

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS IMPACTOS SONOROS HUMANOS NA DIVERSIDADE ACÚSTICA DE RECIFES DE CORAIS DO NORDESTE BRASILEIRO

TÚLIO FREIRE XAVIER





UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

TÚLIO FREIRE XAVIER

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS IMPACTOS SONOROS HUMANOS NA
DIVERSIDADE ACÚSTICA DE RECIFES DE CORAIS DO NORDESTE
BRASILEIRO**

RECIFE

2023

TÚLIO FREIRE XAVIER

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS IMPACTOS SONOROS HUMANOS NA
DIVERSIDADE ACÚSTICA DE RECIFES DE CORAIS DO NORDESTE
BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco Centro Acadêmico de Biociências, como requisito para obtenção do título de Mestre em Biologia Animal. Área de concentração: Biologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. João Lucas Leão Feitosa

RECIFE

2023

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Marcos Antônio Soares da Silva,
CRB4/1381

Xavier, Túlio Freire.

Avaliação dos efeitos dos impactos sonoros humanos na diversidade acústica de Recifes de corais do Nordeste brasileiro. / Túlio Freire Xavier. – 2023.

88 f. : il., fig.

Orientador: João Lucas Leão Feitosa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós Graduação em Biologia Animal, 2023.
Inclui referências.

1. Impacto antrópico. 2. Antropofonia. 3. Monitoramento acústico passivo. 4. Paisagens acústicas recifais. 5. Peixes recifais. I. Feitosa, João Lucas Leão. (Orient.). II. Título.

TÚLIO FREIRE XAVIER

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS IMPACTOS SONOROS HUMANOS NA
DIVERSIDADE ACÚSTICA DE RECIFES DE CORAIS DO NORDESTE
BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco Centro Acadêmico de Biociências, como requisito para obtenção do título de Mestre em Biologia Animal. Área de concentração: Biologia Animal.

Aprovado em: 27/10/2023.

BANCA EXAMINADORA

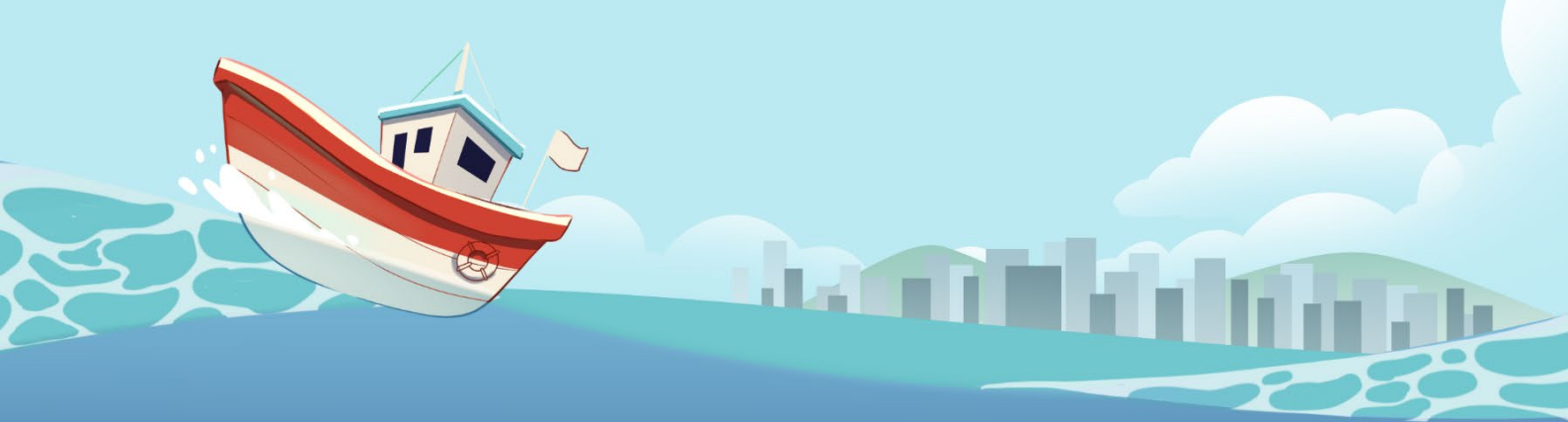
Prof^a. Dr^a. Bruna Martins Bezerra (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr^a. Lis Bittencourt Vilas Boas (Examinador externo)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof^a. Dr^a. Beatrice Padovani Ferreira: (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Dráusio Pinheiro Vêras: (Suplente Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. João Lucas Leão Feitosa: (Suplente Interno)
Universidade Federal de Pernambuco



À eterna Maria Eduarda Freire de França,
minha querida irmã que sempre carregarei
comigo, que me protege, me guia e fornece
toda a força e inspiração em meu caminho.

Dedico.



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao universo e toda a sua imensa complexidade que moldou a nossa existência. No decorrer deste trabalho, não pude deixar de refletir sobre como as forças cósmicas e as leis da física estão intensamente entrelaçadas em nosso mundo e inspiraram minha busca pelo conhecimento e minha dedicação à pesquisa.

À minha mãe incrível, que ajudou ativamente em cada uma das coletas de campo desse trabalho, sendo minha equipe de pesquisa, amiga, incentivadora e suporte. Sem sua ajuda nada seria possível, sou imensamente grato ao seu apoio e amor.

Ao meu pai, que foi meu maior suporte nas coletas, desde a produção dos equipamentos até os trabalhos em campo. Esse projeto não teria acontecido sem a sua firme determinação em me ver triunfar e ter sucesso nessa jornada. Nadamos centenas de metros juntos, quase sem suporte técnico, mas ainda assim nunca saiu do meu lado. Também agradeço pelo apoio financeiro fornecido para a coleta dos dados deste trabalho, ao qual sou profundamente grato.

À minha irmã Thaynнан e ao meu cunhado André, por sempre incentivarem minha carreira acadêmica e se alegrarem com cada uma das minhas vitórias, apoiando-me sempre que possível.

À toda minha família que me proporcionaram momentos amáveis e felizes nesses dois anos de mestrado: Eva Freire, Matheus, Adão Freire, Wanessa Freire, Wesley Freire, Henrique Freire, Júlia Freire, Vanda Freire, Márcio Lins, Rayra Freire, Danylo Freire, Dyego Freire, Vânia Freire, João Vitor Freire, Enzo Freire, Maskly Xavier, Clara Xavier e Wellington Xavier.

Aos meus avós, Vicente da Luz Freire e Maria Gomes, por sempre se sentirem orgulhosos de mim e por me apoiarem constantemente no avanço dos meus estudos.

A Júlio Cesar, que foi uma excelente surpresa no percurso final do mestrado, trazendo apoio em minha jornada.



À Maria Elisa e Juliana Thays, que foram as melhores amigas possíveis durante minha graduação. Sempre vou lembrar o quão amáveis e pacientes foram comigo. Aceitaram todas as minhas ideias malucas e sempre me apoiaram nos momentos de dificuldades. Vocês foram essências na minha vida pessoal e acadêmica; levo vocês no meu coração.

Aos meus amigos e excelentes pesquisadores, Flávia Lobato e Juann Aryell, por permanecerem ao meu lado na jornada acadêmica e por sempre me impulsionarem a ser um melhor profissional.

A todos os meus professores do curso de graduação em Ciências Biológicas - Licenciatura, por incentivarem minha vontade e desejo de contribuir para a ciência no cenário brasileiro.

A um grupo muito especial de amigos que me fizeram aprender muito com eles. Sempre lembrarei dos momentos de diversão e incrível conexão que tive com vocês: Rodrigo, Iago, Rafael, Raianne, Karmine e Whanderson. Agradeço especialmente à força da natureza que é Karmine, por toda a troca e alegria que proporcionou em minha vida em um período de tempo que foi muito especial para mim.

Ao meu orientador, João Feitosa, que tem estado ao meu lado desde a graduação, auxiliando-me em toda a minha jornada na área de ecologia de paisagens acústicas marinhas. Sou imensamente grato por todo o conhecimento e apoio recebidos até aqui e por sempre mergulhar de cabeça no que me propus a fazer como cientista. Agradeço por toda a paciência e energia em compreender minhas particularidades, sempre me ajudando e incentivando-me a dar o meu melhor. Sinto-me profundamente agradecido por ter-me acolhido em seu grupo de pesquisa e por sempre se mostrar disponível para dar suporte a todos os seus alunos. Sinto-me muito privilegiado em trabalhar com um profissional que me inspira a ser um melhor pesquisador



Aos meus incríveis companheiros do LabPIER, Luísa, Laís, Thiago, Francyanne, Savana e Alexandre, por todo o suporte, conversas e momentos compartilhados ao longo destes anos. Uma menção especial a Luísa, Laís e Thiago, pelo apoio fundamental nas coletas de dados do projeto; sem vocês, a execução deste trabalho não teria sido possível. Foram muitas remadas de caiaque, muitas horas de espera e, claro, muitos crepes. Muito obrigado por tudo!

À Carla e ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Marinha do Nordeste do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (CEPENE/ICMBio), por disponibilizarem estadia nos alojamentos durante os períodos de coletas de dados do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Rufford Foundation, pelo financiamento recebido. A realização deste trabalho teria sido inviável sem o apoio financeiro fornecido.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, que ao longo dos anos avaliaram e contribuíram com a evolução deste trabalho.

A todos os membros da banca de defesa, pelas valiosas contribuições para o aprimoramento desta pesquisa.

À Universidade Federal de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, expresso minha profunda gratidão por oferecerem educação superior pública e de excelência.



Nascemos sozinhos e morremos sozinhos. Curiosamente, passamos a vida inteira a evitar a nossa própria companhia. Conhecemo-nos mal ou nem sequer chegamos a conhecemo-nos verdadeiramente. Em vez disso, preferimos tantas vezes – vezes demais – permanecer junto de quem não nos faz companhia, de quem não quer a nossa companhia. E ali ficamos. Ficamos a definhar, a amargar, a diminuir o ser. Temos medo de nós, de ficar sós, da solidão. Mas a maior solidão é procurar nos outros aquilo que só podemos encontrar em nós. O amor começa em ti. Só assim conseguimos garantir que nunca ficaremos absolutamente sozinhos (NIEWHÖNER, 2020).

RESUMO

A poluição sonora prejudica a vida marinha, impactando a comunicação e saúde dos animais. A ecologia de paisagens acústicas fornece informações sobre relações ecológicas, destacando os efeitos dos sons humanos nos ecossistemas recifais. No Brasil, a escassez de estudos sobre poluição sonora em recifes de coral destaca a necessidade de uma investigação dessa questão. Este estudo buscou comparar paisagens acústicas recifais de diferentes regiões, considerando os impactos da antropofonia nos diferentes tipos e estações de turismo da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais e da Área de Proteção Ambiental Guadalupe. Mais especificamente, (1) identificando e caracterizando os contribuintes sonoros encontrados; (2) analisando a relação entre a diversidade e riqueza de peixes marinhos com a complexidades acústica da ictiofauna; e (3) investigando como a antropofonia e as variáveis de temperatura e profundidade afetam a complexidade acústica dos recifes de corais. Foram realizadas gravações subaquáticas em vários locais de interesse, abrangendo diferentes tipos (regionais e sazonais) e estações (alta e baixa) de turismo, utilizando um hidrofone e um gravador digital. Ao analisar as gravações, constatou-se a presença de contribuintes representantes de biofonia, geofonia e antropofonia. Para analisar a diversidade de peixes locais, foram conduzidos censos visuais, revelando uma correlação entre a diversidade e a abundância de peixes com a complexidade acústica e o número de perfis sonoros encontrados. A análise de Modelo Linear Generalizado apontou que, entre os fatores relacionados às atividades humanas avaliadas, a proximidade da costa exerceu o maior impacto na complexidade acústica, seguida pela estação e tipo de turismo. Além disso, foram coletados dados de profundidade e temperatura para investigar suas influências na complexidade acústica, mostrando haver uma relação perante os valores, embora menos acentuada. Temporalmente, os períodos de maiores quedas no Índice de Complexidade Acústica coincidiram com os momentos de atividades associadas à influência humana, resultando em quedas de ~50%, especialmente em locais não abrigados durante a alta temporada de turismo. Nos espectrogramas, foi observado um padrão semelhante, caracterizado pela presença de ruídos humanos em faixas de frequência mais baixas. Em síntese, o estudo identificou como o turismo atua diretamente como fonte de antropofonia, exercendo influência sobre a complexidade acústica das paisagens sonoras dos recifes do Nordeste, assim como pelas condições ambientais, como temperatura e profundidade. Além disso, a comunidade de peixes demonstrou ser uma parte significativa dos representantes das paisagens observadas, sendo amplamente afetada pelos impactos sonoros humanos. Os resultados também apresentam implicações significativas para estratégias de gestão e conservação de ecossistemas marinhos, onde as descobertas deste estudo podem orientar a implementação de regulamentações mais rigorosas relacionadas ao turismo costeiro e à redução da poluição sonora em recifes de coral.

Palavras chave: Impacto antrópico; Antropofonia; Monitoramento acústico passivo; Paisagens acústicas recifais; Peixes recifais.

ABSTRACT

Noise pollution harms marine life, impacting communication and animal health. Acoustic landscape ecology provides insights into ecological relationships, highlighting the effects of human-generated sounds on reef ecosystems. In Brazil, the scarcity of studies on noise pollution in coral reefs underscores the need for investigation into this issue. This study aimed to compare reef acoustic landscapes from different regions, considering the impacts of anthropophony during different types and seasons of tourism in the Costa dos Corais Environmental Protection Area and Guadalupe Environmental Protection Area. Specifically, (1) identifying and characterizing the sound contributors found; (2) analyzing the relationship between the diversity and abundance of marine fish and the acoustic complexity of the ichthyofauna; and (3) investigating how anthropophony and variables such as temperature and depth affect the acoustic complexity of coral reefs. Subaquatic recordings were made at various points of interest, covering different types (regional and seasonal) and tourism seasons (high and low), using a hydrophone and a digital recorder. Analysis of the recordings revealed the presence of contributors representing biophony, geophony, and anthropophony. To assess the diversity of local fish, visual censuses were conducted, revealing a correlation between fish diversity and abundance with acoustic complexity and the number of sound profiles found. Generalized Linear Model analysis indicated that, among the human-related factors assessed, proximity to the coast had the greatest impact on acoustic complexity, followed by season and type of tourism. Additionally, depth and temperature data were collected to investigate their influences on acoustic complexity, showing a relationship with values, albeit less pronounced. Temporally, periods of significant declines in the Acoustic Complexity Index coincided with activities associated with human influence, resulting in drops of ~50%, especially in locations near the coast during the high tourist season. Spectrograms displayed a similar pattern, characterized by the presence of human-generated noises in lower frequency bands. In summary, the study identified how tourism directly acts as a source of anthropophony, exerting influence on the acoustic complexity of soundscapes in Northeastern coral reefs, as well as being affected by environmental conditions such as temperature and depth. Furthermore, the fish community was shown to be a significant part of the observed soundscapes, and it is widely impacted by human-generated noise. These findings also carry significant implications for marine ecosystem management and conservation strategies, where the discoveries of this study can guide the implementation of stricter regulations related to coastal tourism and the reduction of noise pollution in coral reefs.

Keywords: Anthropogenic impact; Anthropophony; Passive acoustic monitoring; Reef soundscapes; Reef fishes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	a – Estrutura da sonoboia utilizada no estudo. b – Sítios amostrais selecionados, turismo intensivo não abrigado (1) e abrigado (2), e turismo sazonal não abrigado (3) e abrigado (4).....	54
Figura 2 –	Densidades de probabilidade espectral dos sítios amostrais analisados, em alta estação de turismo.....	60
Figura 3 –	Densidades de probabilidade espectral dos sítios amostrais analisados, em baixa estação de turismo.....	61
Figura 4 –	Espectrogramas e oscilogramas de representantes de biofonia (a: Perfis sonoros de peixes; b: Estalos de crustáceos).....	63
Figura 5 –	Espectrogramas e oscilogramas de representantes de geofonia (a: Ventania; b: Chuva; c: Ondas do mar).....	64
Figura 6 –	Espectrogramas e oscilogramas de representantes de antropofonia (a: Jet ski; b: Lancha; c: Paramotor com parapente; d: Barco; e: Atividades recreativas realizadas por banhistas).....	65
Figura 7 –	Análises da relação da comunidade de peixes recifais, quanto a sua riqueza e diversidade, com os seus respectivos perfis sonoros e complexidade acústica da ictiofauna observada nos 4 sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.....	67
Figura 8 –	Análises de Modelo Linear Generalizado, mostrando a relação dos preditores perante a complexidade acústica dos sítios amostrais analisados. a – Variáveis categóricas (Condição de abrigo, Estação, Tipo de turismo). b – Variáveis contínuas (Temperatura e Profundidade)	69
Figura 9 –	Espectrogramas e valores do Índice de Complexidade Acústica, em relação à variação temporal dos sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação e quantificação dos contribuintes sonoros de biofonia, geofonia e antropofonia, obtidos das paisagens sonoras dos sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.....	62
Tabela 2 –	Quantitativo de perfis sonoros de peixes encontrados nos sítios amostrais analisados.....	66
Tabela 3 –	Valores de temperatura (°C) e profundidade (m) obtidos dos sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAM	<i>Active Acoustic Monitoring</i> (Monitoramento Acústico Ativo)
ACI	<i>Acoustic Complexity Index</i> (Índice de Complexidade Acústica)
AIC	<i>Akaike Information Criterion</i> (Critério de Informação de Akaike)
APA	Área de Proteção Ambiental
APACC	Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais
APAG	Área de Proteção Ambiental Guadalupe
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i> (Transformada Rápida de Fourier)
GLM	<i>Generalized Linear Model</i> (Modelo Linear Generalizado)
PAM	<i>Passive Acoustic Monitoring</i> (Monitoramento Acústico Passivo)
PSD	<i>Power Spectral Density</i> (Densidade Espectral de Potência)
PVC	Policloreto de Vinila
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Raiz Média Quadrada)
SPD	<i>Spectral probability density</i> (Densidade de probabilidade espectral)
UC	Unidade de Conservação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Recifes coralíneos.....	19
2.2.1	Formação, distribuição, biodiversidade e ameaças.....	19
2.1.2	Recifes de coral da costa brasileira.....	21
2.2	Bioacústica em ecossistemas marinhos.....	23
2.2.1	Paisagem acústica marinha.....	24
2.2.1.1	Definição e contribuintes.....	24
2.2.2	Monitoramento acústico.....	27
2.2.2.1	Monitoramento ativo e passivo.....	27
2.2.2.2	Ferramentas de monitoramento acústico.....	28
2.2.3	Índices acústicos.....	29
2.2.3.1	Conceito e aplicabilidade.....	29
2.2.3.2	Índice de Complexidade Acústica.....	30
2.3	Impacto da antropofonia nas paisagens acústicas marinhas.....	31
2.3.1	Ações e medidas mitigadoras.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33
3	OBJETIVOS.....	50
3.1	Objetivo geral.....	50
3.2	Objetivos específicos.....	50
4	Avaliação dos efeitos dos impactos sonoros humanos na diversidade acústica de re-	
	cifes de corais do nordestebrasileiro.....	51
4.1	INTRODUÇÃO.....	51
4.2	METODOLOGIA.....	52
4.2.1	Área de estudo.....	52
4.2.2	Escolha e descrição dos sítios amostrais.....	53
4.2.3	Coleta de Dados.....	54
4.2.4	Análise de Dados.....	56
4.3	RESULTADOS.....	58
4.3.1	Caracterização dos contribuintes das paisagens sonoras.....	58

4.3.2	Relação entre a diversidade e riqueza dos peixes com a complexidade acústica da ictio-fauna marinha.....	66
4.3.3	Influência da antropofonia e fatores abióticos na complexidade acústica das paisagens sonoras.....	68
4.4	DISCUSSÃO.....	72
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78
	APÊNDICES.....	85

1 INTRODUÇÃO GERAL

A bioacústica marinha é uma área de pesquisa que estuda as interações acústicas nos ambientes oceânicos (MONTGOMERY & RADFORD, 2017). O uso de técnicas acústicas fornece informações valiosas sobre a ecologia e comportamento dos organismos marinhos, incluindo a estrutura social, migração e distribuição das populações (LINDSETH & LOBEL, 2018; HOWE et al., 2019; ŠIROVIĆ & OLESON, 2022). Os recifes de coral, que possuem uma ampla diversidade sonora, dependem da comunicação sonora para sobrevivência e desempenham papéis essenciais em relações sociais, como reprodução, busca por alimento e comunicação intraespecífica (TYACK, 1998; LADICH, 2014; BELTER et al., 2020; PARMENTIER et al., 2021).

