

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS: ÊNFASE EM BIOLOGIA MARINHA E COSTEIRA**

**SARA CARDENAS ALVAREZ**

**ECOS SOB AS ONDAS: CARACTERIZAÇÃO DA ASSINATURA ACÚSTICA  
DE UM ESTUÁRIO URBANIZADO NO SUL DO BRASIL**

**IMBÉ**

**2024**

**SARA CARDENAS ALVAREZ**

**ECOS SOB AS ONDAS: CARACTERIZAÇÃO DA ASSINATURA ACÚSTICA  
DE UM ESTUÁRIO URBANIZADO NO SUL DO BRASIL**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas com ênfase em Biologia Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em convênio com a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadores: Dra. Lilian Sander Hoffmann  
e Dr. Ignacio Benites Moreno

IMBÉ

2024

### CIP - Catalogação na Publicação

Alvarez, Sara Cardenas

Ecossob as ondas: Caracterização da assinatura acústica de um estuário urbanizado no sul do Brasil / Sara Cardenas Alvarez. -- 2024.

60 f.

Orientador: Ignácio Benites Moreno.

Coorientadora: Lilian Sander Hoffmann.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Curso de Ciências Biológicas: Biologia Marinha e Costeira, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Paisagem acústica. 2. Pressão sonora. 3. Cetáceos. 4. Antropofonia. I. Moreno, Ignácio Benites, orient. II. Hoffmann, Lilian Sander, coorient. III. Título.

**SARA CARDENAS ALVAREZ**

**ECOS SOB AS ONDAS: CARACTERIZAÇÃO DA ASSINATURA ACÚSTICA DE  
UM ESTUÁRIO URBANIZADO NO SUL DO BRASIL**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas com ênfase em Biologia Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em convênio com a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadores: Dra. Lilian Sander Hoffmann e Dr. Ignácio Benites Moreno

Aprovada em: \_\_/\_\_/

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Camila Both

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Ms. Cintia Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Fábio Lameiro

Coordenador da atividade

Trabalho de conclusão II - CBM

Dedico ao meu filho, que me ensinou que  
a maior grandeza é viver no amor.  
E a todos aqueles loucos o suficiente de  
irem atrás dos seus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família que é minha base e minha morada. Obrigada mãe por todo o apoio, amor, parceria e incentivo, sem ti não seria possível. Obrigada Mono, meu paizão de coração, por ser um braço amigo e por sempre acreditar em mim. Obrigada ao meu irmão que me traz tantas risadas - algo essencial para épocas tão desafiadoras como o fim deste ciclo. E por último, mas mais importante, obrigada a ti meu filho pois és minha força e motivo de dedicação, porque és o norte que guia meu caminho e minhas decisões e porque teu amor me carrega mesmo nos dias de exaustão.

Meus agradecimentos especiais aos meus orientadores. Binha, obrigada por entrar junto comigo nesse desafio e por todo o conhecimento compartilhado. Te admiro como pessoa e como profissional. Iggy, obrigada por abraçar a causa, mesmo estando envolvido em tantos outros projetos. Obrigada por me lembrar constantemente que é possível ser mãe e cientista ao mesmo tempo. Gostaria de agradecer também a toda equipe do projeto dos botos da barra que me ajudaram tanto nos campos: Elisa, Yuri, Letícia, Natália, Eloisa, obrigada por entrar na água e contar carros em pleno sol do verão. Obrigada ao Olavo e todas as demais pessoas que participaram dos campos e contribuíram com a realização deste projeto.

A todos os professores da graduação por ter me dado a base necessária para encarar o mundo profissional fora da academia e pelo conhecimento passado. Obrigada ao Caron, que mais que professor é amigo, quem está sendo tão decisivo nas etapas vindouras após a formatura. Ao Matias por sempre estar disposto a nos ajudar e resolver nossas vidas.

Muito obrigada as minhas amigas: Thais, Rafa, Lari e Marcinha, por ser minha rede de apoio, com quem compartilho risadas e prantos, alegrias e aflições. Obrigada por tornar tudo mais leve e por sempre me incentivar.

Finalmente, meus agradecimentos com a UFRGS por tornar tudo isso real.

“Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano, ele treme de medo.

Olha para trás, para toda a jornada, os cumes das montanhas, o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre.

Mas não há outra maneira.

O rio não pode voltar.

Ninguém pode voltar.

Voltar é impossível na existência. Você pode apenas ir em frente.

O rio precisa se arriscar e entrar no oceano.

E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece.

Porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano, mas tornar-se oceano.

Por um lado é desaparecimento e por outro lado é renascimento”.

Osho

## RESUMO

As paisagens acústicas desempenham um papel crucial na compreensão da saúde e dinâmica dos ecossistemas costeiros. Contudo, a intrusão do ruído antropogênico representa uma ameaça crescente, tendo impactos nos ecossistemas e vida marinha. Nesse contexto, o monitoramento acústico emerge como uma ferramenta indispensável para decifrar os padrões sonoros subaquáticos e avaliar os efeitos das atividades humanas. O presente trabalho teve por objetivo a caracterização da assinatura acústica subaquática da barra do Rio Tramandaí, um estuário urbanizado no sul do Brasil, que abriga uma população ameaçada de botos (*Tursiops gephyreus*) que utilizam a área para diferentes aspectos da sua biologia. A metodologia empregada na pesquisa envolveu o uso de hidrofone para gravar três pontos ao longo da barra do Rio Tramandaí, e a mensuração dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência em ambiente python. Os resultados da pesquisa revelaram uma assinatura acústica homogênea na barra do Rio Tramandaí, com pequenas nuances entre os pontos de coleta. Este padrão pode ser disrupto por obras costeiras como no caso da proposta de construção de uma nova ponte na região. Essas descobertas forneceram uma caracterização inicial e de linha de base da paisagem sonora, ressaltando a necessidade de estudos futuros para uma compreensão mais aprofundada da ecologia acústica nesse ambiente.

**Palavras-chave:** Paisagem acústica. Pressão sonora. Cetáceos. Antropofonia.



## ABSTRACT

Soundscapes play a crucial role in understanding the health and dynamics of coastal ecosystems. However, the intrusion of anthropogenic noise poses a growing threat, impacting ecosystems and marine life. In this context, acoustic monitoring emerges as an indispensable tool to decipher underwater sound patterns and assess the effects of human activities. The present study aimed to characterize the underwater acoustic signature of the Tramandaí River, an urbanized estuary in southern Brazil that harbors a threatened population of bottlenose dolphins (*Tursiops gephyreus*), utilizing the area for various aspects of their biology. The research methodology involved the use of hydrophones to record three points along the Tramandaí River and the measurement of sound pressure levels in frequency bands using Python. The research results revealed a homogeneous acoustic signature in the Tramandaí River, with slight nuances between collection points. This pattern may be disrupted by coastal construction, as in the case of the proposed construction of a new bridge in the region. These findings provided an initial characterization and baseline of the soundscape, emphasizing the need for future studies for a more in-depth understanding of acoustic ecology in this environment.

**Keywords:** Acoustic landscape. Sound pressure. Cetaceans. Anthropophony.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes da paisagem acústica (soundscape): geofonia (geophony), biofonia (biophony) e antropofonia (antrophony). Estes três elementos interagem caracterizando a paisagem sonora de um determinado local, a qual pode variar no espaço e no tempo. ....	4
Figura 2. Relação entre os elementos da paisagem acústica. Há uma tendência de redução dos níveis de biofonia onde há elevação dos níveis de antropofonia. ....	6
Figura 3. Mapa da área de estudo representando os pontos de coleta. Ponto 1 (P1) na barra, ponto 2 (P2) na área da Transpetro e ponto 3 (P3) na Ponte Giuseppe Garibaldi. Localizados no canal de ligação entre o complexo lagunar Tramandaí-Armazém e o oceano Atlântico sul. ....	10
Figura 4. Gráfico de barras mostrando a comparação das médias dos níveis de pressão sonora (dB) por faixa de frequência das estações de coleta: outono em marrom e verão em amarelo. Valores de frequência (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y). ....	17
Figura 5. Gráfico de barras sobreposto mostrando a comparação das médias da pressão sonora por faixa de frequência nos três locais de amostragem Ponto 1 (barra), Ponto 2 (transpetro) e ponto 3 (ponte). Os três pontos seguem um padrão acústico bem conservado. Valores de frequência (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y). ....	18
Figura 6. Gráfico de dispersão mostrando os resultados do coeficiente de correlação de Pearson. a) relação entre a pressão sonora do ambiente e a quantidade de veículos. b) relação entre a pressão sonora e a quantidade de botos. Ambas correlações se mostraram estatisticamente insignificantes. a) quantidade de veículos por minuto (eixo x), valores da pressão sonora por minuto (eixo y). b) quantidade de botos na área de estudo (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y). ....	19
Figura 7. Gráfico de boxplot mostrando a dispersão dos níveis de pressão sonora. a) valores em ambas as estações: verão em verde, outono em marrom. Estação do ano (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y). b) valores nos três locais de amostragem Ponto 1 (barra), Ponto 2 (transpetro), Ponto 3 (ponte). Locais de coleta (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y). ....	21
Figura 8. Histograma mostrando a distribuição dos dados de nível de pressão sonora nas faixas de frequência calculado pelo teste Shapiro-Wilk. Valores de pressão sonora (eixo x), densidade dos dados (eixo y). ....	23
Figura 9. Mapa de calor com análise de agrupamento em relação aos pontos de coleta e as faixas de frequências. Calculado a partir das medianas com base na distância euclidiana e no método Ward. Locais de coleta (eixo x), valores de frequência agrupados (eixo y), valores da pressão sonora (legenda). ....	24
Figura 10. Espectrograma de uma sequência de emissão sonora dos botos, T. Gephyreus, na região de estudo, onde percebe-se no início do áudio sons pulsantes (burst sounds), seguidos de um assobio de frequência modulada, e após uma série de cliques de ecolocalização de alta frequência. Tempo em segundos (eixo x), e valores de frequência em kHz (eixo y). ....	26
Figura 11. Espectrograma de uma sequência de emissão sonora de alta intensidade em frequência relativamente baixas, provavelmente atrelado a peixes. Tempo em segundos (eixo x), e valores de frequência em kHz (eixo y). ....	26
Figura 12. Espectrograma mostrando o ruído gerado ao ligar o motor de uma embarcação nas proximidades da Transpetro. Tempo em segundos (eixo x) e valores de frequência em kHz (eixo y). ....	27

Figura 13. Espectrograma mostrando o som gerado pelo movimento da coluna d'água, seguido pelos cliques de ecolocalização de um boto na barra. Tempo em segundos (eixo x) e valores de frequências em kHz (eixo y). .....	27
Figura 14. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 1 (barra) no verão. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda, quanto mais amarelo maior o nível de pressão sonora e quanto mais roxo menor a pressão sonora. ....	28
Figura 15. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 1 (barra) no outono. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda, quanto mais amarelo maior o nível de pressão sonora e quanto mais roxo menor a pressão sonora. ....	29
Figura 16. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 2 (Transpetro) no verão. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda, quanto mais amarelo maior o nível de pressão sonora e quanto mais roxo menor a pressão sonora. ....	30
Figura 17. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 2 (transpetro) no outono. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda, quanto mais amarelo maior o nível de pressão sonora e quanto mais roxo menor a pressão sonora. ....	31
Figura 18. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 3 (ponte) no verão. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda, quanto mais amarelo maior o nível de pressão sonora e quanto mais roxo menor a pressão sonora. ....	33
Figura 19. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 3 (ponte) no outono. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda, quanto mais amarelo maior o nível de pressão sonora e quanto mais roxo menor a pressão sonora. ....	33
Figura 20. Mapas de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo das duas estações em que foram realizadas as gravações no Ponto 1 (barra), Ponto 2 (transpetro) e ponto 3 (ponte). Em cada estação foram amostrados 45 minutos por ponto. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda, quanto mais amarelo maior o nível de pressão sonora e quanto mais roxo menor a pressão sonora. ....	35
Figura 21. Gráfico de barras sobreposto com os valores das médias da pressão sonora nos três pontos de gravação: Ponto 1 (barra) em azul claro, Ponto 2 (transpetro) em verde água e Ponto 3 (ponte) em verde. As linhas em preto indicam a pequena variação do padrão acústico e representam a assinatura acústica da zona	

de estudo. Valores de frequência (eixo x), valores de pressão sonora (eixo y). .....35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias dos níveis de pressão sonora por faixa de frequência. Média geral e médias das estações amostradas ( verão 2023 e outono 2023) .....	16
Tabela 2. Médias dos níveis de pressão sonora por faixa de frequência nos três locais de amostragem: P1 (Barra), P2 (Transpetro) e P3 (Ponte).....	17
Tabela 3. Valores do desvio padrão dos níveis de pressão sonora .....	21
Tabela 4. Resultados da análise de variância e do teste Tukey.....	24

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 ACÚSTICA.....	2
1.2 PAISAGEM SONORA.....	3
1.3 COMUNIDADES ACÚSTICAS.....	5
1.4 MONITORAMENTO ACÚSTICO .....	7
1.5 OBJETIVOS.....	9
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	9
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	9
2.2 COLETA DE DADOS.....	11
2.3 ANÁLISE DOS DADOS .....	13
<b>3. RESULTADOS</b> .....	15
3.1 ANÁLISE DESCRITIVA .....	15
3.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	23
3.3 CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA.....	24
<b>3.3.1 Nicho acústico</b> .....	25
<b>3.3.2 Barra</b> .....	28
<b>3.3.3 Transpetro</b> .....	30
<b>3.3.4 Ponte Giuseppe Garibaldi</b> .....	32
<b>3.3.5 Assinatura acústica</b> .....	34
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	36
4.1 ASSINATURA ACÚSTICA .....	36
4.2 SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA X SIGNIFICÂNCIA ECOLÓGICA.....	38
4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO.....	39
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	39
REFERÊNCIAS.....	41

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo das paisagens acústicas, um tema em ascensão, visa analisar o conjunto de sons presentes em ambientes específicos, definindo seu padrão acústico espaço-temporal, conhecido como assinatura acústica (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). Os sons que compõem um ambiente são classificados conforme sua fonte de origem em: geofonia, antropofonia e biofonia (CAMPBELL *et al.*, 2019; FARINA; JAMES, 2016). A caracterização dos sinais sonoros utiliza diversos parâmetros acústicos, por exemplo, frequência e intensidade.

A biofonia compreende os sons produzidos pelos organismos de determinado local para os mais diversos aspectos da sua biologia (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; TYACK; MILLER, 2002), geofonia refere-se aos sons intrínsecos do ambiente geofísico, como ondas, vento e terremotos, e a antropofonia é resultante da atividade humana (MINELLO *et al.*, 2022; PIJANOWSKI *et al.*, 2011). A paisagem sonora reflete a complexa rede de interação dos sinais acústicos, bióticos e abióticos, únicos de cada local, revelando um padrão acústico específico que pode variar temporal e/ou espacialmente (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). As espécies podem adaptar suas performances acústicas para se adequar ao ambiente (FARINA; JAMES, 2016), explorando espaços acústicos distintos para coexistir (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; SUEUR; FARINA, 2015).

A intrusão de ruído antrópico representa uma ameaça significativa para ecossistemas marinhos, uma vez que pode mascarar os demais sinais sonoros (WRIGHT *et al.*, 2007; TYACK, 2008; KIGHT; SWADDLE, 2011; COX *et al.*, 2016; NOREN *et al.*, 2016). Essa ameaça pode impactar diversos ambientes marinhos embora as zonas costeiras e estuarinas acabem sendo as mais afetadas devido à maior proximidade com as atividades humanas (LIMA *et al.*, 2022; MILANELI *et al.*, 2024). Ambientes estuarinos são, sabidamente, importantes para diversas espécies marinhas, servindo como berçário para várias espécies de peixes, ou zonas de alimentação e nascimento para várias espécies de mamíferos marinhos (DRAGO *et al.*, 2020; WHITFIELD *et al.*, 2023).

A barra do Rio Tramandaí, no Rio Grande do Sul (RS), Brasil, é um exemplo de área costeira produtiva, sustentando populações tradicionais (CAMARGO, 2019) e abrigando espécies ameaçadas, como os botos-de-Lahille (*Tursiops gephyreus*) (VERMEULEN *et al.*, 2019; WICKERT *et al.*, 2016), os quais estabelecem uma

complexa e rara interação interespecífica conhecida como pesca cooperativa. Esta atividade foi observada em poucos lugares, como o estuário de Laguna – SC e o estuário do Rio Tramandaí (SANTOS *et al.*, 2018). Neste local ocorre o tráfego contínuo de embarcações da Petrobras e a passagem esporádica de penas embarcações pesqueiras. Ainda, este local é foco de atenção dos órgãos governamentais uma vez que está em andamento um projeto de construção de uma nova ponte localizada perto da desembocadura da barra (IMBÉ, 2021).

Diante da complexidade desses ambientes e do aumento do ruído antrópico em zonas costeiras, torna-se urgente a implementação de métodos eficazes de monitoramento acústico ambiental. A medição do nível de pressão sonora (*Sound Pressure Level* - SPL), medida em decibéis (dB), indica a proporção da quantidade de energia (ou intensidade) em relação a uma pressão de referência, é uma métrica primária amplamente empregada pela sua simplicidade (MARTIM *et al.*, 2019b ; RYCHTÁRIKOVÁ; VERMEIR, 2013; CAREY; EVANS, 2011), que vem ganhando destaque.

## 1.1 ACÚSTICA

A ideia de um oceano vasto e silencioso foi deixada para trás com as descobertas que as novas tecnologias trouxeram. No escuro e denso ambiente aquático os outros sentidos como a visão e o olfato, são limitados no que se refere à transmissão, propagação e alcance, enquanto a energia acústica se propaga eficientemente (NOWACEK *et al.*, 2007) a uma velocidade cinco vezes maior do que no ar (FARINA, 2018).

