o litoral e na foz do rio elas são bem distribuídas ao longo do ano, possuindo mais intensidade no outono e inverno. A temperatura média anual é de 25°C com o clima variando entre o semi-árido e o subúmido úmido.

As gravações das espécies de tilápia (*O. niloticus*, Cichlidae), curimatã-pacu (*P. argenteus*, Prochilodontidae) e pacamã (*L. alexandri*, Pseudopimelodidae) foram realizadas no Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura (4°CIB), localizado no município de Neópolis-SE, povoado Betume (Figura 1B), que conta atualmente com 3,8 hectares de espelho d'água de viveiros, onde desenvolvem tecnologias de reprodução artificial, larvicultura e alevinagem de peixes nativos como o pacamã e curimatã-pacu para recomposição dos estoques pesqueiros na bacia do São Francisco. Além de peixes de importância comercial, como a tilápia, utilizados na aquicultura da região.

O som dos bagres foram gravados em ambiente controlado (caixa plástica), tanque rede e detectados no ambiente natural na região da foz do rio São Francisco no período de verão e inverno, por seis pontos escolhidos com base na experiência de pescadores locais (Figura 1C).

Figura 1 - (A) Pontos de coleta das espécies de *S.brandtii* e *P.piraya* (família Serrasalmidae) ao longo do baixo São Francisco, P1 a P6. (B) Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura (4°CIB), localizado no município de Neópolis-SE, povoado Betume. 1. Unidade de Pesquisa Aplicada, onde estão os tanques de alvenaria de 4m² para reprodução do curimatã-pacu e o laboratório onde foram instaladas as caixas plásticas para gravação do pacamã e juvenis de tilápia.2. Viveiro escavado para manutenção de matrizes e reprodutores de tilápia, P7. (C) Pontos de coleta na região da foz do rio São Francisco do bagre *C. agasiizii*.



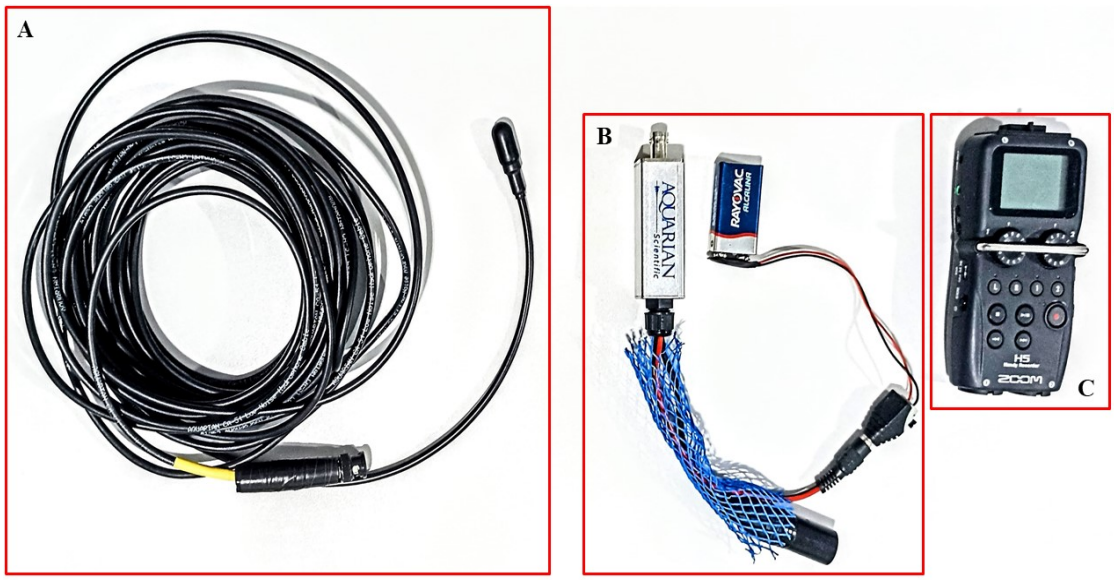
Fonte: Autora (2024).

3.2 Método de coleta

Para registro das seguintes gravações foi feita a utilização de um sistema portátil (Figura 2). O sistema portátil, consta de um hidrofone AS-1 (Aquarian áudio), conectado a um pré-amplificador PA-4 e por sua vez ligado a um gravador digital (Zoom H5), onde também foi utilizada uma caixa de som JBL ou fones de ouvido. A utilização desse sistema permitiu gravar sons produzidos pelos espécimes até serem detectados ao menos um número significativo de sons para cada espécie estudada. O AS-1 é adequado para medições de som subaquático e apresenta uma Faixa linear de amostragem de 1 Hz a 100 kHz ±2dB. A frequência de amostragem foi de 48 kHz, sabendo que a taxa de amostragem deve ser duas

vezes maior que a frequência de amostragem a taxa correspondeu a 96 kHz e resolução de 32 bits.

Figura 2 - Sistema de gravação acústico passivo portátil. (A) Hidrofone AS-1 (Aquarian áudio). (B) pré-amplificador PA-4 (Aquarian áudio). (C) Gravador digital zoom (Zoom H5).



Fonte: Autora (2024).

3.2.1 Serrasalmus Brandtii ; Pygocentrus piraya

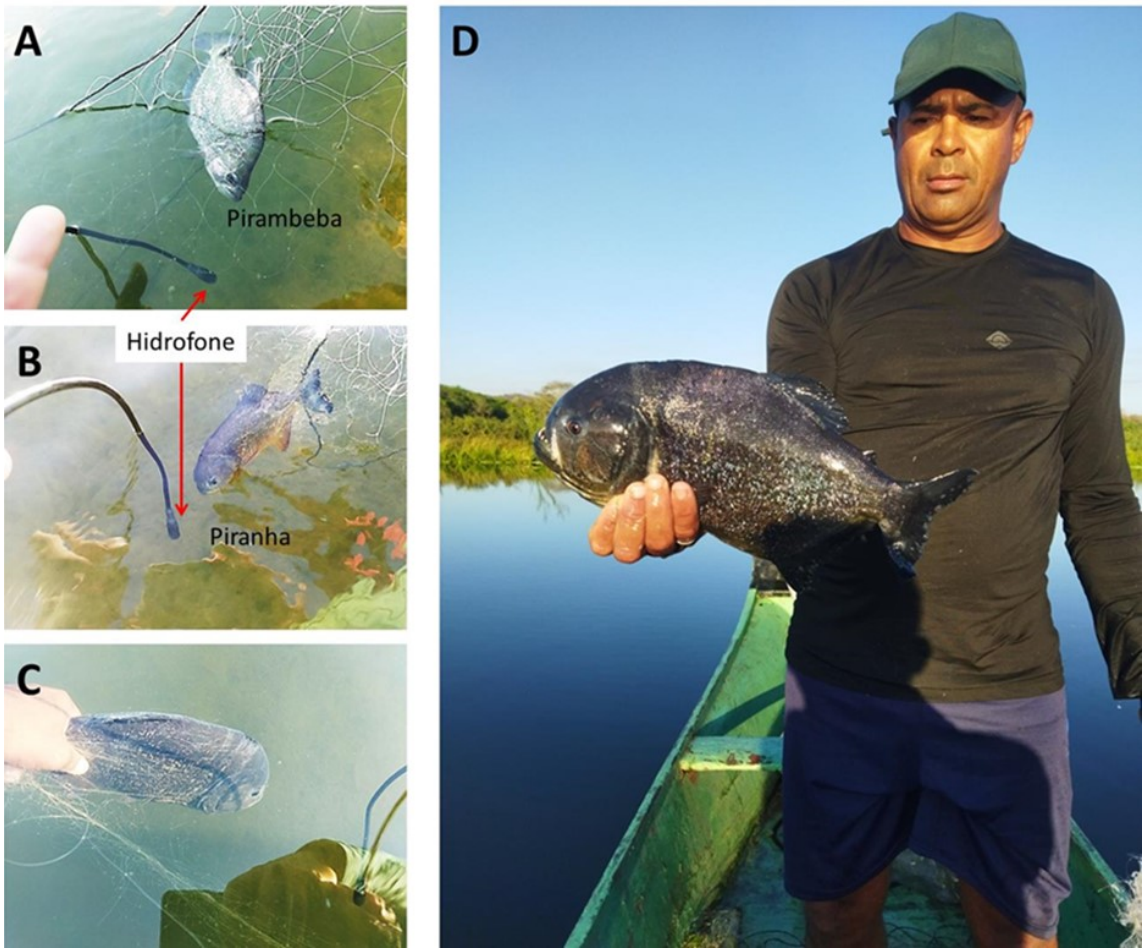
Sons da pirambeba e piranha-preta foram gravados durante a VI Expedição Científica do Rio São Francisco, entre a região de Pão de Açúcar e a Foz do São Francisco (Figura 1A), junto a pescadores artesanais locais. A captação sonora foi realizada durante a captura das espécies, que foram retidas em rede de emalhar (Figura 3). Espécie (*S. brandtii*) 11 exemplares e (*P. piraya*) 13 (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de indivíduos de pirambeba e piranha-preta gravados por cidade. Pão de açúcar (PA), Traipu (TR), Lagoa Comprida (LC), Propriá (PR), Penedo (PE) e Piaçabuçu (PB).

Espécies	PA	TR	LC	PR	PE	PB	Total
S. brandtii	3	3	-	3	-	2	11
P. piraya	-	4	7	1	1	-	13

Fonte: Autora (2024).

Figura 3 - Método de gravação de espécies endêmicas realizando durante a pesca com rede de emalhar. (A) pirambeba (*Serrasalmus brandtii*), (B) e (C) Piranha–preta (*Pygocentrus piraya*) e (D) pescador "Mestre Joh".



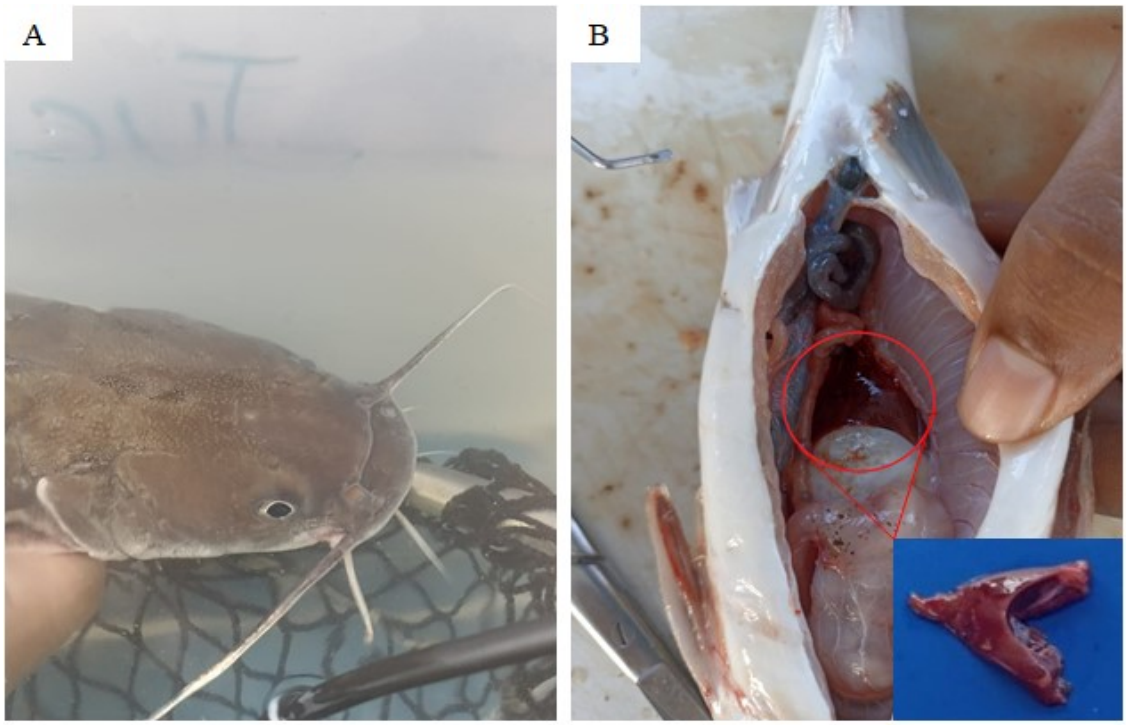
Fonte: Alfredo Borie (2024).

3.2.2 Cathorops agassizii

Caixa plástica

Em ambiente controlado os peixes (n=5) foram capturados por pescadores profissionais e acondicionados em caixas plásticas de 20 litros, com aeração constante através de pedra difusora (Figura 4A). Após a detecção de um número significativo de sons, alguns peixes foram sacrificados através de incisão craniana para avaliação do músculo sonoro localizado no abdômen (Figura 4B).

Figura 4 - (A) Exemplar acondicionado. (B) Mecanismo sonoro encontrado no bagre, presença de músculo sonoro localizado na região posterior à bexiga natatória.