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos têm impulsionado o estudo da bioacústica, por meio da utilização de equipamentos de alta qualidade e técnicas avançadas de análises acústicas (OBRIST et al., 2010; PAVAN et al., 2022; SHARMA et al., 2023). Através dessas ferramentas, é possível capturar e analisar sinais acústicos com alta resolução de tempo e frequência, revelando padrões antes não detectados. Isso proporciona percepções sobre a comunicação, comportamento, ecologia e dinâmica das populações marinhas, ampliando nosso conhecimento sobre esses complexos sistemas sonoros (ERBE et al., 2016; PUTLAND et al., 2017; CARRIÇO et al., 2020).

Nesse contexto, a pesquisa em bioacústica marinha voltada ao estudo de peixes recifais tem crescido rapidamente, visando compreender suas vocalizações e comportamentos acústicos (LOBEL et al., 2010; TRICAS & BOYLE, 2014; CERAULO et al., 2018; MONTGOMERY, 2023). Estudos anteriores ressaltam a importância dessas vocalizações na comunicação e atividades comportamentais desses animais, como reprodução, defesa de territórios, hierarquias sociais, busca de alimento e coordenação em grupo (LADICH, 2014; TELLECHEA et al., 2017). A ecologia acústica desempenha um papel crucial na investigação dessas vocalizações, fornecendo informações sobre diversidade, estrutura e significado dos sinais acústicos (COLLEYE & PARMENTIER, 2012; MERCHANT et al., 2015; SUGAI & LUSIA, 2019).

Para a realização desses estudos, o monitoramento acústico passivo tem se destacado como uma abordagem amplamente utilizada (PIERETTI et al., 2017; HAVER et al., 2019). Essa técnica consiste na captação e análise de sons e ruídos, utilizando dispositivos de gravações autônomas, sem intervenção ativa dos observadores (LINDSETH & LOBEL, 2018; GIBB et al., 2019; HOWE et al., 2019). É uma ferramenta que proporciona a coleta de dados por longos

períodos de tempos e áreas extensas, proporcionando uma visão contínua das interações acústicas no ecossistema marinho (DESJONQUÈRES et al., 2020; VAN OPZEELAND & HILLEBRAND, 2020). Além disso, essa abordagem possibilita a detecção de vocalizações e comportamentos acústicos que podem passar despercebidos por meio de observações visuais ou métodos ativos de coleta de dados (BROWNING et al., 2017; PIERETTI & DANOVARO, 2020).

A paisagem acústica é o elemento essencial investigado pelo monitoramento acústico passivo (NEDELEC et al., 2016). Paisagens acústicas são caracterizadas por todas as fontes sonoras existentes em um determinado espaço, incluindo sons de origem biológica, humana e do próprio ambiente físico (ERBE et al., 2016; DUARTE et al., 2021). A complexidade das paisagens acústicas desempenha um papel crucial na compreensão dos ecossistemas marinhos e na ecologia das espécies que neles habitam. A variedade de sons presentes nessas paisagens reflete a diversidade biológica e a interação entre os organismos e seu ambiente. (STAATERMAN et al., 2014; COQUEREAU et al., 2017; HAVLIK et al., 2022).

Os impactos antrópicos nas paisagens acústicas marinhas também são de enorme relevância, uma vez que atividades humanas como o tráfego marítimo e a exploração de recursos podem causar alterações significativas nos seus padrões acústicos (HERMANNSEN et al., 2019; BITTENCOURT et al., 2020; DUARTE et al., 2021). Essas atividades podem introduzir ruídos antropogênicos intensos, que podem mascarar as vocalizações de espécies e prejudicar sua comunicação e comportamento (SIMPSON et al., 2016; BOLGAN et al., 2018). A interferência sonora antropogênica resulta nas dificuldades na detecção de sinais vitais para a sobrevivência dessas espécies, comprometendo a capacidade de encontrar parceiros, defender territórios e se orientar em seu ambiente (RADFORD et al 2015; DE JONG et al., 2020). Os ruídos antropogênicos ainda podem levar ao deslocamento de espécies marinhas, resultando em mudanças nos padrões de distribuição e migração (MORTENSEN et al., 2021). A presença constante de ruídos pode resultar no abandono de áreas preferenciais de alimentação, reprodução e descanso, levando as espécies a buscar habitats menos afetados pela interferência humana (PENG et al., 2015).

Dentro dessa perspectiva, compreender esses impactos é fundamental para a implementação de medidas que busquem preservar a integridade acústica dos habitats marinhos (HARDING & COUSINS, 2022). Em muitas ocasiões, os impactos sonoros não recebem a devida atenção devido à falta de conscientização sobre sua importância (REYMOND et al., 2022). A gestão de áreas marinhas protegidas geralmente prioriza aspectos como a conservação

da biodiversidade, a pesca sustentável e a proteção de espécies ameaçadas. No entanto, é cada vez mais reconhecido que o ruído antropogênico tem um impacto significativo nos organismos marinhos e nos ecossistemas como um todo (GULLETT et al., 2022).

Atualmente, trabalhos que buscam o monitoramento de paisagens sonoras recifais utilizando ferramentas de bioacústica passiva se concentram principalmente no Indo-Pacífico (FREEMAN & FREEMAN et al., 2018; PICCIULIN et al., 2019). O Atlântico Sul possui umas das comunidades recifais menos conhecidas do mundo (MIES et al., 2020), o que ressalta a necessidade da definição e caracterização das paisagens sonoras marinhas existentes. A compreensão dessas paisagens é fundamental para fornecer informações valiosas sobre a estrutura e função dos ecossistemas recifais, bem como para avaliar os impactos das atividades humanas nas comunidades recifais do Atlântico Sul. Com isso, a escassez de trabalhos dessa temática na região é um desafio que precisa ser superado, pois é necessário abordar os impactos cumulativos do ruído antropogênico e considerar medidas que possam mitigar esses impactos, garantindo a preservação das paisagens acústicas recifais, assim como a qualidade e saúde de seus habitats.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Recifes coralíneos

2.1.1 Formação, distribuição, biodiversidade e ameaças

Os recifes de coral são ecossistemas marinhos extremamente diversos e de grande importância ecológica (VAN OPPEN et al., 2015). Compostos por organismos marinhos (animais e vegetais), principalmente por corais, pequenos animais pertencentes à classe dos antozoários, que secretam esqueletos de carbonato de cálcio para construir suas estruturas rígidas (FERREIRA & MAIDA, 2006). Essas estruturas formam uma complexa rede de recifes, que desempenham papéis vitais na proteção costeira, na sustentabilidade pesqueira e na conservação da biodiversidade (GREEN et al., 2014).

As formações dos recifes de coral ocorrem por meio de um processo complexo que envolve a simbiose entre os corais e algas unicelulares (zooxantelas). Os corais fornecem abrigo e substrato para as zooxantelas se estabelecerem (WOOLDRIDGE et al., 2010). Essas algas realizam fotossíntese, produzindo nutrientes que são essenciais para a sobrevivência dos corais, que por sua vez, produzem gás carbônico, compostos nitrogenados e fósforo, que são utilizados pelas algas (RICHARDS & MCCUTCHEON, 2019). À medida que os corais crescem e se multiplicam, suas estruturas calcárias se acumulam ao longo do tempo, formando os recifes de coral (GLYNN et al., 2015).

Normalmente ocorrem em regiões tropicais e subtropicais ao redor de 600.000 km² do fundo marinho (REITNER & THIEL, 2011.). Esses ecossistemas são mais comuns em áreas onde as condições ambientais são favoráveis ao crescimento e desenvolvimento dos corais (SPALDING et al., 2001). A distribuição dos recifes está relacionada à disponibilidade de águas quentes e claras, geralmente próximas à superfície, sendo influenciada por fatores como temperatura, luz solar, nutrientes, salinidade, correntes oceânicas e características geológicas do fundo do mar (RAMIREZ-LLODRA et al., 2010; SHEPPARD et al., 2017.). Dessa forma, áreas com águas mais frias, turvas ou com baixa salinidade são menos propícias para o crescimento dos recifes de coral (EAKIN et al., 2009).

Os recifes de coral também são conhecidos por sua ampla biodiversidade, abrigando uma ampla variedade de espécies marinhas. A complexidade física proporciona uma diversidade topográfica e hidrodinâmica neste ambiente (REIDENBACH, 2009). Sua estrutura tridimensional abriga centenas de milhares de espécies de plantas e animais, sendo um

importante ecossistema para a diversidade dos ambientes marinhos (HARMELIN & VIVIEN 2002).

Várias interações conectam o ecossistema recifal a outros ambientes marinhos, como os manguezais, bancos de fanerógamas marinhas e os oceanos abertos, com os quais compartilha importantes interações biológicas, físicas e bioquímicas (MOBERG & FOLKE, 1999). Assim, esses mecanismos favorecem a criação de novos nichos e especializações, que permitem o aumento do número de espécies coexistindo de forma estável (SCHOENER, 1974). Por isso, os recifes de coral são hotspots de riqueza de espécies no ambiente marinho (ROBERTS et al., 2002).

Além de ser representado por sua alta diversidade, os ambientes coralíneos desempenham um papel crucial na manutenção da saúde dos ecossistemas marinhos (RODRIGUES, 2000) e na sustentabilidade das comunidades humanas (KITTINGER, et al., 2012.). Além de servirem como berçários e áreas de reprodução para diversas espécies marinhas (BARBIER, 2017), atuam ainda como barreiras naturais que protegem as áreas costeiras da erosão causada por ondas e tempestades (GUANNEL et al., 2016). Esses ecossistemas também são fontes de subsistência para muitas comunidades costeiras, fornecendo alimento, renda e meios de subsistência por meio da pesca e do turismo (FERREIRA & MAIDA, 2006).

Apesar de sua importância, os ecossistemas recifais enfrentam diversas ameaças que comprometem sua sobrevivência. As principais ameaças incluem o aumento da temperatura do oceano devido às mudanças climáticas, a acidificação dos oceanos, a poluição costeira, a pesca predatória e a degradação física causada por atividades humanas (HOEGH-GULDBERG et al., 2017; CÉSAR et al., 2003; SPALDING, 2015). Essas ameaças combinadas têm colocado em risco a diversidade biológica e a resiliência dos recifes de coral.

O aumento da temperatura do oceano leva ao fenômeno conhecido como branqueamento dos corais, em que as zooxantelas são expulsas dos corais devido ao estresse térmico, resultando na morte e no declínio dos recifes (COLES & BROWN, 2003). A acidificação dos oceanos, causada pela absorção de dióxido de carbono atmosférico, ainda afeta negativamente os corais, dificultando o processo de calcificação (RAVEN et al., 2005). A pesca predatória afeta a biodiversidade dos recifes, pois a captura indiscriminada de espécies pode causar desequilíbrios ecológicos (LEÃO, 1996). Além disso, atividades como a destruição física dos recifes por meio da pesca destrutiva e do turismo irresponsável, contribuem para a deterioração dos ecossistemas de coral (MANGI et al., 2007). A poluição costeira, por sua vez,

incluindo o escoamento de fertilizantes agrícolas e resíduos industriais, aumenta a turbidez da água e a quantidade de nutrientes, favorecendo o crescimento de algas que competem com os corais (CONNELL, 2007).

2.1.2 Recifes de coral da costa brasileira

Os recifes de coral da costa brasileira são parte integrante do rico patrimônio natural do país (LEÃO et al., 2019). Esses ecossistemas marinhos, encontrados principalmente ao longo da costa do nordeste (LABOREL, 1969), abrigam uma variedade de espécies, desempenhando um papel fundamental na conservação da biodiversidade marinha (ROLIM et al., 2022). A região costeira brasileira, abriga extensos sistemas de recifes de coral, que se estendem por cerca de 3.000 km (DE OLIVEIRA et al., 2020).

Esses recifes são construídos principalmente por corais escleractíneos, e são caracterizados por uma variedade de formações coralíneas (FERREIRA & MAIDA, 2006). Podem ser encontrados recifes em forma de barreira, que se estendem paralelamente à costa e formam uma barreira natural de proteção contra as ondas e correntes. Recifes de franja, que se desenvolvem ao longo da linha costeira, seguindo o contorno da plataforma continental. Os atóis que são formações geológicas únicas que se originam a partir de vulcões subaquáticos extintos e se desenvolvem em ambientes de águas profundas. Além dessas formações, ainda existem os terraços cimentados, "patch reefs", recifes de banco e recifes de pináculo (LONGHURST & PAULY, 2007; ZILBERBERG et al., 2016; ARAUJO et al., 2020).

Os ambientes coralíneos brasileiros apresentam uma alta diversidade de espécies marinhas, que por sua vez, possuem uma elevada taxa de endemismo de espécies recifais (PINHEIRO et al. 2018). Esse endemismo é resultado da história evolutiva e das condições únicas do ambiente marinho brasileiro, que proporcionam um nicho ecológico específico para o surgimento e a sobrevivência dessas espécies (FERREIRA et al., 2015). Além disso, os recifes de coral brasileiros também abrigam diversas outras espécies que possuem ampla distribuição em outras regiões do oceano (FERREIRA & MAIDA, 2006). Essas espécies podem ter migrações e conexões com outros recifes ao redor do mundo, contribuindo para a diversidade global dos recifes de coral.

Estratégias de manejo, como as Unidades de Conservação, têm se mostrado uma ferramenta essencial na conservação da biodiversidade dos recifes de coral brasileiros. A presença de espécies endêmicas nesses ecossistemas destaca a importância de tais medidas de proteção. Essas espécies, com adaptações específicas para sobreviver em ambientes locais,

desempenham papéis ecológicos cruciais na manutenção da saúde e diversidade dos recifes. Além disso, o endemismo também sugere que essas espécies podem ser mais vulneráveis a ameaças e perturbações, tornando sua conservação ainda mais crítica (RUTTENBERG & LESTER, 2015; PINHEIRO et al., 2018; EL-NAGGAR, 2020).

Nesse contexto, a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC) e a Área de Proteção Ambiental Guadalupe (APAG) desempenham um papel significativo na proteção dos recifes de coral brasileiros. A APACC é a maior Unidade de conservação (UC) federal marinha costeira do Brasil, possuindo mais de 400 mil ha de área e cerca de 120 km de praia e mangues, abrangendo o município de Tamandaré, em Pernambuco, até o município de Paripueira, em Alagoas (BRASIL, 2011). A APACC abriga uma das maiores extensões contínuas de recifes de coral do Brasil, incluindo uma grande diversidade de formações coralíneas e espécies marinhas (FERREIRA et al., 2001). Essa área de proteção também promove a regulamentação das atividades humanas na região, estabelecendo medidas de controle e manejo adequadas para evitar danos aos recifes, como a prática de pesca predatória e a poluição costeira (BRASIL, 2021).

A APAG, por sua vez, está localizada na Mesorregião da Mata Pernambucana, na porção meridional do Litoral Sul do estado de Pernambuco. Abrange parte das áreas continentais e marítimas dos municípios de Rio Formoso, Tamandaré, Sirinhaém e Barreiros (CPRH, 2018). Além disso, seu território marinho se sobrepõe ao da APA Costa dos Corais. A localização da APAG na zona litorânea permite a existência de uma diversidade de ambientes representados por manguezais, matas de restinga, estuários e praias com cordões de recifes, compondo um importante banco de corais. Esses aspectos ecológicos representam símbolos que serviram de aporte para a criação da UC, que tem como objetivo proteger e conservar os sistemas naturais essenciais à biodiversidade (VASCONCELOS et al., 2016). A APAG possui um conselho gestor de caráter consultivo, com a finalidade de garantir a gestão participativa e contribuir com ações voltadas para o cumprimento efetivo dos objetivos de criação da UC e das diretrizes do seu Plano de Manejo, promovendo também a regulamentação das atividades humanas na região (CPRH, 2012).