O som, fenômeno físico cuja propagação envolve três parâmetros fundamentais – comprimento de onda frequência e amplitude – é um elemento essencial para a compreensão da ecologia acústica e da paisagem acústica (SILVA; VIELLIARD, 2010). Frequência sonora indica o número de vibrações que a onda produz por segundo, cuja unidade é apresentada em Hertz (Hz), mas emprega-se também kHz (1 Hz x 1.000), onde quanto maior a frequência, mais o som é percebido como agudo (MINELLO *et al.*, 2022). O som audível pelo ouvido humano está compreendido entre a faixa de 20 Hz a 20 kHz faixa em que ocorre a maioria dos sons produzidos por animais. Sons abaixo de 20 Hz são considerados infrassons e acima de 20 kHz, ultrassons; a intensidade do sinal, relacionada à quantidade de energia



transmitida pela onda sonora, representada pela unidade em decibéis (dB), caracteriza o som como forte ou fraco em relação a uma referência (MINELLO *et al.*, 2022).

## 1.2 PAISAGEM SONORA

O estudo do som pode ocorrer sob diferentes esferas. O conceito de paisagem sonora (ou paisagem acústica) foi cunhado por Southworth em 1969 no contexto do planejamento urbano, sendo oficializado por Schaefer em 1977 ao abordar a poluição sonora (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). Schaefer reconheceu os sons como propriedades ecológicas da paisagem, sendo essa composição acústica o reflexo dos processos naturais de uma área (LIMA *et al.*, 2022). Krause (1987) introduziu os termos: biofonia para sons biológicos e geofonia para sons abióticos, enquanto Pijanowski e colaboradores acrescentaram antropofonia para os sons antropogênicos (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). Por tanto, a paisagem acústica trata sobre a interação dos sons bióticos e abióticos do ambiente que variam de acordo com o tempo e espaço (PIJANOWSKI *et al.*, 2011) (figura 1).

A geofonia refere-se aos sons intrínsecos do ambiente geofísico, como ventos, ondas, correntes e chuva (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). Na zona costeira o ruído é causado principalmente por ondas e chuvas (MINELLO *et al.*, 2022). As frequências variam conforme o fenômeno: Ventos contribuem com ruído em uma ampla faixa de frequência, variando de poucos Hz a mais de 30 kHz; ondas superficiais, têm uma frequência que varia de 100 Hz a 2 kHz; o ruído das correntes depende da sua velocidade, por exemplo, velocidade de 1 nó produz ruído de cerca de 106 dB (re 1  $\mu$ Pa); a chuva gera sons de alta frequência (até 20 kHz) (MINELLO *et al.*, 2022; FARINA, 2014).

A antropofonia é resultante da atividade humana, abrangendo o ruído de máquinas, motores e embarcações, entre outros (FARINA, 2018), diferencia-se as pequenas das grandes embarcações. As pequenas embarcações produzem sons de frequências mais altas (até 6,3 kHz) em função da cavitação produzida pelo rápido movimento de suas hélices. O tráfego de grandes embarcações caracteriza-se por baixas frequências de 50 a 500 Hz (MINELLO *et al.*, 2022; FARINA, 2014).

Por fim, a biofonia engloba os sons oriundos dos animais. Os botos, *Tursiops*

*gephyreus*, pertencentes aos odontocetos, um dos grupos vocalmente mais diversificado do planeta (TYACK; MILLER, 2002), têm adaptações para produzir e receber sinais acústicos vitais para vários aspectos da sua biologia.

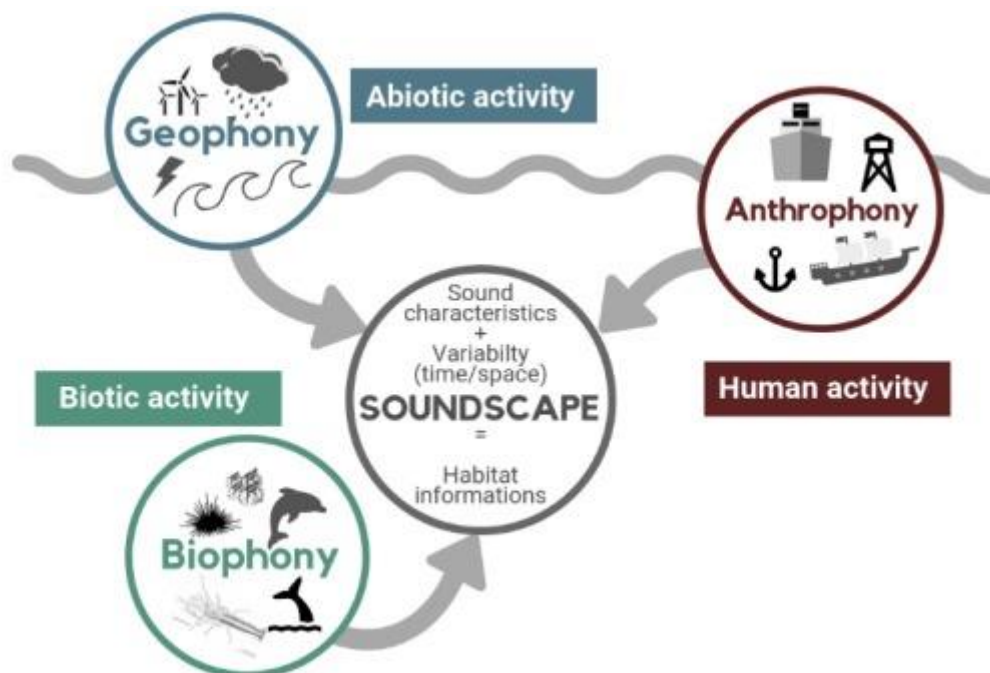
Os cliques de ecolocalização são utilizados para navegação e forrageamento dos animais, permitindo-lhes perceber os objetos ao seu redor por meio da detecção dos ecos gerados (ZIMMER, 2011; LOPEZ-MARULANDA *et al.*, 2020; TYACK; MILLER, 2002). Os cliques são caracterizados por pulsos de banda larga e alta frequência de até 150 kHz (TYACK; CLARK, 2000; HOFFMANN, 2004). Estas altas frequências proporcionam maior eficiência na ecolocalização uma vez que têm maior direcionalidade e maior poder de resolução (MINELLO *et al.*, 2022).

Os sons sociais (assobios e burst sounds) são sinais modulados, mais longos e de frequência mais baixa que os cliques, relacionados à comunicação, coesão do grupo e interações sociais (LOPEZ-MARULANDA *et al.*, 2020; MINELLO *et al.*, 2022). Os assobios são vocalizações moduladas de banda estreita, empregadas, nesta espécie, nas frequências de 4 a 20 kHz, podendo haver diferenças entre populações, enquanto os *burst sounds* são sequências muito rápidas de pulsos de banda larga e alta frequência com pico entre 40 e 80 kHz (HOFFMANN, 2004).

A paisagem sonora, embora variável, revela um padrão acústico espaço-temporal único em cada ambiente, refletindo o arranjo complexo entre componentes acústicos (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; RAMOS; MINELLO; XAVIER, 2020)

Figura 1. Componentes da paisagem acústica (soundscape): geofonia (geophony), biofonia (biophony) e antropofonia (antrophony). Estes três elementos interagem caracterizando a paisagem sonora de um determinado local, a qual pode variar no

espaço e no tempo.



Fonte: Campbell, 2019

### 1.3 COMUNIDADES ACÚSTICAS

A ecologia acústica foca no papel ecológico do som dentro das comunidades acústicas que são agregações temporárias (SUEUR; FARINA, 2015; FARINA, 2018). Essa perspectiva se fundamenta na ideia de que o som constitui uma propriedade contínua e dinâmica do ambiente natural, respaldada pelas hipóteses de Adaptação Acústica (AAH) e Nicho Acústico (ANH) (SUEUR; FARINA, 2015).

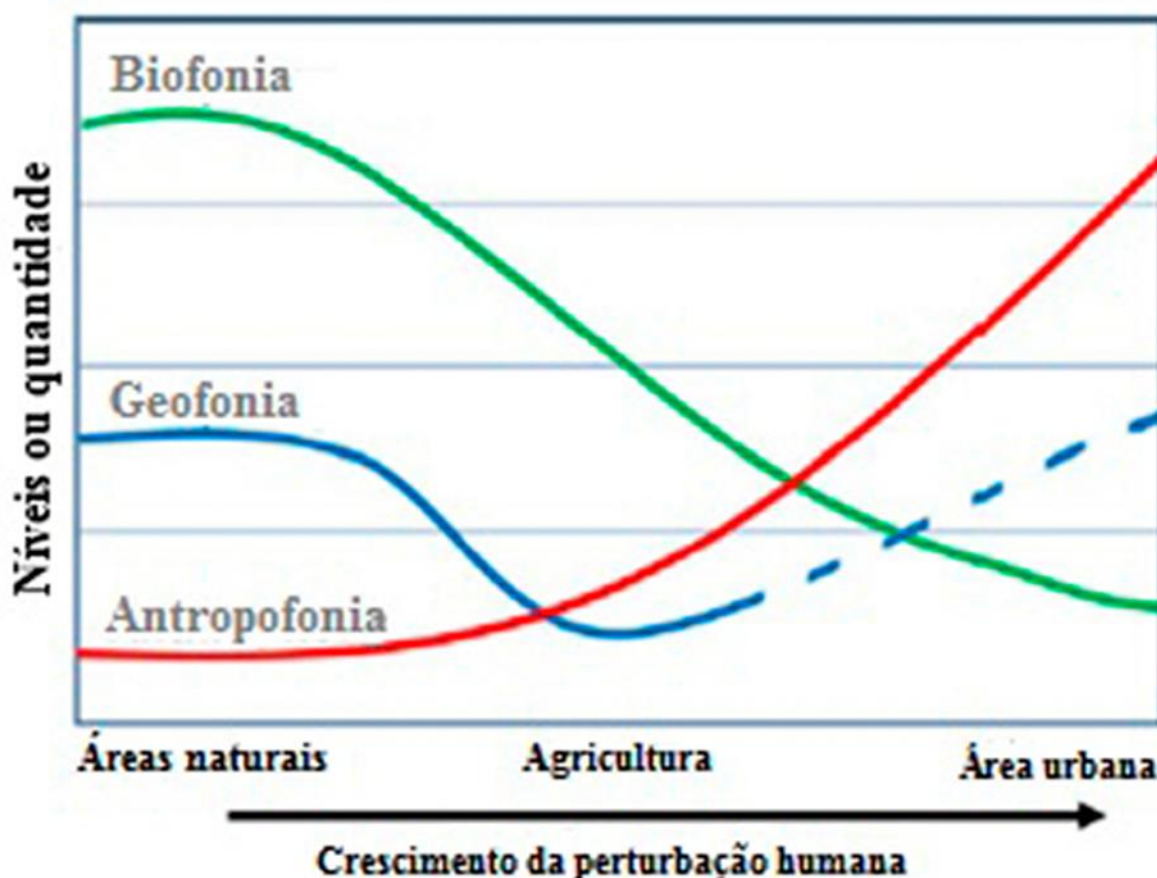
A AAH postula que as características acústicas dos habitats, definidas pelas propriedades e condições do ambiente, influenciam os parâmetros dos sons emitidos pelos animais que habitam esse ambiente, otimizando assim sua propagação (EY; FISCHER, 2009). Em outras palavras, as espécies ajustam suas performances acústicas para se adaptar ao ambiente circundante (FARINA; JAMES, 2016).

Por outro lado, a ANH, proposta por Krause (1987) destaca que adaptações morfológicas e comportamentais podem ser desencadeadas pelas relações ecológicas, como a interferência interespecífica entre diferentes espécies com assinaturas acústicas semelhantes (PIJANOWSKI *et al.*, 2011). Assim, a ANH retrata o intrincado arranjo de sinais acústicos nas redes de comunicação, sendo análoga ao

nicho ecológico de Hutchinson (1957). Nesse contexto, espécies coexistentes em um mesmo habitat tendem a explorar espaços acústicos distintos, evitando que seus sons sejam mascarados por outros organismos. Essa estratégia reduz a pressão e a competição interespecífica (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; SUEUR; FARINA, 2015).

Da mesma forma, os animais competem com os sons antropogênicos e ambientais (HALFWERK *et al.*, 2010) apresentando respostas que variam desde comportamentais a uso e ocupação de habitats. De modo geral, pode-se observar uma diminuição do nível da biofonia quando há aumento na antropofonia (DUMYAHN; PIJANOWSKI, 2011) (figura 2). Não obstante, em algumas situações essa diminuição é causada pelo mascaramento do sinal.

Figura 2. Relação entre os elementos da paisagem acústica. Há uma tendência de redução dos níveis de biofonia onde há elevação dos níveis de antropofonia.



Fonte: Dumyahn; Pijanowski, 2011

Os cetáceos têm sido amplamente estudados em relação às suas respostas à perturbação acústica. Delfínídeos apresentam diferentes respostas ao ruído:

respostas fisiológicas, comportamentais e acústicas. As respostas fisiológicas incluem mudanças no limiar auditivo; as respostas comportamentais são percebidas nos padrões de superfície e tempo de mergulho, assim como interrupção de alguma atividade, deslocamento para outra área enquanto o ruído é emitido e inclusive abandono permanente do local (NOWACEK *et al.*, 2007). Não obstante, não há um consenso sobre este assunto. Enquanto alguns estudos relatam a alteração do uso do habitat em função do aumento ruído (RAKO *et al.*, 2013) outros consideram a plasticidade elevada dos delfínidos para tolerar estas mudanças, por exemplo, golfinhos nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) respondem principalmente à novidade do som em vez do nível absoluto de ruído ou da relação sinal/ruído (GRAHAM *et al.*, 2017).

Por último, as respostas acústicas estão relacionadas ao tipo e duração da vocalização, ao deslocamento da banda de frequência utilizada, a amplitude de vocalização e à taxa de vocalização (BITTENCOURT *et al.* 2017). Estas alterações são específicas de cada espécie, pois cada uma possui diferentes estratégias. Enquanto o boto-cinza, *Sotalia guianensis*, teve diferenças significativas nos assobios durante a alimentação, tendo menor duração e utilizando uma frequência central mais baixa em ambientes ruidosos, o golfinho nariz-de-garrafa tende a aumentar a duração dos seus assobios em ambientes ruidosos (BOAS, 2015). Estas respostas podem fragilizar todo o ecossistema pela alteração da estrutura do nicho acústico já que existe um espaço acústico limitado para transmitir determinado sinal sonoro para cada organismo (DUMYAHN; PIJANOWSKI, 2011).

#### 1.4 MONITORAMENTO ACÚSTICO

Nas últimas décadas os seres humanos têm explorado as características únicas do som subaquático para atender aos seus próprios interesses. Desde as Guerras Mundiais do século XX, houve o avanço das tecnologias baseadas em sons, como sonares (URICK, 1983). Hoje em dia, os instrumentos acústicos, são usados também em expedições de pesquisa, sendo cruciais em medições geofísicas, oceanográficas e na exploração de recursos como petróleo e gás (VAN OPZEELAND; BOEBEL, 2018). Com isto, o ser humano acaba sendo responsável por gerar ruídos resultantes de atividades náuticas, como transportes transatlânticos e operações industriais (HILDEBRAND, 2009).

O ruído proveniente da propulsão de navios aumentou significativamente o ruído ambiental oceânico na faixa de 20 a 500 Hz (URICK, 1983), num valor estimado de aproximadamente 19 dB, sendo uma taxa de 3,3 dB por década durante a segunda metade do século XX e início do século XXI (McDONALD; HILDEBRAND; WIGGINS, 2006). A combinação crescente de ruídos antropogênicos tem se mostrado prejudicial à vida marinha, sendo considerada por alguns como uma forma de fragmentação de habitat (CLARK *et al.*, 2009; WILLIAMS *et al.*, 2013; RICE *et al.*, 2014).

Conseqüentemente, se tornou essencial estabelecer métodos eficazes para monitorar os impactos em ambientes marinhos. É por isso que, na última década, o estudo da Paisagem Acústica Submarina (PAS) tem ganhado destaque mundo afora. Grande parte das pesquisas tem como objetivo monitorar o ruído submarino de origem antropogênica (LIMA *et al.*, 2022). O monitoramento acústico passivo (PAM) tem servido de alternativa às pesquisas de campo tradicionais para descrever comunidades de animais (GASC *et al.*, 2013). Dentre as vantagens estão o fato de ser uma técnica não invasiva, padronizada e capaz de operar em locais remotos ou áreas com baixa detecção visual (SUEUR *et al.*, 2014).

Um dos processamentos de dados para a caracterização de habitats acústicos, tanto terrestres quanto marinhos, é a medição do nível de pressão sonora (MERCHANT *et al.*, 2015). O nível de pressão sonora de banda larga é a métrica acústica mais ubíqua e expressa a amplitude quadrática média (RMS) do som dentro de uma determinada janela de tempo e faixa de frequência como um único nível de decibel (dB) (KINSLER *et al.*, 1999). A maioria das métricas acústicas é expressa como um nível de decibéis em relação a uma pressão de referência,  $p_{Ref}$ , sob a forma  $X \text{ dB re } p_{Ref}$ . No ar,  $p_{Ref}$  é de 20  $\mu\text{Pa}$ , que corresponde ao limiar nominal da audição humana em 1 kHz, enquanto que debaixo d'água,  $p_{Ref}$  é 1  $\mu\text{Pa}$  (MERCHANT *et al.*, 2015).

Considerando o problema do ruído acústico e seus potenciais impactos nos ecossistemas marinhos, e levando em consideração o projeto para uma nova ponte entre os municípios de Imbé e Tramandaí e a lacuna existente sobre a paisagem sonora da Barra do Rio Tramandaí, surge a necessidade de uma investigação mais aprofundada. O presente trabalho propõe-se a avaliar a paisagem acústica da Barra do Rio Tramandaí, na costa do Rio Grande do Sul, mediante uma caracterização pontual e de linha de base.

Neste contexto, a premissa fundamental é que os diferentes pontos de amostragem na área de estudo apresentam parâmetros acústicos distintos, refletindo variações nos níveis de pressão sonora (SPL). A hipótese nula sugere que não há diferença significativa nos parâmetros de SPL nas faixas de frequência analisadas em cada ponto de amostragem. Em contrapartida, a hipótese alternativa aponta para variações nos parâmetros, indicando possíveis alterações na paisagem acústica do Rio Tramandaí.

Assim, este estudo busca entender a atual situação acústica desse ambiente e contribuir para o conhecimento sobre os efeitos do ruído antropogênico nos ecossistemas costeiros, especialmente em áreas urbanizadas como o Rio Tramandaí.