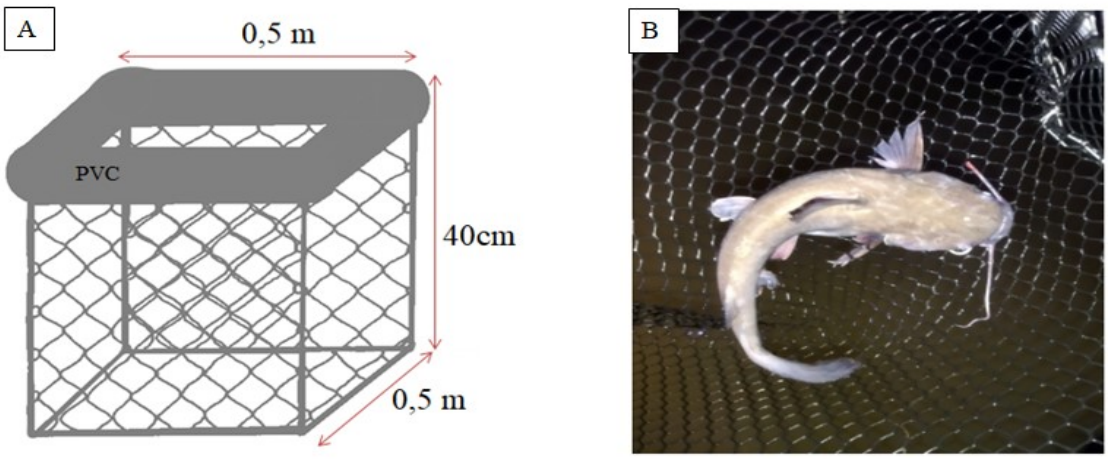


Fonte: Autora (2022).

Tanque rede

Foi desenvolvido um tanque rede com medidas 40 cm de altura x 0,5 m de comprimento x 0,5 m de largura, com tela plástica de malha 1 cm e cano de PVC de 100mm para flutuação, onde foram depositados 2 bagres de aproximadamente 20 cm (Figura 5).

Figura 5 - (A) Tanque rede e (B) Exemplar.



Fonte: Autora (2022).

Ambiente natural

Com base na experiência de pescadores locais, foram estabelecidos seis pontos de coleta. Utilizando o método de acústica passiva, as coletas se iniciaram durante o período chuvoso do ano. Os pontos foram ordenados a partir da foz do rio São Francisco, seguindo deriva até o porto da cidade de Piaçabuçu (Figura 1B). Todas as gravações aconteceram no fim da tarde até o período noturno do mesmo dia (Figura 6). Ao final foi possível contabilizar 01h:15m:20s de gravação. As coordenadas durante à deriva foram feitas com o aplicativo Geo Tracker, que permite georreferenciar pontos e transectos.

Figura 6 - Utilização do método acústico passivo durante gravações realizadas na região da foz do São Francisco no fim da tarde.

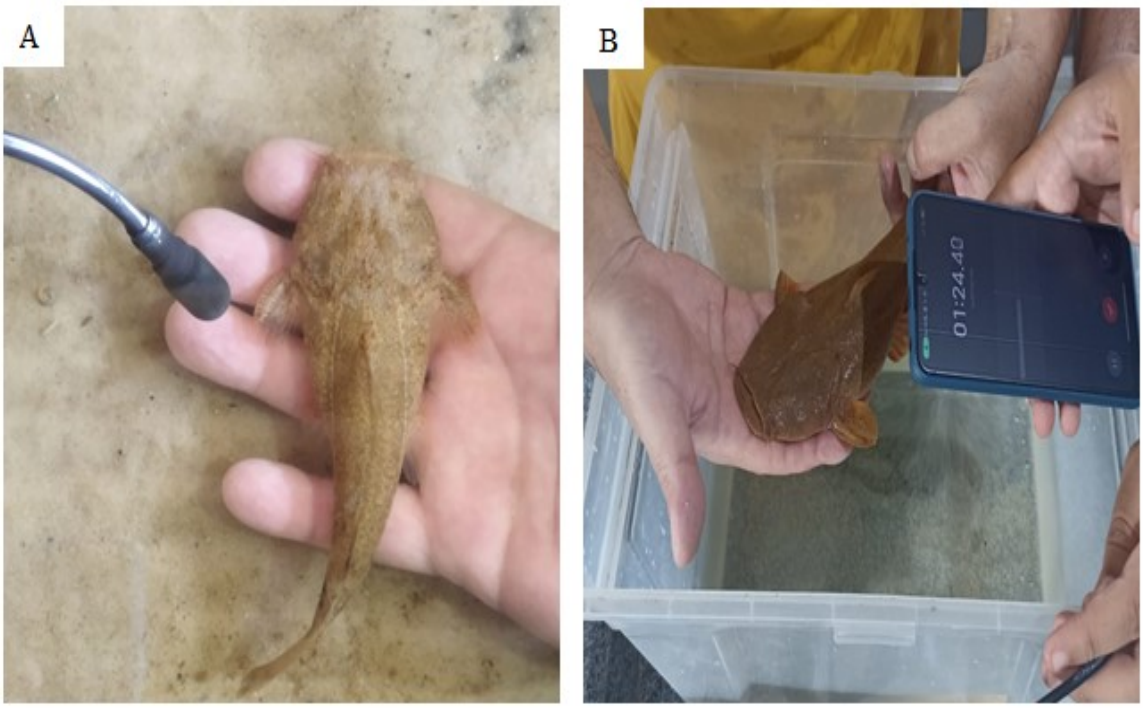
Fonte: Alfredo Borie (2022).

3.2.3 *Lophiosilurus alexandri*

Os sons foram gravados na unidade de pesquisa aplicada do centro integrado de recursos pesqueiros e aquicultura da companhia de desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf), onde produzem alevinos desta espécie com finalidade de repovoamento do baixo São Francisco, mantendo casais nos tanques de alvenaria.

Inicialmente as gravações foram realizadas com juvenis de aproximadamente 20 cm mantidos em berçário de alvenaria, caixa d'água transparente e até mesmo fora da água. No berçário foram gravados sons com o sistema portátil (Figura 7A), nas gravações fora da água, foi utilizado um celular que gravou em formato WAV (Figura 7B), durante um minuto e meio, a uma taxa de amostragem de 48 kHz e frequência de amostragem de 24 kHz.

Figura 7 - (A) Gravação dentro e (B) fora da água.

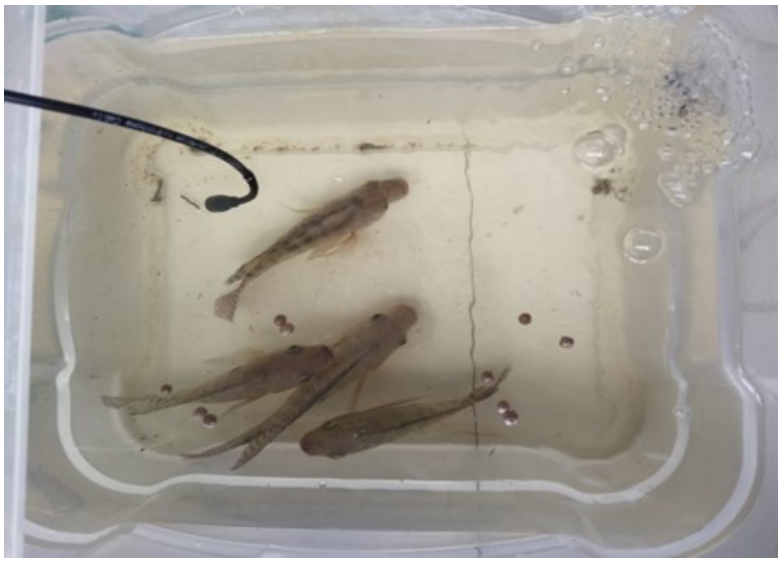


Fonte: Autora (2024).

3.2.4 Oreochromis niloticus

Em laboratório, os indivíduos da espécie alvo foram acomodados em caixas plásticas transparentes de 20 litros. Foram realizadas quatro repetições com 4 juvenis por vez (~20cm de comprimento total), totalizando 16 peixes (Figura 8). A ração comercial ofertada corresponde a 32% de proteína (pellets extrusados) com 5mm. A gravação da atividade alimentar, durou 59m:29s.

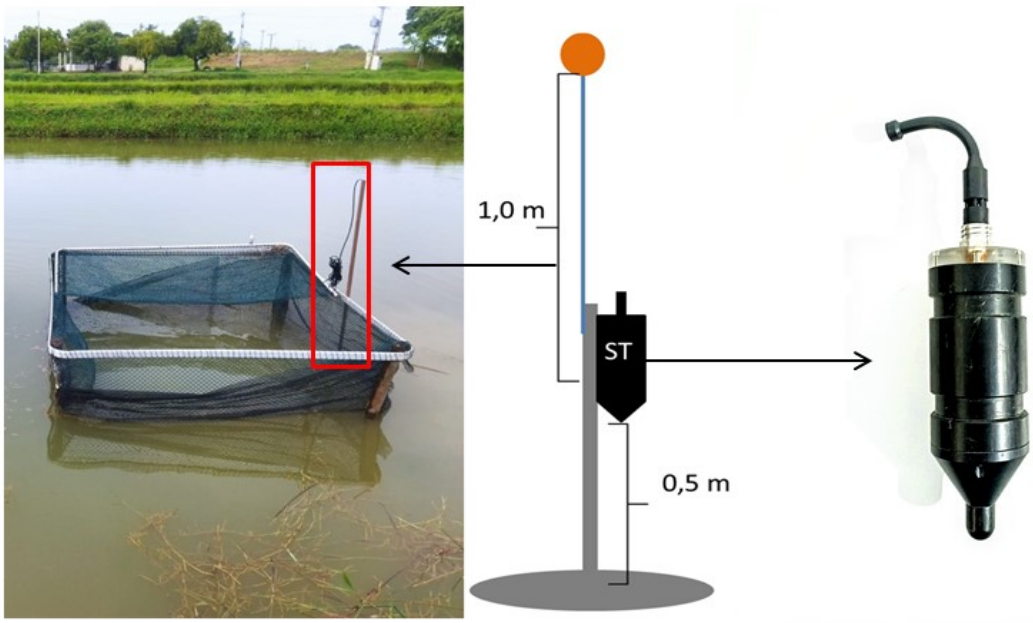
Figura 8 - Exemplares em momento de gravação.



Fonte: Alfredo Borie (2024).

Na gravação em viveiro, outro sistema foi utilizado, sendo ele composto por um gravador subaquático SoundTrap (ST) 300 (Ocean Instrument, New Zealand), que gravou de forma independente após a sua ativação por 28 minutos (Figura 9). Os sons de atividade alimentar foram coletados no horário da manhã e tempo chuvoso, em viveiro escavado de 1.200 m². A ração ofertada contém 28% de proteína e 8mm, para um total de 485 peixes reprodutores, dos quais 336 fêmeas e 149 machos.

Figura 9 - Gravador subaquático SoundTrap 300 utilizados nas gravações realizadas no viveiro escavados da Codevasf para manutenção de matrizes e reprodutores de tilápia.



Fonte: Alfredo Borie (2024).

3.2.5 *Prochilodus argenteus*

Sons gravados durante o processo de desova que ocorre horas após indução reprodutiva com hormônios, no caso hipófise de carpa. Para as fêmeas uma dose de 0.5 mg/kg e duas de 5 mg/kg. Os machos receberam dose única de 1 mg/kg. No tanque de alvenaria foram colocados 15 fêmeas com peso médio de 1kg e 30 machos de também 1kg (Figura 10). O hidrofone foi inserido no tanque durante a desova e realizou uma gravação de 1h.

Figura 10 - Tanque de alvenaria da Unidade de Pesquisa Aplicada da Codevasf.

Fonte: Autora (2024).

3.3 Análises

Após todas as gravações serem finalizadas, foram analisadas inicialmente no programa de áudio Audacity que fornece um espectrograma em escala logarítmica, janela Hann de tamanho 2048 e frequência mínima e máxima de 100 e 48000 Hz. Com os sons selecionados e extraídos do Audacity, irão passar por mais um programa de análise, o Raven Pro 1.6. Os espectrogramas e oscilogramas fornecidos pelo programa irão possibilitar as análises de parâmetros acústicos como: Baixa frequência (Hz), Máxima frequência (Hz), Pico de frequência (Hz), Duração do som (seg.), Número de pulsos (n) e Taxa de pulsação

(pulsos/seg.). Estatística descritiva feita no excel. Com a obtenção dos valores, os dados foram executados no programa de estatística RStudio, conforme a questão a ser abordada para cada espécie. Iniciando com teste de normalidade de Shapiro-Wilk para pirambeba, piranha, bagre e tilápia a nível de significância de $\alpha=0,05$. Na ausência de normalidade foram utilizados testes não-paramétricos, como o teste de Mann-Whitney para comparação de dois grupos não pareados e Kruskal-Wallis na comparação de três ou mais amostras independentes. Ao final foi realizada uma NMDS (Análise de escalonamento multidimensional não métrico), no programa Prime com nível de significância de $\alpha=0,01$ para reduzir a dimensão dos dados e visualizar a similaridade ou ausência dela entre as amostras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo da produção de sons de peixes com importância comercial para pesca e aquicultura no baixo são Francisco revelou aspectos importantes sobre a diversidade e função desses sons em diferentes contextos comportamentais.

Foi avaliada a produção de sons das seis espécies de peixes e seus respectivos comportamentos. Padrões sonoros foram emitidos por todas as espécies nos diferentes ambientes e sistemas. Os padrões foram categorizados de acordo com os comportamentos exibidos durante a produção desses sons, permitindo uma correlação entre as manifestações acústicas e as ações comportamentais, como sons de advertências (agressão/territorialismo) da pirambeba, piranha-preta, bagre e pacamã. Sons relacionados à reprodução, emitidos durante a desova do curimatã–pacu e sons de alimentação da tilápia.

4.1 Avaliação dos sons de advertência das espécies pirambeba (*Serrasalmus brandtii,* Serrasalmidae) e piranha-preta (*Pygocentrus piraya,* Serrasalmidae) durante a captura da pesca artesanal

Dos indivíduos capturados a maioria se encontravam na faixa etária adulta (aproximadamente 20 cm), apresentando comportamento de advertência ao serem capturados na rede de emalhe. Ambas as espécies emitiram sons audíveis dentro e fora d'água, a *P. piraya* emitiu sons mais graves em contraste a S. *brandtii*.