Essa combinação de preservação ambiental e controle das atividades humanas, existente na APACC e APAG, traz benefícios tanto para o meio ambiente quanto para as comunidades locais. Mesmo com sua importância ecológica, os recifes em questão desempenham um papel crucial no desenvolvimento econômico da região costeira (BRASIL, 1990), visto que os recifes coralíneos atraem turistas interessados em mergulho e observação da vida marinha,

impulsionando, assim, o turismo costeiro e gerando empregos para as comunidades locais (ARIN & KRAMER, 2002). O ecossistema recifal brasileiro fornece uma fonte vital de alimento e sustento para as comunidades pesqueiras ao longo da costa (FERNANDES et al., 2016). Através de atividades de pesca sustentável nas proximidades dos recifes, torna-se possível para as comunidades locais obterem uma subsistência adequada e, ao mesmo tempo, promoverem a conservação dos recursos marinhos (BELL et al., 2009; LEVINE & RICHMOND, 2014).

Apesar dos esforços existentes, os recifes de coral do Brasil enfrentam ameaças significativas, como a pesca predatória, o turismo não sustentável e a destruição física (FERREIRA & MAIDA, 2006). A conservação e proteção desses ambientes são de extrema importância. Medidas de gestão sustentável, criação de UCs e áreas “no-take”, além do envolvimento das comunidades locais, são fundamentais para preservar esses ecossistemas valiosos (GRANEK et al., 2008; MORETZ-SOHN et al., 2013). O monitoramento contínuo da saúde dos recifes e programas de educação ambiental também são essenciais para aumentar a conscientização sobre a importância dos recifes de corais brasileiros (DIEDRICH, 2007). Considerando a bioacústica marinha como parte integrante das estratégias de conservação, é possível abordar de forma abrangente os impactos das atividades humanas nos ecossistemas recifais e promover a preservação de sua biodiversidade única e delicada.

2.2 Bioacústica em ecossistemas marinhos

A bioacústica é um campo de estudo que investiga a produção e a utilização de sons pelos organismos vivos, explorando a interação entre esses seres e o ambiente sonoro circundante. Seu escopo abrange o estudo dos aspectos acústicos dos sinais biológicos, bem como sua função, comportamento e ecologia (PENAR et al., 2020). Através da análise das características acústicas, dos padrões de emissão e da recepção dos sinais sonoros, a bioacústica fornece percepções sobre a comunicação, a seleção de parceiros, a territorialidade, a detecção de presas e predadores, e outras interações biológicas (FARINA, 2013). A bioacústica é uma ferramenta eficaz para a avaliação e monitoramento da saúde dos ecossistemas, identificando mudanças nas paisagens sonoras devido a fatores ambientais, como a degradação dos habitats (ZHAO et al., 2020). Com sua abordagem interdisciplinar, que engloba biologia, ecologia, acústica e ciências comportamentais, a bioacústica contribui para a compreensão da diversidade biológica e a conservação dos ambientes naturais (PIJANOWSKI et al., 2011).

A bioacústica desempenha um papel influente no estudo dos ecossistemas marinhos, proporcionando uma compreensão aprofundada dos processos biológicos e ecológicos que ocorrem nesses contextos (AU & HASTINGS, 2008). Através da análise dos sinais acústicos emitidos pelos organismos marinhos, tais como cetáceos, pinípedes, peixes e invertebrados, é possível investigar aspectos relacionados à comunicação, comportamento reprodutivo, migração, alimentação e interações interespecies (PENAR et al., 2020). Os estudos bioacústicos em ecossistemas marinhos fornecem informações valiosas sobre a biodiversidade, padrões de distribuição das espécies e dinâmicas populacionais (MONTGOMERY & RADFORD, 2017).

Um dos aspectos mais intrigantes da bioacústica em ecossistemas marinhos reside na investigação das vocalizações dos peixes, desempenhando um papel fundamental em seus processos de comunicação e outras atividades comportamentais (WEBB et al., 2008). Através da análise dos sons produzidos pelos peixes, os pesquisadores podem investigar diferentes aspectos de sua ecologia, incluindo a defesa de território, atratividade sexual, seleção de parceiros e localização de presas (LADICH, 2014; TRICAS & BOYLE, 2014; AMORIM et al., 2015). A bioacústica em peixes marinhos oferece uma visão detalhada dos padrões de comunicação e comportamento social dessas espécies, contribuindo para uma compreensão mais abrangente dos ecossistemas marinhos e seu funcionamento (LOBEL et al., 2010).

A bioacústica também se concentra na análise dos ruídos ambientais e antropogênicos (WARREN et al., 2006). O ruído oceânico resultante de atividades humanas, como navegação, exploração de petróleo e gás, e sonares militares, tem experimentado um aumento substancial nos últimos anos, impactando a vida marinha (STOCKER, 2002). Através do monitoramento acústico, cientistas são capazes de avaliar o impacto desses ruídos na comunicação e comportamento dos animais marinhos, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de mitigação que minimizem os efeitos adversos (WEILGART, 2007; WILLIAMS et al., 2015). Ademais, a bioacústica marinha pode ser empregada como ferramenta de estudo para a delimitação de áreas marinhas protegidas, auxiliando na identificação de zonas essenciais para reprodução, alimentação e migração de espécies-chave (HARDING & COUSINS, 2022). Esses esforços contribuem para a preservação da biodiversidade marinha e a sustentabilidade dos ecossistemas oceânicos.

2.2.1 Paisagem acústica marinha

2.2.1.1 Definição e contribuintes

Uma abordagem importante no campo da bioacústica é o estudo das paisagens acústicas. As paisagens acústicas referem-se à análise e interpretação dos padrões sonoros em um determinado ambiente, permitindo a compreensão da distribuição espacial e temporal dos sons produzidos pelos organismos (KRAUSE, 2008). Essa abordagem considera que os sons são elementos integrantes da paisagem sonora de um ecossistema e desempenham um papel crucial na interação entre as espécies e na estruturação desses ambientes (PIJANOWSKI et al., 2011). A paisagem acústica marinha é composta por três principais contribuintes sonoros: a biofonia, a geofonia e a antropofonia (AU & HASTINGS, 2008).

A biofonia, ou zoofonia, é um componente e rico em informações sobre a vida e a ecologia dos ecossistemas marinhos (LA MANNA et al., 2021). Ela engloba uma ampla variedade de sons produzidos por organismos marinhos, como mamíferos marinhos, peixes, invertebrados e até mesmo por organismos sésseis, como corais. Esses sons desempenham funções nas interações entre espécies (STAATERMAN et al., 2014; PICCIULIN et al., 2022). Além disso, a biofonia pode variar temporalmente e espacialmente, refletindo mudanças nos padrões de atividade dos organismos e nas características ambientais (MOONEY et al., 2020). Vocalizações complexas de baleias e golfinhos, por exemplo, podem ser ouvidas a grandes distâncias e desempenham um papel crucial na comunicação social e na coesão de grupos (GUAN et al., 2015; WARREN et al., 2021). Em particular, os cetáceos são um dos grupos mais sonoramente diversos do planeta e são classificadas entre misticetos e odontocetos (TYACK, 1986). Os misticetos, emitem sons com frequências abaixo de 1 kHz (RICHARDSON et al., 2003). Enquanto para os odontocetos, é importante ressaltar que dentro do grupo, a diversidade de faixas de frequência em que emitem sons é notável. Além de produzirem predominantemente sons na faixa de frequência de 5 a 20 kHz, alguns membros dessa categoria de cetáceos apresentam a capacidade de emitir sons em faixas ainda mais amplas, alcançando também as baixas frequências (AU & HASTINGS, 2008).

Outro grupo com repertório sonoro bastante diversificado são os peixes. Todas as espécies conhecidas podem detectar o som (POPPER & FAY, 2011) e mais de 800 espécies são conhecidas por emití-lo (KASUMYAN, 2008; LADICH, 2014; TAVOLGA, 1971). Geralmente, as emissões dos peixes variam entre 50 e 2000 Hz (PICCIULIN et al., 2013). Por meio da audição, esses organismos podem obter informações provenientes de grandes distâncias, de uma ampla variedade de ambientes e de todas as direções (POPPER & HAWKINS, 2019), o que destaca a importância dessa forma de comunicação para uma grande diversidade de espécies.

Entre os invertebrados, os camarões de estalo (*Alpheus spp.*) se destacam na paisagem acústica marinha, sendo uma das fontes sonoras mais importantes em ambientes tropicais (BITTENCOURT et al., 2016; JOHNSON et al., 1947), utilizando o som para alimentação e territorialidade. Quanto à faixa de frequência dos sons emitidos pelos camarões de estalo, eles costumam estar entre 2,5 a 18 kHz (KNOWLTON & MOULTON, 1963; VERSLUIS et al., 2000). Já os ouriços-do-mar produzem sons de raspagem enquanto se alimentam (RADFORD et al., 2008). Em suma, a presença dos camarões de estalo como fontes sonoras fundamentais e a peculiaridade dos ouriços-do-mar, acrescentam importantes contribuições para a compreensão da vida e interações dos invertebrados marinhos.

A geofonia por sua vez, refere-se aos sons e vibrações produzidos pelo ambiente físico-marinho, como o ruído das ondas quebrando, o movimento da água, o atrito de correntes e a interação entre a água e as estruturas geológicas (ERBE et al., 2015). A geofonia fornece informações sobre as condições físicas e as propriedades do meio marinho, como a batimetria, a presença de obstáculos, a turbulência e a distribuição de sedimentos (LOMBARDI et al., 2016; SCHOEMAN et al., 2022). Ela influencia a propagação dos sons produzidos pelos organismos marinhos e pode afetar a detecção e a comunicação acústica desses organismos (DUARTE et al., 2021). O estudo da geofonia permite a interpretação dos processos geológicos que ocorrem nos ecossistemas marinhos, contribuindo na identificação de habitats específicos e a avaliação dos impactos de eventos naturais, como terremotos e erupções vulcânicas, na vida marinha (HAN et al., 2021). A geofonia abrange uma ampla faixa de frequência, que varia desde frequências muito baixas, como aquelas abaixo de 20 Hz, principalmente associadas a terremotos, até frequências mais altas, que podem chegar a até 20 kHz, e estão relacionadas ao som do vento, das ondas do mar e da chuva (MEDWIN, 2005).

A antropofonia é representada pelos sons e ruídos produzidos pelas atividades humanas que afetam os ambientes marinhos (CLARK et al., 2009). As fontes de ruído antropogênico normalmente emitem sinais de baixas frequências que se propagam a longas distâncias, aumentando assim o alcance de seu impacto, uma vez que essa fonte de ruído pode afetar os sinais biológicos de um animal mesmo não estando muito próxima a ele (NIEUKIRK et al., 2004). Inclui uma variedade de fontes sonoras, como embarcações, navios, atividades de construção, dragagem, exploração de recursos naturais, turismo náutico e até mesmo o ruído submarino gerado por sistemas de sonar e equipamentos de pesquisa (RICHARDSON et al., 1995; ERBE, 2002; ERBE & KING, 2009; ERBE ET AL, 2012; ERBE et al., 2013). Em termos de baixas frequências, os ruídos de embarcações de grande porte, como navios de carga e

petroleiros, podem se estender de 10 a 500 Hz, frequentemente afetando ecossistemas costeiros. (BREKHOVSKIKH et al., 1991). Na faixa de médias frequências, encontram-se os sons gerados por embarcações de médio porte, barcos de pesca e atividades de mergulho, que normalmente variam de 500 Hz a 2 kHz. As altas frequências são representadas pelos ruídos emitidos por embarcações menores, equipamentos de pesca, como sonares e dispositivos de localização, e atividades recreativas, como esportes aquáticos, podendo abranger faixas de 2 kHz a 20 kHz ou até mais. Além disso, algumas atividades de pesquisa científica e exploração marinha utilizam sistemas de sonar e instrumentação ultrassônica, gerando ruídos em frequências ultrassônicas superiores a 20 kHz (DUARTE et al., 2021).

A antropofonia vem aumentando cada vez mais nos últimos cinquenta anos (MERCHANT et al., 2013), e é um componente significativo das paisagens acústicas marinhas contemporâneas, tendo um enorme potencial de causar perturbações e impactos negativos nos organismos marinhos (PAVAN, 2017). O ruído antropogênico pode interferir na comunicação, na localização de presas, na migração, na reprodução e no comportamento de diversas espécies marinhas, incluindo as próprias comunidades de corais (RADFORD et al., 2014; HOLT & JOHNSTON, 2015; BITTENCOURT et al., 2020). Com isso, identificar e estimar a contribuição de fontes antropogênicas nas paisagens acústicas marinhas vem se tornando cada vez mais uma tarefa de grande relevância.

2.2.2 Monitoramento acústico

2.2.2.1 Monitoramento ativo e passivo

O monitoramento acústico é uma ferramenta essencial na bioacústica marinha e pode ser realizado de duas maneiras principais: monitoramento acústico ativo e monitoramento acústico passivo (BINGHAM et al., 2012).

O monitoramento acústico ativo (AAM) envolve a emissão intencional de sinais acústicos no ambiente marinho para obter informações sobre a presença, localização e comportamento de organismos marinhos (STEIN & EDSON, 2013). Isso é geralmente feito por meio de dispositivos que emitem pulsos sonoros e registram o eco resultante (FRANCISCO & SUNDBERG, 2015). O AAM é particularmente útil para estudar grandes áreas e espécies que não emitem vocalizações audíveis. Além disso, o uso de sonares no monitoramento acústico ativo também se tornou uma importante ferramenta para essa abordagem, permitindo coletar dados e informações sobre a presença, localização e comportamento de organismos aquáticos, como peixes e cetáceos. (STEIN, 2011; RUPPEL et al., 2022). Ele permite a obtenção de

informações sobre a diversidade e abundância de espécies, a análise do comportamento animal, o mapeamento de habitats submarinos e até mesmo a detecção de objetos ou perigos submersos (FRANCISCO & SUNDBERG, 2015)

Já o monitoramento acústico passivo (PAM) envolve a gravação contínua dos sons presentes no ambiente marinho, sem a emissão intencional de sinais acústicos (ZIMMER, 2011). Isso é realizado por meio de gravadores acústicos autônomos, que captam os sons naturais produzidos pelos organismos marinhos. Essas gravações são posteriormente analisadas para identificar padrões acústicos, vocalizações de espécies, comportamentos e eventos sonoros relevantes (MANN et al., 2016). O PAM é especialmente útil para estudar espécies que emitem vocalizações audíveis (MANN, 2012; MARIAN et al., 2021). Ele permite a avaliação da presença, abundância, comportamento e distribuição de espécies ao longo do tempo, fornecendo informações sobre a ecologia acústica e os processos biológicos dos ecossistemas marinhos (LINDSETH & LOBEL, 2018; HAVER et al., 2019; PICCIULIN et al., 2019).

2.2.2.2 Ferramentas de monitoramento acústico

Para a realização de um monitoramento acústico, a bioacústica marinha utiliza uma série de ferramentas (MARTIGNAC et al., 2015; KATZ, 2016). Essas ferramentas desempenham um papel fundamental na coleta de dados acústicos e na compreensão dos padrões e processos relacionados ao som no oceano. Dentre as principais ferramentas utilizadas, destacam-se os hidrofones, gravadores acústicos autônomos, redes de sensores acústicos e análise de dados e software especializado (AKYILDIZ et al., 2005; VIVAS & LEÓN, 2010; SOUSA-LIMA et al., 2013; MERCHANT et al., 2015).

Os hidrofones são sensores subaquáticos sensíveis projetados para capturar e registrar os sons no ambiente marinho (LESLIE, et al., 1956; SAUCIER et al., 1992). Eles geralmente são conectados a equipamentos de gravação permitindo a coleta de dados acústicos (KÜSEL et al., 2017). Os hidrofones são utilizados para registrar os sons produzidos por animais marinhos, assim como monitorar fontes de ruído (BARLOW & GISINER, 2005).

Os gravadores acústicos autônomos, são dispositivos programáveis que registram continuamente os sons subaquáticos ao longo do tempo. Esses equipamentos são frequentemente utilizados para realizar estudos de longa duração, permitindo a coleta de dados acústicos em diferentes períodos do dia e em locais remotos (ORR et al., 1991; GREENE, 1997; MANN et al., 2016). São particularmente utilizados em estudos de biodiversidade e ecologia dos ambientes marinhos, assim como estudos de impacto ambiental (LA MANNA et al., 2021).

A rede de sensores acústicos consiste em uma série de gravadores acústicos autônomos distribuídos em uma área marinha específica (AKYILDIZ et al., 2005). Essa configuração em rede permite uma cobertura abrangente do ambiente, capturando dados acústicos de diferentes pontos e fornecendo uma visão mais completa dos sons presentes na paisagem acústica marinha (VAN PARIJS et al., 2015). As redes de sensores acústicos são especialmente úteis para estudar a distribuição espacial e os padrões de comportamento sonoro de animais marinhos (CHEN et al., 2020).

Além das ferramentas de coleta de dados, a bioacústica marinha também se baseia em técnicas de análise de dados e software especializado para processar e interpretar os registros acústicos (DZIAK et al., 2022). Esses softwares permitem a extração de parâmetros acústicos, a análise de padrões temporais e espaciais, a identificação de espécies, a compreensão dos processos ecológicos relacionados à comunicação e ao comportamento acústico dos organismos marinhos (MERCHANT et al., 2015; LAMONT et al., 2022; SUN et al., 2022; WILLIAMS et al., 2022).

2.2.3 Índices acústicos

2.2.3.1 Conceito e aplicabilidade

Os índices acústicos são parâmetros derivados das características espectrais, temporais dos sons registrados, utilizados para quantificar e descrever aspectos específicos da paisagem sonora (LINDSETH & LOBEL, 2018). Esses índices fornecem informações quantitativas sobre as propriedades acústicas dos sinais, permitindo a análise objetiva e a comparação de dados acústicos em diferentes contextos (SUEUR et al., 2011).