## 1.5 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo caracterizar a assinatura acústica subaquática da barra do Rio Tramandaí, buscando quantificar os níveis de pressão sonora em diferentes pontos de amostragem. Para este fim, os objetivos específicos são:

- i) Levantar os parâmetros acústicos de três pontos ao longo da barra do Rio Tramandaí;
- ii) Mensurar o nível de pressão sonora em diferentes bandas de frequência, para cada um dos três pontos de estudo;
- iii) Identificar as bandas de frequência com maiores valores de pressão sonora.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na porção final da bacia hidrográfica do Rio Tramandaí, no Litoral Norte do RS, correspondendo ao canal de ligação (*inlet*) do complexo lagunar Tramandaí-Armazém com o oceano Atlântico Sul (29°58'S; 50°07'O). Este canal estuarino, demarcado pelos Municípios de Imbé e Tramandaí,

apresenta uma profundidade média de  $2,19 \pm 1,11$  m (HOFFMANN, 2004, CAMARGO *et al.*, 2020).

A região costeira é influenciada pela Convergência Subtropical do Atlântico Sul, resultante do encontro das Correntes do Brasil e das Malvinas, sendo reconhecida por sua elevada produtividade e importância ambiental, abrigando uma rica fauna costeira e marinha (CAMARGO, 2019). Em virtude disso, o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018a) a classifica como Área de Prioridade Extremamente Alta para a Conservação da biodiversidade brasileira, integrando a Macrozona de Recuperação e Preservação Ambiental do Plano Diretor Municipal de Tramandaí (TRAMANDAÍ, 2016).

Neste estudo, foram estabelecidos três pontos de coleta de dados, conforme representado na figura 3. O ponto 1, situado na desembocadura do Rio Tramandaí, conhecido como “barra”, é frequentado por pescadores artesanais e abriga uma população residente de botos, que utilizam a área não apenas para alimentação, mas também para transmitir sua cultura e técnicas de forrageamento aos filhotes do grupo (SANTOS *et al.*, 2018; SIMÕES-LOPES, 1991). O ponto 2 é onde está prevista a construção de uma nova ponte. Por fim, o ponto 3 refere-se à área atual da ponte Giuseppe Garibaldi, que conecta os municípios de Imbé ao norte e Tramandaí ao sul.

Figura 3. Mapa da área de estudo representando os pontos de coleta. Ponto 1 (P1) na barra, ponto 2 (P2) na área da Transpetro e ponto 3 (P3) na Ponte Giuseppe Garibaldi. Localizados no canal de ligação entre o complexo lagunar Tramandaí-Armazém e o



oceano Atlântico sul.



Fonte: Autora (2022)

## 2.2 COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados acústicos, foi utilizado um hidrofone C57 da *Cetacean Research Technology* (<http://www.cetaceanresearch.com/>) com resposta linear de frequência de 0,015 a 45 kHz (- 167 dB re: 1 V/ $\mu$ Pa) (faixa de frequência utilizável de 0,008 – 100 kHz +3/-12 dB), conectado a um gravador portátil Tascam DR 100 MKIII, com taxa de amostragem de 192 kHz. Foi levado em consideração que o equipamento não é o mais indicado para análises de decibéis, com o qual os dados foram tratados como valores relativos passíveis de se comparar entre os pontos uma vez que é um estudo preliminar descritivo.

O equipamento foi configurado para gravar arquivos de áudio (.wav) de cinco minutos durante quinze minutos em cada ponto. A profundidade do registro foi determinada pela altura da coluna d'água, sendo no ponto 1 e 2 de em média 1m e no ponto 3 de em média 0,5m. Um cabo extensor foi utilizado no ponto 1 e 2 para

colocar o hidrofone a uma distância de, aproximadamente 2m da margem, no ponto 3, devido à pouca profundidade, algum membro da equipe entrava no Rio a uma distância em que a água chegasse a altura do quadril e segurava o equipamento durante os 15 minutos de gravação. Padronizou-se as gravações durante a maré cheia, para ter a maior profundidade da coluna d'água possível considerando a baixa profundidade principalmente do entorno da ponte.

Cada campo de coleta aconteceu durante uma janela de amostragem de três dias, uma vez no verão, nos dias 13, 14 e 15 de janeiro de 2023, e uma vez no outono, nos dias 24, 25 e 26 de maio de 2023, objetivando realizar as gravações em estações distintas a fim de analisar se há flutuações dos níveis da pressão sonora em função do uso e ocupação do local e das atividades relacionadas a cada estação, ou seja, diferentes pressões antrópicas. Durante o verão a área de estudo apresenta maior uso e ocupação antrópicas, havendo aumento na quantidade de pessoas que utilizam a área para recreação e aumento do trânsito de veículos na ponte, também os meses quentes são caracterizados por swells de pouca altura e baixa pluviosidade (TOLDO JR *et al.*, 1993). Por outro lado, o outono é marcado pela época da tainha (*Mugil liza*), durante a qual o estuário apresenta maior quantidade de tainhas e maior uso da área para pesca cooperativa, tanto por botos quanto por pescadores (SANTOS *et al.*, 2018) assim como é caracterizado por swells vindos do quadrante S, SE, com maior energia e altura de onda e chuvas frequente (TOLDO JR *et al.*, 1993).

Simultaneamente à coleta dos dados acústicos ocorreu, em parceria com o Projeto Botos da Barra, a coleta de dados ambientais como intensidade e direção do vento com auxílio de um anemômetro, tipo de corrente no canal (vazante ou enchente) e direção do swell, e biológicos como presença e quantidade de botos, através do procedimento denominado pelo projeto “scan” e a identificação dos mesmos quando possível através da foto identificação das dorsais dos indivíduos.

Também foram anotados dados antropológicos como o dia da semana, presença de pessoas nas áreas adjacentes, quantidade de embarcações – os quais também fazem parte do scan - e intensidade do tráfego de veículos automotivos na ponte no ponto 3. Este último parâmetro foi contabilizado com contadores manuais por minuto simultaneamente com a gravação com hidrofone. Sendo necessário no mínimo seis pessoas para realizar o campo. No ponto 3 a equipe se dividiu, ficando três pessoas encima da ponte, duas contando os veículos que atravessavam a ponte durante o tempo de gravação, cada uma cuidando um dos sentidos da ponte (Tramandaí – Imbé;

Imbé – Tramandaí) e a terceira anotando a quantidade contabilizada por minuto; e três pessoas embaixo da ponte: uma dentro da água segurando o hidrofone e duas ao cuidado do gravador portátil e anotando os dados ambientais.

### 2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os arquivos originais com duração de cinco minutos foram cortados em cinco arquivos de um minuto no *software Raven 1.6.2. (Cornell Laboratory of Ornithology, New York)*. Posteriormente, os espectrogramas, que são a representação visual dos sinais sonoros (DUMYAHN; PIJANOWSKI, 2011), foram plotados através da aplicação da Transformada Rápida de Fourier (FFT) de 512 pontos, com janelamento do tipo Hann e nível de sobreposição de 50%.

A análise das paisagens acústicas, as análises estatísticas e a geração de gráficos, foram realizados em ambiente Python (<https://www.python.org/>). Para cada arquivo de som de um minuto foi extraído o nível de pressão sonora em decibéis (dB ref 1  $\mu$ Pa) em 23 faixas de frequência (bandas de 1/3 de oitava) considerando as seguintes frequências centrais: 125 Hz (112 – 141 Hz), 160 Hz (141 – 178 Hz), 200 Hz (178 – 224 Hz), 250 Hz (224 – 282 Hz), 315 Hz (282 – 355 Hz), 400 Hz (355 – 447 Hz), 500 Hz (447 – 562 Hz), 630 Hz (562 – 708 Hz), 800 Hz (708 – 891 Hz), 1 kHz (891 Hz – 1,1 kHz), 1,3 kHz (1,1 – 1,4 kHz), 1,6 kHz (1,4 – 1,8 kHz), 2 kHz (1,8 – 2,2 kHz), 2,5 kHz (2,2 – 2,8 kHz), 3,2 kHz (2,8 – 3,6 kHz), 4 kHz (3,6 – 4,5 kHz), 5 kHz (4,5 – 5,6 kHz), 6,3 kHz (5,6 – 7,1 kHz), 8 kHz (7,1 – 8,9 kHz), 10 kHz (8,9 – 11,2 kHz), 12,5 (11,2 – 14,1 kHz), 16 kHz (14,1 – 17,8 kHz), 20 kHz (17,8 – 22,4 kHz). Essas bandas foram usadas seguindo a recomendação da Sociedade Acústica Americana (*Acoustical Society of America - ASA*), além de serem indicadas em estudos de ruídos submarinos (ROBINSON *et al*, 2014). O valor foi calculado considerando-se o valor médio quadrático do SPL (*Root Mean Square - RMS*) para cada minuto.

$$SPL = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

Onde:

SPL = nível de pressão sonora em (dB)

p = pressão sonora eficaz (RMS) em pascals (Pa)

p<sub>0</sub> = pressão de referência

A partir dos dados obtidos com a mensuração do SPL, foi feita uma análise estatística descritiva, identificando-se as médias, medianas, desvio padrão, e os valores máximo e mínimo.

Para verificar se existe relação entre o SPL e a quantidade de veículos na ponte (ponto 3) e entre o SPL e a quantidade de botos na barra e o *inlet* (ponto 1 e 2 respectivamente) foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson cuja formula é:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde:

$X_i$  e  $Y_i$  = variáveis;

$\bar{x}$  e  $\bar{y}$  = médias das variáveis.

O teste Shapiro-Wilk foi usado para verificar a normalidade das faixas de frequência. O teste é calculado usando as estatísticas de ordem da amostra e as estimativas dos coeficientes de covariância:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Onde:

$n$  = tamanho da amostra

$x_{(i)}$  = observação ordenada

$\bar{x}$  = média da amostra

$a_i$  = coeficientes de covariância

A variância foi calculada através de uma ANOVA de um fator (F), e o teste Tukey (q) foi usado para avaliar quais pontos diferem entre si, a partir dos seguintes cálculos:

$$F = \frac{SSB/df_{Between}}{SSR/df_{Within}}$$

Onde:

SSB: soma dos quadrados entre grupos:  $\sum_{i=1}^k n_i \times (\bar{X}_i - \bar{X})^2$

SSR: soma dos quadrados residuais:  $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2$

*dfBetween*: graus de liberdade entre grupos:  $dfBetween = k - 1$

*dfWithin*: graus de liberdade residual:  $dfWithin = N - k$

k: número de grupos

$n_i$ : número de observações no grupo i

$X_{ij}$ : observação j no grupo i

$\bar{X}_i$ : média do grupo i

$\bar{X}$ : média global

N: número total de observações

$$q = \frac{meandiff}{SE}$$

Onde:

Meandiff: diferença média:  $meandiff = \bar{X}_i - \bar{X}_j$

SE: Erro padrão da diferença média:  $SE = \sqrt{MSE \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$

MSE: média dos quadrados dos erros residuais da ANOVA

Os resultados foram plotados em gráficos de barra, histogramas, gráficos box-plot e gráficos de dispersão. Por fim, mapas de calor (*color maps*) e um mapa de calor com análise de agrupamento e dendograma foram gerados para melhor visualização da utilização do espaço acústico.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Um total de 6210 amostras foram analisadas equivalendo às análises em vinte três faixas de frequências para cada minuto, perfazendo um total de 270 minutos de gravação na área de estudo, cada ponto de coleta com 90 minutos de amostragem. Para cada minuto foi mensurado o valor do SPL nas 23 bandas de 1/3 de oitava. Não

obstante, as faixas de frequências centrais de 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 500 Hz, 630 Hz, e 1kHz não apresentaram valores significativos de pressão sonora em nenhum momento durante as gravações. Isso reflete que a energia naquelas frequências foi insuficiente para serem consideradas neste estudo.

A análise considerou as médias do SPL de cada faixa de frequência (tabela 1). Os valores mais altos do SPL encontram-se na faixa dos 800 Hz e 1,3 kHz. Os valores mais baixos da pressão sonora encontram-se nas frequências mais altas analisadas.

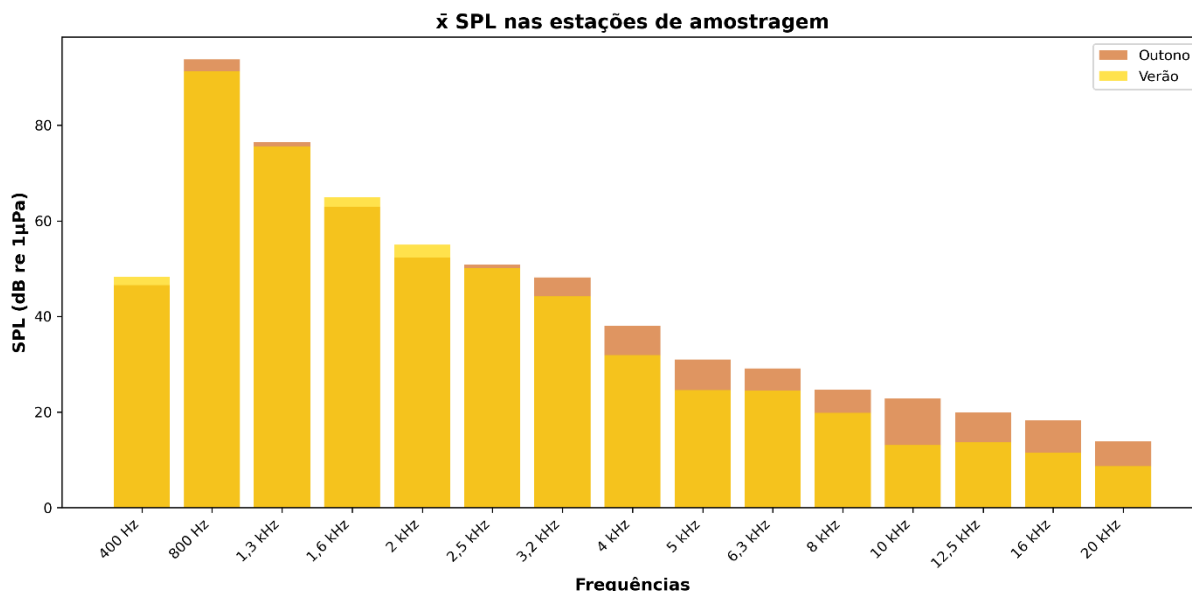
Tabela 1. Médias dos níveis de pressão sonora por faixa de frequência. Média geral e médias das estações amostradas (verão 2023 e outono 2023)

Frequência central	SPL (dB ref 1 $\mu$ Pa)		
	Média geral	Verão	Outono
400 Hz	47,41	48,30	46,52
800 Hz	92,53	91,28	93,80
1,3 kHz	76,05	75,62	76,48
1,6 kHz	63,94	64,95	62,93
2 kHz	53,71	55,02	52,40
2,5 kHz	50,49	50,10	50,88
3,2 kHz	46,17	44,17	48,17
4 kHz	34,96	31,92	38,00
5 kHz	27,81	24,60	31,02
6,3 kHz	26,83	24,50	29,15
8 kHz	22,29	19,85	24,73
10 kHz	17,95	13,08	22,83
12,5 kHz	16,77	13,68	19,90
16 k Hz	14,91	11,56	18,26
20 kHz	11,27	8,70	13,84

Fonte: Autora (2023)

A variação das médias de todas as faixas de frequência em relação à época do ano foi pequena, indicando pouca variação sazonal (figura 4). Apesar da pequena diferença, os valores médios do nível de pressão sonora no outono foram mais intensos, principalmente nas altas frequências (acima de 4 kHz).

Figura 4. Gráfico de barras mostrando a comparação das médias dos níveis de pressão sonora (dB) por faixa de frequência das estações de coleta: outono em marrom e verão em amarelo. Valores de frequência (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y).



Fonte: Autora (2024)

Os valores médios da pressão sonora nos três pontos de coleta seguiram um padrão bem conservado (tabela 2) refletindo a homogeneidade ambiental da barra do Rio Tramandaí.

Tabela 2. Médias dos níveis de pressão sonora por faixa de frequência nos três locais de amostragem: P1 (Barra), P2 (Transpetro) e P3 (Ponte).