Em estudos feitos durante as últimas décadas, a produção sonora em apenas algumas espécies de piranhas carnívoras foi descrita em vários graus, sendo elas do gênero Serrasalmus e Pygocentrus (Markl, 1971; Kastberger, 1981a , b; Mélotte *et al*., 2016; Rountree; Juanes, 2018). Nas espécies carnívoras desses gêneros, os músculos sônicos originam-se na base das segundas costelas e se inserem em um amplo tendão que circunda a superfície ventral da bexiga natatória (Ladich; Bass, 2005; Millot *et al.,* 2011; Mélotte *et al.,* 2016). Em Serrasalmidae, as espécies (Pygocentrus *spp.* e Serrasalmus *spp.*) são capazes de produzir sons complexos compostos por vários pulsos (Mélotte *et al.,* 2019).

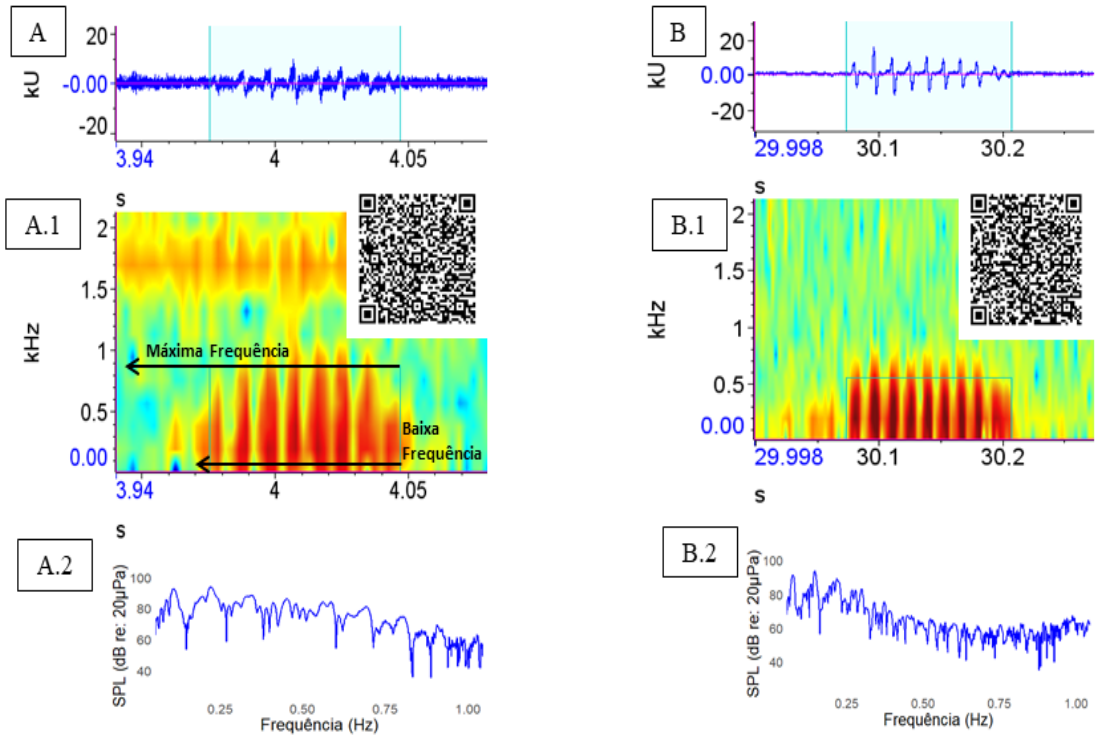
Nas análises acústicas, as emissões de cada espécie exibiram características específicas e bem definidas em seus padrões de vocalização, que podem ser usadas para identificar as espécies em estudos futuros de monitoramento acústico passivo. Análises detalhadas dos espectrogramas revelaram que os padrões de vocalização da *S. brandtii* e da *P. piraya* possuem assinaturas acústicas distinguíveis entre si, possuindo somente em comum o padrão

visual de pulsos, como visto no espectrograma abaixo (Figura 11).

O oscilograma exibe a forma de onda do som ao longo do tempo, onde o eixo horizontal representa o tempo em segundos e o eixo vertical a amplitude do sinal em kilo-unidades (kU) (Figura 11A). No espectrograma mostra a distribuição de frequências dos sons ao longo do tempo, com o eixo horizontal também representando o tempo e o eixo vertical indicando a frequência em kHz. Se mantiveram numa faixa de 0.8 (Figura 11A.1) e 0.5 kHz de máxima frequência (Figura 11B.1), respectivamente.

Abaixo é apresentado o espectro de energia do sinal sonoro. A imagem mostra a densidade espectral de potência (SPL) em função da frequência, o eixo horizontal representa a frequência em hertz (Hz), enquanto o eixo vertical representa o nível de pressão sonora (SPL) em decibéis (dB), referenciados a 20 micropascal (µPa). O espectro de energia indica a distribuição da energia sonora em diferentes frequências. Observa-se que a maior concentração de energia ocorre nas frequências mais baixas, entre 0.1 e 0.8 Hz (Figura 11A.2) onde o SPL é mais alto. À medida que a frequência aumenta, o SPL tende a diminuir gradualmente, apresentando flutuações menores nas faixas de frequência mais altas. No espectro da piranha, a maior concentração de energia sonora ocorre também nas frequências mais baixas, especialmente abaixo de 0.5 Hz (Figura 11B.2).

Figura 11 - (A) Pirambeba e (B) Piranha. Oscilograma (A e B) espectrograma (A1 e B1) e espectro de energia (A2 e B2).



Fonte: Autora (2024).

A Tabela 2 fornece uma análise estatística descritiva dos parâmetros acústicos das duas espécies, apresentando médias, desvios padrão, intervalos mínimo e máximo, e valores de p resultantes do teste não-paramétrico de Mann-Whitney usado para comparar características acústicas entre espécies, com um nível de significância de α=0,05. Os parâmetros analisados incluem a baixa frequência, máxima frequência, pico de frequência, duração, número de pulsos e taxa de pulsação.

Os resultados mostram que *Serrasalmus brandtii* tem uma maior média de baixa frequência em comparação com *Pygocentrus piraya*. Similarmente, a máxima frequência e o pico de frequência também são significativamente maiores em *S. brandtii*, sugerindo que esta espécie emite sons com frequências mais altas do que *P. piraya*. A duração dos sons emitidos por *P. piraya* é significativamente maior do que a de *S. brandtii*. As espécies de *Serrasalmus* produziram sons mais curtos e altos com períodos de pulso mais curtos (Raick *et al.,* 2023). Além disso, *P. piraya* apresenta um maior número de pulsos por evento sonoro, enquanto *S. brandtii* mostra uma taxa de pulsação mais alta, refletindo diferenças na estrutura temporal das vocalizações. Todos os parâmetros se mantiveram muito abaixo do nível de significância, ressalvando a perceptível diferença entre os padrões sonoros das espécies.

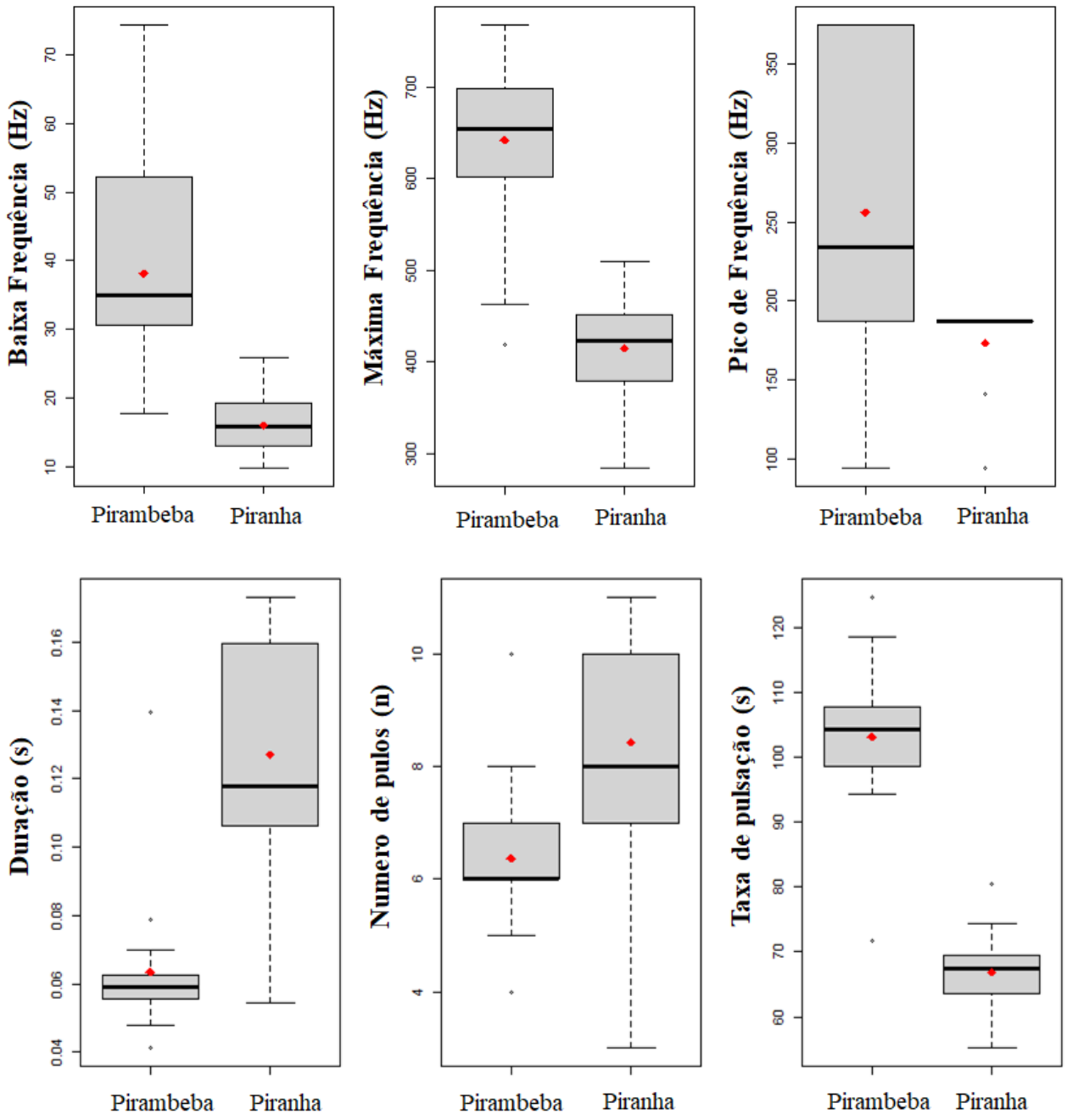
Tabela 2 - Estatística descritiva dos parâmetros acústicos utilizados. Média ± Desvio Padrão (Mínimo e Máximo) e valor de *p* através do teste não-paramétrico de Mann-whitney, α=0,05 (5%).

Parâmetros	*Serrasalmus brandtii*	*Pygocentrus piraya*	*p-value*
Baixa Frequência (Hz)	31,85±12 (10,2-74,4)	22,2±7,6 (9,1-45,6)	<<0,05
Máxima Frequência (Hz)	609,8±82,76 (380,4-772,7)	421,7±47,1 (283,7-547,1)	<<0,05
Pico de Frequência (Hz)	236,8±78,0 (93,8-375,0)	170,9±35,6 (93,8-187,5)	<<0,05
Duração (s)	0,06±0,02 (0,02-0,15)	0,13±0,03 (0,05-0,18)	<<0,05
Número de pulsos (n)	6±1,6 (3-10)	8,7±1,5 (3-12)	<<0,05
Taxa de pulsação (s)	97,2±12,2 (54,0-125,0)	69,0±5,7 (55,2-80,9)	<<0,05

Fonte: Autora (2024).

Como pode ser observado na figura 12, a pirambeba mostra maior dispersão nos três primeiros parâmetros, enquanto a piranha apresenta nos três últimos, indicando variabilidade nos dados. A grande maioria das médias e medianas não coincidem perfeitamente, sugerindo assimetrias. Todos os parâmetros apresentam *outliers*, exceto a baixa frequência.

Figura 12 - Box Plot da Pirambeba (S.brandtii) e Piranha (P. piraya). Contendo os parâmetros acústicos: Baixa frequência (Hz), Máxima frequência (Hz), Pico de frequência (Hz) e Duração do som (s). O gráfico exibe tanto a mediana (linha horizontal dentro da caixa) quanto a média (representada por pontos vermelhos sobrepostos).



Fonte: Autora (2024).

4.2 Avaliação do som produzido pelo bagre *(Cathorops agassizii,* Ariidae*)* em cativeiro e detectados no ambiente natural na região da foz do rio São Francisco

Em ambiente natural foi possível detectar em alguns pontos agregações de peixes, possivelmente da família Ariidae, comumente capturados na área. O ponto foi localizado com a ajuda de pescadores locais. O ambiente aquático se mostrou heterogêneo em relação aos sons dos peixes desse gênero, não sendo possível sua detecção em todos os pontos de gravação. Os exemplares em ambiente controlado emitiram sons de advertência ao serem manuseados, que também foram perceptíveis fora d'água. Em ambiente natural não foi possível visualizar e nem ouvir - em razão da profundidade - os peixes, provavelmente os sons originaram-se de comunicação intraespecífica, especialmente considerando a agregação detectada no local.

A comunicação através dos sons também engloba peixes da família Ariidae, denota-se que as espécies se comunicam ativamente na natureza (Mazlan *et al.,* 2008). Em algumas espécies da mesma família, argumenta-se que os sons são mais propensos a desempenhar um papel na comunicação intra e interespecífica, por exemplo, na formação de cardumes ou na dissuasão de predadores (Schmidtke *et al.,* 2013).