A aplicabilidade dos índices acústicos na bioacústica marinha é ampla e abrange diversos campos de estudo (PIERETTI & DANOVARO, 2020). Essas métricas são utilizadas na avaliação da biodiversidade, na identificação de espécies, na análise de comportamento animal, na detecção e monitoramento de populações, na caracterização de habitats e na avaliação dos efeitos de perturbações antropogênicas (BERTUCCI et al., 2016). Esses parâmetros são fundamentais para a caracterização da biofonia, e identificação de assinaturas acústicas distintivas de diferentes espécies e grupos taxonômicos, contribuindo diretamente na classificação das fontes sonoras presentes em um determinado ambiente marinho (BUXTON et al., 2018). A utilização dos índices acústicos permite a comparação de paisagens acústicas entre diferentes locais e ambientes marinhos. Isso possibilita a identificação de padrões geográficos,

variações sazonais e diferenças entre ecossistemas, contribuindo para estudos de ecologia comparativa (CERAULO et al., 2018).

Diversos índices acústicos foram desenvolvidos para classificar e caracterizar paisagens sonoras, cada um com um propósito específico (BRADFER-LAWRENCE et al., 2019). Alguns exemplos comuns incluem, índices de frequência, intensidade, temporais e de complexidade. Índices de frequência medem a distribuição espectral dos sons, em diferentes faixas de frequência encontradas no ambiente sonoro. Índices de intensidade quantificam a intensidade sonora de uma paisagem acústica, normalmente em termos de pressão sonora. Índices temporais medem aspectos relacionados ao tempo e à duração dos sons. E índices de complexidade avaliam a diversidade acústica de um ambiente, podendo ser baseados em medidas de entropia, variabilidade espectral ou estruturas temporais dos sons (DEPRAETERE et al., 2012; SIDDAGANGAIAH, 2019; ANDREWS & DICK, 2021; MINELLO et al., 2021, ALCOCER et al., 2022).

2.2.3.2 Índice de Complexidade Acústica

O índice mais amplamente utilizado, para estudos de paisagens acústicas marinhas, é o Índice de Complexidade Acústica (ACI) (LINDSETH & LOBEL, 2018). Esse índice busca avaliar a complexidade dos sons presentes em um determinado ambiente acústico. Ele é calculado a partir da análise espectral dos sinais acústicos, levando em consideração a distribuição de energia em diferentes frequências e a variação temporal das características sonoras (FARINA et al., 2011).

A análise do ACI permite avaliar mudanças ao longo do tempo, detectar eventos acústicos distintos, comparar diferentes locais e mapear áreas de alta e baixa complexidade acústica (PIERETTI et al., 2011; CERAULO et al., 2018). Isso contribui para a compreensão da biodiversidade, distribuição de espécies, interações acústicas entre diferentes organismos e avaliação da saúde dos ecossistemas marinhos (BOHNENSTIEHL et al., 2018). O ACI também pode ser utilizado como uma ferramenta de monitoramento ambiental, permitindo a detecção de alterações na paisagem acústica em resposta a perturbações antropogênicas (BOLGAN et al., 2018). Dessa forma, o uso do ACI pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de conservação e mitigação dos efeitos negativos da interferência antrópica nas paisagens acústicas marinhas.

No entanto, é importante destacar que o Índice de Complexidade Acústica apresenta uma notável variabilidade na maneira como é obtido, variando entre diferentes programas e nos

parâmetros utilizados, que podem diferir consideravelmente de pesquisa para pesquisa e de área de estudo para área de estudo (BOLGAN et al., 2018). Essa diversidade de abordagens torna complexa a comparação direta dos valores de ACI entre diferentes estudos, uma vez que todas essas variáveis precisam ser consideradas. Além disso, o ACI é altamente sensível, sendo fortemente influenciado pelas características específicas da paisagem acústica marinha de cada estudo, o que torna ainda mais desafiadora a comparação de resultados entre pesquisas distintas (LINDSETH & LOBEL, 2018).

2.3 Impacto da antropofonia nas paisagens acústicas marinhas

Como mencionado anteriormente, a antropofonia exerce uma influência significativa nas paisagens acústicas marinhas, referindo-se ao conjunto de ruídos gerados por atividades humanas (CLARK et al., 2009; LEDUC et al., 2021). Essas interferências acústicas afetam a comunicação e o comportamento das espécies marinhas, desencadeando impactos de ampla abrangência (RADFORD et al., 2014).

A análise dos efeitos da antropofonia nas paisagens acústicas marítimas tem sido objeto de investigação científica com o intuito de compreender os mecanismos subjacentes e as consequências desse fenômeno sobre a fauna e os processos ecossistêmicos (STOCKER, 2002). O aumento do tráfego marítimo e a expansão das atividades humanas costeiras têm resultado em um incremento substancial do ruído nas paisagens acústicas marinhas, ocasionando perturbações na diversidade acústica dos ecossistemas marinhos (DUARTE et al., 2021).

A antropofonia pode prejudicar a diversidade acústica, pois os ruídos humanos podem mascarar ou sobrepor os sinais acústicos emitidos pelos animais (BOLGAN et al., 2018). A perda dessa diversidade é uma enorme problemática para os ecossistemas marinhos como um todo. A comunicação acústica é fundamental na estruturação das comunidades, na distribuição e no comportamento das espécies, bem como na preservação da biodiversidade. Portanto, a diminuição da diversidade acústica afeta negativamente a dinâmica populacional, a reprodução, a predação e outras interações chave nos ecossistemas marinhos (POPPER & HASTINGS, 2009; SIMPSON et al., 2016; HERMANNSEN et al., 2019; BITTENCOURT et al., 2020; DUARTE et al., 2021).

Os efeitos decorrentes da antropofonia são multifacetados. Por exemplo, a poluição sonora originada por embarcações pode interferir na comunicação acústica de cetáceos, que dependem de vocalizações para fins sociais (ERBE, 2002). Além disso, a exposição contínua a níveis elevados de ruído pode gerar estresse crônico, desorientação espacial, alterações

comportamentais e até mesmo o abandono de áreas cruciais para a sobrevivência de determinadas espécies (WEILGART, 2007; WILLIAMS et al., 2015). Peixes, podem ser impactados no seu comportamento de forrageamento, reprodução e migração, devido ao ruído gerado por embarcações e atividades industriais (HOLT & JOHNSTON, 2015). Invertebrados marinhos, como moluscos e crustáceos, também podem ser sensíveis à poluição sonora, afetando suas interações ecológicas e seu desempenho fisiológico (SLABBEKOORN, 2019). Portanto, o impacto da antropofonia pode ter efeitos variados, sendo cada vez mais necessário a compreensão do alcance desses impactos.

Nesse contexto, a extensão dos impactos sonoros antrópicos é influenciada por diversos fatores, incluindo a intensidade e frequência do ruído, a sensibilidade das espécies e a duração da exposição (DI FRANCO et al., 2020; CHAHOURI et al., 2022). Estudos têm mostrado que os efeitos negativos podem persistir mesmo em níveis de ruído relativamente baixos e que diferentes espécies podem responder de maneiras distintas aos mesmos estímulos acústicos (WEILGART; 2008 BROWN, 2015; SLABBEKOORN, 2019).

2.3.1 Ações e medidas mitigadoras

A fim de avaliar e mitigar os impactos da antropofonia nas paisagens acústicas marinhas, é essencial realizar estudos de monitoramento e modelagem do ruído subaquático. Isso engloba a coleta de dados acústicos em distintas regiões e períodos e a aplicação de técnicas avançadas de análise de sinais acústicos (LEAPER & RENILSON, 2012). Para isso, o monitoramento acústico é uma ferramenta essencial para acompanhar os níveis de ruído de origem humana e avaliar seus impactos nas paisagens acústicas marinhas (MYDLARZ et al., 2017; HUVENEERS et al., 2021).

Com a compreensão e monitoramento dos efeitos da antropofonia nas paisagens acústicas marinhas, torna-se possível a implementação de medidas eficazes de gestão e conservação dos ecossistemas marinhos perante esses impactos (GULLETT et al., 2022; HARDING & COUSINS, 2022). Isso inclui a criação de áreas de proteção ambiental, a adoção de regulamentações para mitigar o ruído subaquático em áreas sensíveis e a busca por soluções tecnológicas visando a redução da poluição sonora proveniente das atividades humanas (AUDOLY et al., 2017; MARKUS & SÁNCHEZ, 2018). A conscientização pública sobre os impactos da antropofonia nas paisagens acústicas marinhas também é uma ferramenta eficaz (REYMOND et al., 2022). Campanhas de sensibilização e educação, podem ser conduzidas para informar o público em geral, tomadores de decisão e partes interessadas sobre os efeitos

negativos do ruído antropogênico, incentivando práticas mais sustentáveis aos ambientes marinhos (CRAIN et al., 2009; YADAV et al., 2023).

Dessa maneira, o estudo e a mitigação dos impactos antrópicos sobre as paisagens acústicas marinhas são de extrema importância para a conservação e o manejo sustentável dos ecossistemas marinhos (HARDING & COUSINS, 2022). Compreender os efeitos da antropofonia na diversidade acústica, nas interações biológicas e nos processos ecossistêmicos permite tomar medidas adequadas para reduzir a perturbação sonora e preservar a integridade desses ambientes (BOSI et al., 2023). Além disso, a conservação das paisagens acústicas marinhas é fundamental para a manutenção da saúde e do equilíbrio dos ecossistemas, bem como para garantir o bem-estar das espécies marinhas que dependem de sinais sonoros para diversas interações ecológicas (VAN PARIJS et al., 2015; PAVAN, 2017). Portanto, investir em pesquisas, monitoramento contínuo, educação e implementação de medidas efetivas de mitigação são ações essenciais para proteger esses ambientes acústicos únicos e promover a sustentabilidade dos ecossistemas marinhos a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ACOUSTICS, Wildlife. Kaleidoscope Pro Analysis Software. **Wildlife Acoustics, Inc.: Maynard**, MA, USA, 2019.
- AKYILDIZ, Ian F.; POMPILI, Dario; MELODIA, Tommaso. Underwater acoustic sensor networks: research challenges. **Ad hoc networks**, v. 3, n. 3, p. 257-279, 2005.
- ALCOCER, Irene et al. Acoustic indices as proxies for biodiversity: a meta-analysis. **Biological Reviews**, v. 97, n. 6, p. 2209-2236, 2022.
- AMORIM, M. Clara P.; VASCONCELOS, Raquel O.; FONSECA, Paulo J. Fish sounds and mate choice. **Sound communication in fishes**, p. 1-33, 2015.
- ANDREWS, Christopher; DICK, Jan. The potential use of acoustic indices for biodiversity monitoring at long-term ecological research (LTER) sites: a summary of current knowledge, equipment and methods. **Edinburgh, UK Centre for Ecology & Hydrology**, 26pp, 2021.
- ARIN, Tijen; KRAMER, Randall A. Divers' willingness to pay to visit marine sanctuaries: an exploratory study. **Ocean & Coastal Management**, v. 45, n. 2-3, p. 171-183, 2002.
- AU, Whitlow WL; HASTINGS, Mardi C. **Principles of marine bioacoustics**. New York: Springer, 2008.

AUDOLY, Christian et al. Mitigation of underwater radiated noise related to shipping and its impact on marine life: A practical approach developed in the scope of AQUO project. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 42, n. 2, p. 373-387, 2017.

BARLOW, Jay et al. Mitigating, monitoring and assessing the effects of anthropogenic sound on beaked whales. **J. Cetacean Res. Manage.**, v. 7, n. 3, p. 239-249, 2005.

BELL, Johann D. et al. Planning the use of fish for food security in the Pacific. **Marine Policy**, v. 33, n. 1, p. 64-76, 2009.

BELTER, Mark et al. Coral reef condition: **A status report for the Flower Garden Banks**. 2020.

BERTUCCI, Frédéric et al. Acoustic indices provide information on the status of coral reefs: an example from Moorea Island in the South Pacific. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 33326, 2016.

BINGHAM, Brian et al. Passive and active acoustics using an autonomous wave glider. **Journal of field robotics**, v. 29, n. 6, p. 911-923, 2012.

BITTENCOURT, L. et al. Anthropogenic noise influences on marine soundscape variability across coastal areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111648, 2020.

BITTENCOURT, Lis et al. Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 115, p. 103-111, 2016.

BOHNENSTIEHL, D. R. et al. Investigating the utility of ecoacoustic metrics in marine soundscapes. **Journal of Ecoacoustics**, v. 2, n. 2, p. 1, 2018.

BOLGAN, Marta et al. Acoustic Complexity of vocal fish communities: a field and controlled validation. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 10559, 2018.

BOSI, Sofia et al. Is Maritime Spatial Planning a tool to mitigate the impacts of underwater noise? A review of adopted and upcoming maritime spatial plans in Europe. **Marine Policy**, v. 155, p. 105725, 2023.

BRADFER-LAWRENCE, Tom et al. Guidelines for the use of acoustic indices in environmental research. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 10, p. 1796-1807, 2019.

BRASIL. Instituto Chico Mendes De Conservação e Biodiversidade. **Plano de manejo da área de proteção ambiental costa dos corais**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CRIM**, de 21 de novembro de 1990. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. Brasília, 1990.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Brasília: MMA, 2011. 76 p.

BREKHOVSKIKH, Leonid Maksimovich; LYSANOV, Yu P.; BEYER, Robert T. **Fundamentals of ocean acoustics**. 1991.

BROWN, Emma. Marine life needs protection from noise pollution. **Nature**, 2015.

BROWNING, Ella et al. **Passive acoustic monitoring in ecology and conservation**. 2017.

BUXTON, Rachel T. et al. Efficacy of extracting indices from large-scale acoustic recordings to monitor biodiversity. **Conservation Biology**, v. 32, n. 5, p. 1174-1184, 2018.

CARRIÇO, Rita et al. The Use of Soundscapes to Monitor Fish Communities: Meaningful Graphical Representations Differ with Acoustic Environment. In: **Acoustics**. MDPI, 2020. p. 382-398.

CERAULO, M. et al. Acoustic comparison of a patchy Mediterranean shallow water seascape: Posidonia oceanica meadow and sandy bottom habitats. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 1030-1043, 2018.

CESAR, Herman; BURKE, Lauretta; PET-SOEDE, Lida. **The economics of worldwide coral reef degradation**. 2003.

CHAHOURI, Abir; ELOUAHMANI, Nadia; OUCHENE, Hanan. Recent progress in marine noise pollution: A thorough review. **Chemosphere**, v. 291, p. 132983, 2022.

CHEN, Yougan et al. MF-HER: Marine mammal-friendly based high spectral-efficient routing for underwater acoustic sensor networks. **IEEE Access**, v. 8, p. 198624-198636, 2020.

CLARK, Christopher W. et al. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 201-222, 2009.

COLES, Steven L.; BROWN, Barbara E. Coral bleaching—capacity for acclimatization and adaptation. **Elsevier**, 2003.

COLLEYE, Orphal; PARMENTIER, Eric. Overview on the diversity of sounds produced by clownfishes (Pomacentridae): importance of acoustic signals in their peculiar way of life. **PLoS One**, v. 7, n. 11, p. e49179, 2012.

CONNELL, Sean D. Water quality and the loss of coral reefs and kelp forests: alternative states and the influence of fishing. **Marine ecology. Oxford University Press, Melbourne**, p. 556-568, 2007.

CPRH. **Formação do Conselho Gestor da APAG 2018-2019**. Tamandaré: Sede da APAG, 2018. 2 p.

CPRH. **Regimento Interno do Conselho Gestor da APAG**. 2012. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Regimento%20%20APA%20GUADALUP E%20%2007_11_12;500501;20160728.pdf. Acesso em: 23 jul. 2023.

COQUEREAU, Laura et al. Marine soundscape shaped by fishing activity. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 1, p. 160606, 2017.

CRAIN, Caitlin M. et al. Understanding and managing human threats to the coastal marine environment. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1162, n. 1, p. 39-62, 2009.

DE JONG, Karen et al. Predicting the effects of anthropogenic noise on fish reproduction. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 30, p. 245-268, 2020.

DE OLIVEIRA, Soares M. et al. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, v. 115, p. 103879, 2020.

DEPRAETERE, Marion et al. Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland. **Ecological Indicators**, v. 13, n. 1, p. 46-54, 2012.

DESJONQUÈRES, Camille; GIFFORD, Toby; LINKE, Simon. Passive acoustic monitoring as a potential tool to survey animal and ecosystem processes in freshwater environments. **Freshwater Biology**, v. 65, n. 1, p. 7-19, 2020.

DI FRANCO, E. et al. Effects of marine noise pollution on Mediterranean fishes and invertebrates: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 159, p. 111450, 2020.

DIEDRICH, Amy. The impacts of tourism on coral reef conservation awareness and support in coastal communities in Belize. **Coral Reefs**, v. 26, n. 4, p. 985-996, 2007.

DUARTE, Carlos M. et al. The soundscape of the Anthropocene ocean. **Science**, v. 371, n. 6529, p. eaba4658, 2021.

DZIAK, Robert P. et al. Innovation and Discoveries in Marine Soundscape Research. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 879051, 2022.

EAKIN, C. M. et al. Climate variability and change: monitoring data and evidence for increased coral bleaching stress. **Coral bleaching: patterns, processes, causes and consequences**, p. 51-84, 2009.

EL-NAGGAR, Hussein A. Human impacts on coral reef ecosystem. In: **Natural resources management and biological sciences**. IntechOpen, 2020.

ERBE, Christin. Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. **Marine Mammal Science**, v. 18, n. 2, p. 394–418, abr. 2002.

ERBE, Christine et al. The marine soundscape of the Perth Canyon. **Progress in Oceanography**, v. 137, p. 38-51, 2015.

ERBE, Christine et al. The underwater soundscape around Australia. **Proceedings of Acoustics 2016**, v. 1, p. 8-17, 2016.