Frequência central	SPL (dB ref 1µPa)		
	Barra (P1)	Transpetro (P2)	Ponte (P3)
400 Hz	43,92	52,67	45,63
800 Hz	86,71	96,41	94,48
1,3 kHz	71,43	78,46	78,26
1,6 kHz	62,95	64,77	64,11
2 kHz	57,01	52,51	51,62
2,5 kHz	52,43	49,64	49,38
3,2 kHz	46,92	45,16	46,44
4 kHz	37,79	31,08	36,01
5 kHz	30,87	21,05	31,52
6,3 kHz	29,59	20,49	30,40

Frequência central	SPL (dB ref 1 $\mu$ Pa)		
	Barra (P1)	Transpetro (P2)	Ponte (P3)
8 kHz	25,55	16,23	25,11
10 kHz	19,33	13,30	21,24
12,5 kHz	18,96	11,62	19,78
16 k Hz	17,94	10,26	16,54
20 kHz	13,58	8,04	12,19

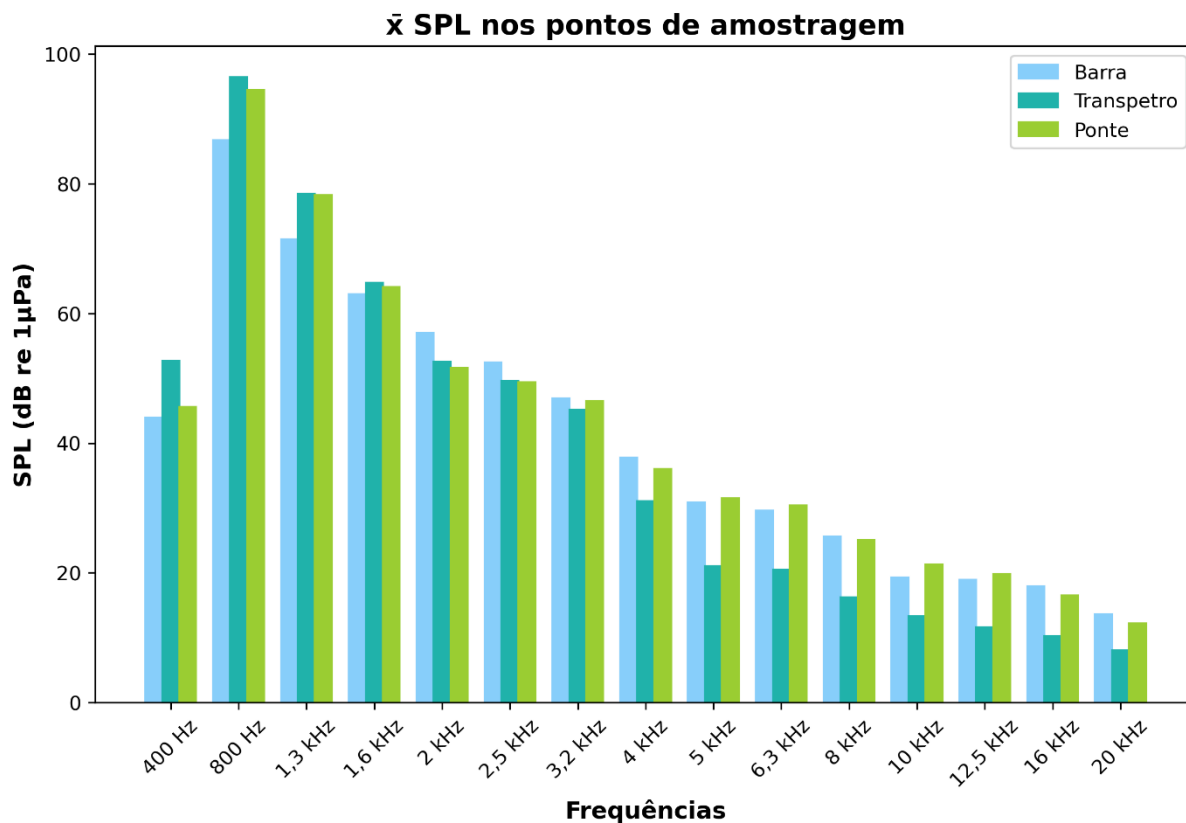
Fonte: Autora (2023)

O padrão da curva encontrado nos valores médios das faixas de frequência representa o padrão acústico espacial, ou seja, a assinatura acústica do ambiente (figura 5). Este padrão apresentou pequenas variações em cada ponto. A maior diferença encontra-se na faixa dos 400 Hz, onde o nível da pressão sonora da área da Transpetro (ponto 2) é maior aos demais pontos. Os valores mais elevados encontram-se no primeiro quadrante do gráfico, isto é, nas baixas frequências – intervalo de 800 Hz a 1,6 kHz. O intervalo das frequências de 2 a 3,2 kHz apresentam grande semelhança, havendo pouca variação entre os pontos. As altas frequências, acima de 4kHz também apresentam um padrão bem conservado, com a característica dos valores médios da área da Transpetro serem menores às demais localidades (ponte e barra).

Figura 5. Gráfico de barras sobreposto mostrando a comparação das médias da pressão sonora por faixa de frequência nos três locais de amostragem Ponto 1 (barra), Ponto 2 (transpetro) e ponto 3 (ponte). Os três pontos seguem um padrão acústico



bem conservado. Valores de frequência (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y).

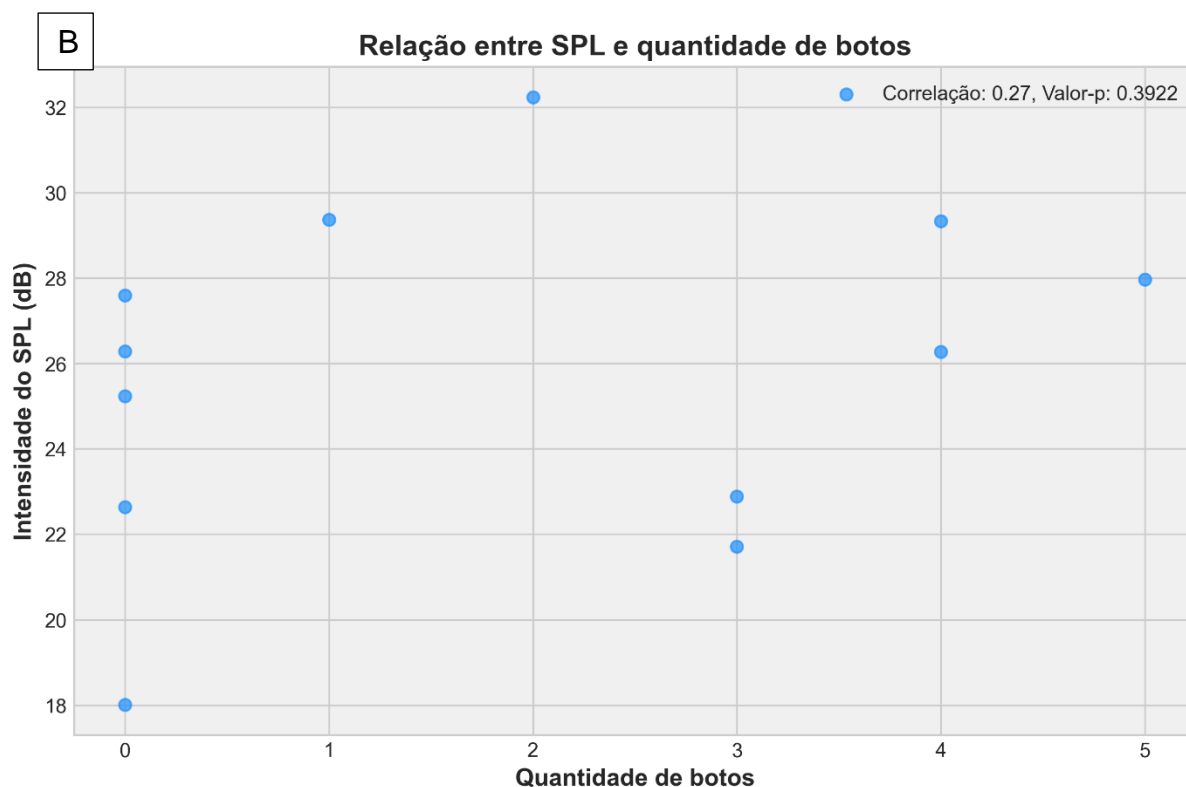
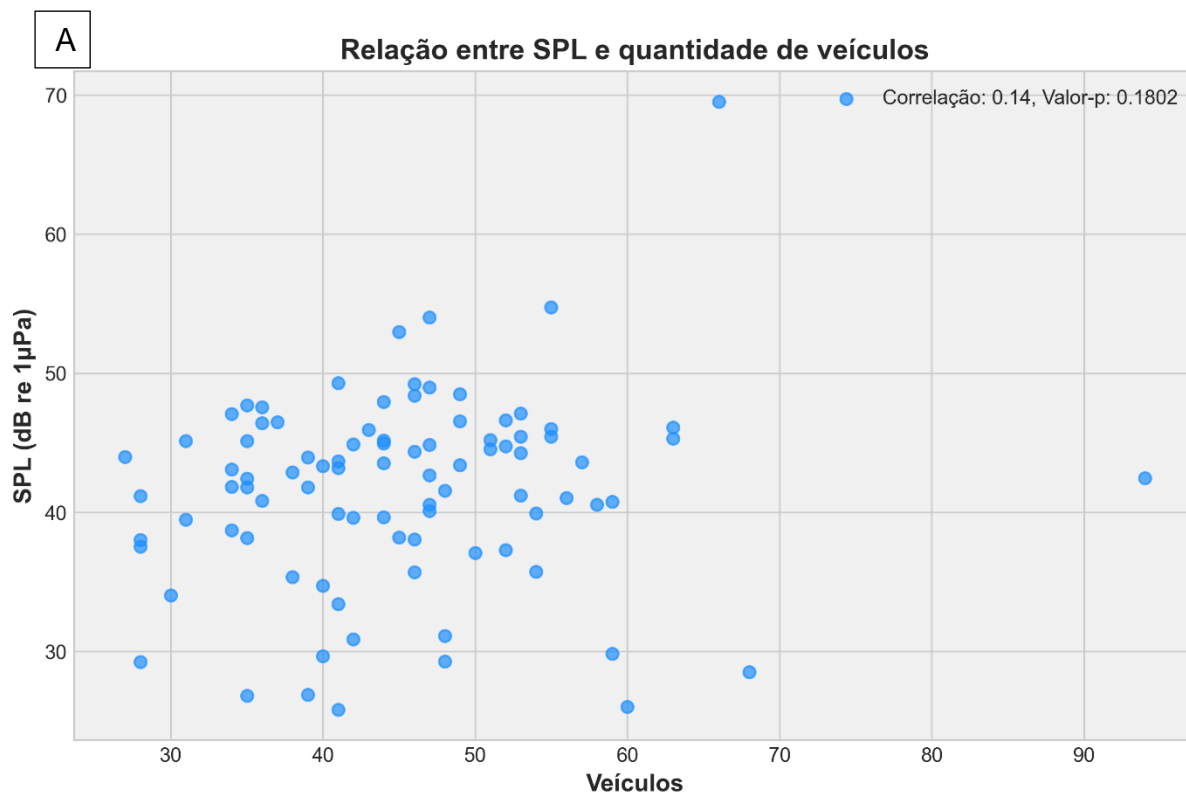


Fonte: Autora (2023)

Os valores dos níveis de pressão sonora não apresentaram correlação significativa com a intensidade do trânsito de veículos na Ponte - correlação de 0,14 e  $p$ -value: 0,18 (figura 6a) e com a quantidade de botos na Barra e Transpetro - correlação de 0,27 e  $p$ -value: 0,39 (Figura 6b).

Figura 6. Gráfico de dispersão mostrando os resultados do coeficiente de correlação de Pearson. a) relação entre a pressão sonora do ambiente e a quantidade de veículos. b) relação entre a pressão sonora e a quantidade de botos. Ambas correlações se mostraram estatisticamente insignificantes. a) quantidade de veículos por minuto (eixo x), valores da pressão sonora por minuto (eixo y). b) quantidade de

botos na área de estudo (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y).



Fonte: Autora (2023)

Por outro lado, a análise dos resultados apresenta uma interessante dicotomia entre os desvios padrão calculados por ponto de coleta e por estação (tabela 3, figura

7). O P2 (transpetro) apresenta o maior desvio padrão (28,7) indicando uma maior dispersão dos valores de pressão sonora, sugerindo que esse local é mais propenso a flutuações na intensidade sonora. Em relação à estação, o verão tende a ter maiores variações nos níveis de SPL, podendo ser atrelado às condições meteorológicas ou atividades sazonais específicas.

Tabela 3. Valores do desvio padrão dos níveis de pressão sonora

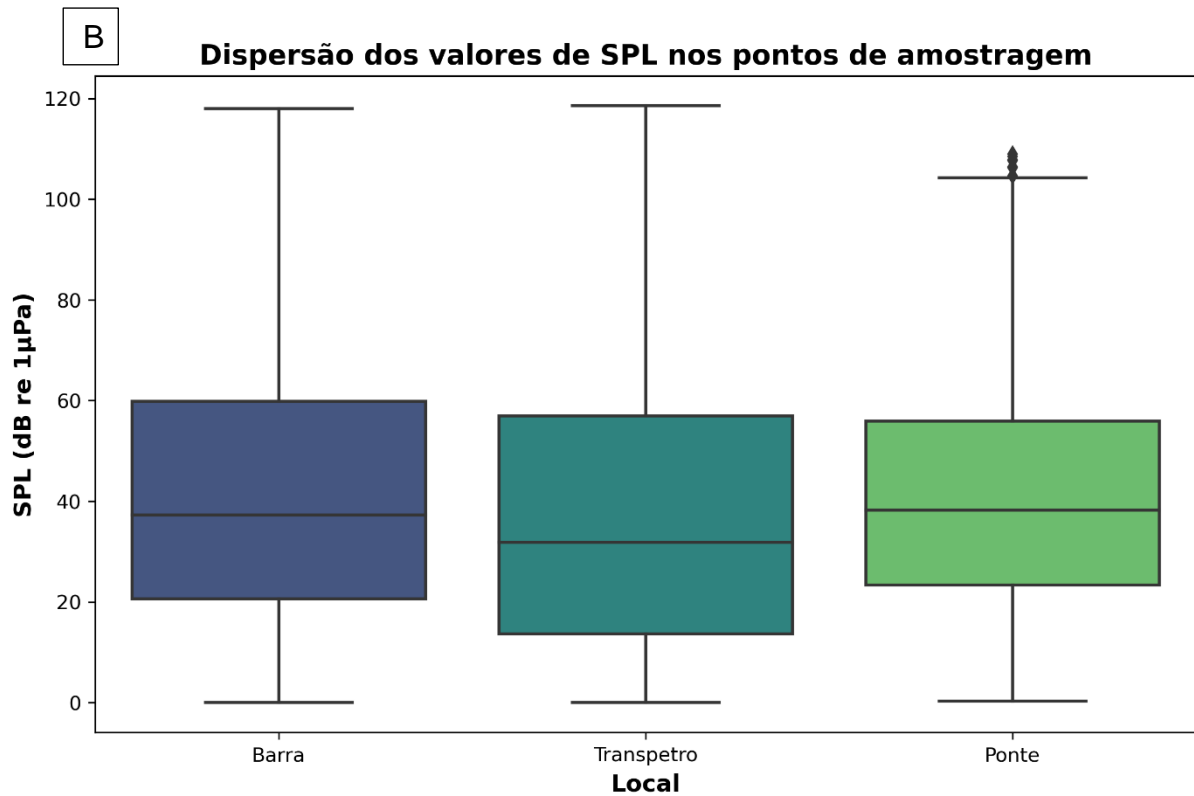
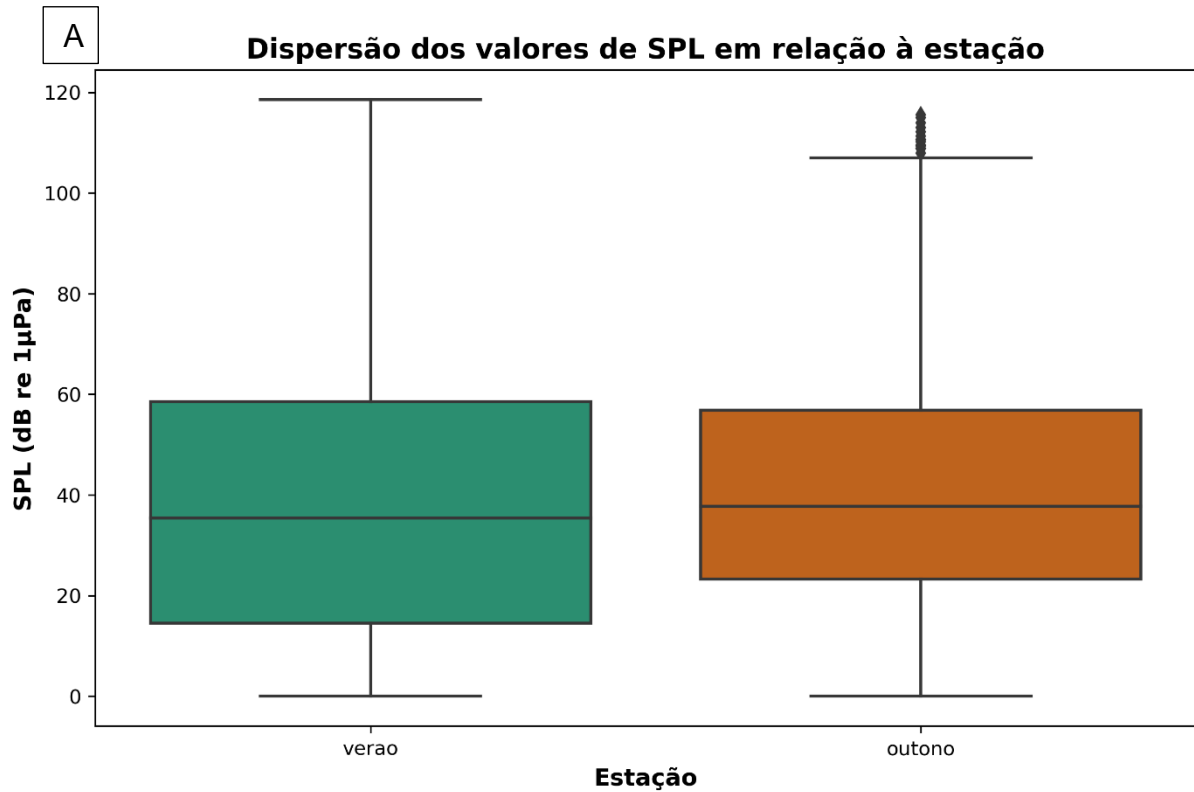
<b>Desvio total</b>	<b>Desvio por ponto</b>			<b>Desvio por estação</b>	
	<b>Barra</b>	<b>Transpetro</b>	<b>Ponte</b>	<b>Verão</b>	<b>Outono</b>
26,36	25,41	28,70	24,69	27,57	24,98

Fonte: Autora (2023)

Os picos máximos de intensidade de SPL foram registrados durante o verão no dia 14 de janeiro de 2023 na área da Transpetro e Barra com 118,53 dB e 118 dB respectivamente (Figura 7b).

Figura 7. Gráfico de boxplot mostrando a dispersão dos níveis de pressão sonora. a) valores em ambas as estações: verão em verde, outono em marrom. Estação do ano (eixo x), valores da pressão sonora (eixo y). b) valores nos três locais de amostragem Ponto 1 (barra), Ponto 2 (transpetro), Ponto 3 (ponte). Locais de coleta (eixo x), valores

da pressão sonora (eixo y).