Pertencentes à família Ariidae os peixes denominados bagres marinhos, são recursos pesqueiros abundantes em arrastos de fundos de zonas litorâneas tropicais, sendo considerados economicamente importantes na pesca artesanal (Reis 1986; Mendonça *et al.,* 2020), e em eventos de pesca amadora esportiva nas praias as espécies do gênero entram em destaque (Freire *et al.,* 2020). Estudos em estuários tropicais do Brasil enfatizaram que as famílias de Ariidae, especialmente o gênero *Cathorops* é o grupo mais numeroso em termos de densidade e biomassa (Barletta *et al.,* 2003, Dantas *et al.,* 2010; Vilar *et al.,* 2013).

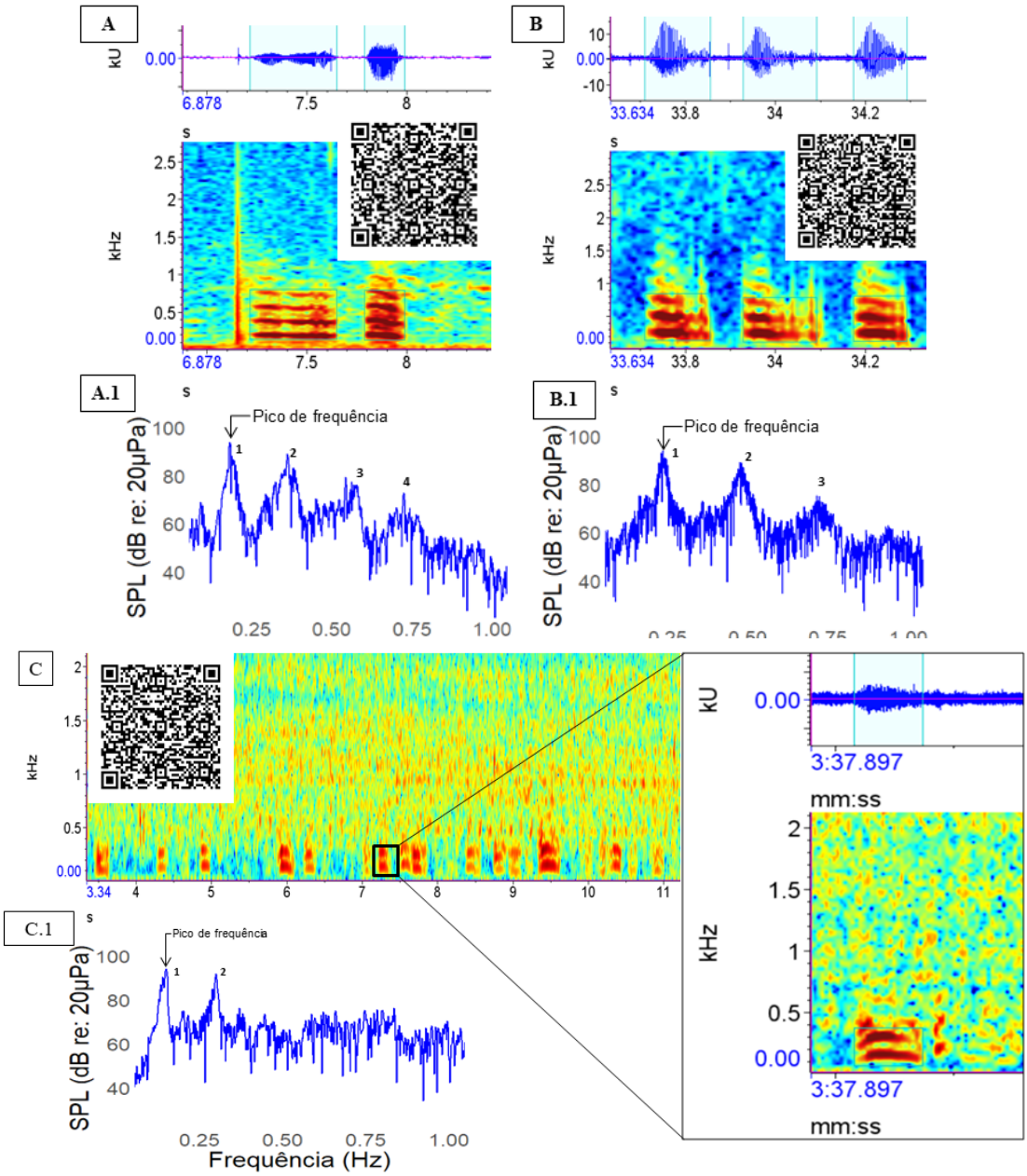
No oscilograma e espectrograma da figura 13 pode-se observar sons em caixa plástica (Figura 13A), tanque rede (Figura 13B) e harmônicos em ambiente natural (Figura 13C), com algumas diferenças de amplitude e duração. O espectrograma mostra sons harmônicos - sons harmônicos são representados graficamente em faixas horizontais - sendo uma das formas de representação gráfica dos sons nos siluriformes, esses harmônicos são produzidos através do músculo sonoro localizado na região posterior à bexiga natatória.

Os sons se mostraram distintos visualmente, notou-se três tipos de variações em relação a quantidade de harmônicos, contabilizando em média quatro para caixa plástica, três para tanque rede e dois para ambiente natural. Somente os harmônicos registrados em ambiente natural se mantiveram em uma faixa de máxima frequência abaixo de 0.5 kHz.

O espectro de energia indica a distribuição da energia sonora em razão das frequências, que foram mantidas no padrão de 0.1 até 1.0 kHz, escala linear e SPL (dB re: 20µPa) de 25 a 100 (dB re: 20µPa). Os picos de energia indicaram a posição de cada

harmônico. No espectro da figura 13A.1, os harmônicos apresentaram dispersão decrescente do primeiro até o quarto pico, semelhante a figura 13B.1. Os harmônicos em ambiente natural demonstraram dispersão mínima em relação ao pico de frequência (Figura 13C.1).

Figura 13 - (A) *C. agassizii* em caixa plástica, (B) Tanque rede, (C) Caixa plástica, (A.1, B.1 e C.1) Espectro de energia.



Fonte: Autora (2024).

Os valores estatísticos da tabela 3, para a baixa frequência, mostrou que o p-valor foi $p = 0{,}7302$, indicando que não há diferença estatisticamente significativa entre os grupos para este parâmetro. A média da máxima frequência no ambiente natural foi significativamente

menor em relação aos outros ambientes, com 491,8 Hz o p-valor indicando diferença significativa entre os grupos. O ambiente natural também se destacou nas médias de pico de frequência, apresentando valores mais altos 276,6 Hz, o valor de *p* também sugere diferença entre os grupos para este parâmetro. Na duração dos sons, apesar do intervalo pequeno entre os valores, *p* se manteve abaixo de 0,05. Os dados mostram que há diferenças significativas em três dos quatro parâmetros. A máxima frequência e o pico de frequência variam substancialmente entre os ambientes, com o Ambiente Natural apresentando frequências máximas mais baixas e picos de frequência mais altos. A duração dos sons também é significativamente diferente, com sons na caixa plástica sendo mais longos em média.

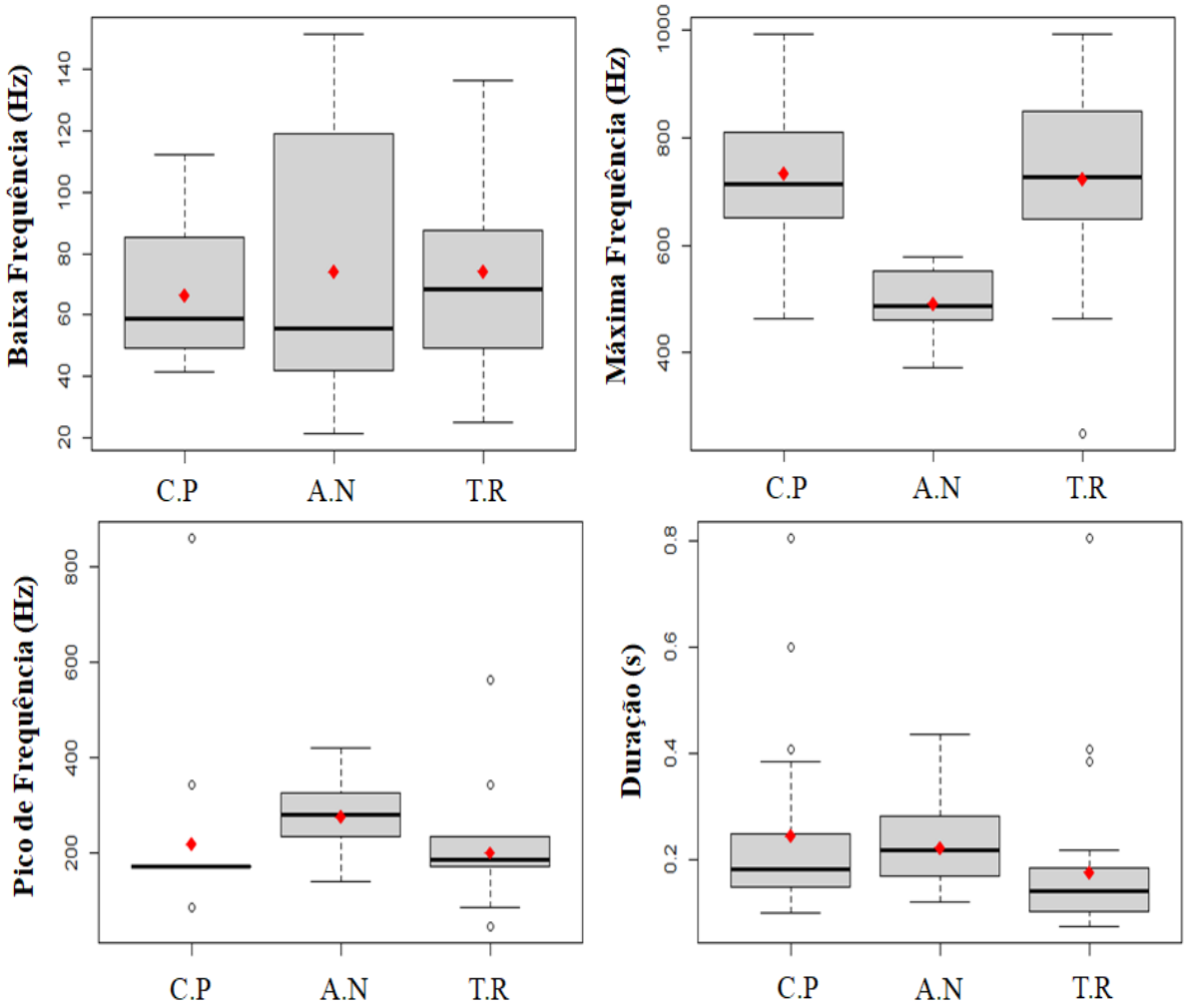
Tabela 3 - Estatística descritiva: Média ± Desvio Padrão (Mínimo e Máximo) e o valor de p-valor obtido através do teste de Kruscal-Wallis. (C.P: Caixa plástica, T.R: Tanque rede e H.N: Harmônico do ambiente natural).

Parâmetros	C.P	A.N	T.R	*p-value*
Baixa Frequência (Hz)	66,5±20,6 (41,7-112,1)	73,9±40,5 (21,4-151,5)	74,1±29,5 (25,0-136,4)	>0.7302
Máxima Frequência (Hz)	733,9±125,5 (464,7-992,7)	491,8±65,3 (371,8-578,2)	723,1±168,9 (250,0-992,7)	$<3.383^{e-09}$
Pico de Frequência (Hz)	219,6±161,7 (86,1-861,3)	276,6±64,4 (140,6-421,9)	201,2±89,2 (46,9-562,5)	$<6.856^{e-06}$
Duração (s)	0,24±0,18 (0,10-0,81)	0,22±0,08 (0,12-0,04)	0,18±0,14 (0,07-0,81)	<0.00131

Fonte: Autora (2024).

Na figura 14, os box plots proporcionam uma visão detalhada da distribuição e tendência central dos dados. Os parâmetros de pico e duração não apresentam grandes dispersões, diferente dos demais parâmetros, assim como média e mediana se encontram mais próximas em sua maioria.

Figura 14 - Box Plot dos parâmetros acústicos: Baixa frequência (Hz), Máxima frequência (Hz), Pico de frequência (Hz) e Duração do som (s). Para diferentes grupos experimentais (C.P: Caixa plástica, A.N: Ambiente natural e T.R: Tanque rede). O gráfico exibe tanto a mediana quanto a média.



Fonte: Autora (2024).