ERBE, Christine et al. Underwater noise from offshore oil production vessels. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 6, p. EL465-EL470, 2013.

ERBE, Christine; KING, Andrew R. Modeling cumulative sound exposure around marine seismic surveys. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, n. 4, p. 2443-2451, 2009.

ERBE, Christine; MACGILLIVRAY, Alexander; WILLIAMS, Rob. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 132, n. 5, p. EL423-EL428, 2012.

FARINA, Almo. Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications. **Springer Science & Business Media**, 2013.

FARINA, Almo; PIERETTI, Nadia; PICCIOLI, Luigi. The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A Mediterranean Europe case-study. **Ecological Informatics**, v. 6, n. 6, p. 354-363, 2011.

FERNANDES, Geraldo W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.

FERREIRA, Beatrice P.; MAIDA, Mauro. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil**. 2006.

FERREIRA, Beatrice P.; MAIDA, Mauro; CAVA, Fabiana. Características e perspectivas para o manejo da pesca na APA Marinha Costa dos Corais. In: **Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação**. 2001. p. 5-9.

FERREIRA, Camilo M. et al. Community structure of shallow rocky shore fish in a tropical bay of the southwestern Atlantic. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 63, p. 379-396, 2015.

FRANCISCO, Francisco; SUNDBERG, Jan. Sonar for environmental monitoring. Initial setup of an active acoustic platform. In: **ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference**. ISOPE, 2015. p. ISOPE-I-15-442.

GIBB, Rory et al. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 2, p. 169-185, 2019.

GLYNN, Peter W.; MANZELLO, Derek P. Bioerosion and coral reef growth: a dynamic balance. **Coral reefs in the Anthropocene**, p. 67-97, 2015.

GRANEK, Elise F. et al. Engaging recreational fishers in management and conservation: global case studies. **Conservation Biology**, v. 22, n. 5, p. 1125-1134, 2008.

GREEN, Alison L. et al. Designing marine reserves for fisheries management, biodiversity conservation, and climate change adaptation. **Coastal Management**, v. 42, n. 2, p. 143-159, 2014.

GREENE JR, Charles R. An autonomous acoustic recorder for shallow arctic waters. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 102, n. 5_Supplement, p. 3197-3197, 1997.

GUAN, Shane et al. Dynamics of soundscape in a shallow water marine environment: A study of the habitat of the Indo-Pacific humpback dolphin. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 137, n. 5, p. 2939-2949, 2015.

GUANNEL, Greg et al. The power of three: coral reefs, seagrasses and mangroves protect coastal regions and increase their resilience. **PloS one**, v. 11, n. 7, p. e0158094, 2016.

GULLETT, Warwick et al. Tackling anthropogenic underwater noise through the Convention on Biological Diversity: Progress and future development. **Marine Policy**, v. 146, p. 105293, 2022.

HAN, Dong-Gyun et al. Effects of geophony and anthrophony on the underwater acoustic environment in the East Siberian Sea, Arctic Ocean. **Geophysical Research Letters**, v. 48, n. 12, p. e2021GL093097, 2021.

HARDING, Simon.; COUSINS Neil. Review of the Impacts of Anthropogenic Underwater Noise on Marine Biodiversity and Approaches to Manage and Mitigate them. **Technical Series No. 99**. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, 145 pages, 2022.

HAYER, Samara m. et al. Comparing the underwater soundscapes of four US national parks and marine sanctuaries. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 500, 2019.

HAVLIK, Michelle-Nicole; PREDRAGOVIC, Milica; DUARTE, Carlos Manuel. State of play in marine soundscape assessments. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 919418, 2022.

HERMANNSEN, Line et al. Recreational vessels without Automatic Identification System (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2019.

HOEGH-GULDBERG, Ove et al. Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, p. 158, 2017.

HOLT, Daniel E.; JOHNSTON, Carol E. Traffic noise masks acoustic signals of freshwater stream fish. **Biological Conservation**, v. 187, p. 27-33, 2015.

HOWE, Bruce M. et al. Observing the oceans acoustically. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 426, 2019.

HUVENEERS, Charlie et al. The power of national acoustic tracking networks to assess the impacts of human activity on marine organisms during the COVID-19 pandemic. **Biological Conservation**, v. 256, p. 108995, 2021.

- JOHNSON, Martin W.; EVEREST, F. Alton; YOUNG, Robert W. The role of snapping shrimp (Crangon and Synalpheus) in the production of underwater noise in the sea. **The Biological Bulletin**, v. 93, n. 2, p. 122-138, 1947.
- KASUMYAN, A. O. Sounds and sound production in fishes. **Journal of Ichthyology**, v. 48, p. 981-1030, 2008.
- KATZ, Jonathan; HAFNER, Sasha D.; DONOVAN, Therese. Tools for automated acoustic monitoring within the R package monitoR. **Bioacoustics**, v. 25, n. 2, p. 197-210, 2016.
- KITTINGER, John N. et al. Human dimensions of coral reef social-ecological systems. **Ecology and Society**, v. 17, n. 4, 2012.
- KNOWLTON, Robert E.; MOULTON, James M. Sound production in the snapping shrimps Alpheus (Crangon) and Synalpheus. **The Biological Bulletin**, v. 125, n. 2, p. 311-331, 1963.
- KRAUSE, Bernie. Anatomy of the soundscape: evolving perspectives. **Journal of the Audio Engineering Society**, v. 56, n. 1/2, p. 73-80, 2008.
- KÜSEL, Elizabeth T. et al. Marine mammal tracks from two-hydrophone acoustic recordings made with a glider. **Ocean Science**, v. 13, n. 2, p. 273-288, 2017.
- LA MANNA, Gabriella et al. Marine soundscape and fish biophony of a Mediterranean marine protected area. **PeerJ**, v. 9, p. e12551, 2021.
- LADICH, Friedrich. Sound Production and Acoustic Communication. In: **The Senses of Fish**. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 210–230, 2014
- LAMONT, Timothy AC et al. The sound of recovery: Coral reef restoration success is detectable in the soundscape. **Journal of Applied Ecology**, v. 59, n. 3, p. 742-756, 2022.
- LEÃO, Zelinda MAN. The Coral Reefs of Bahia: Morphology. **Distribution and Major**, 1996.
- LEÃO, Zelinda MAN; KIKUCHI, Ruy KP; OLIVEIRA, Marília DM. The coral reef province of Brazil. In: World seas: An environmental evaluation. **Academic Press**, 2019. p. 813-833.
- LEAPER, Russell; RENILSON, Martin. R. A review of practical methods for reducing underwater noise pollution from large commercial vessels. **International Journal of Maritime Engineering**, v. 154, n. A2, 2012.

LEDUC, Antoine O. et al. Land-based noise pollution impairs reef fish behavior: a case study with a Brazilian carnival. **Biological Conservation**, v. 253, p. 108910, 2021.

LESLIE, C. B.; KENDALL, J. M.; JONES, J. L. Hydrophone for measuring particle velocity. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 28, n. 4, p. 711-715, 1956.

LEVINE, Arielle S.; RICHMOND, Laurie S. Examining enabling conditions for community-based fisheries comanagement: comparing efforts in Hawai ‘i and American Samoa. **Ecology and Society**, v. 19, n. 1, 2014.

LINDSETH, Adelaide V.; LOBEL, Phillip S. Underwater soundscape monitoring and fish bioacoustics: a review. **Fishes**, v. 3, n. 3, p. 36, 2018.

LOBEL, Phillip S.; KAATZ, Ingrid M.; RICE, Aaron N. Acoustical behavior of coral reef fishes. **Reproduction and sexuality in marine fishes: patterns and processes**, p. 307-386, 2010.

LOMBARDI, Anne. **Soundscape characterization in Grand Passage, Nova Scotia, a planned in-stream tidal energy site**. Dalhousie university, 2016.

LONGHURST, Alan R.; PAULY, Daniel. **Ecology of tropical oceans**. 1987

LOOBY, A. et al. FishSounds. <http://www.fishsounds.net>, version 2, 2023

MANGI, Stephen C.; ROBERTS, Callum M.; RODWELL, Lynda D. Reef fisheries management in Kenya: Preliminary approach using the driver–pressure–state–impacts–response (DPSIR) scheme of indicators. **Ocean & Coastal Management**, v. 50, n. 5-6, p. 463-480, 2007.

MANN, David A. Remote sensing of fish using passive acoustic monitoring. **Acoustics today**, v. 8, n. 3, p. 8-15, 2012.

MANN, David; LOCASCIO, James; WALL, Carrie. Listening in the ocean: new discoveries and insights on marine life from autonomous passive acoustic recorders. **Springer New York**, 2016.

MARIAN, Alyssa D. et al. Long-term passive acoustics to assess spatial and temporal vocalization patterns of Atlantic common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the May River estuary, South Carolina. **Marine Mammal Science**, v. 37, n. 3, p. 1060-1084, 2021.

MARKUS, Till; SÁNCHEZ, Pedro Pablo Silva. Managing and regulating underwater noise pollution. **Handbook on marine environment protection: Science, impacts and sustainable management**, p. 971-995, 2018.

MARTIGNAC, François et al. The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. **Fish and fisheries**, v. 16, n. 3, p. 486-510, 2015.

MEDWIN, Herman. Sounds in the sea: From ocean acoustics to acoustical oceanography. **Cambridge University Press**, 2005.

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

MERCHANT, Nathan D. et al. Spectral probability density as a tool for ambient noise analysis. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 4, p. EL262-EL267, 2013.

MIES, Miguel et al. South Atlantic coral reefs are major global warming refugia and less susceptible to bleaching. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p. 514, 2020.

MINELLO, Murilo; CALADO, Leandro; XAVIER, Fabio C. Ecoacoustic indices in marine ecosystems: a review on recent developments, challenges, and future directions. **ICES Journal of Marine Science**, v. 78, n. 9, p. 3066-3074, 2021.

MONTGOMERY, John C. Fish bioacoustics: Navigating underwater sound. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 153, n. 5, p. 3048-3048, 2023.

MONTGOMERY, John C.; RADFORD, Craig A. Marine bioacoustics. **Current Biology**, v. 27, n. 11, p. R502-R507, 2017.

MOONEY, T. Aran et al. Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. **Royal Society open science**, v. 7, n. 8, p. 201287, 2020.

MORETZ-SOHN, Clarissa Dantas; CARVALHO, Thaysa Portela; SOARES, Marcelo de Oliveira. **Pescadores artesanais e a implementação de áreas marinhas protegidas: Estudo de caso no nordeste do Brasil**. 2013.

MORTENSEN, Lars O. et al. Agent-based models to investigate sound impact on marine animals: bridging the gap between effects on individual behaviour and population level consequences. **Oikos**, v. 130, n. 7, p. 1074-1086, 2021.

MYDLARZ, Charlie; SALAMON, Justin; BELLO, Juan Pablo. The implementation of low-cost urban acoustic monitoring devices. **Applied Acoustics**, v. 117, p. 207-218, 2017.

NEDELEC, Sophie L. et al. Soundscapes and living communities in coral reefs: temporal and spatial variation. **Marine Ecology Progress Series**, v. 524, p. 125-135, 2015.

NIEUKIRK, Sharon L. et al. Low-frequency whale and seismic airgun sounds recorded in the mid-Atlantic Ocean. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 115, n. 4, p. 1832-1843, 2004.

OBRIST, Martin K. et al. Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. **Abc Taxa**, v. 8, p. 68-99, 2010.

ORR, Charles W. et al. NOARL autonomous acoustic arrays. In: **OCEANS 91 Proceedings**. IEEE, 1991. p. 1480-1484.

PARMENTIER, Eric et al. How many fish could be vocal? An estimation from a coral reef (Moorea Island). **Belgian Journal of Zoology**, v. 151, 2021.

PAVAN, Gianni et al. History of sound recording and analysis equipment. **Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1: Methods**, p. 1-36, 2022.

PAVAN, Gianni. Fundamentals of soundscape conservation. **Ecoacoustics: The ecological role of sounds**, p. 235-258, 2017.

PENAR, Weronika; MAGIERA, Angelika; KLOCEK, Czesław. Applications of bioacoustics in animal ecology. **Ecological complexity**, v. 43, p. 100847, 2020.

PENG, Chao; ZHAO, Xinguo; LIU, Guangxu. Noise in the sea and its impacts on marine organisms. **International journal of environmental research and public health**, v. 12, n. 10, p. 12304-12323, 2015.

PICCIULIN, Marta et al. A fish and dolphin biophony in the boat noise-dominated soundscape of the Cres-Lošinj archipelago (Croatia). **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 10, n. 2, p. 300, 2022.

PICCIULIN, Marta et al. Listening to the unseen: passive acoustic monitoring reveals the presence of a cryptic fish species. Aquatic Conservation: **Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 29, n. 2, p. 202-210, 2019.

- PICCIULIN, Marta et al. Passive acoustic monitoring of *Sciaena umbra* on rocky habitats in the Venetian littoral zone. **Fisheries research**, v. 145, p. 76-81, 2013.
- PIERETTI, N. et al. Marine soundscape as an additional biodiversity monitoring tool: A case study from the Adriatic Sea (Mediterranean Sea). **Ecological Indicators**, v. 83, p. 13-20, 2017.
- PIERETTI, Nadia; DANOVARO, Roberto. Acoustic indexes for marine biodiversity trends and ecosystem health. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 375, n. 1814, p. 20190447, 2020.
- PIERETTI, Nadia; FARINA, Almo; MORRI, Davide. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). **Ecological Indicators**, v. 11, n. 3, p. 868-873, 2011.
- PIJANOWSKI, Bryan C. et al. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape ecology**, v. 26, p. 1213-1232, 2011.
- PINHEIRO, Hudson T. et al. South-western Atlantic reef fishes: Zoogeographical patterns and ecological drivers reveal a secondary biodiversity centre in the Atlantic Ocean. **Diversity and Distributions**, v. 24, n. 7, p. 951-965, 2018.
- POPPER, Arthur N.; FAY, Richard R. Rethinking sound detection by fishes. **Hearing research**, v. 273, n. 1-2, p. 25-36, 2011.
- POPPER, Arthur N.; HASTINGS, M. C. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. **Journal of fish biology**, v. 75, n. 3, p. 455-489, 2009.
- POPPER, Arthur N.; HAWKINS, Anthony D. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. **Journal of fish biology**, v. 94, n. 5, p. 692-713, 2019.
- PUTLAND, R. L.; CONSTANTINE, R.; RADFORD, C. A. Exploring spatial and temporal trends in the soundscape of an ecologically significant embayment. **Scientific reports**, 7(1), 1-12, 2017.
- RADFORD, Andrew N.; KERRIDGE, Emma; SIMPSON, Stephen D. Acoustic communication in a noisy world: can fish compete with anthropogenic noise? **Behavioral Ecology**, v. 25, n. 5, p. 1022-1030, 2014.
- RADFORD, Craig et al. Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. **Marine Ecology Progress Series**, v. 362, p. 37-43, 2008.

RAMIREZ-LLODRA, Eva et al. Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem. **Biogeosciences**, v. 7, n. 9, p. 2851-2899, 2010.

RAVEN, John et al. **Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide**. The Royal Society, 2005.

RAYMENT, William et al. Listening for a needle in a haystack: passive acoustic detection of dolphins at very low densities. **Endangered Species Research**, v. 14, n. 2, p. 149-156, 2011.

REITNER, Joachim; THIEL, Volker (Ed.). **Encyclopedia of geobiology**. Berlin: Springer, 2011.

REYMOND, David et al. The bioacoustic proof of the effects of raising awareness of noise pollution among visitors to the Port Cros National Park using binding communication. **arXiv preprint arXiv:2203.16899**, 2022.

RICHARDS, Thomas A.; MCCUTCHEON, John P. Coral symbiosis is a three-player game. **Nature**, 568(7750), 41–42, 2019.

RICHARDSON, W. John et al. **Marine mammals and noise**. Academic press, 2013.

RODRIGUES, Maria J. **Gestão de recifes de coral branqueados ou severamente danificados**. IUCN, 2000.

ROLIM, Fernanda Andreoli et al. Habitat and marine reserve status drive reef fish biomass and functional diversity in the largest south Atlantic coral reef system (Abrolhos, Brazil). **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 701244, 2022.

ROMERO VIVAS, Eduardo; LEÓN LÓPEZ, Braulio. Construction, calibration, and field test of a home-made, low-cost hydrophone system for cetacean acoustic research. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics**. AIP Publishing, 2010.

RUPPEL, Carolyn D. et al. Categorizing active marine acoustic sources based on their potential to affect marine animals. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 10, n. 9, p. 1278, 2022.

RUTTENBERG, Benjamin I.; LESTER, Sarah E. 10 Patterns and processes in geographic range size in coral reef fishes. **Ecology of fishes on coral reefs**, p. 97, 2015.

SAMARAN, Flore et al. Seasonal and geographic variation of southern blue whale subspecies in the Indian Ocean. **PloS one**, v. 8, n. 8, p. e71561, 2013.

SAUCIER, Michael H.; BALTZ, Donald M.; ROUMILLAT, William A. Hydrophone identification of spawning sites of spotted seatrout *Cynoscion nebulosus* (Osteichthyes: Sciaenidae) near Charleston, South Carolina. **Gulf of Mexico Science**, v. 12, n. 2, p. 8, 1992.

SCHOEMAN, Renée P. et al. Analysis of soundscapes as an ecological tool. **Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume**, p. 217, 2022.

SHEPPARD, Charles et al. **The biology of coral reefs**. Oxford University Press, 2017.

SIDDAGANGAIAH, Shashidhar et al. A complexity-entropy based approach for the detection of fish choruses. **Entropy**, v. 21, n. 10, p. 977, 2019.

SILVA, Edilma Fernandes; OLIVEIRA, Jorge Eduardo Lins; LOPES JUNIOR, E. Características socioeconômicas e culturais de comunidades litorâneas brasileiras: Um estudo de caso—Tibau do Sul/RN. **Boletim Técnico Científico CEPENE**, v. 18, n. 1, p. 31-48, 2013.

SIMPSON, Stephen D. et al. Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. **Nature communications**, v. 7, n. 1, p. 10544, 2016.