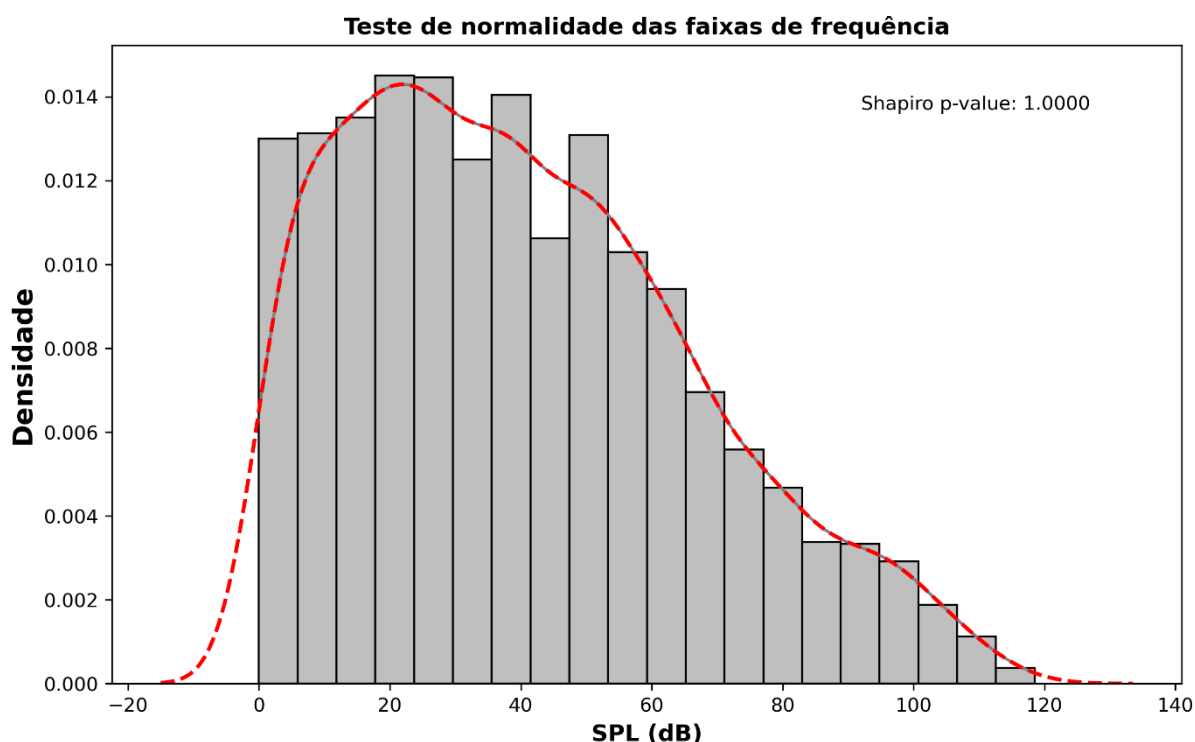


Fonte: Autora (2023)

### 3.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

O resultado do teste Shapiro-Wilk mostrou que a distribuição dos valores de intensidade sonora nas faixas de frequências segue uma distribuição normal (shapiro  $p$ -value = 1,00) (figura 8).

Figura 8. Histograma mostrando a distribuição dos dados de nível de pressão sonora nas faixas de frequência calculado pelo teste Shapiro-Wilk. Valores de pressão sonora (eixo x), densidade dos dados (eixo y).



Fonte: Autora (2023)

A análise de variância de um fator (one-way ANOVA), aplicado para verificar se há diferenças significativas entre as médias da pressão sonora nos três locais de amostragem, teve como resultado:  $p$  valeu: 0,0014, indicando que há diferenças significativas entre os pontos. O resultado do teste Tukey para realizar comparações múltiplas sinalizou que a área da Transpetro (P2) é significativamente diferente da Barra (P1) e da Ponte (P3), e que a Barra e a Ponte não possuem diferenças significativas entre si (tabela 4).

Tabela 4. Resultados da análise de variância e do teste Tukey

Estatística do teste de ANOVA = 6,55						
P value = 0,001443						
Teste Tukey - $\alpha = 0,05$						
Grupo 1	Grupo 2	Diferença média	P value ajustado	Limite inferior	Limite superior	Rejeição
Barra	Ponte	0,5162	0,8668	-1,8597	2,8921	F
Barra	Transpetro	-2,8869	0,0123	-5,2628	-0,511	V
Ponte	Transpetro	-3,4031	0,0023	-5,779	-1,0272	V

Fonte: Autora (2023)

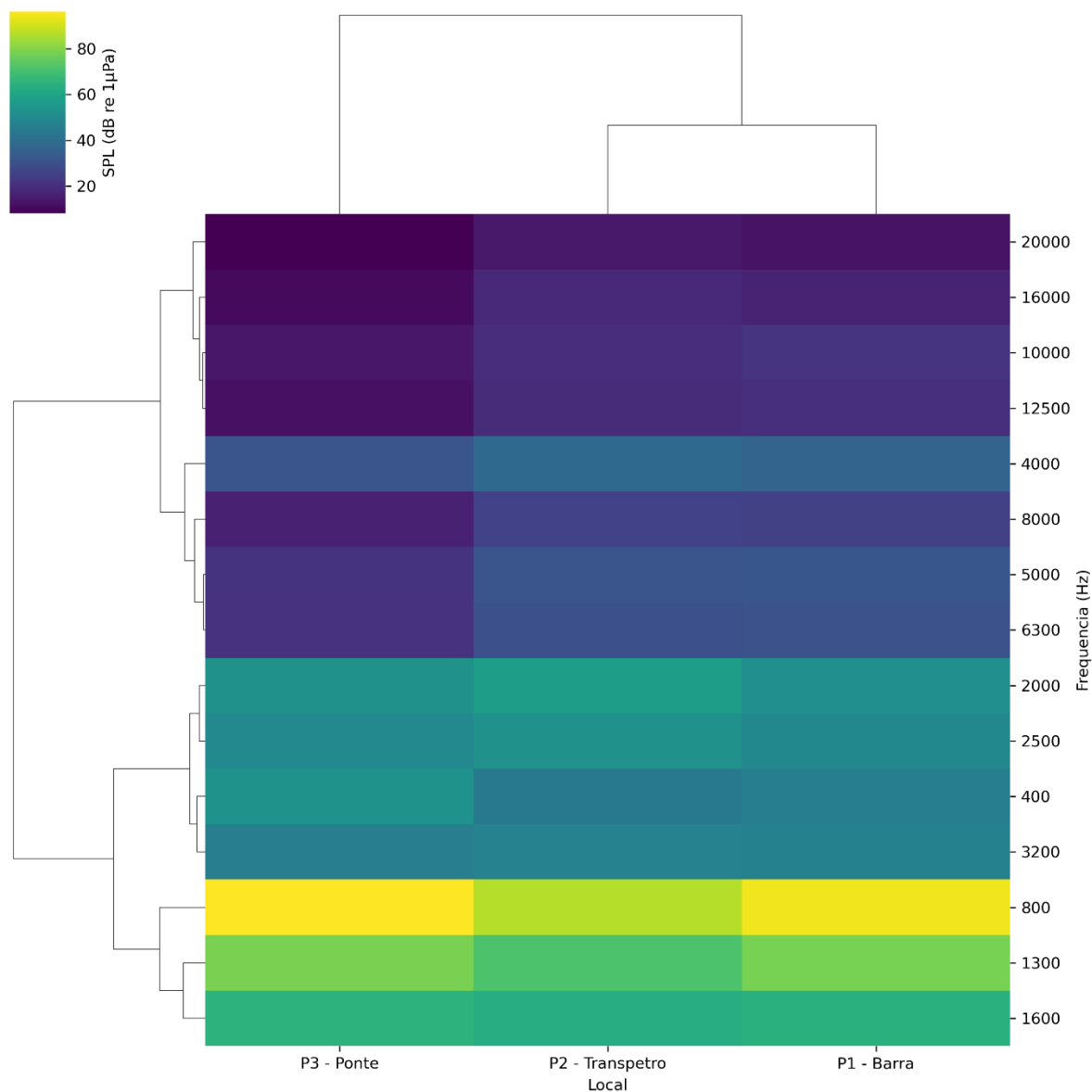
### 3.3 CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA

A área de estudo possui um marcante padrão acústico espacial. A assinatura acústica corresponde à curva do comportamento das médias dos valores de pressão sonora em cada faixa de frequência (ver figura 5).

O agrupamento em função da similaridade das faixas de frequências em função da quantidade de energia, e por tanto, de intensidade de pressão sonora, que há em cada uma permitiu identificar cinco grupos principais (figura 9). O primeiro grupo, cujo intervalo vai de 800 Hz a 1,6 kHz com os maiores níveis de SPL (acima de 70 dB). O segundo, agrupou o intervalo de frequência de 2 a 3,2 kHz juntou com a faixa de 400 Hz, cujos valores de SPL encontram-se entre 50 e 69 dB. O terceiro, sendo o conjunto de 5 kHz a 8 kHz, com níveis de pressão sonora de 30 a 49 dB. O quarto, com uma única faixa de frequência: 4 kHz com valores de pressão sonora entorno de 50 dB. O quinto grupo, de 10 kHz a 20 kHz, com valores abaixo de 30 dB. Este agrupamento permite ter uma compreensão da utilização do espaço acústico no ambiente, ressaltando que a faixa de frequência mais utilizada é de 800 Hz

Figura 9. Mapa de calor com análise de agrupamento em relação aos pontos de coleta e as faixas de frequências. Calculado a partir das medianas com base na distância euclidiana e no método *Ward*. Locais de coleta (eixo x), valores de frequência

agrupados (eixo y), valores da pressão sonora (legenda).



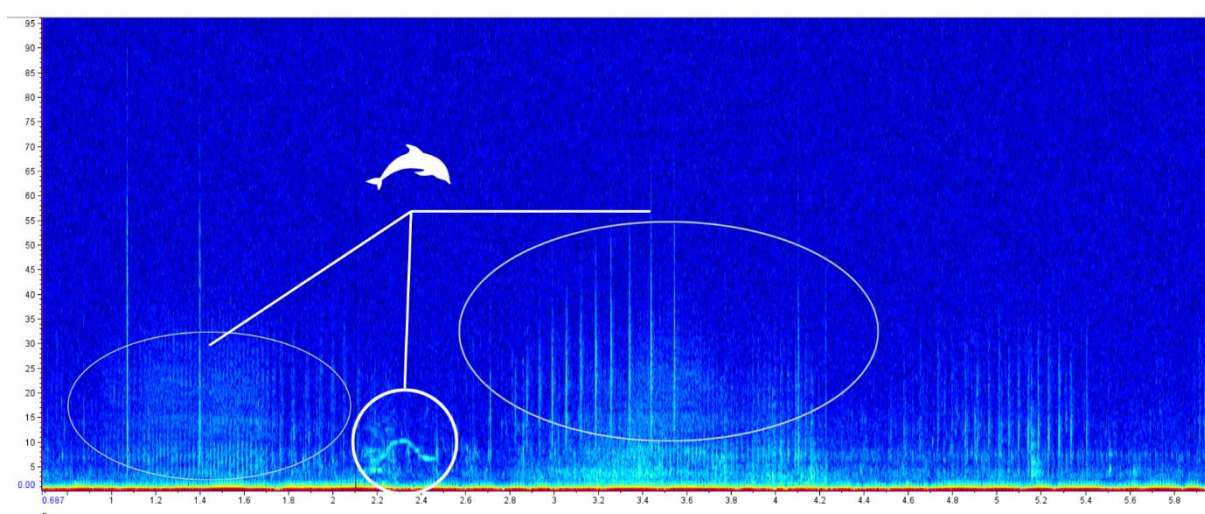
Fonte: Autora (2023)

### 3.3.1 Nicho acústico

O espaço acústico é compartilhado por diferentes componentes. A biofonia é representada marcadamente pelos botos (*T. geophysreus*) e seu amplo repertório acústico (TYACK; MILLER, 2002). O espectrograma da figura 10 mostra exemplos de *burst sounds* de alta frequência (intervalo de 3 a mais de 20 kHz), um assobio do tipo parábola com frequência mínima e inicial de 5,73 kHz, frequência máxima de 10,46 kHz e frequência final de 6,24 kHz, e cliques de elevada frequência que ultrapassam

os 50 kHz. Vale ressaltar que os cliques são caracterizados por frequências muito altas (picos entre 40 – 140 kHz), curta duração (microssegundos) e padrão repetitivo, enquanto os *burst sounds* têm uma gama variada de frequências e picos entre 40 e 80 kHz e uma duração mais longa (HOFFMANN, 2004; MINELLO *et al.*, 2022).

Figura 10. Espectrograma de uma sequência de emissão sonora dos botos, *T. Gephyreus*, na região de estudo, onde percebe-se no início do áudio sons pulsantes (*burst sounds*), seguidos de um assobio de frequência modulada, e após uma série de cliques de ecolocalização de alta frequência. Tempo em segundos (eixo x), e valores de frequência em kHz (eixo y).



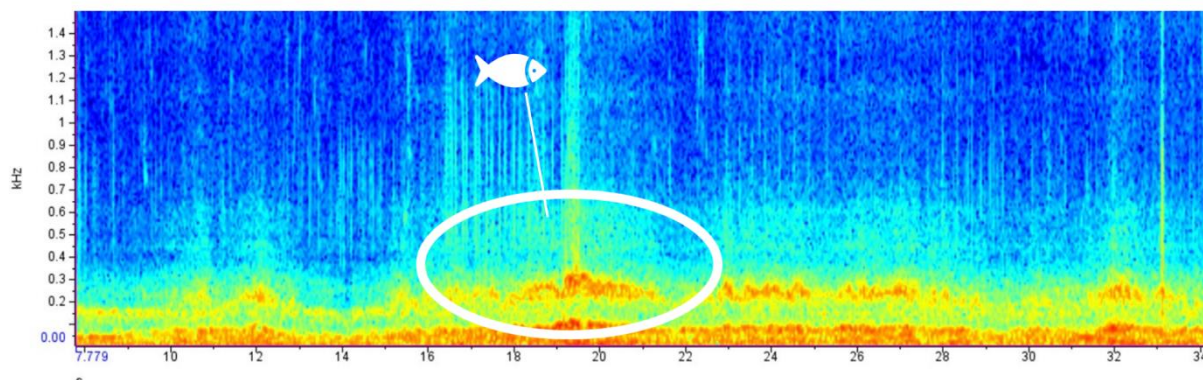
Fonte: Autora (2023)

É possível observar um padrão de emissão que se distingue na biofonia pelo elevado valor de pressão sonora que emite. No espectrograma da figura 11 observa-se emissões sonoras na faixa de frequência de 800 Hz. É interessante notar que o pico máximo de pressão sonora gravado (118,53 dB) na Transpetro no dia 14 de janeiro de 2023. Este pico coincide com este padrão de emissão que muito provavelmente, pode ser correlacionado a alguma espécie de peixe ocorrente da área de estudo. Sabe-se que alguns peixes geram sons de frequência abaixo de 1 kHz (MINELLO *et al.*, 2022).

Figura 11. Espectrograma de uma sequência de emissão sonora de alta intensidade em frequência relativamente baixas, provavelmente atrelado a peixes. Tempo em



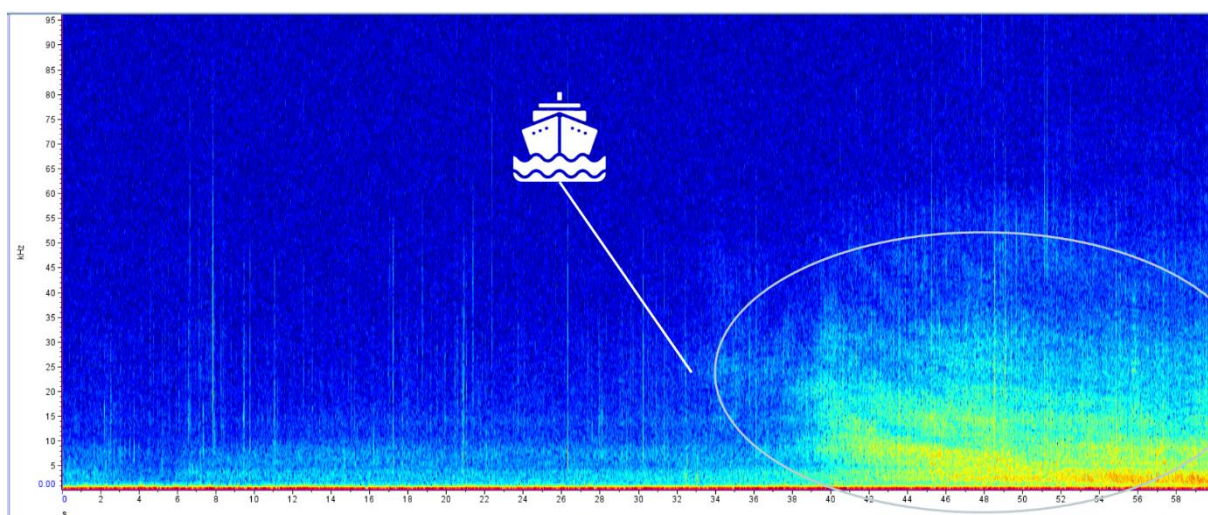
segundos (eixo x), e valores de frequência em kHz (eixo y).



Fonte: Autora (2023)

O principal agente da antropofonia no local está relacionado principalmente às embarcações que transitam pela barra (figura 12). São perturbações pontuais com potencial de mascaramento dos sinais sonoros da biofonia.

Figura 12. Espectrograma mostrando o ruído gerado ao ligar o motor de uma embarcação nas proximidades da Transpetro. Tempo em segundos (eixo x) e valores de frequência em kHz (eixo y).

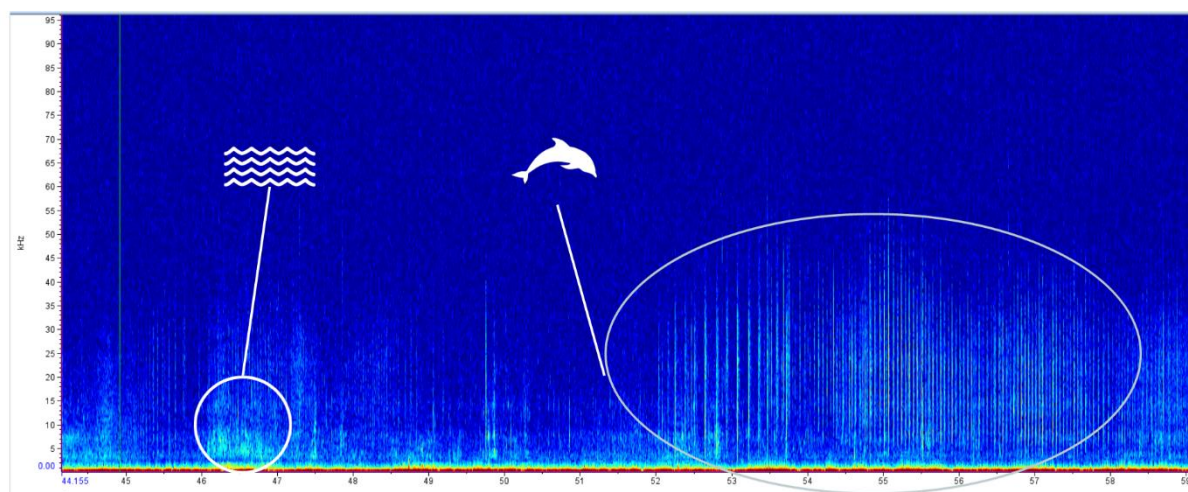


Fonte: Autora (2023)

A geofonia presente está relacionada aos movimentos d'água (ondas na superfície e correntes do *inlet*), e ao som gerado pelo vento. O espectrograma (figura 13) mostra um exemplo de som causado pelo movimento da água.