4.3 Avaliação dos sons de advertência do pacamã (*Lophiosilurus alexandri*, Pseudopimelodidae) em ambiente controlado

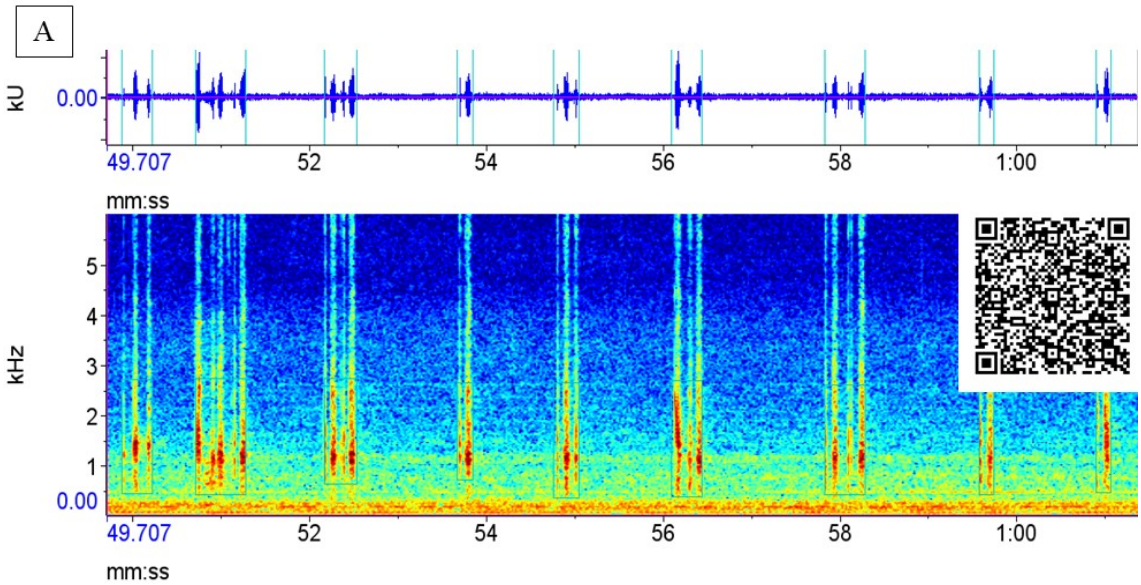
Foi detectado um tipo de som estridulatório em juvenis de pacamã, ao serem manuseados, este som é comumente encontrado em espécies de siluriformes que produzem sons estridulatórios por meio da fricção da espinha da nadadeira peitoral contra a cavidade localizada na cintura peitoral. Esse mecanismo é conhecido como estridulação. Durante esse processo, a espinha peitoral é movida rapidamente, gerando vibrações que produzem som. Este fenômeno tem sido documentado em várias famílias de bagres, incluindo Doradidae, Mochokidae e Pimelodidae (Ladich; Fine, 2006). A estridulação também pode atuar como um

mecanismo de defesa. Quando ameaçados, muitos bagres produzem sons que podem assustar ou confundir predadores. Em alguns casos, esses sons podem advertir sobre a presença de espinhas peitorais venenosas, dissuadindo ataques (Kaatz; Lobel, 2001).

A produção de sons pode ser uma forma importante de comunicação entre indivíduos da mesma espécie. Estudos demonstram que esses sons podem transmitir informações sobre a identidade, status social e estado emocional do indivíduo (Ladich, 1997). Por exemplo, em situações de disputa territorial ou hierárquica, os sons estridulatórios podem ajudar a estabelecer dominância sem a necessidade de combate físico. Embora menos documentado, há indícios de que os sons estridulatórios possam desempenhar um papel na atração de parceiros ou na sincronização de comportamentos reprodutivos. Estudos adicionais são necessários para entender completamente essa função (Ladich; Fine, 2006).

O padrão no espectrograma sugere uma emissão sonora repetitiva e cadenciada. Essa repetição é característica de muitos sons estridulatórios, onde o peixe pode modular a frequência e a amplitude para transmitir informações específicas a outros indivíduos (Ladich; Myrberg, 2006). No espectrograma, os sons produzidos pelo pacamã aparecem como faixas verticais de alta intensidade que se estendem principalmente entre 0,5 e 2,7 Hz.

Figura 15 - Oscilograma (acima) e espectrograma (abaixo) do Pacamã (*Lophiosilurus alexandri*).



Fonte: Autora (2024).

A análise estatística descritiva das características acústicas de *Lophiosilurus alexandri*, pode ser vista na tabela 4. A baixa frequência tem uma média de 480,1 Hz, com um desvio padrão de ±114,4 Hz, indicando variação moderada em torno da média, com valores mínimos

e máximos de 359,7 Hz e 705,0 Hz, respectivamente. A alta frequência tem uma média de 2599,1 Hz e um desvio padrão de ±168,3 Hz, mostrando variação perceptível entre 1054,7 Hz e 2719,4 Hz. O pico de frequência, tem uma média de 1212,4 Hz, um desvio padrão de ±149,4 Hz e varia entre 1054,7 Hz e 1453,1 Hz.A duração dos sons emitidos pelo peixe tem uma média de 0,30 segundos, com um desvio padrão de ±0,13 segundos, indicando uma variação significativa, e os extremos observados variam entre 0,17 segundos e 0,57 segundos.

Tabela 4 - Estatística descritiva média, desvio padrão, mínimo e máximo de *Lophiosilurus alexandri*.

Parâmetros	*Lophiosilurus alexandri*
Baixa Frequência (Hz)	480,1±114,4(359,7-705,0)
Alta Frequência (Hz)	2599,1±168,3(1054,7-2719,4)
Pico de Frequência (Hz)	1212,4±149,4(1054,7-1453,1)
Duração (s)	0,30±0,13(0,17-0,57)

Fonte: Autora (2024).

4.4 Avaliação do som de alimentação da tilápia (*Oreochromis niloticus*, Cichlidae), em diferentes ambientes e fases de desenvolvimento

A atividade alimentar possui grande potencial de aplicação da tecnologia acústica, podendo ser abordado pela espécie de maior produtividade e interesse comercial, a tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) que representa 63,5% da produção na piscicultura nacional. A tilapicultura domina a ampla expansão da produção nacional, colocando o Brasil como o quarto maior produtor mundial com equivalente a 534.005 toneladas por ano (Fao; Peixebr, 2022). A apreciação pela espécie gira em torno de bons fatores de crescimento e alta aceitação de alimentos artificiais (Furuya, 2010; Ng; Romano, 2013; El-Sayed, 2020).

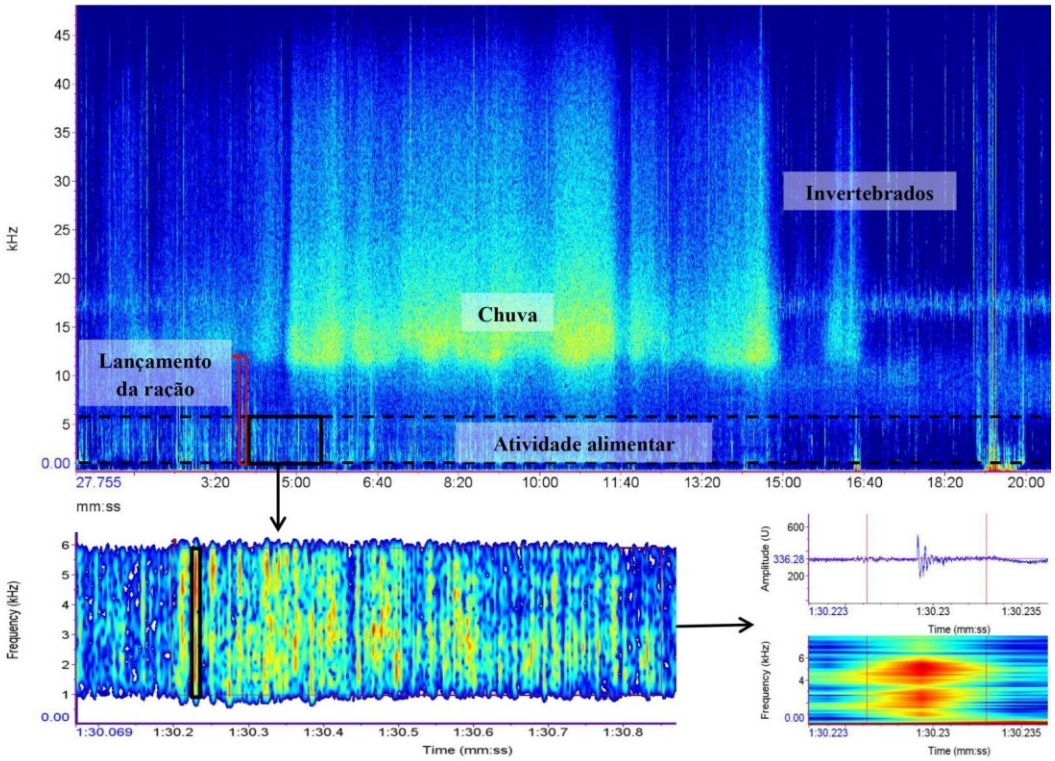
Portanto, a alimentação é uma das principais etapas para o desenvolvimento do cultivo, representando aproximadamente 70% do custo total de produção (Kubitza 1997; Pezzato *et al.,* 2000). O desperdício de ração na piscicultura deve ser evitado, não só por não satisfazer mais as necessidades nutricionais, como também os custos totais referentes a ração (Simões, 2017). A utilização da tecnologia acústica aplicada à monitorização da atividade alimentar tem se mostrado um método prático (Mallekh *et al.,* 2003) devido à rápida atenuação da luz na água, a observação visual torna-se um método ineficaz para avaliar o

apetite dos peixes em ambientes de piscicultura com águas turvas e também para evitar o excesso de oferta de alimento e convertê-lo em uma quantidade predefinida.

Neste estudo, foram testadas duas fases de crescimento em dois ambientes distintos. A espécie apresenta hábito alimentar onívoro, dieta mista e estruturas pouco especializadas, trituram o alimento através de dentes faringianos, possuindo um par superior e outro inferior, sendo esses pressionados entre si, para ocorrer o processo de trituração da ração (Rotta, 2003). Tanto os juvenis quanto os adultos de *O. niloticus* emitiram sons de mastigação ao ingerir a ração.

O registro de atividade alimentar dos indivíduos em viveiro pode ser visto na figura 16. Após a liberação da ração se iniciou um aumento acentuado na atividade acústica em frequências baixas, de 1 a 6 kHz conforme observado no trabalho de Tao-Lin *et al*. (2014). O aumento da atividade sonora sugere um comportamento alimentar intenso. Os peixes reagem rapidamente à introdução da ração, resultando em um aumento nos sons de mastigação que pode ser distinguida dos ruídos de fundo. O cenário obtido no viveiro mostrou toda a dinâmica acústica do ambiente em momento de alimentação, indicando o lançamento da ração, presença de chuva, alguns invertebrados e atividade alimentar.

Figura 16 - Sons de atividade alimentar em viveiro. (A) Espectrograma mostrando toda a dinâmica do viveiro em momento de alimentação, indicando o lançamento da ração, a atividade alimentar, chuva e alguns invertebrados .

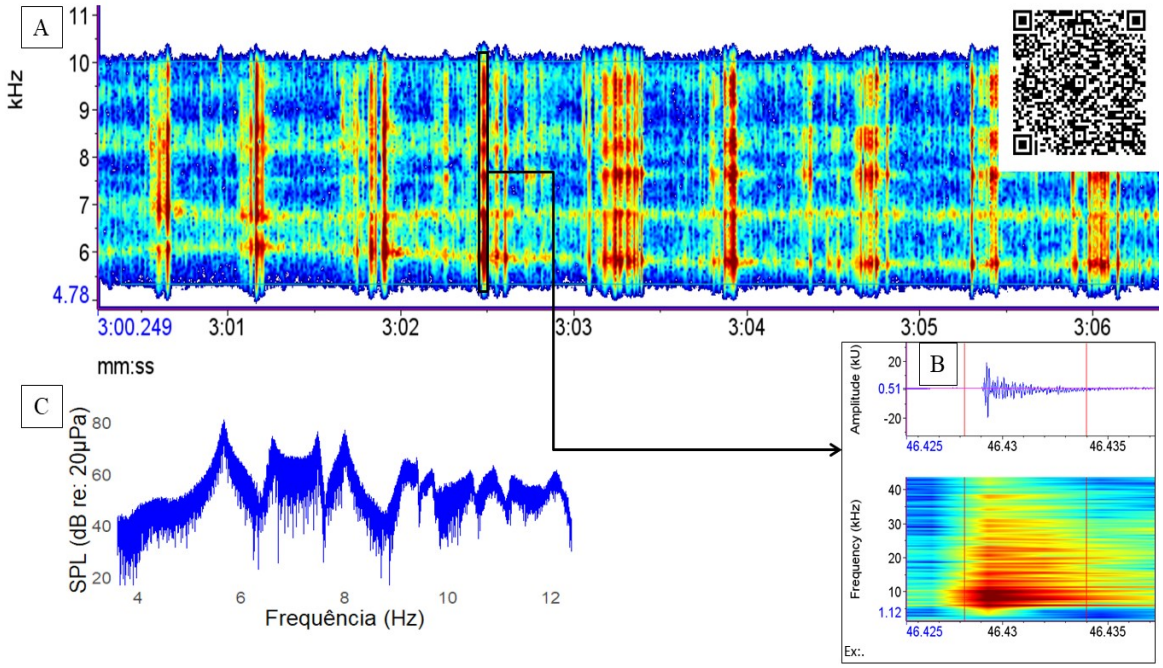


Fonte: Autora (2024).

Em ambiente controlado os indivíduos apresentaram uma faixa de frequência mais elevada em comparação aos sons de atividade alimentar detectados no viveiro, se mantendo entre 5 a 10 kHz (Figura 17A).. Como o aparelho de produção de som e os músculos associados geralmente se desenvolvem de acordo com o tamanho do corpo, é esperado que animais maiores produzam sons de frequência mais baixa (Connaughton *et al.,* 2000; Fine e Parmentier, 2015, 2016; Sprague *et al.,* 2022).

O zoom em uma parte específica do espectrograma, destaca um sinal isolado com seu espectro de frequência (Figura 17B). O espectro de energia da figura 17C mostrou os picos entre 60 a 80 SPL (dB re: 20µPa), em uma frequência de 4 a 10 Hz.

Figura 17 - Sons de mastigação em ambiente controlado. (A) Espectrograma, (B) Feixe ampliado e (C) Espectro de energia



Fonte: Autora (2024).

.