ŠIROVIĆ, Ana; OLESON, Erin M. The bioacoustics of blue whales—Global diversity and behavioral variability in a foraging specialist. In: **Ethology and Behavioral Ecology of Mysticetes**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 195-221.

SLABBEKOORN, Hans. Noise pollution. **Current Biology**, v. 29, n. 19, p. R957-R960, 2019.

SOUSA-LIMA, Renata S. et al. A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. **Aquatic Mammals**, v. 39, n. 1, 2013.

SPALDING, Mark D.; BROWN, Barbara E. Warm-water coral reefs and climate change. **Science**, v. 350, n. 6262, p. 769-771, 2015.

SPALDING, Mark; RAVILIOUS, Corinna; GREEN, Edmund Peter. World atlas of coral reefs. **Univ of California Press**, 2001.

STAATERMAN, Erica et al. Celestial patterns in marine soundscapes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 508, p. 17-32, 2014.

STEIN, Peter J. Active acoustic monitoring systems for detecting, localizing, tracking, and classifying marine mammals and fish. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 4_Supplement, p. 2369-2369, 2011.

STEIN, Peter J.; EDSON, Patrick L. **Final technical report: Underwater Active Acoustic Monitoring Network For Marine And Hydrokinetic Energy Projects**. Scientific Solutions, Inc, Nashua, NH (United States), 2013.

STOCKER, M. Fish, mollusks and other sea animals' use of sound, and the impact of anthropogenic noise in the marine acoustic environment. **Journal of the Acoustical Society of America**, 112(5), 2431, 2002.

SUEUR, Jérôme et al. Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 100, n. 4, p. 772-781, 2014.

SUGAI, Larissa Sayuri Moreira; LLUSIA, Diego. Bioacoustic time capsules: Using acoustic monitoring to document biodiversity. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 149-152, 2019.

SUN, Yi-Jen; YEN, Shih-Ching; LIN, Tzu-Hao. soundscape_IR: A source separation toolbox for exploring acoustic diversity in soundscapes. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 13, n. 11, p. 2347-2355, 2022.

TAVOLGA, William N. Acoustic orientation in the sea catfish, *Galeichthys felis*. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 188, n. 1, p. 80-97, 1971.

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

TYACK, Peter. Population biology, social behavior and communication in whales and dolphins. **Trends in ecology & evolution**, v. 1, n. 6, p. 144-150, 1986.

VAN OPPEN, Madeleine JH et al. Building coral reef resilience through assisted evolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 8, p. 2307-2313, 2015.

VAN OPZEELAND, Ilse; HILLEBRAND, Helmut. Year-round passive acoustic data reveal spatio-temporal patterns in marine mammal community composition in the Weddell Sea, Antarctica. **Marine Ecology Progress Series**, v. 638, p. 191-206, 2020.

VAN PARIJS, Sofie M. et al. NEPAN: A US Northeast passive acoustic sensing network for monitoring, reducing threats and the conservation of marine animals. **Marine Technology Society Journal**, v. 49, n. 2, p. 70-86, 2015.

VASCONCELOS, L. M; COELHO, M.; SELVA, V. S. F. Patrimônio natural em áreas de protegidas: consensos e dissensos no uso turístico. In: QUEIROZ, O. T. M. M; PORTUGUEZ,

A. P.; SEABRA, G. F.; MORAES, C. S. B. **A natureza e o patrimônio na produção do lugar turístico**. Ituiutaba: Barlavento, 2016, 178 p.

VERSLUIS, Michel et al. How snapping shrimp snap: through cavitating bubbles. **Science**, v. 289, n. 5487, p. 2114-2117, 2000.

VIVAS, R. E., & LEÓN L. B. Construction, calibration, and field test of a home-made, low-cost hydrophone system for cetacean acoustic research. In *Proceedings of Meetings on Acoustics* (Vol. 11, No. 1). AIP Publishing, 2010.

WARREN, Victoria E. et al. Marine soundscape variation reveals insights into baleen whales and their environment: a case study in central New Zealand. **Royal Society open science**, v. 8, n. 3, p. 201503, 2021.

WEBB, Jacqueline F.; FAY, Richard R.; POPPER, Arthur N. (Ed.). **Fish bioacoustics**. Springer Science & Business Media, 2008.

WEILGART, Linda S. The impact of ocean noise pollution on marine biodiversity. **International Ocean Noise Coalition**, 2008.

WEILGART, Lindy S. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. **Canadian journal of zoology**, v. 85, n. 11, p. 1091-1116, 2007.

WILLIAMS, Ben et al. Enhancing automated analysis of marine soundscapes using ecoacoustic indices and machine learning. **Ecological Indicators**, v. 140, p. 108986, 2022.

WILLIAMS, Robert et al. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean & Coastal Management**, v. 115, p. 17-24, 2015.

WOOLDRIDGE, Scott A. Is the coral-algae symbiosis really ‘mutually beneficial’ for the partners? **BioEssays**, v. 32, n. 7, p. 615-625, 2010.

YADAV, Om Prakash et al. Occupational noise exposure at sea: A socio-legal study on fish harvesters’ perceptions in Newfoundland and Labrador, Canada. **Frontiers in Public Health**, v. 11, p. 1092350, 2023.

ZHAO, Yilin et al. Soundscapes of urban parks: An innovative approach for ecosystem monitoring and adaptive management. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 71, p. 127555, 2022.

ZILBERBERG, Carla et al. **Conhecendo os recifes brasileiros: rede de pesquisas Coral Vivo**. 2016.

ZIMMER, Walter MX. Passive acoustic monitoring of cetaceans. **Cambridge University Press**, 20

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Comparar paisagens acústicas recifais de distintas regiões, considerando os impactos da antropofonia nos diferentes tipos e estações de turismo de Unidades de Conservação costeiras.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar e caracterizar os contribuintes acústicos encontrados a partir das paisagens sonoras analisadas;
- Analisar a relação entre a diversidade e riqueza de peixes marinhos com a complexidade acústica da ictiofauna observada;
- Investigar como a antropofonia e as variáveis de temperatura e profundidade afetam a complexidade acústica dos recifes de corais.

4 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS IMPACTOS SONOROS HUMANOS NA DIVERSIDADE ACÚSTICA DE RECIFES DE CORAIS DO NORDESTE BRASILEIRO

4.1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora é uma preocupação global em crescimento. Essa fonte de estresse afeta a fauna ao limitar a exploração de sons ambientais e a comunicação entre os animais (BUXTON et al., 2017), sendo capaz de prejudicar a sua saúde, suas atividades reprodutivas e sobrevivência, o que causa alterações ecológicas em ecossistemas inteiros (LEDUC et al., 2021). Em ecossistemas marinhos, crustáceos, peixes e mamíferos aquáticos produzem sons de interesse comportamental, e se destacam como principais contribuintes para as paisagens acústicas marinhas (LOBEL et al., 2010; FINE & PARMENTIER, 2015). No entanto a poluição sonora prejudica suas estratégias de caça, evasão de predadores e identificação de presas, desencadeando efeitos que percorrem toda a cadeia alimentar (DUARTE et al., 2021). O aumento do ruído humano nos oceanos mascara sons biologicamente relevantes, prejudicando a capacidade dos organismos marinhos de discernir sons cruciais para suas interações, afetando a diversidade dessas paisagens acústicas (RADFORD et al., 2014; LOBEL et al., 2010).

A ecologia de paisagens acústicas é um campo emergente na pesquisa da conservação da biodiversidade marinha. Não apenas fornece informações sobre as relações ecológicas em diferentes cenários, mas também atua como um indicador confiável do habitat e de sua qualidade (PAVAN, 2017; PIJANOWSKI et al., 2011; LILLIS et al., 2014). Essa abordagem também se estende para a avaliação das características distintas das comunidades ecológicas, permitindo a detecção da variação na composição de espécies por meio dos padrões de emissões sonoras, fornecendo informações cruciais sobre a diversidade ecológica (SUEUR & FARINA, 2015). Além disso, a ecologia de paisagens acústicas também surge como uma rica fonte de informações sobre o comportamento e a distribuição de diversos organismos marinhos recifais (CLARK et al., 2009; FINE & PARMENTIER, 2015; ERBE et al., 2016; DE JONG et al., 2020). Ao revelar padrões comportamentais, essa abordagem permite não apenas a compreensão dos ecossistemas, mas também a avaliação dos impactos dos sons antropogênicos na diversidade e funcionalidade dos ecossistemas recifais (WILLIAMS et al., 2015; BITTENCOURT, 2020; GULLETT et al., 2022). Dessa forma, a análise das paisagens acústicas ajuda a entender a distribuição e comportamento das diversas fontes sonoras do ambiente

marinho, enriquecendo o conhecimento sobre esses ambientes (ROUNTREE et al., 2006; BERTUCCI, 2016).

No cenário brasileiro, os poucos estudos realizados sugerem que as paisagens acústicas dos recifes de coral são extensamente afetadas por impactos sonoros de origem humana (DUARTE et al., 2021; LEDUC et al., 2021). A escassez desses estudos indica a negligência dos efeitos dos sons antropogênicos sobre esses ecossistemas marinhos, especialmente em comparação com a atenção dada a outros tipos de impactos como os efeitos do plástico, dos derivados do petróleo e de atividades pesqueiras (CASTRO et al., 2018; GALLARDO et al., 2020). A falta de pesquisa voltadas a entender os impactos sonoros nos recifes de coral brasileiros levanta preocupações sobre a compreensão dos riscos enfrentados pelos recifes de coral brasileiros.

Essas questões são especialmente relevantes para os recifes de coral do Brasil, os quais, em comparação com outros recifes do mundo, estão localizados mais próximos da costa. Essa característica geográfica torna esses recifes suscetíveis aos impactos sonoros decorrentes de atividades humanas (LEÃO et al., 2003). Um exemplo desse contexto é um dos bancos de recifes mais significativos do Atlântico Sudoeste, a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC) e a Área de Proteção Ambiental Guadalupe (APAG), que se encontram em alta proximidade da costa. Apesar de estar situada na maior Unidade de Conservação (UC) costeira do Brasil, a APACC, assim como a APAG, não tem recebido a devida atenção em relação aos impactos sonoros por parte da gestão (BRASIL, 2011; BRASIL, 2021). Esses elementos configuram um cenário que contribui para a investigação dos efeitos da antropofonia nesses ambientes recifais.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo efetuar uma comparação das paisagens acústicas em distintas áreas recifais, considerando os impactos da antropofonia nos diferentes tipos e estações de turismo de UCs costeiras. Mais especificamente, três questões principais foram abordadas: (1) Quais são os distintos contribuintes sonoros das paisagens acústicas analisadas? (2) Qual é a relação entre a diversidade e riqueza de peixes marinhos com a complexidade acústica da ictiofauna observada? (3) Como a antropofonia, juntamente com as variáveis de temperatura e profundidade, afetam a complexidade acústica dos recifes de corais?

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Área de estudo

Os recifes de Tamandaré, localizados no Estado de Pernambuco, fazem parte das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) Costa dos Corais e Guadalupe (Figura 1). A APA Costa dos Corais é uma extensa área protegida que se estende por 135 km ao longo da costa nordeste do Brasil (8°45'36" S 35°06'45" W), enquanto a APA Guadalupe está inserida na Zona da Mata Sul de Pernambuco e compreende uma área de 44.799 hectares, sendo 32.135 hectares de área continental e 12.664 hectares de área marítima, correspondendo a três milhas náuticas. Esses recifes são caracterizados pela sua disposição paralela à linha de costa e proximidade à linha de praia. Esse arranjo geográfico é uma característica distintiva desses recifes e tem um impacto significativo em sua ecologia e interações com o ambiente circundante. Eles desempenham um papel fundamental, abrigando habitats cruciais para peixes recifais; contudo, enfrentam desafios significativos devido às intensas atividades humanas em ambientes adjacentes e rasos (LEÃO et al., 2003; FERREIRA & MAIDA, 2006; CPRH, 2012).

A região se caracteriza por um clima predominantemente tropical úmido, dividido em duas estações bem definidas: a estação chuvosa, que ocorre geralmente de abril a agosto, e a estação seca, de setembro a março. Durante a estação chuvosa, a descarga dos rios contribui para uma elevada turbidez da água ao longo da costa, em contrapartida, durante a estação seca, a visibilidade da água é maior. As marés podem alcançar uma amplitude de até 2,5 metros, enquanto a temperatura média da água varia em torno de 27°C na estação seca e 22°C na chuvosa (MAIDA & FERREIRA 1997).

4.2.2 Escolha e descrição dos sítios amostrais

Os sítios amostrais foram selecionados entre as praias de Carneiros e Tamandaré, localizadas no estado de Pernambuco, no nordeste do Brasil. A praia de Carneiros apresenta um turismo intensivo, onde ao longo de todo o ano, essa região atrai um significativo número de turistas. A demanda turística é elevada, resultando em uma grande concentração de visitantes nas praias. A praia de Tamandaré, por outro lado, atrai um grande número de turistas durante a alta estação, caindo bastante na baixa estação, sendo caracterizado pelo turismo sazonal. A demanda turística tende a aumentar no verão, especialmente durante períodos de férias e feriados, mas diminui significativamente em outras épocas.

O nível de exposição ou condição de abrigo dos recifes de corais em relação à essas atividades de origem turísticas, também é um fator que pode influenciar na intensidade da antropofonia sobre os ecossistemas recifais. Nesse contexto, foram selecionados quatro sítios amostrais: turismo intensivo não abrigado e turismo intensivo abrigado, perante as atividades

antrópicas, em Carneiros, além de turismo sazonal não abrigado e turismo sazonal abrigado em Tamandaré. As distâncias entre os sítios em cada uma das praias, variou de aproximadamente 300 a 350 metros (Figura 1). A escolha desses diferentes tipos de turismo nas regiões, juntamente com as distintas condições de abrigo existentes entre os sítios, foi feita com o objetivo de avaliar o comportamento dos impactos sonoros humanos nos locais e seu respectivo grau de influência nas paisagens acústicas.

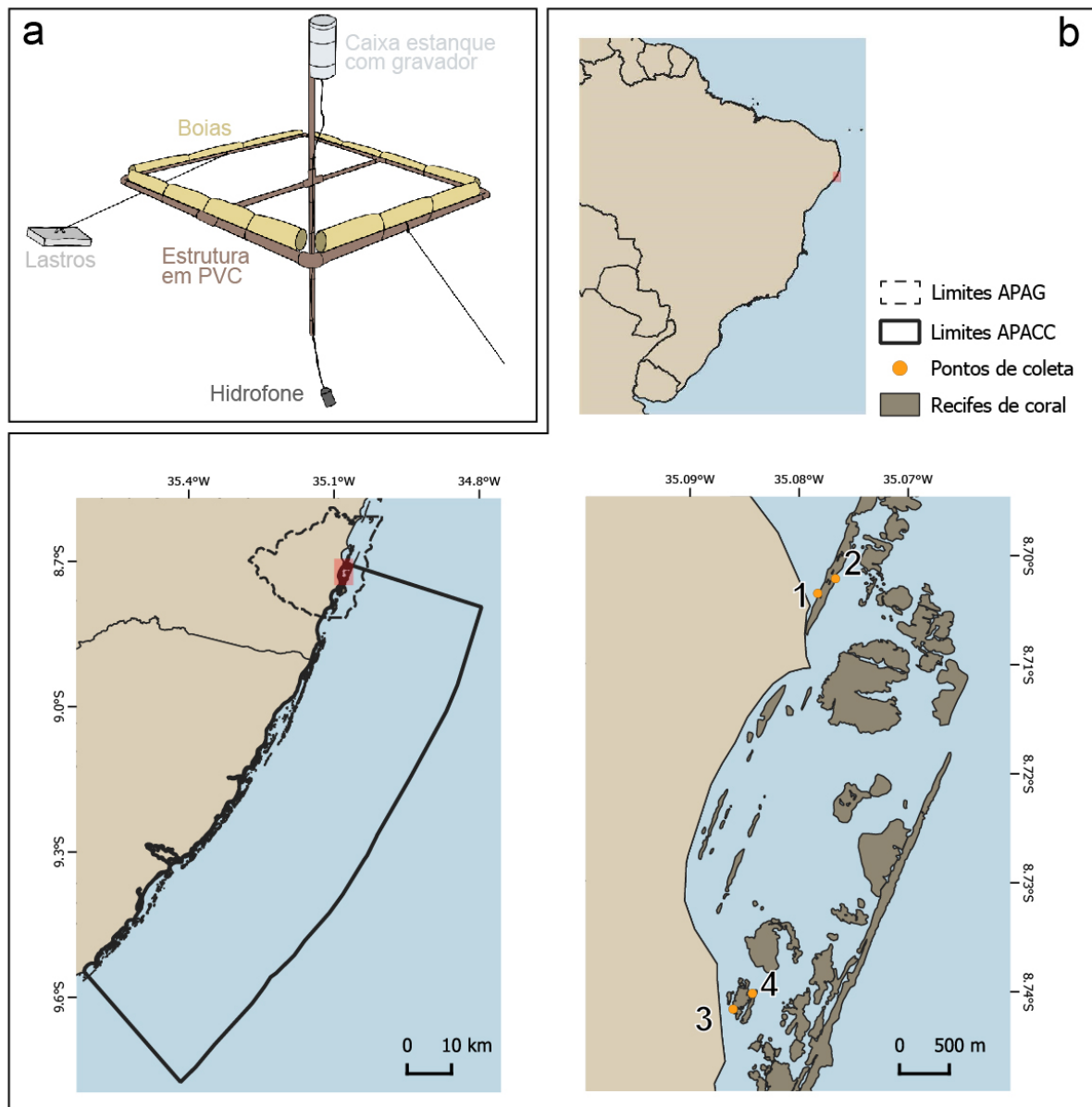


Figura 1. a – Estrutura da sonoboia utilizada no estudo. b – Sítios amostrais selecionados, turismo intensivo não abrigado (1) e abrigado (2), e turismo sazonal não abrigado (3) e abrigado (4).