Figura 13. Espectrograma mostrando o som gerado pelo movimento da coluna d'água,

seguido pelos cliques de ecolocalização de um boto na barra. Tempo em segundos (eixo x) e valores de frequências em kHz (eixo y).



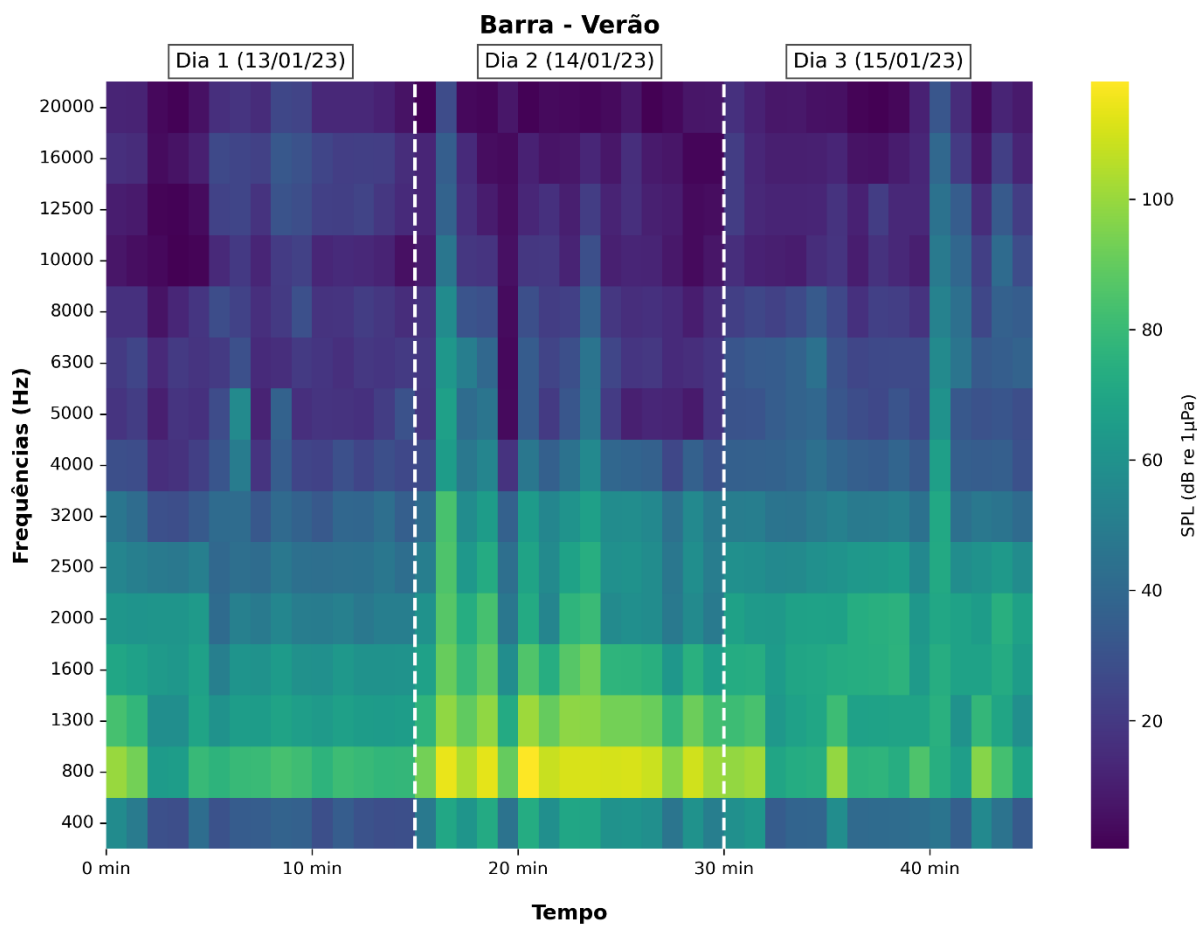
Fonte: Autora (2023)

### 3.3.2 Barra

A região do estuário no Ponto 1, onde localiza-se a barra apresentou um padrão diferenciado, apresentando os cinco grupos de frequência com algumas variações (figuras 14 e 15). Encontraram-se valores de pressão sonora mais elevados nas altas frequências do grupo 4 e 5 (de 5 a 8 kHz e acima de 10 kHz, respectivamente) principalmente no outono (figura 15). No primeiro dia de coleta na estação do outono (24/05/2023) observa-se picos de SPL de entorno 100 dB nas frequências de 2 a 8 kHz, assim como picos de pressão sonora de amplitude de 60 a 80 dB nas faixas acima de 10 kHz. O segundo dia de gravação na estação do outono (25/05/2023) apresentou valores de pressão sonora acima de 60 dB nas frequências acima de 10 kHz.

Figura 14. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 1 (barra) no verão. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda (as cores indicam a variação do

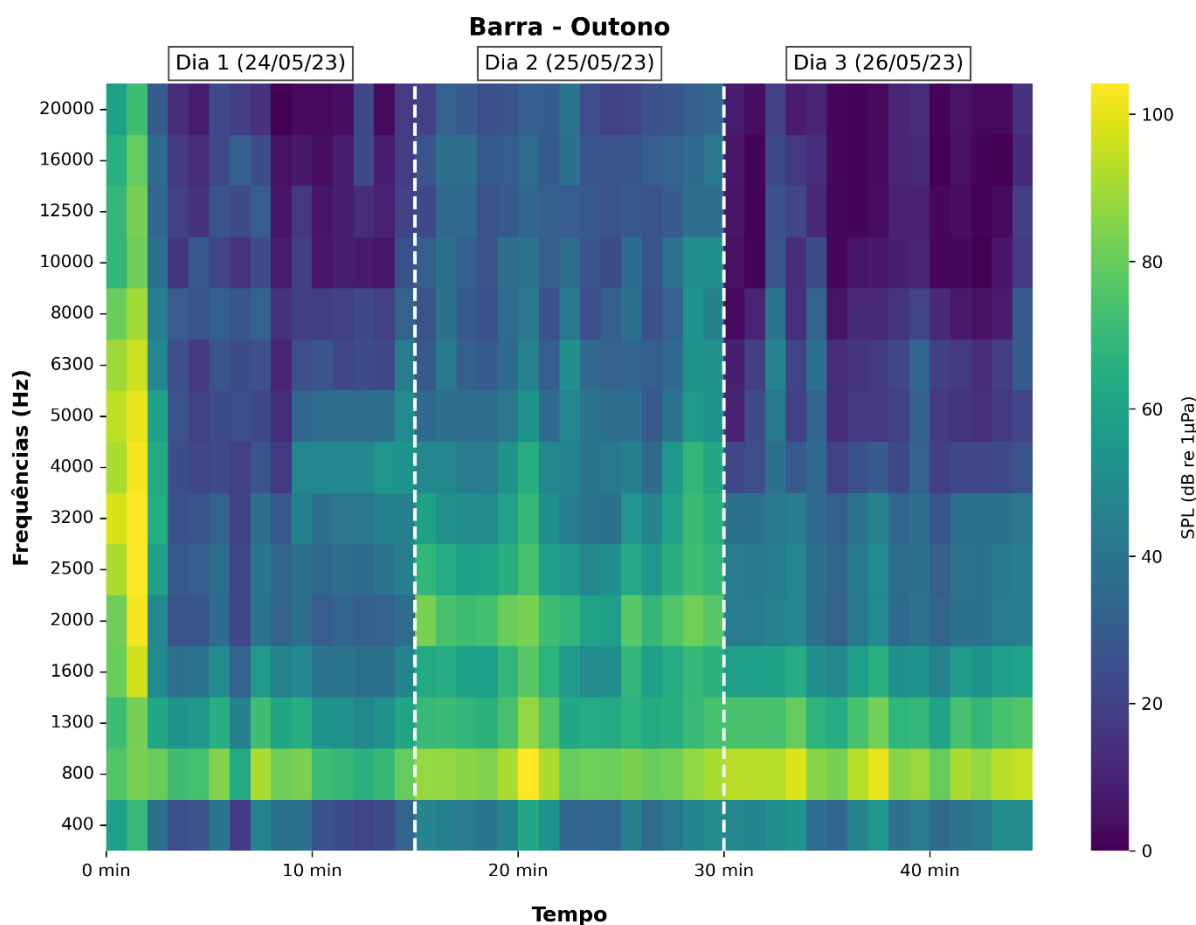
nível de pressão sonora, de mais intenso – amarelo – a menos intenso – roxo).



Fonte: Autora (2023)

Figura 15. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 1 (barra) no outono. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda (as cores indicam a variação do

nível de pressão sonora, de mais intenso – amarelo – a menos intenso – roxo).



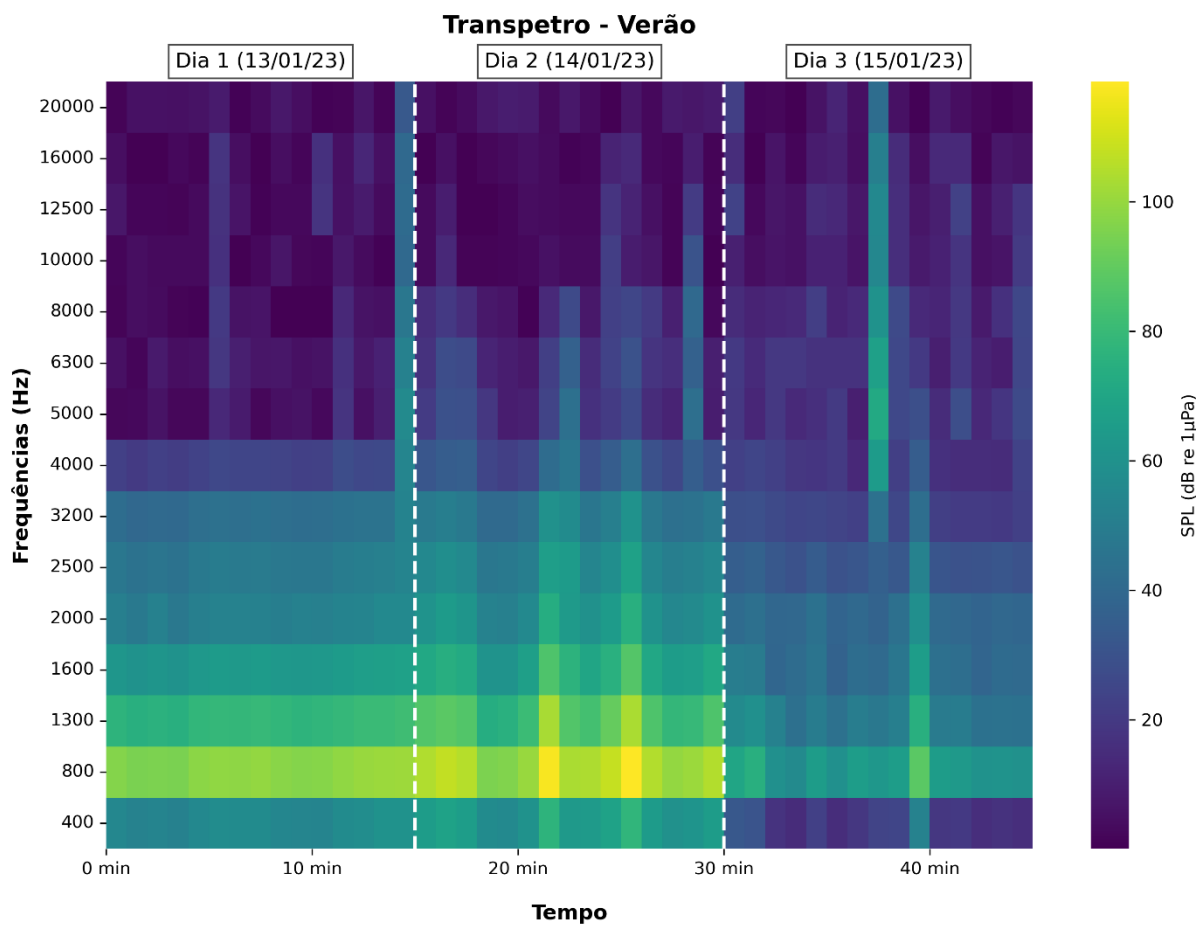
Fonte: Autora (2023)

### 3.3.3 Transpetro

De modo geral a região do estuário no Ponto 2 apresentou o padrão esperado de utilização do espaço acústico com algumas nuances: o terceiro dia de gravação do verão (15/01/2023) teve valores mais baixos de SPL do que o esperado na faixa de 400 Hz, assim como houveram picos de pressão sonora mais intensos nas altas frequências no final do primeiro dia do verão (14/01/2023), no meio da gravação do terceiro dia do verão (15/01/2023) (figura 16). Picos de SPL mais elevado nas altas frequências foram comuns no outono (figura 17).

Figura 16. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 2 (Transpetro) no verão. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda (as cores indicam a variação do nível de pressão sonora, de mais intenso – amarelo – a menos intenso –

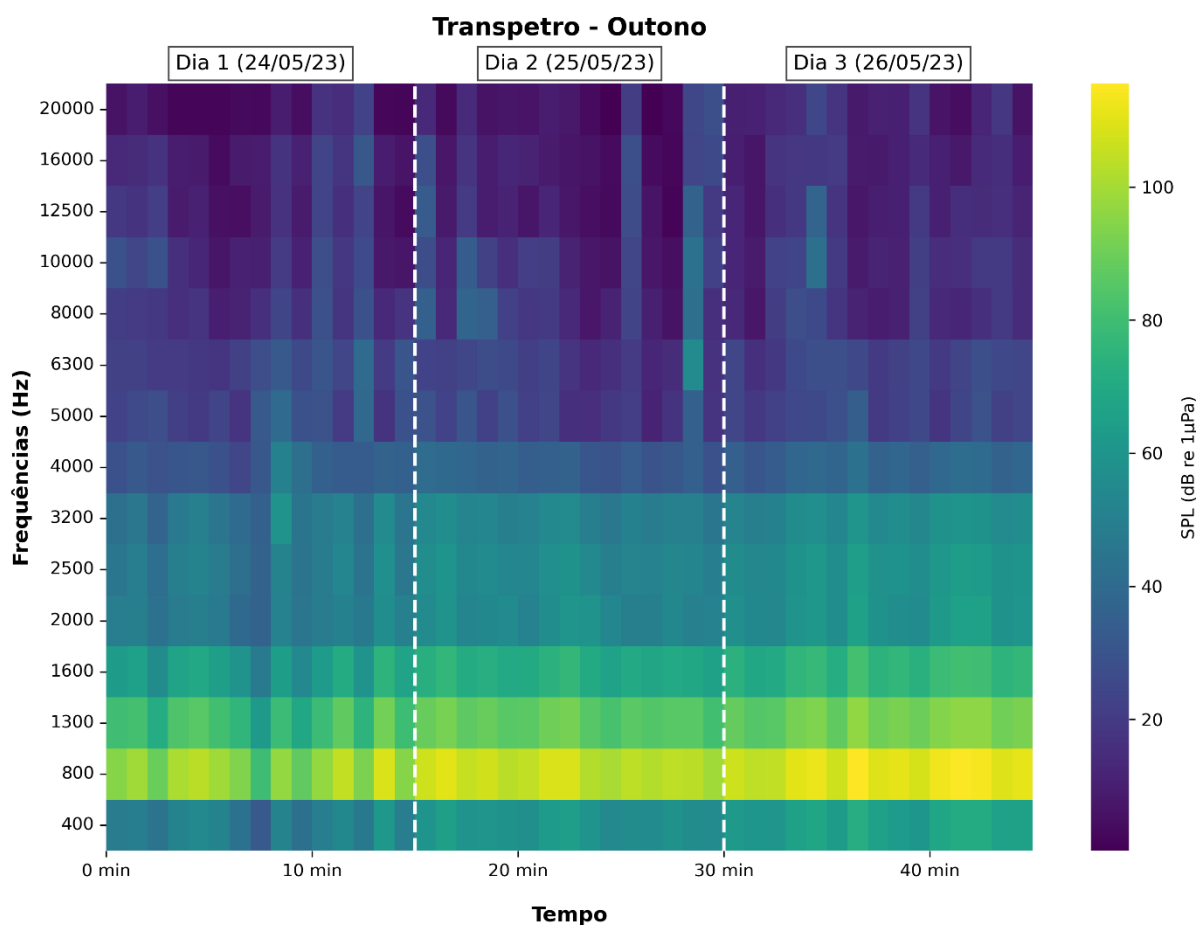
roxo).



Fonte: Autora (2023)

Figura 17. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 2 (transpetro) no outono. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda (as cores indicam a variação do nível de pressão sonora, de mais intenso – amarelo – a menos intenso –

roxo).