Os parâmetros acústicos entre peixes adultos e juvenis apresentaram diferenças significativas entre todos os parâmetros analisados, obtendo o valor de *p* abaixo do nível de significância estabelecido de 0,05 (Tabela 5). Os peixes juvenis exibem frequências de som significativamente mais altas e durações de som mais longas em comparação com os peixes adultos. A menor quantidade de indivíduos nas caixas, provavelmente gerou menos competição pelo alimento, aumentando assim o tempo de mastigação, como pode ser visto na tabela 5. Para a baixa frequência, os adultos têm uma média de 1144,6 Hz, enquanto os juvenis possuem uma média de 5412,1 Hz. A máxima frequência nos adultos é de 5642,5 Hz

e nos juvenis 11483,4 Hz. O pico de frequência apresenta uma média de 3375,0 Hz nos adultos, enquanto nos juvenis a média é de 7150,0 Hz. A média da duração dos sons foi de 0,0112 s nos adultos, com intervalo de 0,0076 a 0,0171 s, nos juvenis de 0,1235 s, variando de 0,0249 a 0,2653 s. Juvenis têm uma faixa de frequência e duração dos sons significativamente mais alta e variada comparada aos adultos. Isso pode sugerir diferenças no comportamento vocal ou nas capacidades acústicas entre adultos e juvenis dessa espécie.

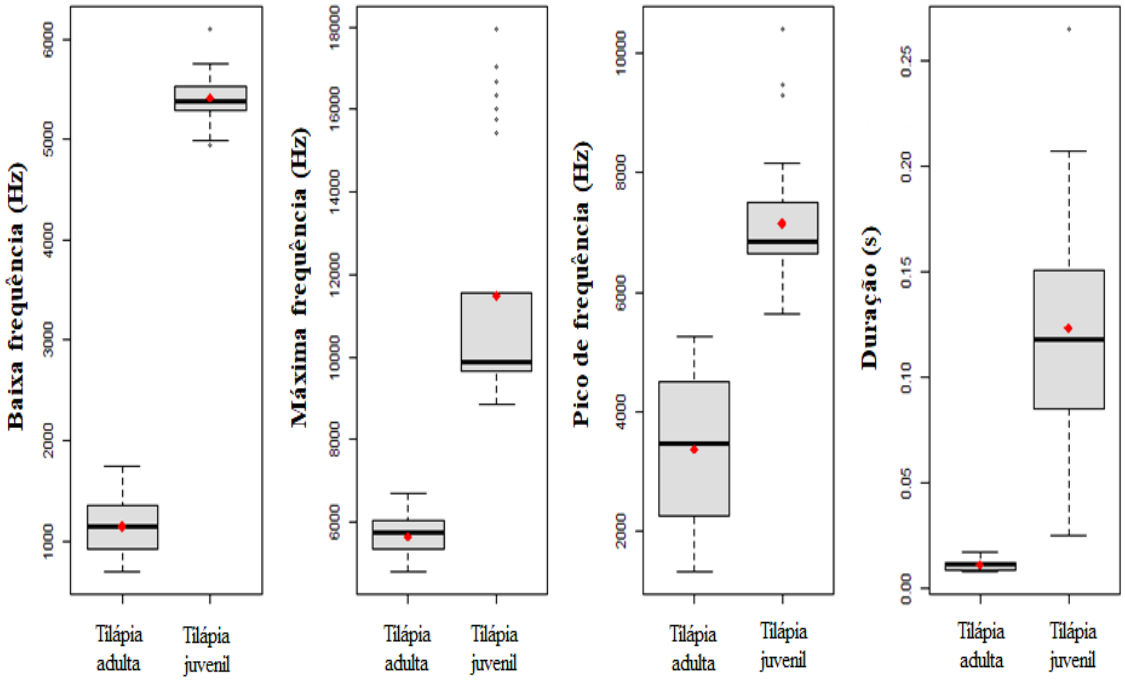
Tabela 5 - Estatística dos parâmetros acústicos utilizados. Média ± Desvio Padrão (Mínimo e Máximo) e valor de *p* através do teste não-paramétrico de Mann-whitney, α=0,05 (5%), de *O. niloticus.*

Parâmetros	**Adulta**	**Juvenil**	*p-value*
Baixa Frequência (Hz)	1144,6±287,0 (687,0-1740,5)	5412,1±1872,8 (4949,6-6100,7)	<<0,05
Máxima Frequência (Hz)	5642,5±486,6 (4778,1-6687,0)	11483,4±2879,0 (8863,3-17956,8)	<<0,05
Pico de Frequência (Hz)	3375,0±1324,9 (1312,9-1312,5)	7150,0±1154,5 (5625,0-10406,3)	<<0,05
Duração (s)	0,0112±0,0026 (0,0076-0,0171)	0,1235±0,0501 (0,0249-0,2653)	<<0,05

Fonte: Autora (2024).

Nos box plots da figura 18, houve uma maior dispersão nos parâmetros de máxima, pico de frequência (Hz) e duração (s) para tilápia juvenil, entretanto somente pico de frequência (Hz) mostrou uma maior dispersão para as tilápias adultas, isso pode indicar que a distribuição dos dados é relativamente simétrica. Os outliers presentes nos box plot das tilápias juvenis puxam a média para longe da mediana, sugerindo uma falta de simetria.

Figura 18 - Box plot dos parâmetros acústicos para duas fases de crescimento: adulta e juvenil. A mediana, marcada pela linha preta, indica o valor central dos dados, enquanto a média, indicada pelos pontos vermelhos, reflete o valor médio considerando toda a amostra.



Fonte: Autora (2024).

4.5 Avaliação dos sons durante a desova do curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*, Prochilodontidae) em ambiente controlado

Sendo uma das espécies mais valorizadas nas pescarias por seu grande porte, o curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) é espécie endêmica do rio São Francisco (Soares *et al.,* 2019), e está entre as espécies de peixes de maior interesse comercial da bacia (Santos *et al.,* 2016). Entretanto, mesmo com a importância econômica de *Prochilodus*, o maior gênero entre *Prochilodontidae*, os dados sobre a biologia de desova desta espécie ainda são limitados (Godinho *et al.,* 2017). O método de acústica passiva vem sendo usado para localizar os locais de desova de peixes sonoros (Rountree *et al.,* 2006). Durante as campanhas da 2ª à 4ª edição da expedição científica no Baixo São Francisco, não foi possível localizar agregações de *P. argenteus*, somente sons individuais de alguns poucos organismos (Borie, 2019).

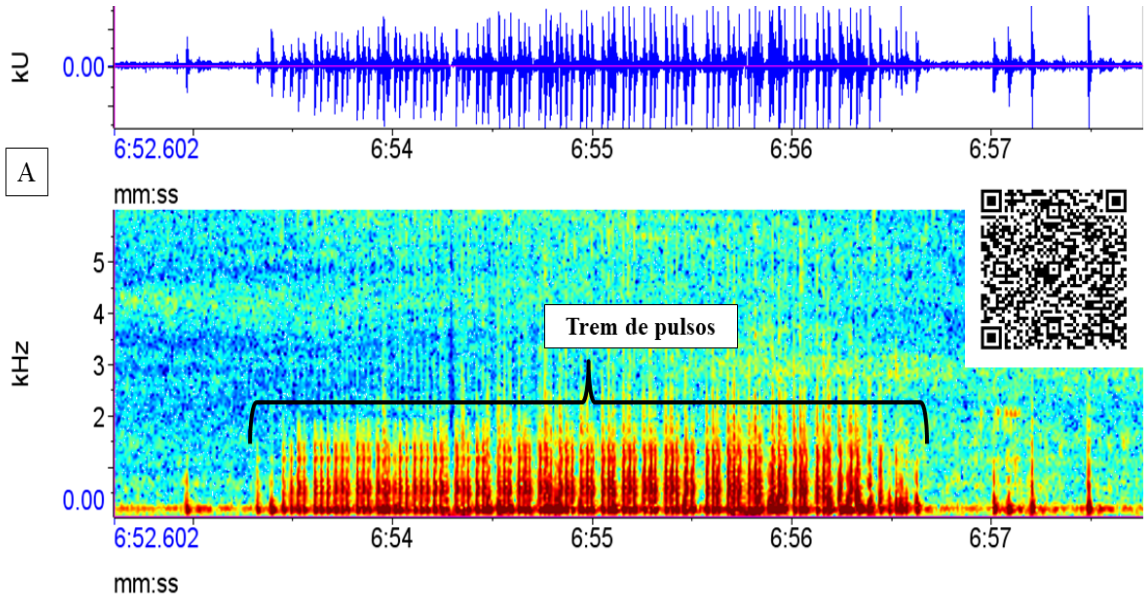
Com a capacidade de efetuar grandes migrações com propósito reprodutivo (Mago-leccia, 1972), espécies de *Prochilodus* não conseguem desovar de forma espontânea em cativeiro (Arantes *et al.,* 2013). Para que ocorra a desova em ambiente controlado é

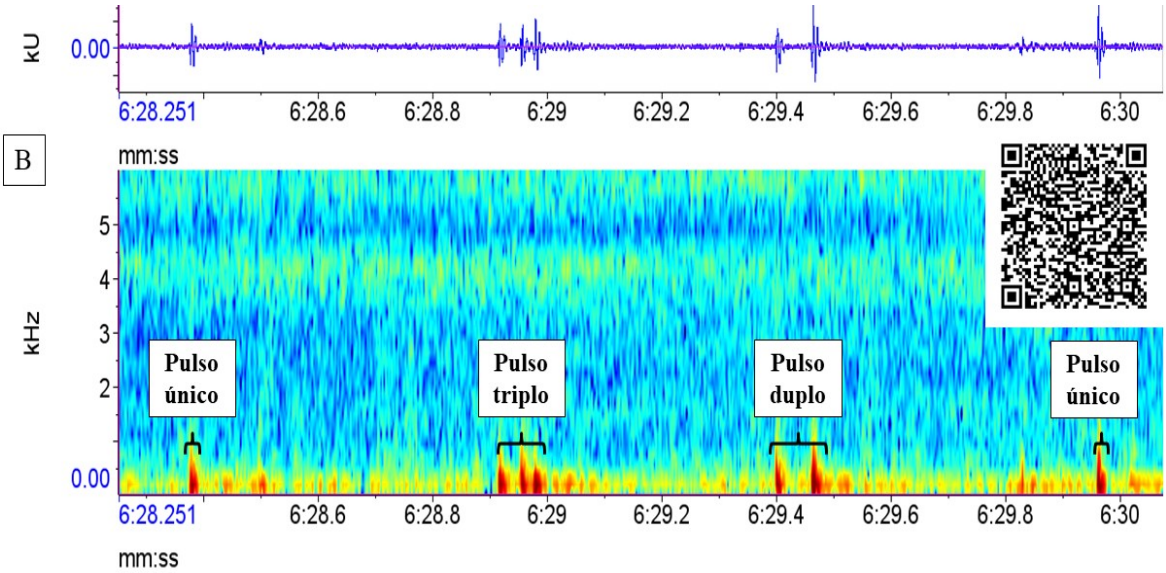
necessário o uso da hipófise produzida pela glândula pituitária de carpa (*Cyprinus carpio*), então assim a desova é induzida.

O músculo sonoro somente está presente nos machos, que produzem sons com a função de produzir chamados de acasalamento para as fêmeas durante o período de desova (Hill *et al.,* 1987; Connaughton; Taylor, 1995). Os músculos sônicos em *Prochilodontidae*, *Anostomidae* e *Serrasalmidae* são todos da mesma parte do corpo: músculos hipaxiais relacionados às primeiras costelas (Mélotte *et al.,* 2019), possuem cor vermelho-escura em machos reprodutores, evidenciando uma alta concentração de mioglobina, que sugere uma maior resistência ao cansaço (Ordway; Garry, 2004), sendo capazes de produzir longos trens de pulsos (Godinho *et al.,* 2017; Smith *et al.,* 2018).

Os indivíduos utilizados neste estudo passaram por toda a preparação habitual dos reprodutores que ocorre no centro integrado de Pesquisa Aplicada da Codevasf. As gravações ocorreram próximas ao final do processo de desova. Os machos produziram sons perceptíveis à audição humana dentro e fora do tanque de alvenaria. Ao analisar os espectros e oscilogramas, o som do *P. argenteus* apresentou o padrão de pulsos, sendo esses únicos com a presença de 1 a 7 ou trem de pulsos (conjunto de vários pulsos juntos), que foram de 16 a 85. Os pulsos isolados exibiram uma máxima frequência em até 1 kHz, entretanto os trens de pulsos mantiveram-se em 2 kHz (Figura 19).

Figura 19 - Sons emitidos durante o processo de desova. (A) Trem de pulsos e (B) Pulsos individuais.





Fonte: Autora (2024).

Os resultados obtidos neste trabalho são similares aos encontrados nesta espécie em outras regiões e também com os mesmo padrões acústicos para espécies do mesmo gênero na América do sul. Na região do alto rio São Francisco foram detectados machos desta espécie produzindo sons de baixa frequência (131 a 475 Hz). Sons com similares características encontrados neste estudo, também foram encontrados no baixo rio São Francisco (Borie, 2020) e durante a desova em cativeiro com a utilização de hormônios (Borie, 2022). Análises acústicas foram realizadas para avaliar características específicas dos sons de acasalamento de três espécies de peixes prochilodontídeos (*Prochilodus argenteus*, *P. costatus*, *P. lineatus*), induzidos com hormônios para estimular a desova em cativeiro (Smith *et al*l. 2018). Em rios da américa do sul, sons de espécies do mesmo gênero foram recentemente conhecidos (Borie *et al.,* 2019, Muñoz-Duque, 2021).