4.2.3 Coleta de dados

Foram realizadas coletas de dados entre janeiro e fevereiro de 2022, durante os picos mais intensos de atividade turística, classificados como período de alta estação turística, e em março de 2023, durante as fases de menor movimento turístico, classificadas como baixa estação de turismo. Ambas campanhas de coleta foram realizadas no mesmo período climático, de estiagem, que prevalece de setembro a março na localidade amostral (MAIDA e FERREIRA 1997). No decorrer desse estudo, foram conduzidas duas etapas de gravação, uma em cada uma das estações de turismo, abrangendo todos os sítios amostrais. No primeiro momento, os sítios amostrais foram acessados por natação por parte dos pesquisadores, e no segundo momento, a partir de um caiaque modelo ITIWIT com capacidade para três pessoas. Em cada um dos períodos o equipamento de gravação foi cuidadosamente instalado em um único sítio por vez, capturando a paisagem acústica de maneira contínua ao longo de 10 horas consecutivas, das 07:00h às 17:00h. Essa janela de tempo abrangeu os momentos de maior atividade turística nesses locais, possibilitando uma compreensão abrangente das variações da antropofonia nas paisagens sonoras.

Para realização das gravações foram confeccionadas “sonoboias” (adaptadas de MOJICA, 2018): estruturas construídas com materiais de baixo custo, utilizando tubos de PVC (policloreto de vinila), no intuito de instalar o gravador acima da lâmina d’água, evitando possíveis danos provocados pela submersão do equipamento (Figura 1a). Para fixação da estrutura, quinze quilogramas de lastros foram divididos e fixados nas extremidades laterais da sonoboia. Uma caixa de PVC localizada na extremidade superior (0,5 m fora d’água) alojou o gravador digital que foi conectado a um hidrofone alojado na extremidade inferior da sonoboia, abaixo da lâmina d’água. O gravador Zoom do modelo H2N - 16-bit Stereo, WAV, com taxa de amostragem de 44.1 kHz, e um hidrofone do modelo H2A, Aquarian Áudio, WA, USA, com intervalo útil de frequência de <10 Hz >100 KHz e sensibilidade de -180 dB re: 1 V / μ Pa, foram usados para as gravações.

De forma a considerar os possíveis fatores ambientais influenciando a diversidade acústica durante o período de gravação, os sítios amostrais foram caracterizados quanto a temperatura e profundidade, a cada meia hora de gravação. A profundidade foi obtida in situ utilizando uma corda que foi marcada por uma fita adesiva ainda submersa na água. Posteriormente, em terra, a corda foi medida por uma fita métrica, levando em consideração a marcação da fita adesiva como ponto de referência. A temperatura foi mensurada através de um termômetro de precisão de 0,1°C, localizado na extremidade inferior da sonoboia.

Ainda simultaneamente às gravações, a comunidade de peixes foi analisada através de censos visuais subaquáticos, usando o método do transecto de faixa. Neste, os mergulhadores estimaram a quantidade de peixes presentes ao longo de uma trena (10 x 5m), identificando a espécie e determinando os tamanhos dos indivíduos em classes de 2 cm. Foram realizados 5 censos por ponto de amostragem de áudio, distribuídos aleatoriamente em cada sítio de amostragem. Além disso, durante as gravações, todas as atividades de antropofonia e geofonia que ocorreram nos sítios amostrais foram registradas, com o objetivo de garantir a correta classificação e quantificação sonora de seus respectivos emissores.

4.2.4 Análise de dados

Uma triagem das gravações foi realizada por meio do software Audacity (v.2.2), objetivando a exclusão dos trechos de ruído durante a instalação da sonoboia e coleta periódica dos dados abióticos e censos de peixes. Para as amostras das gravações e realização das análises, a cada período contínuo de 10 minutos de gravação, 2 minutos foram escolhidos e utilizados para as análises. Para caracterização das paisagens acústicas, a distribuição da banda de frequência ao longo do tempo e a energia da paisagem sonora dos recifes foram avaliados por espectrogramas e gráficos de densidade de probabilidade espectral (SPD). Ambos foram produzidos através da ferramenta PAMGuide no software Matlab 2016 (MERCHANT et al., 2015). O PAMGuide também foi utilizado para calcular densidade espectral de potência, com os seguintes dados de calibração: sensibilidade do hidrofone: -180dB, ganho de 39dB e ADC volts de 3.535 'V 0-peak' (PSD, dB re 1 μPa^2 / Hz-1). Os espectrogramas e os gráficos de SPD foram plotados com banda de frequência de 50-10000 Hz, abrangendo os constituintes sonoros de origem biológica, geológica e antrópica, de interesse do estudo. Foi adotada uma taxa de amostragem de 44.1 kHz - 16-bit Stereo, com janela do tipo 'Hann', Transformada Rápida de Fourier (FFT) de 2048 pontos, resolução de frequência de 21,5 Hz, resolução temporal de 0.5 s e janela de 'Overlap' em 50% (baseados em CERAULO, 2018).

As caracterizações preliminares e caracterização da paisagem acústica foram realizadas a partir dos gráficos plotados de SPD. As predições foram feitas perante a relação dos percentis e a raiz quadrada média (RMS), com suas taxas de frequência representantes (MERCHANT et al., 2013; PUTLAND et al., 2017). Os percentis 1, 5, 50, 90, 99 e RMS do SPD representam as intensidades e contribuições dos sons na paisagem sonora. O percentil 1 representa os sons que ocorrem 99% das vezes, mas são de baixa intensidade, e o percentil 99 representa os sons mais altos, que ocorrem apenas 1% das vezes.

Inicialmente, para a caracterização conclusiva dos contribuintes sonoros, foram utilizadas análises de cluster a partir do software Kaleidoscope (WILDLIFE ACOUSTICS, 2019). Entretanto, durante a execução das análises, foi observado que o programa apresentava uma alta taxa de caracterizações incorretas, resultando em falsas classificações dos contribuintes sonoros. Diante dessa limitação, foram realizadas triagens manuais nos espectrogramas das paisagens acústicas, onde os contribuintes foram identificados de acordo com sua natureza, considerando as categorias de biofonia, geofonia e antropofonia. Os elementos contribuintes da biofonia, que foram identificados como peixes, tiveram seus perfis sonoros classificados, distinguindo-se a partir de distintos parâmetros espectrais observados e quantificados entre si. Para essa descrição, foi utilizado o software Raven Pro 1.6.5 (CHARIF et al., 2010), com as mesmas configurações adotadas para as obtenções dos espectrogramas e densidades de probabilidade espectral, citadas anteriormente. Dessa forma, foi possível obter uma descrição mais detalhada e confiável dos contribuintes sonoros presentes nas paisagens acústicas do estudo.

Para caracterização e comparações das paisagens acústicas perante os impactos sonoros humanos e o grau de influência dos fatores abióticos e da diversidade de peixes recifais na diversidade acústica, foi utilizado o Índice de Complexidade Acústica (ACI) (PIERETTI et al., 2011). A obtenção do ACI ocorreu através do software Kaleidoscope (WILDLIFE ACOUSTICS, 2019), com uma taxa de amostragem de 44.1 kHz - 16-bit Stereo, FFT de 2048 pontos e uma resolução de frequência de 21,5 Hz (passo temporal de 0,064 s). Com a finalidade de avaliar o impacto da atividade humana na diversidade acústica dos peixes recifais, além da banda de frequência total do estudo (50-10000 Hz), também foram obtidos valores de ACI na faixa de frequência de 50 a 2000 Hz. Essa faixa de frequência é conhecida por abrigar as emissões sonoras características dos peixes (PICCIULIN et al., 2013; CERAULO, 2018). No que diz respeito aos dados coletados nos censos visuais, a comunidade de peixes observada foi classificada quanto à sua abundância e riqueza, distinguindo entre espécies sonoras e não sonoras. Para as espécies de peixes que não possuíam registros ou comprovações diretas de sua capacidade de emissão sonora, utilizamos informações de espécies próximas, como aquelas do mesmo gênero ou família com histórico conhecido quanto à sua capacidade de emissão sonora, para classificá-las (DOBRIN, 1947; FISH & MOWBRAY, 1970; GREEN, 1971; TAVOLGA et al., 1981; BERTUCCI et al., 2021).

Para determinar os valores de diversidade e riqueza, com base nos dados de censo visual para peixes e nos perfis sonoros para este grupo, foi utilizada uma abordagem usando valores

de ‘diversidade verdadeira’ (sensu JOST, 2006), considerando o número efetivo de espécies ou perfis sonoros em números de Hill (qD) (HILL, 1973). A partir deste princípio, foram quantificados os valores equitativamente abundantes de espécies e perfis sonoros aumentando o peso da abundância pela ordem de diversidade q . Foram consideradas as ordens de diversidade 0, desconsiderando a abundância de espécies e perfis sonoros, equivalendo a valores de riqueza; e os valores de $q = 1$ foram usados para determinar a diversidade destes parâmetros, sendo equivalente a entropia de Shannon e medido através de ocorrências de espécies de peixes e perfis sonoros comuns.

Para comparar os efeitos dos fatores relacionados ao efeito antropogênico sonoro e as variáveis ambientais analisadas nos valores de ACI foi ajustado um modelo linear generalizado (GLM). Os fatores relacionados ao efeito antropogênico sonoro foram inseridos como variáveis categóricas preditoras no modelo, e incluíram: ‘Tipos de turismo’ (com dois fatores, sazonal e intensivo), ‘Condição de abrigo’ (com dois fatores, não abrigado e abrigado) e ‘Estações turísticas’ (com dois fatores, alta e baixa estações). As variáveis temperatura e profundidade foram consideradas como preditores contínuos no modelo. Os dados de ACI ajustaram a uma distribuição normal (em teste de Shapiro-Wilk) e foram usados como uma variável dependente gaussiana no modelo. O GLM foi ajustado utilizando o software R 4.1.3 usando a função ‘glm’ do pacote ‘stats’ (R CORE TEAM, 2022) e o melhor modelo foi selecionado com base no menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC), usando a função ‘dredge’ do pacote ‘MuMIn’ versão 1.43.17 (BARTON, 2020).

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Caracterização dos contribuintes das paisagens sonoras

Com base nas predições preliminares dos contribuintes sonoros das paisagens acústicas analisadas, os gráficos de SPD (Figura 2 e 3), revelaram a presença de contribuintes sonoros de biofonia, geofonia e antropofonia. Esses foram identificados em distintos percentis e RMS, entre as faixas de frequência representativas desses contribuintes. A biofonia ocorreu principalmente nas frequências de 50 a 2000 Hz e 2500 a 4500 Hz. A geofonia foi observada entre 1600 a 2200 Hz e 5000 a 7000 Hz. Enquanto os contribuintes de antropofonia, foram identificados predominantemente nas faixas de frequência de 50 a 550 Hz, chegando em alguns casos a alcançar faixas de até 1000 Hz. Durante a alta estação de atividades turísticas (Figura 2), entre os sítios amostrais, os contribuintes de antropofonia foram superiores quando comparados aos resultados da baixa estação, que apresentou mais contribuintes de biofonia

entre os sítios (Figura 3), com exceção do sítio de turismo intensivo não abrigado, onde observaram-se sinais de possíveis mascaramento da biofonia pela antropofonia.

A descrição mais conclusiva dos contribuintes sonoros, realizada a partir da triagem dos espectrogramas das paisagens acústicas, demonstraram a variedade de fontes sonoras presentes nos sítios amostrais (Tabela 1). A biofonia em todos sítios amostrais foi caracterizada por vocalizações de peixes e estalos de crustáceos (Figura 4). Os sítios abrigados, em ambas estações de turismo, apresentaram os maiores números de contribuintes de biofonia. O sítio de turismo sazonal abrigado, no período de baixa estação, obteve os maiores valores de biofonia, com 208 vocalizações de peixes e 146 estalos de crustáceos. Nos sítios não abrigados, durante a alta estação, observou-se um perfil inverso, onde o sítio de turismo intensivo, por exemplo, revelou a menor presença de constituintes de biofonia do estudo, evidenciado pelo registro de apenas 18 vocalizações de peixes e 34 estalos de crustáceos.

Nos componentes acústicos de geofonia, foram identificados sinais sonoros de ventania, chuvas e ondas do mar (Figura 5). De forma geral, os sítios apresentaram valores semelhantes em relação à ocorrência e diversidade dos contribuintes de geofonia; no entanto, verificou-se que os contribuintes de ventania e ondas do mar foram mais numerosos nos sítios amostrais onde ocorreu momentos de chuva. Eventos de chuva foram os mais raros, enquanto que eventos de ventania e ondas do mar foram os mais comuns.

A antropofonia foi representada pelos ruídos de barcos, lanchas, jet skis, voos de paramotor com parapente e atividades recreativas realizadas por banhistas (Figura 6). Nos locais abrigados, a presença de contribuintes de antropofonia foi menor em contraste com os sítios não abrigados, que apresentaram os maiores valores nesse aspecto; um exemplo é o sítio de turismo intensivo, onde durante a alta estação foram registradas 24 ocorrências de jet skis, 18 de voos de paramotor com parapente, juntamente com 94 atividades recreativas realizadas por banhistas. No período de baixa estação, os sítios abrigados e o sítio sazonal não abrigado não exibiram ruídos humanos nesse estudo, diferentemente do sítio de turismo intensivo não abrigado, que foi o único a registrar antropofonia, com 6 ocorrências de jet skis, 8 de voos de paramotor com parapente, além de 37 atividades recreativas por parte dos banhistas.

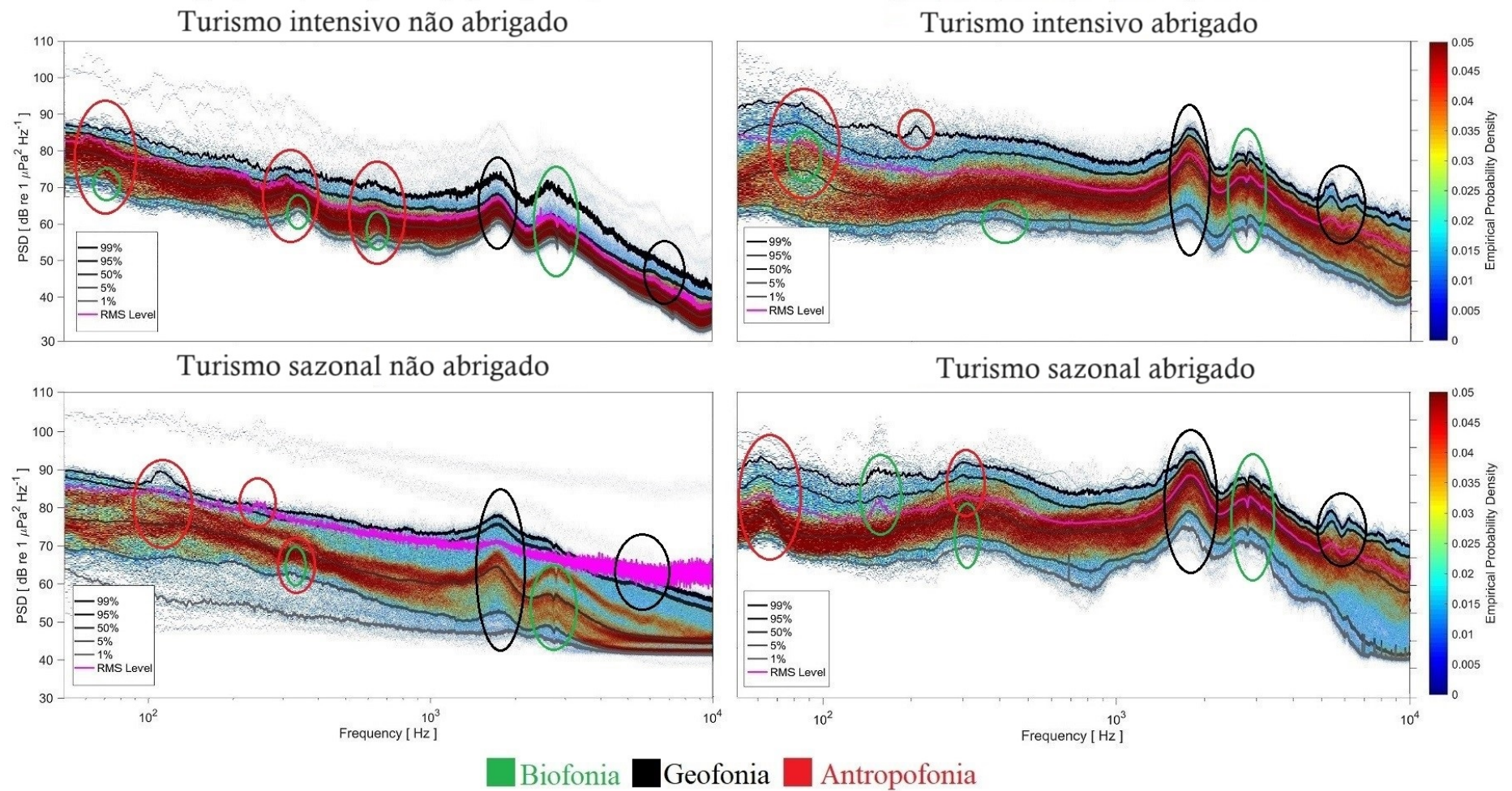


Figura 2. Densidades de probabilidade espectral dos sítios amostrais analisados, em alta estação de turismo.