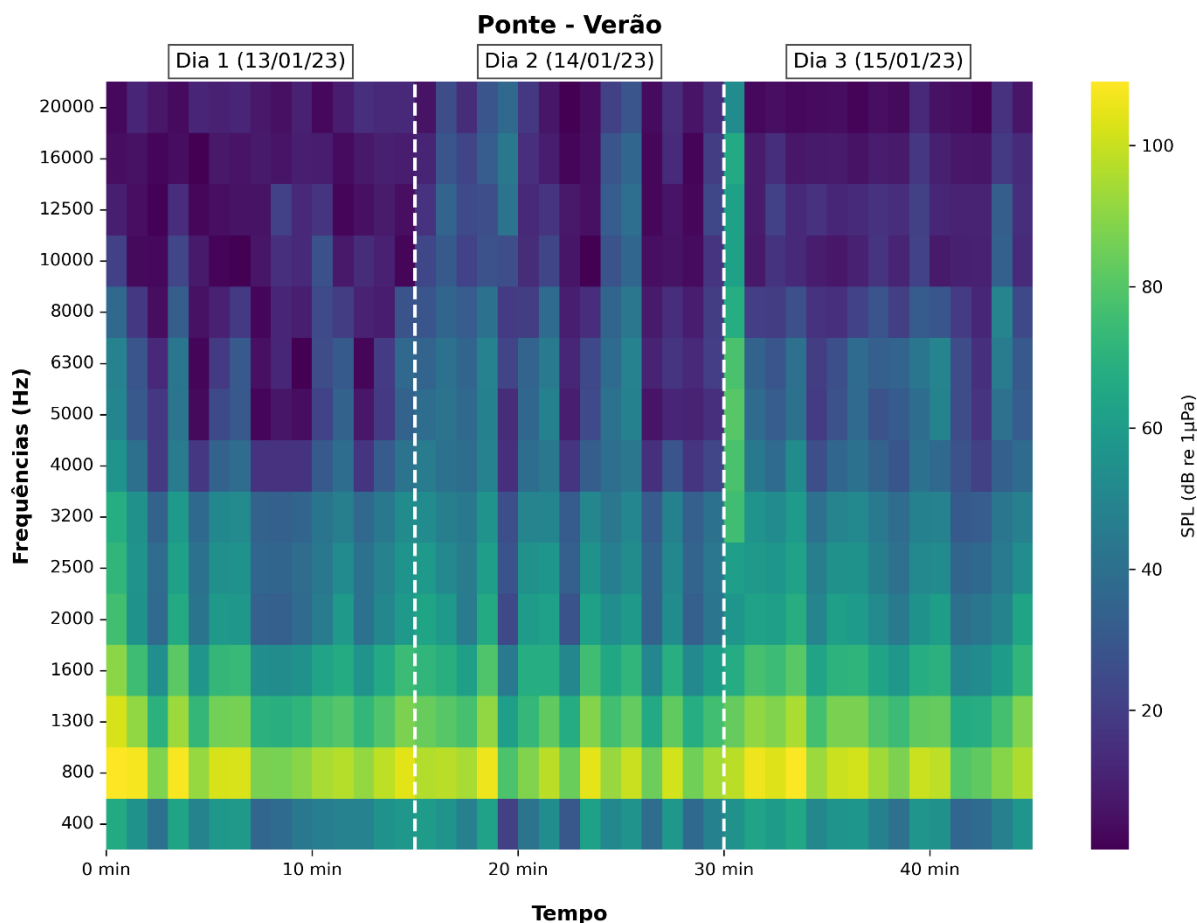


Fonte: Autora (2023)

### 3.3.4 Ponte Giuseppe Garibaldi

A região do estuário no Ponto 3, onde se encontra a ponte Giuseppe Garibaldi, no verão teve picos de maiores intensidades de pressão sonora nas frequências acima de 4 kHz, sendo o segundo dia (14/01/2023) o mais marcante (figura 18). Além disso, é possível observar alguns momentos pontuais com valores de pressão sonora menores ao esperado no segundo dia do verão na faixa de 400 Hz e 2 kHz. O outono apresentou a maior uniformidade nos valores de SPL nas frequências de 800 Hz a 3,2 kHz ao longo dos três dias de gravação, comparado aos demais pontos. Esta uniformidade é refletida na semelhança de tons das bandas, que lhe confere cores mais sólidas. Por outro lado, as altas frequências (acima de 4 kHz) tiveram valores mais altos, em torno de 60 a 70 dB com exceção da faixa de 20 kHz que apresentou valores muito baixos de pressão sonora (abaixo de 20 dB) (figura 19).

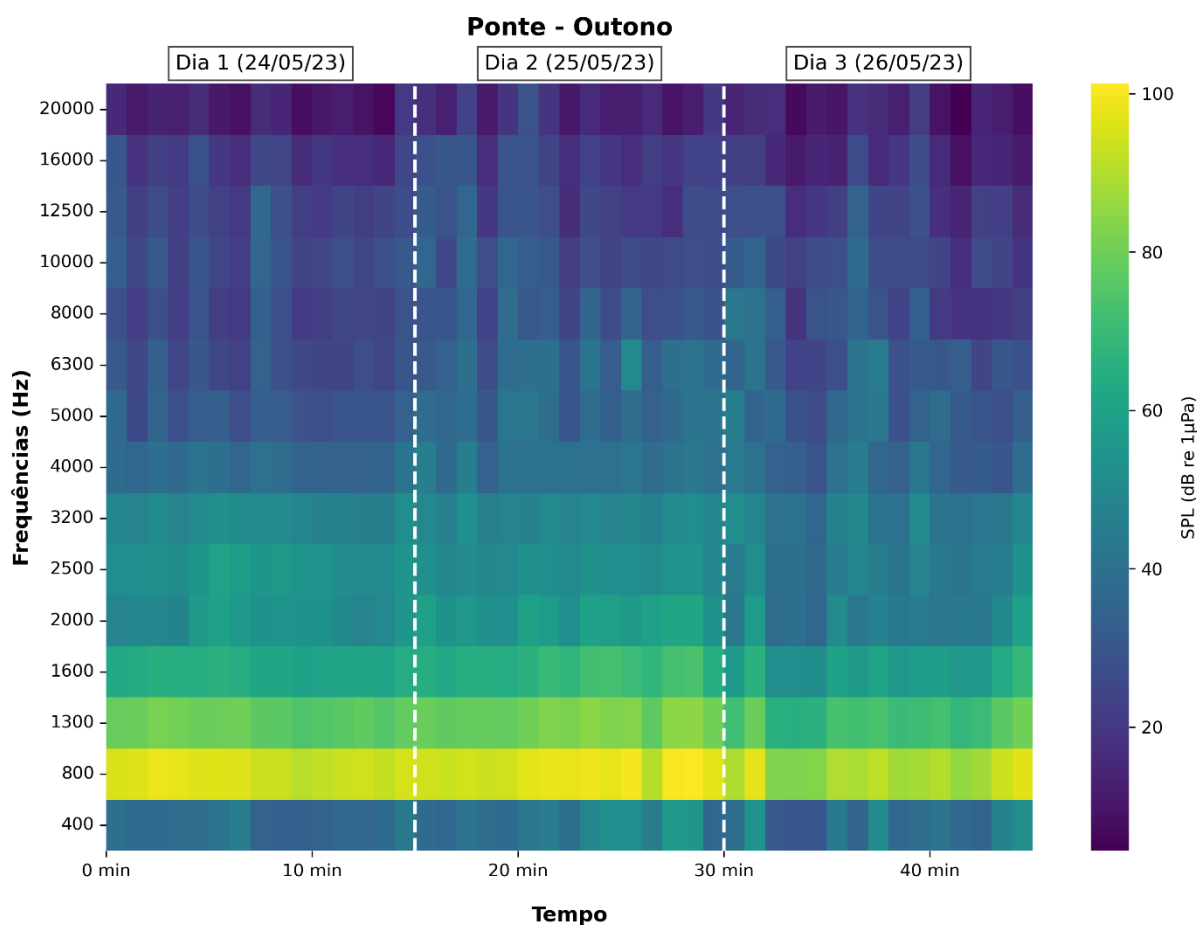
Figura 18. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 3 (ponte) no verão. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda (as cores indicam a variação do nível de pressão sonora, de mais intenso – amarelo – a menos intenso – roxo).



Fonte: Autora (2023)

Figura 19. Mapa de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo dos três dias de gravação no Ponto 3 (ponte) no outono. Em cada dia foram gravados 15 minutos. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda (as cores indicam a variação do

nível de pressão sonora, de mais intenso – amarelo – a menos intenso – roxo).



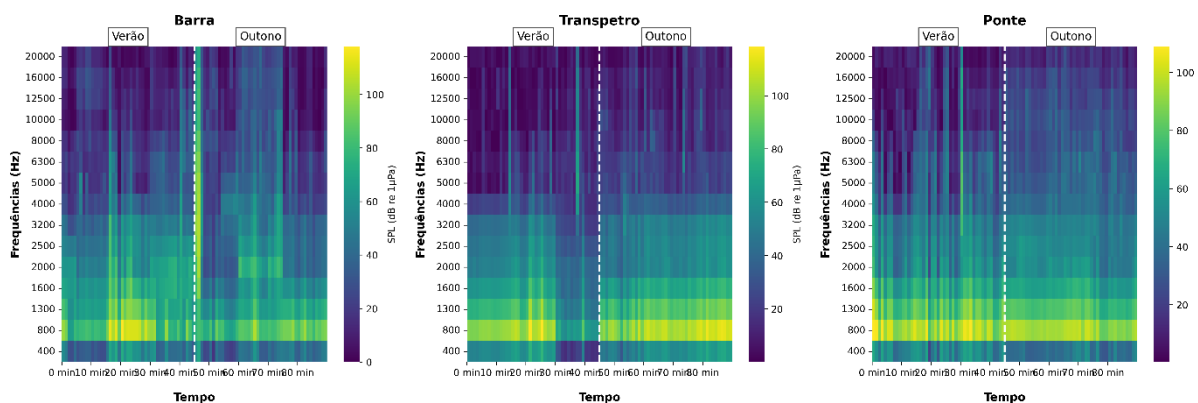
Fonte: Autora (2023)

### 3.3.5 Assinatura acústica

A pesar das nuances que distinguiram um ponto dos demais, a área de estudo como um todo apresentou uma forte homogeneidade acústica ambiental. O padrão observado foi o de maior utilização da faixa de 800 Hz, ou seja, é a frequência onde os valores de pressão sonora são mais elevados, que é bem conservado nos três pontos de coleta e durante ambas as estações. Além disso, boa parte da energia é contida no intervalo de frequência de 800 Hz até 3,2 kHz, o que é possível observar tanto na figura 20, quanto no gráfico da figura 21. A frequência de 400 Hz encontra-se isolada das demais, sendo sempre mais baixa das demais frequências do primeiro quarto do espectro. As frequências acima de 4 kHz foram as mais silenciosas, com exceções pontuais em todos os pontos.

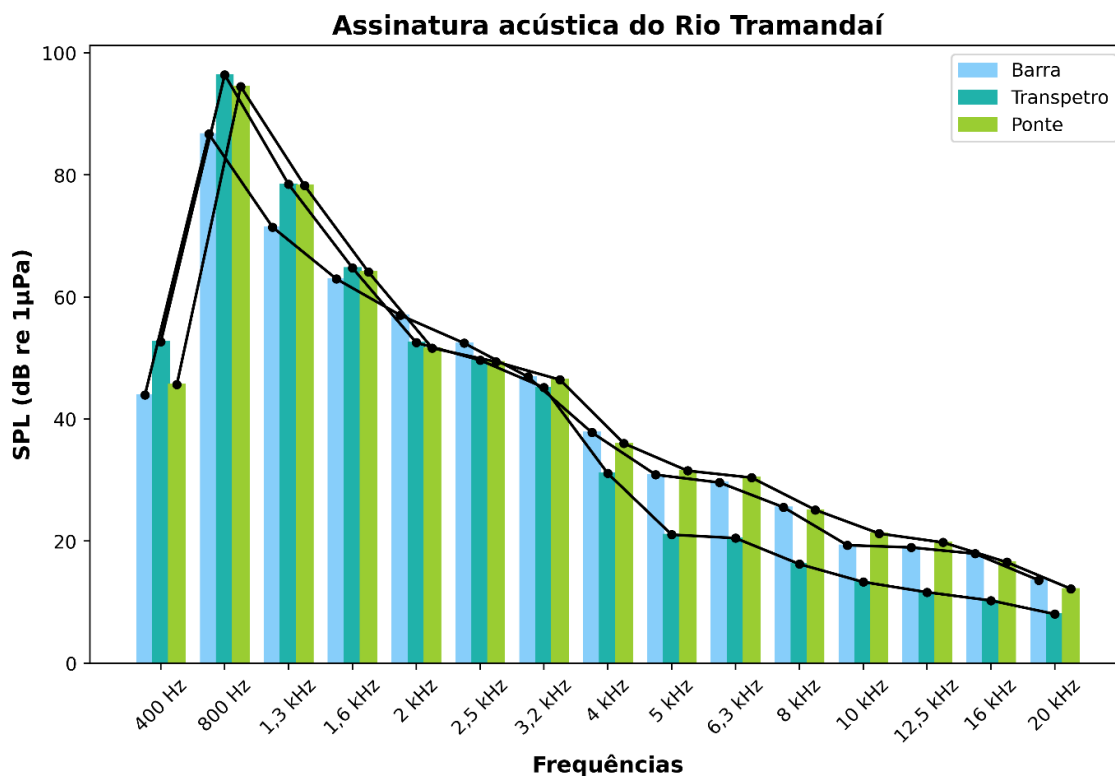


Figura 20. Mapas de calor mostrando os valores de pressão sonora para cada faixa de frequência ao longo das duas estações em que foram realizadas as gravações no Ponto 1 (barra), Ponto 2 (transpetro) e ponto 3 (ponte). Em cada estação foram amostrados 45 minutos por ponto. Tempo em minutos (eixo x), valores de frequências (eixo y), valores de pressão sonora (dB) na legenda (as cores indicam a variação do nível de pressão sonora, de mais intenso – amarelo – a menos intenso – roxo).



Fonte: Autora (2023)

Figura 21. Gráfico de barras sobreposto com os valores das médias da pressão sonora nos três pontos de gravação: Ponto 1 (barra) em azul claro, Ponto 2 (transpetro) em verde água e Ponto 3 (ponte) em verde. As linhas em preto indicam a pequena variação do padrão acústico e representam a assinatura acústica da zona de estudo. Valores de frequência (eixo x), valores de pressão sonora (eixo y).



Fonte: Autora (2023)

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 ASSINATURA ACÚSTICA

A biofonia, representada de forma marcante pelos botos na zona de estudo, revela um ambiente acústico diversificado e dinâmico. Os resultados observados destacam a riqueza do repertório acústico desses cetáceos. Os sons mais comuns foram os cliques de ecolocalização e os *burst sounds*, ambos tratando-se de sons de alta frequência, demonstrando que a área de estudo é um importante local, para essa população de botos residentes, para forrageamento e obtenção de recursos (HOFMANN, 2004).

Apesar dos *bursts sounds* serem considerados vocalizações de comunicação, observações em campo permitiram identificar certo padrão comportamental: Logo após uma vocalização intensa ou longa o boto fazia alguma das suas sinalizações para os pescadores. Outras espécies de cetáceos, como cachalotes (*Physeter macrocephalus*), têm a estratégia de atordoar suas presas com sons de alta frequência (MILLER; JOHNSON; TYACK, 2004). Porém, mais estudos são necessários para avaliar a esta relação entre emissão de *burst sounds* agudos e estratégia de predação.

É sabido que durante a “época da tainha” momento no qual ocorre a migração reprodutiva da tainha, (*Mugil liza*), a interação boto-pescador aumenta, assim como aumenta a atividade de pesca dos botos (SANTOS *et al.*, 2018). Este aumento de atividade de forrageamento e conseqüentemente, das emissões sonoras dos botos em altas frequências pode estar relacionado ao aumento da pressão sonora das frequências do grupo 5 (acima de 10 kHz) na estação do outono, independentemente do número de botos presentes no local. Não obstante, são necessários mais estudos para ter um melhor entendimento sobre a relação entre o uso do habitat e aumento dos valores de pressão sonora.

É interessante notar que, apesar da presença proeminente dos botos na biofonia, há indícios de emissões sonoras muito intensas associadas a peixes. O pico máximo de pressão sonora registrado pode estar correlacionado a comportamentos acústicos específicos de peixes, os quais apresentam dois tipos de mecanismos de geração de sons, um deles é causado pelo movimento dos músculos sônicos

próximos à bexiga natatória resultando em sons de frequência relativamente baixa (abaixo de 1 kHz) (PARMENTIER; FINE, 2016; LADICH, 2019).

Este trabalho representa uma caracterização preliminar, com amostragens pontuais da paisagem sonora do Rio Tramandaí. A análise global da assinatura acústica da área de estudo demonstra uma notável homogeneidade acústica para os dias amostrados, no entanto, não podemos afirmar que este padrão acústico se mantém predominante ao longo do tempo. Períodos de gravação mais longos são necessários para entender os padrões temporais nas paisagens acústicas e da ecologia acústica (RICCI et al. 2016). A faixa de 800 Hz foi identificada como a mais utilizada, apresentando os valores mais elevados de pressão sonora. Isso foi consistente em todos os pontos de coleta e em ambas as estações, sugerindo que essa faixa de frequência é um componente fundamental da paisagem acústica do Rio Tramandaí.

Essa assinatura acústica é importante para o estabelecimento das populações de organismos que habitam o local e pode sofrer uma disruptiva em caso de houver construções futuras, como já foi observado em Laguna, Santa Catarina – SC, Brasil, lugar onde o uso do estuário pelos botos, *T. geophyreus*, diminuiu 53% após a construção da ponte Anita Garibaldi (AGRELO, 2017). Os sons antropogênicos produzem o efeito de mascaramento de maior amplitude e largura de banda mais ampla, que afeta profundamente a partição do nicho acústico dos animais marinhos uma vez que se trata de ecossistemas de bandas particionadas a fim de evitar a sobreposição com outras espécies (BUSCAINO et al. 2016).

Atualmente está sendo debatido a construção de uma nova ponte cuja localização prevista coincide com o ponto 2 (área da transpetro), onde foi observada a maior variabilidade nos níveis de pressão sonora, podendo demandar medidas de controle de ruído mais personalizadas ou intervenções direcionadas para reduzir a dispersão dos níveis de pressão sonora nos projetos de obras futuras, como o caso da nova ponte (FARINACCIO; TESSLER, 2010).

O ponto 3 (a área da atual ponte Giuseppe Garibaldi) é onde ocorre a maior reverberação do som em função de ser o ambiente mais raso. A profundidade e a batimetria desempenham um papel fundamental na propagação dos sinais em águas rasas, onde sinais de baixa frequência podem ser distorcidos (PUTLAND; CONSTANTINO; RADFORD, 2017). Foi interessante notar em campo que o ruído causado pelos cascos dos cavalos das carroças que atravessavam a ponte produzia

maior eco, e eram mais ruidosos, que a vibração de quando um veículo atravessava. Isto pode estar relacionado ao fato das rodas dos veículos serem de borracha e amortecerem o a vibração.