Provavelmente os sons emitidos unicamente pelos machos e que apresentem uma longa duração (>2,5 segundos) estejam relacionados com processos de maturação gonadal e maturação avançada, sendo um sinal de desova.

Parâmetros com média, desvios padrão, valores mínimos e máximos (Tabela 6). A baixa frequência observada foi de 48,18 Hz, com um desvio padrão de 20,61 Hz, variando entre 5,50 Hz e 111,60 Hz. Para frequência máxima o registro foi de 513,04 Hz, com desvio padrão de 120,27 Hz, e um intervalo de 103,90 Hz a 961,0 Hz. O pico de frequência teve uma média de 215,49 Hz, com desvio padrão de 119,13 Hz, variando de 141,0 Hz a 468,8 Hz. As durações dos sons emitidos apresentaram uma média de 0,25 segundos, com desvio padrão de 0,49 segundos, entre 0,02 segundos e 3,40 segundos. O número de pulsos em cada emissão de

som teve uma média de 5,27 pulsos, com 11,44 desvio padrão e podendo ir de 1 a 85 pulsos. A taxa de pulsação apresentou uma média de 28,40 pulsos por segundo, com desvio padrão de 26,97 e variações entre 1,90 e 240,30 pulsos por segundo.

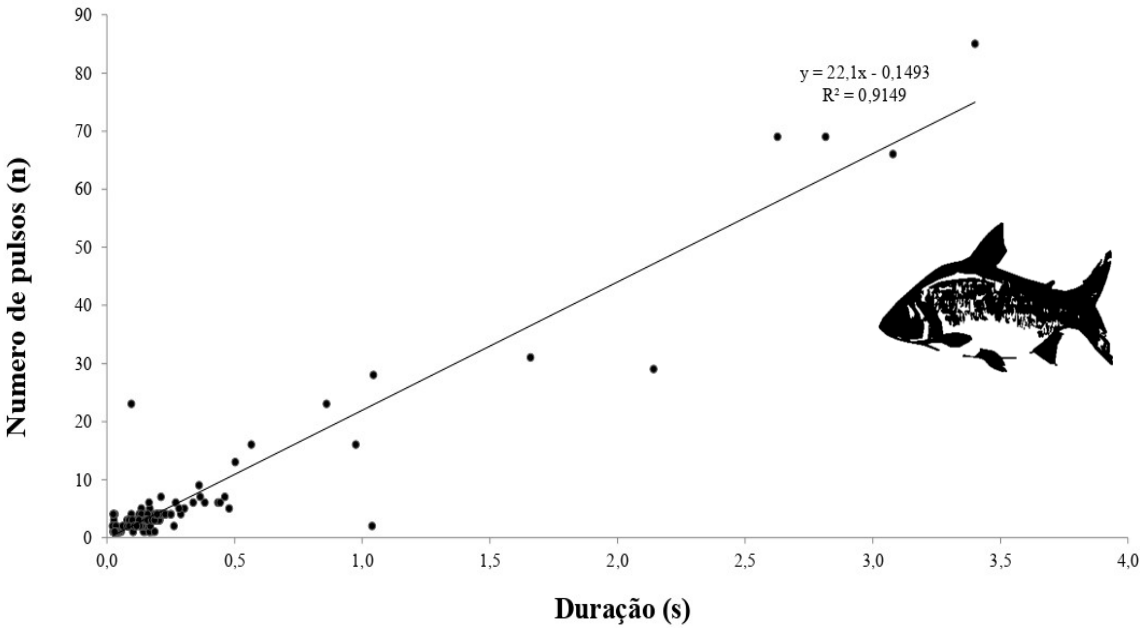
Tabela 6 - Estatística descritiva média, desvio padrão, mínimo e máximo de *Prochilodus argenteus.*

Parâmetros	*Prochilodus argenteus*
Baixa Frequência (Hz)	48,18±20,61(5,50-111,60)
Máxima Frequência (Hz)	513,04±120,27(103,90-961,0)
Pico de Frequência (Hz)	215,49±119,13(141,0-468,8)
Duração (s)	0,25±0,49(0,02-3,40)
Número de pulsos (n)	5,27±11,44(1-85,0)
Taxa de pulsação (s)	28,40±26,97(1,90-240,30)

Fonte: Autora (2024).

O gráfico de dispersão apresenta a relação entre a duração dos sons e o número de pulsos emitidos pelos peixes. A linha de tendência no gráfico indica uma forte correlação positiva entre essas duas variáveis, com a equação da linha de tendência sendo $y = 22,1x - 0,1493$ e o coeficiente de determinação: $R^2 = 0,9149$, isso sugere que, à medida que a duração dos sons aumenta, ocorre também o aumento do número de pulsos, com a inclinação da linha indicando que cada segundo adicional de duração resulta em aproximadamente 22,1 pulsos a mais. O valor de R^2 indica que 91,49% da variação no número de pulsos pode ser explicada pela variação na duração dos sons, apontando para uma correlação muito forte entre as duas variáveis. A maioria dos dados está concentrada em durações menores, com alguns pontos dispersos em durações mais longas, indicando que os sons emitidos são geralmente curtos, mas alguns momentos específicos apresentam sons mais longos com um número significativamente maior de pulsos.

Figura 20 - Correlação entre o número de pulso e o tempo de duração durante o processo de desova.

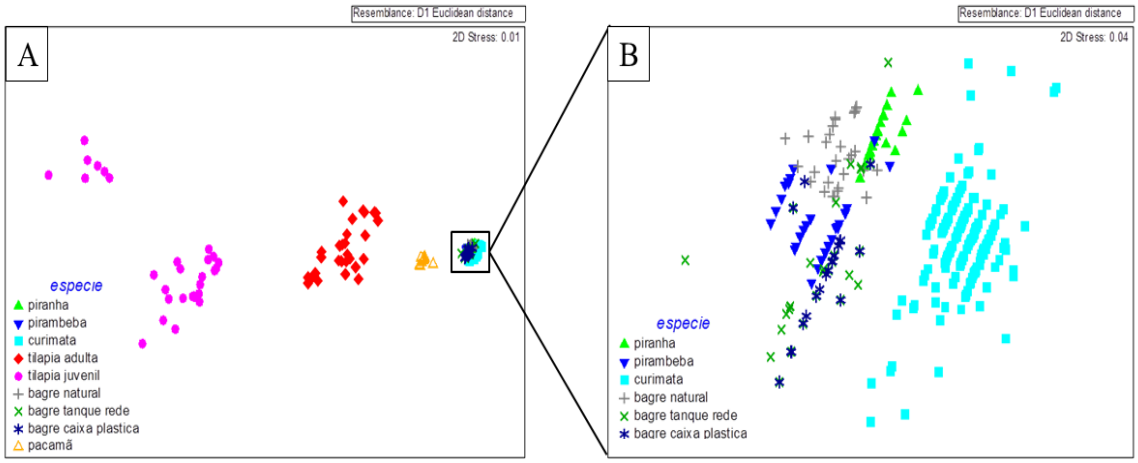


Fonte: Autora (2024).

5 NMDS (ANÁLISE DE ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL NÃO MÉTRICO)

A análise de escalonamento multidimensional não métrico permitiu avaliar se os sons são espécie-específico. As variáveis utilizadas foram suficientes para separar as espécies. Na figura 21A, mostra uma visão geral de todas as espécies, em sua maioria sobrepostas, exceto pela tilápia adulta e juvenil, e pacamã. Com a retirada desses grupos, os demais dados ficaram em evidência (Figura 21B). Todos os grupos mostraram diferença entre si, exceto os bagres gravados em caixa plástica e tanque rede, com o valor de *p* 0.8 a nível de significância de 0,01.

Figura 21 - (A) Análise multidimensional não métrica com todas as espécies. (B) NMDS - Espécies: piranha, pirambeba, curimatã-pacu, bagre natural, tanque rede e caixa plástica.



Fonte: Autora (2024).

6 CONCLUSÃO

O estudo das emissões sonoras das espécies de peixes contribui de maneira significativa para o entendimento da ecologia acústica em ambientes aquáticos. A comunicação acústica é um mecanismo fundamental que permite a interação entre indivíduos. No entanto, a compreensão plena dessas interações ainda enfrenta diversos desafios, principalmente devido à complexidade dos ambientes aquáticos e à diversidade de espécies que utilizam o som como meio de comunicação.

Ao investigar como essas espécies produzem sons e os contextos comportamentais associados a essas emissões, os pesquisadores podem identificar padrões que revelam aspectos cruciais da ecologia das espécies. Por exemplo, compreender as vocalizações associadas à reprodução pode auxiliar na identificação de áreas de desova e períodos críticos para a conservação de espécies ameaçadas.

Os avanços na tecnologia de monitoramento acústico passivo têm permitido uma análise mais detalhada desses sons em ambientes naturais e controlados. Essas gravações, quando analisadas em conjunto com modelos matemáticos, podem ajudar na automação da identificação de espécies e comportamentos, o que é crucial para o monitoramento de ecossistemas de forma não invasiva. A criação de algoritmos de reconhecimento de padrões sonoros pode, por exemplo, facilitar o rastreamento de populações em grande escala e ao longo do tempo, fornecendo dados importantes para a gestão pesqueira e conservação.

A comunicação acústica em ambientes aquáticos ainda é um campo de pesquisa relativamente novo, e muitos aspectos ainda precisam ser explorados. As variações de frequência, intensidade e duração dos sons, bem como as respostas comportamentais a essas variações, são áreas de estudo que podem revelar muito sobre as estratégias de sobrevivência das espécies. Além disso, os impactos das atividades humanas, como o aumento da poluição sonora nos oceanos, também precisam ser considerados, pois podem alterar a forma como essas espécies se comunicam.

Portanto, compreender e analisar como e por que os peixes emitem sons é essencial não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para a aplicação prática desse conhecimento na conservação e manejo sustentável dos recursos aquáticos. O estudo da ecologia acústica pode, assim, oferecer percepções valiosas que auxiliam na preservação das espécies e na manutenção do equilíbrio ecológico nos ambientes aquáticos.

REFERÊNCIAS

ARANTES, C. C., PEREIRA, M. C., *;* FERREIRA, C. E. "Bioacústica de peixes: um estudo dos padrões de comunicação em ambientes aquáticos." **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 30, n. 2, p. 341-356, 2013.

AZEVEDO, M. C. C., ARAÚJO, F. G., CRUZ-FILHO, A. G., GOMES, I. D., *;* PESSANHA, A. L. M. (1999). Variação espacial e temporal de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. **Revista brasileira de biologia**, 59(3), 443-454.

BARLETTA, M., BARLETTA-BERGAN, A., SAINT-PAUL, U. *;* HUBOLD, G.(2003). Seasonal changes indensity, biomass and diversity o*f* estuarine *f*ishes in tidal mangrove creeks o*f* the lower Caet ´e Estuary (Northern Brazilian coast, East Amazon). **Marine Ecology Progress Series** 256,217 – 228.

BESSEY, M. F.; HEITHAUS, M. R. "The effects of predation risk on the acoustic behavior of a tropical reef fish." **Animal Behaviour**, v. 86, n. 1, p. 133-140, 2013.

BORIE, A. "Acoustic Monitoring of Fish Populations in the São Francisco River Basin: Advances and Challenges." **In: Acoustic Communication in Fishes**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 103-120, 2018.

BORIE-MOJICA, A. "**Monitoramento Acústico Passivo (MAP) do Rio São Francisco**." In: ALMEIDA, C. (Org.) Acústica e monitoramento ambiental: estudos e aplicações. Editora Edufal, p. 123-145, 2019.

BORIE, A. 2020. **Avaliação da paisagem acústica do baixo rio São Francisco. Em: O baixo São Francisco: características ambientais e sociais**. 398 p. Edufal**,** Maceió, AL.

BORIE, A.; HUNGRIA, D. B.; ALI, H.; DORIA, C. R.; FINE, M. L.; TRAVASSOS, P. E. (2019). Disturbance calls of five migratory Characiformes species and advertisement choruses in Amazon spawning sites**. Journal of fish biology**, 95(3), 820-832.

CODEVASF**. Peixamento**. 2023. Disponível em: https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocios/seguranca-hidrica/revitalizacao-de-bacias-hidrograficas/peixamento. Acesso em: 04 jul. 2024.

CONNAUGHTON, M. A.; TAYLOR, M. H. (1995). "Sound Production and Associated Behaviors in the Atlantic Croaker, Micropogonias undulatus." **Copeia,** v. 1995, p. 333-340.

CONNAUGHTON, M. A., TAYLOR, M. H., and FINE, M. L. (2000). "Effects of Fish Size and Temperature on Weakfish Disturbance Calls: Implications for the Mechanism of Sound Generation," ***J. Exp. Biol***. 203, 1503–1512.

DANTAS, D. V., BARLETTA, M., COSTA, M. F., BARBOSA-CINTRA, S. C. T., POSSATTO, F. E., RAMOS, J. A.,*;* SAINT-PAUL, U. (2010). Movement patterns o*f* cat*f*ishes (Ariidae) in a tropical semi-arid estuary. **Journal of Fish Biology**, 76(10), 2540-2557.

DESIDERÀ, Elena *et al*l. Acoustic fish communities: sound diversity of rocky habitats reflects fish species diversity. **Marine Ecology Progress Series**, v. 608, p. 183-197, 2019.

EL-SAYED, A. F. M. "Tilapia Culture." **CABI Publishing**, 3ª edição, 2020.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022 (SOFIA)**: Towards Blue Transformation. Rome, 266 p.; 2022.

FINE, M. L., and PARMENTIER, E. (2015). "Mechanisms of Fish Sound Production**," in Sound Communication in Fishes. Animal Signals and Communication**, edited by F. Ladich (Springer, Vienna), pp. 77–126.