Os impactos indiretos decorrentes deste tipo de construção no ponto 2 (área da transpetro) devem ser levados em consideração. Os ruídos gerados por construções em ambientes costeiros, podem alterar o comportamento e a comunicação da fauna marinha, devido à interferência nos sinais acústicos naturais (DUARTE *et al.*, 2021; NOWACEK *et al.*, 2007; POPPER; HAWKINS, 2019). Outro impacto indireto é o aumento do estresse decorrente do ruído que pode afetar a reprodução, alimentação e migração e mudanças na distribuição e abundância de espécies devido a evitação de áreas com elevados níveis de ruído (DUARTE *et al.*, 2021; CLARK *et al.*, 2009).

O assoreamento causado pela alteração da dinâmica sedimentar pode causar maior reverberação do som em função da diminuição da profundidade o que pode alterar os componentes espectrais da paisagem acústica (FARINACCIO; TESSLER, 2010; MINELLO *et al.*, 2022). Finalmente, a estrutura da ponte pode servir como novos lugares de assentamento de invertebrados, o que pode ter impactos na biodiversidade e na estrutura das comunidades marinhas devido à alteração das interações ecológicas mediadas pelo som (DUARTE *et al.*, 2021).

#### 4.2 SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA X SIGNIFICÂNCIA ECOLÓGICA

Os resultados das análises do desvio padrão e do teste Tukey mostraram que os pontos tiveram diferenças significativas estatisticamente. Ao analisar o comportamento das médias no gráfico da figura 5 é possível observar que o ponto 1 (área da barra) e o ponto 3 (a ponte Giuseppe Garibaldi) possuem comportamento semelhante em quase todas as faixas de frequências com exceção das faixas de 800 Hz, 1,3 kHz, 2 kHz e 2,5 kHz. Assim como é possível observar a maior variação encontrada na região central, no ponto 2 (área da transpetro). Estes resultados aceitam a hipótese alternativa como verdadeira.

A pesar destas diferenças estatísticas, foi possível observar a presença dos botos no ponto 1 (na barra) e no ponto 2 (ao redor da área da transpetro) indicando o uso comum destes espaços pelos organismos do estuário, mesmo quando estatisticamente os pontos 1 e 2 mostraram-se significativamente diferentes. Isto pode

refletir a elevada plasticidade acústica dos botos (GRAHAM *et al.*, 2017). No entanto, os botos não foram vistos usando a área perto da Ponte Giuseppe Garibaldi (ponto 3) como faziam antigamente – segundo o conhecimento tradicional dos pescadores de tarrafa. A razão desta partição de habitat não é compreendida, por um lado têm o aumento da urbanização da cidade que gera mais impactos – poluição e aumento de ruído – (AFONSO, 2015; RAKO *et al.*, 2013), por outro, o assoreamento do canal nesta zona. O que é evidente é que as diferenças estatísticas por si só não são suficientes para entender a dinâmica ecológica do ambiente. As diferenças estatísticas podem ser subestimadas pelos testes com amostras de grande tamanho, assim como pelo pequeno desvio padrão do ponto ao longo das amostragens, ou seja, se o ponto varia pouco qualquer variação encontrada será tomada como estatisticamente significativa (GOTELLI; ELLISON, 2004; FARINA, 2014).

#### 4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO

A área de estudo se caracteriza por ser um ambiente de águas rasas, as interações com o fundo, como reflexão, espalhamento e absorção junto às perturbações hidrodinâmicas, tornam a propagação acústica complexa. O aprisionamento da energia sonora pode acontecer em função às interações com a superfície da coluna da água e com o fundo, contribuindo para a reverberação do som (MINELLO *et al.*, 2022)

Além disso, considerações temporais foram descartadas uma vez a quantidade de replicações por estação foram insuficientes (GOTELLI; ELLISON, 2004). Este estudo fornece uma caracterização pontual e de linha de base da paisagem sonora do Rio Tramandaí. Necessitando de estudos futuros para uma melhor compreensão da ecologia acústica do local e do padrão espaço-temporal. Ainda assim, é crucial considerar esses resultados na gestão da paisagem acústica do estuário.

### 5. CONCLUSÃO

A hipótese alternativa sugerindo que há variações nos níveis de pressão sonora nas faixas de frequência foi confirmada pelos resultados da análise estatística. No entanto, ecologicamente estas diferenças tendem a não ser significativa uma vez que ocorre o uso de diferentes áreas pelos botos e a paisagem acústica se mantém

homogênea, evidenciando uma notável consistência espacial.

Os resultados destacaram a importância da faixa de 800 Hz na paisagem acústica, indicando que essa frequência é um componente fundamental do ambiente sonoro da Barra do Rio Tramandaí. A presença marcante da biofonia, representada pelos botos e seu diversificado repertório acústico, foi um ponto de destaque. A análise também revelou padrões de comportamento acústico sazonal e o impacto potencial da antropofonia, especialmente nas proximidades da área da Transpetro.

A assinatura acústica identificada, embora apresentando nuances entre os pontos de coleta, sugere uma notável homogeneidade ambiental. As implicações ecológicas do potencial impacto da construção de uma nova ponte na região merecem consideração. O ponto 2 (área da Transpetro), requer atenção e medidas de controle para minimizar possíveis perturbações na paisagem acústica e seus efeitos nos ecossistemas marinhos.

Por fim, este estudo proporcionou uma caracterização inicial e de linha de base da paisagem sonora da Barra do Rio Tramandaí. Contudo, ressalta-se a necessidade de pesquisas futuras para uma compreensão mais aprofundada da ecologia acústica nesse ambiente, considerando as complexidades da propagação acústica em águas rasas e as dinâmicas espaço-temporais. Esses resultados devem ser incorporados na gestão da paisagem acústica do estuário, contribuindo para a conservação e sustentabilidade dos ecossistemas costeiros.

## REFERÊNCIAS

- AGRELO, M. **Impactos antropogênicos sobre a população do boto-da-tainha (*Tursiops truncatus*) em laguna, sul do Brasil: Uso do espaço e bases para um modelo conceitual de conservação.** 2017, 110 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Florianópolis, 2017.
- AFONSO, G. S. **Influência das atividades antrópicas em uma população de botos (*Tursiops Gervais, 1855*) residente do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil.** 2015, 42 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Porto Alegre, 2015.
- BITTENCOURT, L. *et al.* Underwater noise in an impacted environment can affect Guiana dolphin communication. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n.2, pág. 1130-1134, 2017.
- BOAS, L. B. V. **Influência do ruído sonoro subaquático na variação dos assobios do boto-cinza, *Sotalia guianensis*.** 2015, 72 f. Dissertação (Mestrado em Processos oceanográficos na Interface continente-oceano) - Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria no 463, de 18 de Dezembro de 2018. Dispõe sobre as Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira ou Áreas Prioritárias para a Biodiversidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 160, 19 Dezembro de 2018.
- BUSCAINO, G. *et al.*, Temporal patterns in the soundscape of the shallow Waters of a mediterranean marine protected área. **Scientific reports**, v.6, n. 34230, 2016.
- CAMARGO, Y. R. R. Avaliação dos impactos ambientais de Projetos de pontes Rodoviárias no estuário do Rio Tramandaí, Sul do Brasil. 2019.
- CAMPBELL, D. *et al.* Underwater soundscape pattern during high season of nautical tourism in Cabo Frio Island, Brazil. **Proceedings of meeting on Acoustics**, v.37, n.1, 2019.
- CAREY, W.M.; EVANS, R. B. **Ocean Ambient Noise - Measurement and Theory.** Springer, 2011.
- CLARK, C. W. *et al.* Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Marine Ecology Progress Series** , v. 395, p. 201-222, 2009.
- COX, K. D. *et al.* Assessing the effect of aquatic noise on fish behavior and physiology: a meta-analysis approach. **Proceedings of Meetings on Acoustics**, v. 27, n. 010024, 2017.

DRAGO, M. et al. Stable oxygen isotopes reveal habitat use by marine mammals in the Rio de la Plata estuary and adjoining Atlantic ocean. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 238, n.5, 2020.

DUARTE, C. M. et al. The soundscape of the Anthropocene ocean. **Science**, v. 371, n. 6529, 2021.

DUMYAHN, S.L., PIJANOWSKI, B.C. Soundscape conservation. **Landscape Ecology**, v. 26, p. 1327–1344, 2011.

DUMYAHN, S.L.; PIJANOWSKI, Bryan C. Beyond noise mitigation: managing soundscapes as common-pool resources. **Landscape ecology**, v. 26, n. 9, p. 1311-1326, 2011.

EY, E.; FISCHER, J. The “Acoustic adaptation hypothesis” a review of the evidence from birds, anurans and mammals. **Bioacoustics** , v. 19, n. 1-2, pág. 21-48, 2009.

FARINA, A.; JAMES, F. The acoustic communities: Definition, description and ecological role. **Biosystems** , v. 147, p. 11-20, 2016.

FARINA, A. Ecoacoustics: A quantitative approach to investigate the ecological role of environmental sounds. **Mathematics** , v. 7, n. 1, pág. 21, 2018.

FARINA, A. **Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications**. 1. Ed.1. Dordrecht: Springer, 2014. p. 342.

FARINACCIO, A.; TESSLER, M. G. Avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira – Uma proposta metodológica. **Gestão Costeira Integrada**, v.10, n. 4, p. 419-434, 2010.

GASC, A. et al. Acoustic índices for biodiversity assessments: Analyses of bias based on simulated bird assemblages and recommendations for field surveys. **Biological Conservation**, v. 191, n. Supplement C, p. 306-316, 2013.

GRAHAM, I. M. et al. Responses of bottlenose dolphins and harbor porpoises to impact and vibration piling noise during harbor construction. **Ecosphere** , v. 8, n. 5, pág. e01793, 2017.

HALFWERK, W. et al. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. **Journal of Applied Ecology**, n.48, p.210–219, 2011.

HILDEBRAND, J. A. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 5–20, 2009.

HOFFMANN, L. S. **Um estudo de longa duração de um grupo costeiro de golfinhos *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) (Cetacea, Delphinidae) no sul do Brasil: Aspectos da sua biologia e bioacústica**. 2004, 274 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Porto Alegre, 2004.



IMBÉ. Termo de referência. Dispõe sobre os serviços de contratação de estudos para o licenciamento ambiental para a execução de duas pontes entre os Municípios de Imbé e Tramandaí. **Prefeitura Municipal de Imbé/RS**. 26 Outubro de 2021.

KIGHT, C. R.; SWADDLE, J. P. How and why environmental noise impacts animals: An integrative, mechanistic review. **Ecology Letters**, 2011.

KINSLER, L. E. *et al.* **Fundamentals of acoustics**. 4. Ed. United States of America: Wiley NJ, 1999. p. 560.

KRAUSE, B. L. **Bio-Acoustics**: Habitat ambience and Ecological Balance. *Whole Earth Review*, n.57, Winter, 1987.

KUNC, Hansjoerg P.; MCLAUGHLIN, Kirsty Elizabeth; SCHMIDT, Rouven. Aquatic noise pollution: implications for individuals, populations, and ecosystems. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1836, p. 20160839, 2016.

LADICH, F. Ecology of sound communication in fishes. **Fish and Fisheries**, v. 20, n. 3, p. 552–563, 2019.

LOPEZ-MARULANDA, J. *et al.* Contexts of emission of non-signature whistles in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) under human care. **Behavioural Processes**, v. 181, p. 104255, 2020.

LIMA, J. A. M. *et al.* Monitoramento da paisagem acústica submarina da baía de Santos (PMPAS-BS): uma iniciativa brasileira em monitoramento acústico oceânico. **Revista brasileira de meio ambiente**, v. 19, n. 2, p. 095 – 119, 2022.

MARTIM, J. M. *et al.* To buzz or burst pulse. The functional role of Heaviside's dolphin, *Cephalorhynchus heavisidii*, rapidly pulsed signal. **Animal Behavior**, v. 150, p. 273 – 284, 2019.

MCDONALD, M. A.; HILDEBRAND, J. A.; WIGGINS, S. M. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 120, n. 2, p. 711–718, 2006.

MERCHANT, N. D. *et al.* Measuring acoustic habitats. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, n. 3, p. 257-265, 2015.

MILLER, P. J. O; JOHNSON, M. P; TYACK, P. L. Sperm Whale behaviour indicates the use of echolocation click buzzes 'creaks' in prey capture. **Royal Society**, v. 271, n. 1554, 2004.

MINELLO, M. *et al.* A acústica submarina como ferramenta de monitoramento ambiental. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade em Áreas Costeiras e Marinhas: Conceitos e Práticas**. 1ed. Rio de Janeiro: Raquel Dezidério Souto (Edição da autora), 2022, v. 2, p. 433-461.

MILANELLI, A. M. *et al.* Temporal patterns in the soundscape of the port area in an urban estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 297, 2024.

NOREN, D. P. *et al.* Comparative and cumulative energetic costs of odontocete responses to anthropogenic disturbance. **Proceedings of Meetings on Acoustics**, v. 27, n. 040011, 2016.

NOWACEK, D. P. *et al.* Responses of cetaceans to anthropogenic noise. **Mammal Review**, v. 37, n. 2, pág. 81-115, 2007.

PARMENTIER, E.; FINE, M. L. Fish sound production: insights. In: SUTHERS, R.A.; FITCH, W.T.; FAY, R.R.; POPPER, A.N. **Vertebrate sound production and acoustic communication**. Springer, 2016. p. 1949.

PIJANOWSKI, B. C. *et al.* Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.

PUTLAND, R. L.; CONSTANTINE, R.; RADFORD, C. A. Exploring spatial and temporal trends in the soundscape of an ecologically significant embayment. **Scientific reports**, v.7, n. 5713, 2017.

RAMOS, Y. F.; MINELLO, M.; XAVIER, F. C. O som como ferramenta de estudo ambiental: Análise bibliométrica sobre estudos em paisagem acústica. **Boletim do observatório ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 13, n. 2, p. 317-336, 2019.

RAKO, N. *et al.* Leisure boating noise as a trigger for the displacement of the bottlenose dolphins of the Cres–Lošinj archipelago (northern Adriatic Sea, Croatia). **Marine pollution bulletin**, v. 68, n. 1-2, p. 77-84, 2013.

RICCI, S. W. *et al.* Temporal soundscape patterns and processes in an estuarine reserve. **Marine ecology progress series**, v. 550, p. 25-38, 2016.

RICE, A. N. *et al.* Variation of ocean acoustic environments along the western North Atlantic coast: A case study in context of the right whale migration route. **Ecological Informatics**, v. 21, p. 89–99, 2014.

RYCHTÁRIKOVÁ, M.; VERMEIR, G. Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters. **Applied Acoustics**, v. 74, n.2, p. 240 – 247, 2013.

SANTOS, M. L.; LEMOS, V. M.; VIEIRA, J. P. No mullet, no gain: cooperation between dolphins and cast net fishermen in southern Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 35, 2018.

SCHAEFER, R. M. **The soundscape**: our sonic environment and the tuning of the world. Rochester, Vermont: Destiny books, 1977. p. 322.

SIMÕES-LOPES, P. C. Interaction of coastal populations of *Tursiops truncatus* (Cetacea, Delphinidae) with the mullet artisanal fisheries in Southern Brazil. **Biotemas**, v. 4, n. 2, p. 83-94, 1991.

SILVA, M. L.; VIELLIARD, J. **A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em Comportamento animal**. In: Grauben Assis, Regina Brito e William Lee Martin. (Org.). Estudos do Comportamento II. UFPA, v.II, p.141-156, Belém, 2010.

SUEUR, J. *et al.* Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 100, p. 772–781, 2014.

SUEUR, J.; FARINA, A. Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. **Biosemiotics**, v. 8, n. 3, p. 493-502, 2015.

SOUTHWORTH, M. The Sonic Environment of Cities. **Environment and Behavior**, v. 1, n. 1, p. 49–70, 1969.

TOLDO JR, E. E. *et al.* O controle da deriva litorânea no desenvolvimento do campo de dunas e da antepraia no litoral médio do Rio Grande do Sul. **Pesquisa em geociências**, v. 33, n.2, p. 35 – 42, 2006.

TRAMANDAÍ. Lei complementar N.º 022/2016. Institui o plano diretor municipal de Tramandaí. **Gabinete do Prefeito Municipal de Tramandaí**. 30 Dezembro de 2016.

TYACK, P. L. Large-Scale Changes in the Marine Acoustic Environment. **Journal of Mammalogy**, v. 89, n. 3, p. 549–558, 2008.

TYACK P.L., Clark C.W. Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales. In: Au W.W.L., Fay R.R., Popper A.N. (eds) **Hearing by Whales and Dolphins**. Springer Handbook of Auditory Research, vol 12, chapter 4, Springer, New York, NY, 2000.

TYACK, P. L.; MILLER, E. H. Vocal anatomy, acoustic communication and echolocation. **Marine mammal biology: An evolutionary approach**, v. 59, p. 142-84, 2002.

URICK, R. J. **Principles of Underwater Sound**. 3. ed. McGrawHill Inc., 1983.

VAN OPZEELAND, I; BOEBEL, O. Marine soundscape planning: Seeking acoustic niches for anthropogenic sound. **Journal of Ecoacoustics**, v. 2, p. 1– 22, 2018.

VERMEULEN, E. *et al.* *Tursiops truncatus ssp. gephyreus*, Lahille's bottlenose dolphin. **IUCN Red List of Threatened Species**, v. 2019, 2019.

WHITFIELD, A. K. *et al.* Life-history guilds of fishes associated with estuaries: opportunism versus dependency. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 295, 2023.

WICKERT, J. C. *et al.* Revalidation of *Tursiops gephyreus* Lahille, 1908 (Cetartiodactyla: Delphinidae) from the southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Mammalogy**, v. 97, n. 6, p. 1728-1737, 2016.

WILLIAMS, R. *et al.* Acoustic quality of critical habitats for three threatened whale

populations. **Animal Conservation**, v. 17, n. 2, p. 174–185, 2014.

WRIGHT, A. J. *et al.* International Journal of Comparative Psychology Related to Anthropogenic Noise ? **International Journal of Comparative Psychology**, v. 20, n. 2, p. 275–316, 2007.

ZIMMER, W.MX. **Passive acoustic monitoring of cetaceans**. Cambridge University Press, 2011.