FREIRE, C. A., MARTINS, D. P., *;* LIMA, S. M. "Fish vocalizations in the Amazon: Acoustic monitoring and its implications for conservation." **Marine Ecology Progress Series**, v. 641, p. 161-174, 2020.

FURUYA, V. R. "**Aspectos da ecologia alimentar da tilápia do Nilo, Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758), em um lago tropical de clima subúmido.**" Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, 2010.

GODINHO, Alexandre Lima; SILVA, Clarissa Chalub Fonseca; KYNARD, Boyd. Spawning calls by zulega, Prochilodus argenteus, a Brazilian riverine fish. **Environmental Biology of Fishes**, v. 100, p. 519-533, 2017.

GOMES, M.V.T.; BRITO, M.F.G.D. A percepção dos pescadores e a educação ambiental como subsídios para a conservação do Baixo São Francisco. Ecologias Humanas: **Revista da Sociedade Brasileira de Ecologia Humana**, v.3, n.3, p.98-119, 2017.

HILL, G. E.; ENLOW, R. W.; YUNGHANS, W. N. (1987). "The Role of Acoustic Signals in the Reproductive Behavior of Fish." **Environmental Biology of Fishes**, v. 20, p. 235-245.

KAATZ, I. M., *;* LOBEL, P. S. (2001). Acoustic behavior and reproduction in a freshwater catfish (Corydoras paleatus). **Bioacoustics**, 12(2-3), 208-210.

KASTBERGER, G. "Bioacoustic Signals in Fish: A Review of Communication Strategies." **Bioacoustics**, v. 4, p. 85-104, 1981a.

KASTBERGER, G. "Acoustic Communication in Freshwater Fish: Field and Laboratory Studies." **Animal Behaviour**, v. 29, p. 1025-1038, 1981b.

KUBITZA, F. 1997. Qualidade da Alimentação, Qualidade da Água e Manejo Alimentar na Produção de Peixes. Anais do Simpósio sobre Manejo Alimentar e Nutrição de Peixes. **CBNA**. Piracicaba 1997:63-101.

LADICH, F. 2000. Agonistic behaviour and significance of sounds in vocalizing fish. **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, 29(1-4), 139-152.

LADICH, F.; BASS, A.H. 2005. Vias motoras sonoras em piranhas com uma reavaliação dos padrões filogenéticos dos mecanismos sonoros entre teleósteos**. Cérebro, Comportamento e Evolução** 66: 167–176.

LADICH, F.; FINE, M. L. 2006. Sound-generating mechanisms in fishes: a unique diversity in vertebrates. **Communication in Fishes**, 1, 3-43.

LADICH, F. "Hearing in Fish: An Overview." In: The Senses: A Comprehensive Reference. Volume 4: Sensory Systems of Aquatic Animals, edited by J. M. G. P. R. C. Miller. **Academic Press**, p. 215-236, 2014.

LADICH, F., *;* FINE, M. L. (2003). The role of the swimbladder in sound production by fish. **Journal of Fish Biology**, 63(3), 587-603.

LADICH, F.; BASS, A. H. "Sound-Generating Mechanisms in Fish: A Review of Current Knowledge." **Bioacoustics**, v. 9, n. 1-3, p. 1-23, 1998.

LADICH, F.; BASS, A.H. 2005. Vias motoras sonoras em piranhas com uma reavaliação dos padrões filogenéticos dos mecanismos sonoros entre teleósteos. **Cérebro, Comportamento e Evolução** 66: 167–176.

LADICH, F.; MYRBERG, A. A. "Sound Communication in Fish**." In: Communication in Fishes**. Springer, Dordrecht, p. 5-40, 2006.

LADICH, F., *;* MYRBERG, A. A. (2006). Agonistic behavior and acoustic communication. In Communication in Fishes (Vol. 1, pp. 121-148). **Science Publishers**.

LI, D.; WANG, X.; ZHANG, Y.; GARCIA, C.; KIM, J.; PEREIRA, M. Avanços recentes em tecnologia acústica para aquicultura: uma revisão. **Revista de Aquacultura**, v. 16, n. 1, p. 357-381, 2024. doi: 10.1111/raq.12842.

LINDSETH, A. V.; LOBEL, P. S. "Monitoramento da paisagem sonora subaquática e bioacústica dos peixes: uma revisão". **Peixes**, 2018; 3(4): 3.

LUCZKOVICH, JOSEPH J.; SPRAGUE, MARK W. Using passive acoustics to monitor estuarine fish populations. **Bioacoustics**, v. 12, n. 2-3, p. 289-291, 2002.

LUCZKOVICH, JOSEPH J. *et al*l. Identifying sciaenid critical spawning habitats by the use of passive acoustics. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 137, n. 2, p. 576-605, 2008.

MAGO-LECCIA, F.M. (1972) Consideraciones sobre la sistemática de la família Prochilodontidae (Osteichtyes, Cypriniformes), com uma sinops de la espécies de Venezuela. **Acta Biol**. Venez, v.8, p.35-96.

MALLEKH, R.; LAGARDÈRE, J.P.; ENEAU, J.P.; CLOUTOUR, C. Um detector acústico da atividade alimentar do pregado. **Aquicultura**, 2003; 221(1-4): 481-489.

MANN, DAVID A.; HAWKINS, ANTHONY D.; JECH, J. MICHAEL. Active and passive acoustics to locate and study fish. **Fish Bioacoustics**: With 81 Illustrations, p. 279-309, 2008.

MARQUES, TIAGO A. *et al*l. Estimating animal population density using passive acoustics. **Biological reviews**, v. 88, n. 2, p. 287-309, 2013.

MARKL, H. "Sound Production and Hearing in the Fish Family Sciaenidae." **Journal of Experimental Biology**, v. 54, p. 369-389, 1971.

MAZLAN, A. G., BASS, A. H., *;* KASSIM, M. "Acoustic signaling in a coral reef fish, Gonioplectrus hispanus (Pisces: Epinephelidae)." **Bioacoustics**, v. 17, n. 1, p. 41-52, 2008.

MÉLOTTE, G., RAICK, X., *;* PARMENTIER, E. "Functional morphology of sound-producing structures in Serrasalmidae (piranhas and relatives)." **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 119, n. 3, p. 530-546, 2016.

MÉLOTTE, G., RAICK, X., VIGOUROUX, R., *;* PARMENTIER, E. "Acoustic signaling and sound production in piranhas: Evidence for the use of sound in aggressive interactions and courtship." **Journal of Fish Biology**, v. 88, n. 3, p. 1101-1118, 2016.

MÉLOTTE, Geoffrey; RAICK, Xavier; VIGOUROUX, Régis; PARMENTIER, Eric. Origin and evolution of sound production in Serrasalmidae. **Biological Journal Of The Linnean Society**, [S.L.]. 17 jul. 2019. Oxford University Press (OUP).

MENDONÇA, J. T., BALANIN, S., *;* GARRONE-NETO, D. (2020). The marine catfish Genidens barbus (Ariidae) fisheries in the state of São Paulo, southeastern Brazil: diagnosis and management suggestions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 92.

MILLOT, S.; VANDEWALLE, P.; PARMENTIER, E. (2011). Produção sonora em piranhas de barriga vermelha (Pygocentrus nattereri, Kner): um estudo acústico, comportamental e morfofuncional. **O Jornal de Biologia Experimental** 214: 3613– 3618.

MONTENEGRO, S.C.S.; NORDI, N.; MARQUES, J.G.W. Contexto cultural, ecológico e econômico da produção e ocupação dos espaços de pesca pelos pescadores de pitu (Macrobrachium carcinus) em um trecho do Baixo São Francisco, Alagoas-Brasil. **Interciência**, v.26, n.11, p.535-540, 2001.

MONTIE, ERIC W. Acoustic monitoring indicates a correlation between calling and spawning in captive spotted seatrout (Cynoscion nebulosus). **Peer J**, v. 5, p. e2944, 2017.

MUÑOZ-DUQUE, Sebastián *et al*l. Bioacoustic characterization of mating calls of a freshwater fish (Prochilodus magdalenae) for passive acoustic monitoring. **Biota colombiana,** v. 22, n. 1, p. 108-121, 2021.

NG, C. S. *;* ROMANO, N. "Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization, and body composition of tilapia (Oreochromis niloticus)." **Aquaculture**, v. 408-409, p. 18-24, 2013.

ORDWAY, G.A.; GARRY, D.J. 2004. Myoglobin: an essential hemoprotein in striated muscle**. Journal of Experimental Biology**, 207: 3441–3446.

PARMENTIER, E.; IORIO, L.D.; PICCIULIN, M. *et al*l. A consistência dos recursos sonoros espaço-temporais apoia o uso de acústica passiva para monitoramento de longo prazo. **Anim Conserva**. 2017; 21(3): 211-220.

PARMENTIER, E., and FINE, M. L. (2016). In “Fish Sound Production: Insights,” **in Vertebrate Sound Production and Acoustic Communication**, edited by R. A. Suthers and T. Fitch (Springer, New York), pp. 19–49.

PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2022**. São Paulo: Associação brasileira da piscicultura, 79 p.; 2022.

PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; BARROS, M.M.; PINTO, L.G.Q.; PEZZATO, A. *et al*l. Valor nutritivo do farelo de coco para tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus). **Acta Scientiarum Animal Science**, 2000, 22:695-69.

PINHO, M.K.; WANG, K.; WANG, D. O uso do habitat em grande escala pelos golfinhos jubarte do Indo-Pacífico, Sousa chinensis, pode ser mais influenciado pelos peixes do que pelas embarcações no estuário do Rio das Pérolas. **China Mar Mamífero** Sci. 2017; 33(1): 291-).

RAICK, XAVIER; GODINHO, Alexandre Lima; KURCHEVSKI, Gregório; HUBY, Alessia; PARMENTIER, Éric. Bioacoustics supports genus identification in piranhas. **The Journal Of The Acoustical Society Of America,** [S.L.], v. 154, n. 4, p. 2203-2210, 1 out. 2023. Acoustical Society of America (ASA). http://dx.doi.org/10.1121/10.00.

REIS, E.G. 1986. **A pesca artesanal de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) no estuário da Lagoa dos Patos (RS)**, Brasil. Rio Grande, FURG, Documentos técnicos 5, 22p.

ROUNTREE, R. A. *et al*. Ouvindo peixes: aplicações da acústica passiva à ciência pesqueira. **FISH**, v. 31, n. 9, p. 433–446, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1577/1548-8446(2006)31[433:LTF]2.0.CO.

ROUNTREE, R. A., *;* JUANES, F. "Acoustic communication and its role in fish behavior: a review of the state of the art and future directions." **Journal of Fish Biology**, v. 92, n. 5, p. 1246-1267, 2018.

ROTTA, Marco Aurélio. Aspectos Gerais da Fisiologia e Estrutura do Sistema Digestivo dos Peixes Relacionados à Piscicultura. Mato Grosso do Sul: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (EMBRAPA)**, 2003.

ROWELL, TIMOTHY J. *et al*l. Estimating fish abundance at spawning aggregations from courtship sound levels. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 3340, 2017.

SANTOS, E. L.; SOARES, E. C.; SILVA, T. J.; ALBUQUERQUE, I. C. M.; MOURA, S. C. S. Restrição alimentar no desempenho de machos do peixe beta (Betta splendens). **Comunicata scientiae** 7(1): 12-23, 2016.

SIMÕES COELHO BARONE, R. Ração é o principal insumo da produção aquícola Ano 3 - Edição 13 -Junho de 2017-**Boletim ativos da aquicultura**.

SOARES, E.; ALMEIDA, E. O.; ARAÚJO, K.; LIMA, M.; GUSMÃO-JÚNIOR, L.; OLIVEIRA, W. D. *;* SANTOS, E. L. (2019). Polyculture of curimatã-pacu (Prochilodus argenteus) and canela Shrimp (Macrobrachium acanthurus) feed with dehidrated cassava leaf meal**. Latin American Journal of Aquatic Research**, 47:27-33. DOI: 10.3856

SCHMIDTKE, C., KOSTER, D., *;* ELLER, P. "A comparison of acoustic and visual fish surveys to assess the effects of habitat restoration." **Journal of Fish Biology**, v. 83, n. 2, p. 379-396, 2013.

SPRAGUE, M. W., FINE, M. L., and CAMERON, T. M. (2022). "An Investigation of Bubble Resonance and Its Implications for Sound Production by **Deep-Water Fishes," *PLoS One* 17**, e0267338.

TAO-LIN, Tang; RONG, Tang; SHI-JING, Liu; JUN, Chen; LEI, Miao; RONG, Zhou. Acustic control of feeding in Tilapia culture. **Progress In Fishery Sciences**, Xangai, v. 35, n. 3, jun. 2014.

TRICAS, T. C.; BOYD, D. R. "Communication in Reef Fishes." **In: The Behavior of Marine Animals: Current Perspectives**. Springer, New York, p. 51-76, 2014.

TYACK, P. L. Acoustic communication under the sea. **In: Animal acoustic communication**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998. p. 163-220.

VIEIRA M , PEREIRA BP , POUSÃO-FERREIRA P , FONSECA PJ , AMORIM MCP . "Variação sazonal da escassa sinalização acústica cativa: uma abordagem de reconhecimento manual e automático" . **Peixes** . 2019 ; 4 (2): 28 - 38.

VILAR, C. C., JOYEUX, J. C., GIARRIZZO, T., SPACH, H. L., VIEIRA, J. P., *;* VASKE-JUNIOR, T. (2013). Local and regional ecological drivers of fish assemblages in Brazilian estuaries. **Marine Ecology Progress Series**, 485, 181-197.