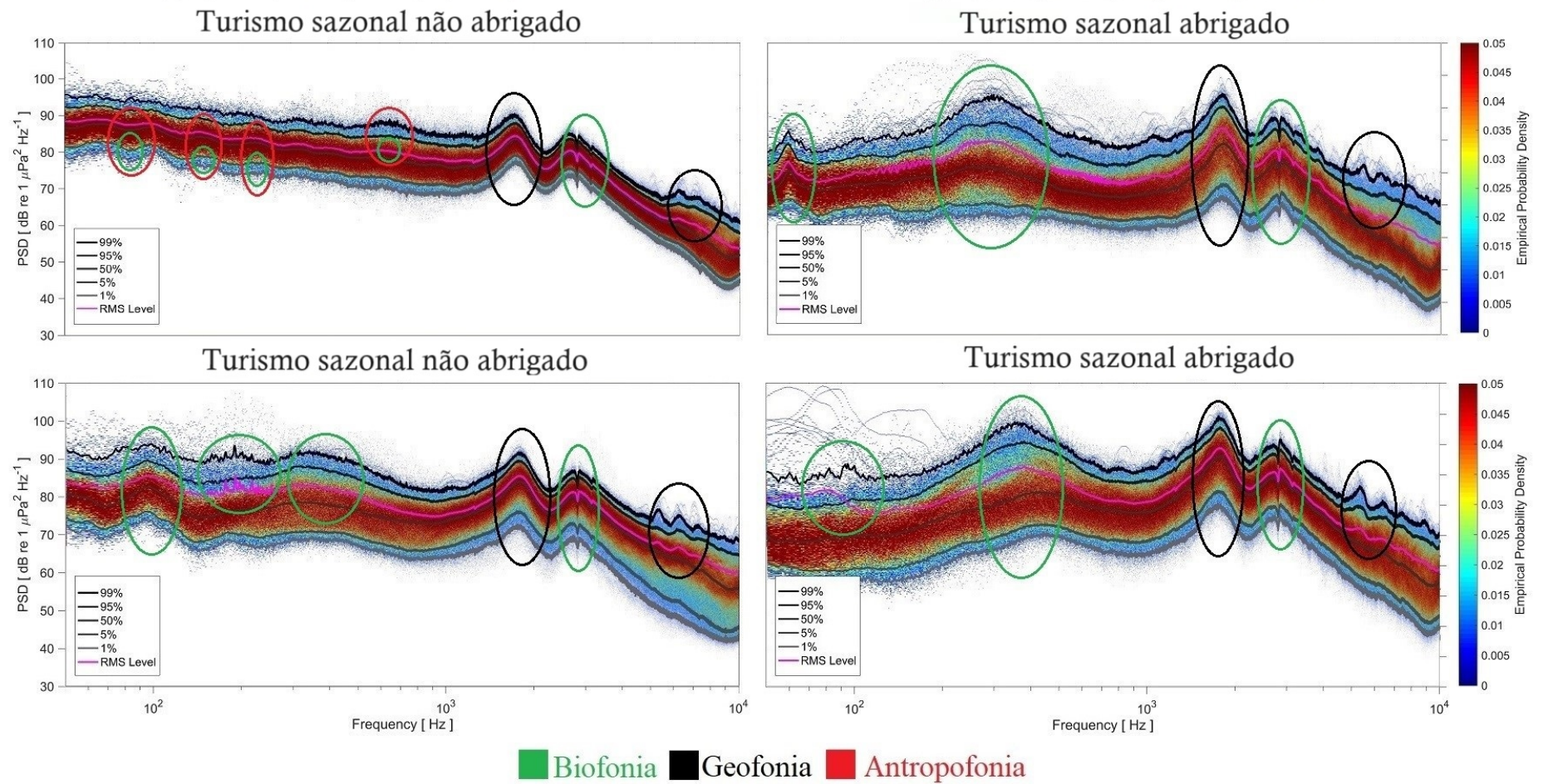


Figura 3. Densidades de probabilidade espectral dos sítios amostrais analisados, em baixa estação de turismo.

Tabela 1. Classificação e quantificação dos contribuintes sonoros de biofonia, geofonia e antropofonia, obtidos das paisagens sonoras dos sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.

Tipos de turismo	Condição de abrigo	Estações de turismo	Biofonia		Geofonia			Antropofonia				
			Peixes	Crustáceos	Chuva	Ventania	Ondas	Jet Ski	Lancha	Paramotor e parapente	Barco	Recreação
Intensivo	Não abrigado	Alta estação	18	34	1	38	49	24	0	18	0	94
Intensivo	Abrigado		183	83	1	50	63	7	5	6	5	0
Sazonal	Não abrigado		32	42	1	46	67	14	12	0	8	26
Sazonal	Abrigado		126	91	0	47	62	6	4	0	3	0
Intensivo	Não abrigado	Baixa estação	38	47	0	29	42	6	0	8	0	37
Intensivo	Abrigado		203	124	0	36	51	0	0	0	0	0
Sazonal	Não abrigado		141	79	0	43	58	0	0	0	0	0
Sazonal	Abrigado		208	146	2	61	82	0	0	0	0	0

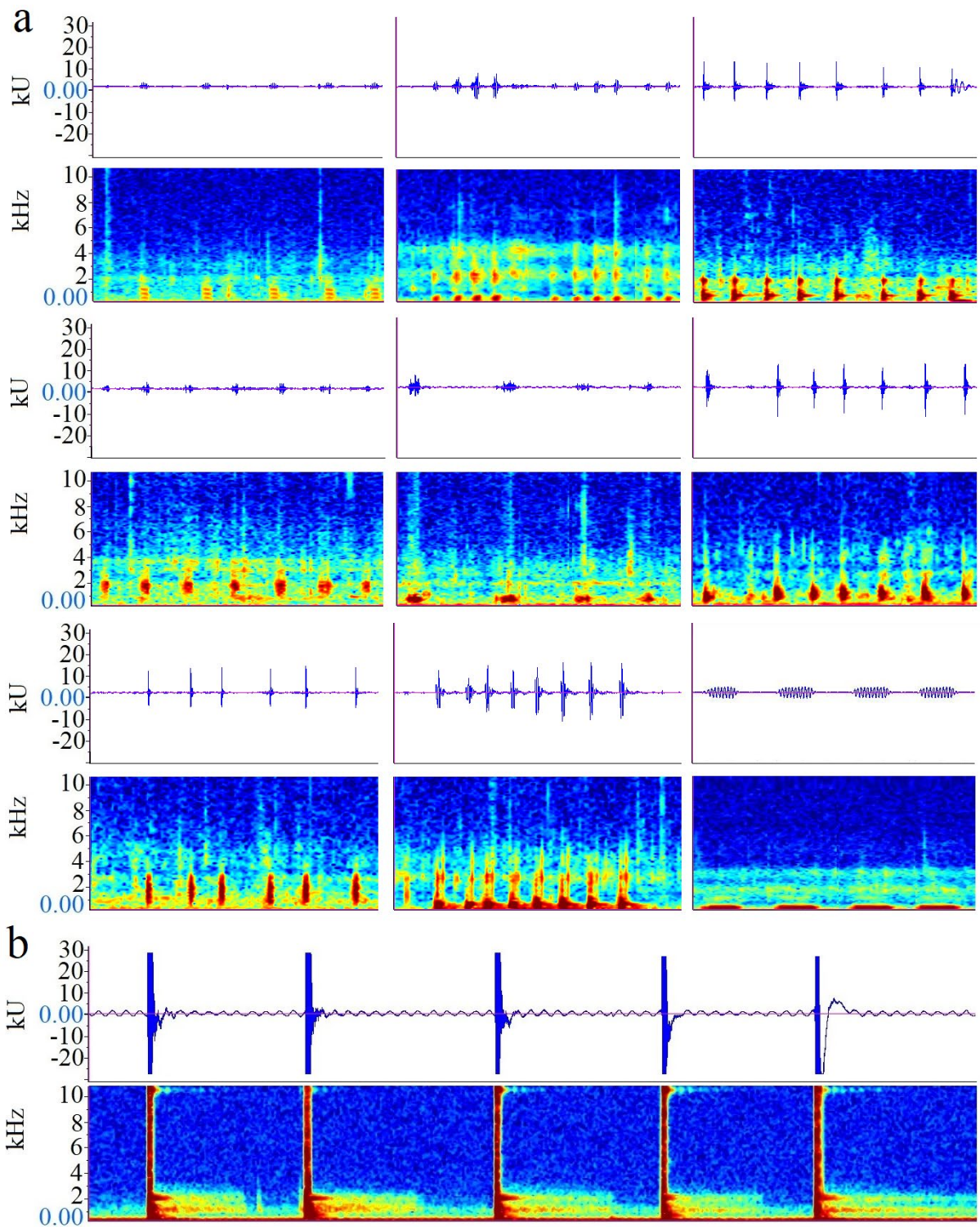


Figura 4. Espectrogramas e oscilogramas de representantes de biofonia (a: Perfis sonoros de peixes; b: Estalos de crustáceos).

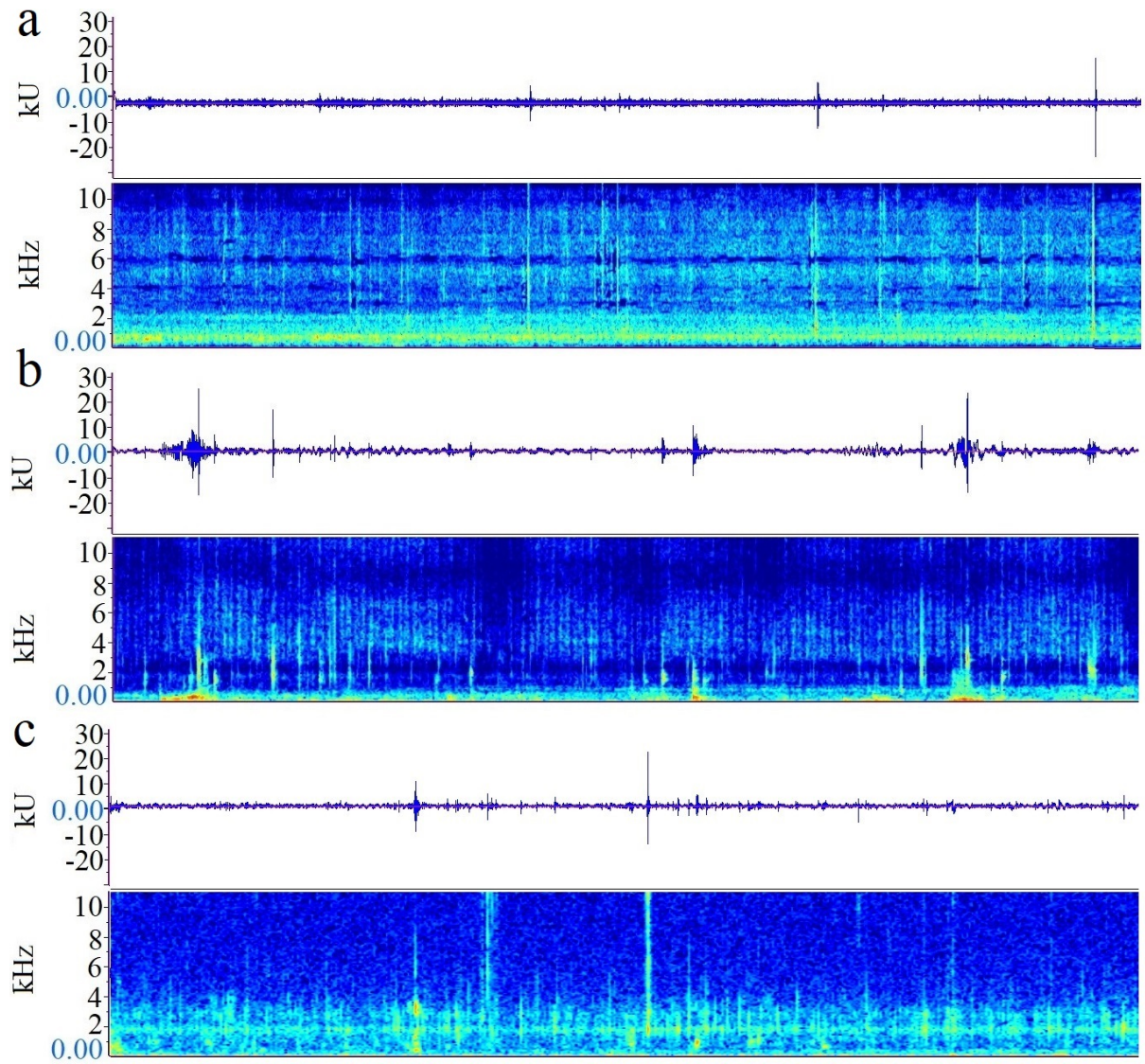


Figura 5. Espectrogramas e oscilogramas de representantes de geofonia (a: Ventania; b: Chuva; c: Ondas do mar).

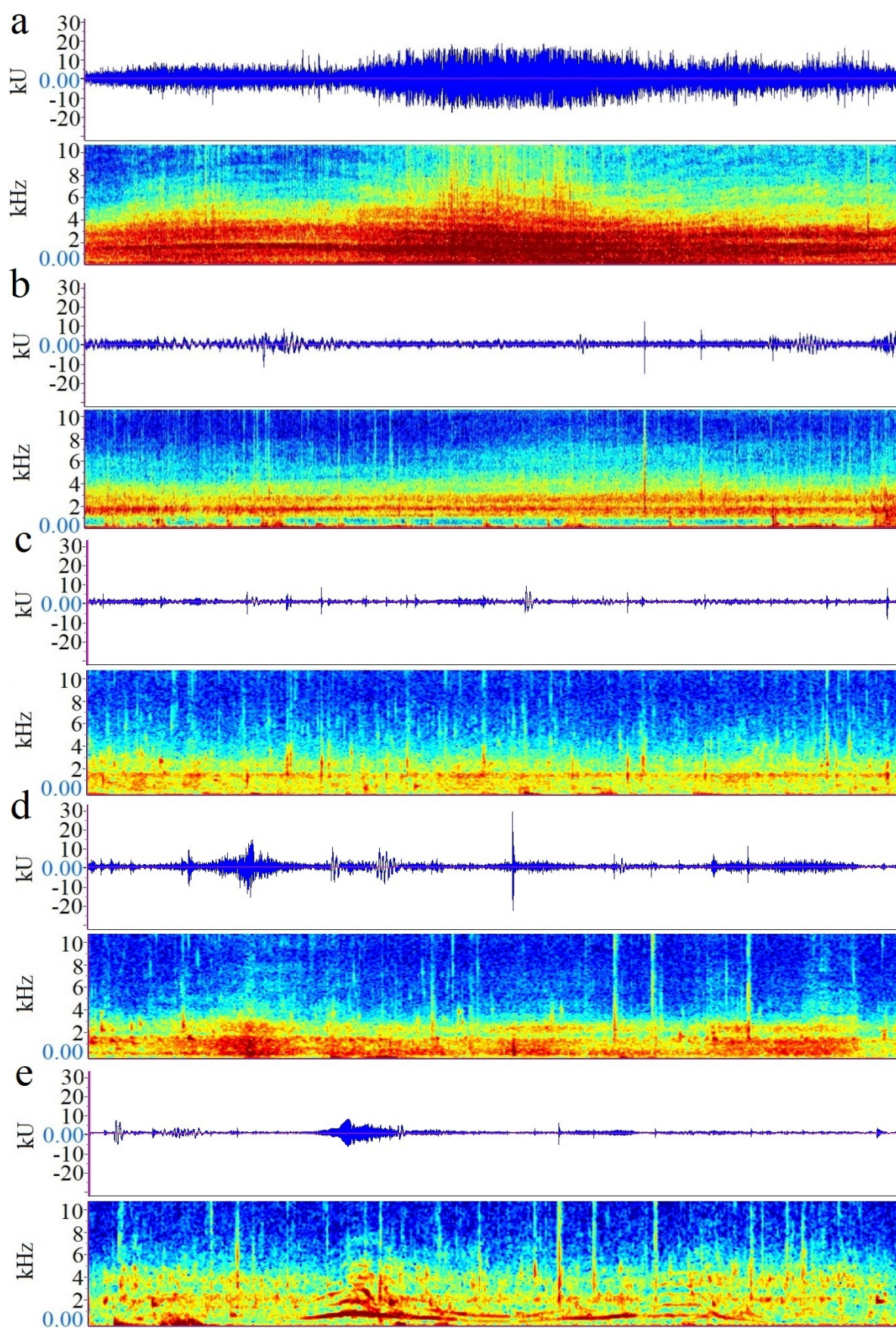


Figura 6. Espectrogramas e oscilogramas de representantes de antropofonia (a: Jet ski; b: Lancha; c: Paramotor com parapente; d: Barco; e: Atividades recreativas realizadas por banhistas).

4.3.2 Relação entre a diversidade e riqueza dos peixes com a complexidade acústica da ictiofauna marinha

Os resultados dos censos visuais (Apêndice A) indicaram que os sítios amostrais não abrigados estão associados a maiores quantidades de espécies de peixes totais e espécies produtoras de sons. Em termos de abundância total, os sítios de turismo intensivo apresentaram os valores mais elevados. Em relação aos perfis sonoros dos peixes (Tabela 2 e Figura 4), os locais abrigados exibiram um maior quantitativo numérico, correspondente aos valores de complexidade acústica obtidos na faixa de frequência das emissões sonoras dos peixes (50 a 2000 Hz), nos quais os locais abrigados também demonstraram uma maior complexidade sonora. Quando consideradas diferentes estações e tipos de turismo, todos os sítios obtiveram maiores valores em termos de perfis sonoros e complexidade acústica durante a baixa estação e no turismo sazonal.

Tabela 2. Quantitativo de perfis sonoros de peixes encontrados nos sítios amostrais analisados.

Tipos de turismo	Condição de abrigo	Estações de turismo	Perfis sonoros de peixes
Intensivo	Não abrigado	Alta estação	1
Intensivo	Abrigado		7
Sazonal	Não abrigado		3
Sazonal	Abrigado		8
Intensivo	Não abrigado	Baixa estação	4
Intensivo	Abrigado		9
Sazonal	Não abrigado		6
Sazonal	Abrigado		9

Ao analisar o vínculo entre a diversidade e riqueza dos peixes recifais com a complexidade acústica da ictiofauna, tornou-se evidente que tanto os valores de ACI obtidos quanto os perfis sonoros dos peixes observados, estabeleceram uma relação significativa com a diversidade e riqueza dos peixes (Figura 7). Essa associação foi particularmente evidente entre os peixes conhecidos por emissão sonora (Apêndice A). Essa relação teve maior destaque nos

locais abrigados, abrangendo todas as estações e tipos de turismo. No entanto, nos sítios não abrigados, a relação foi mais evidente durante a baixa estação.

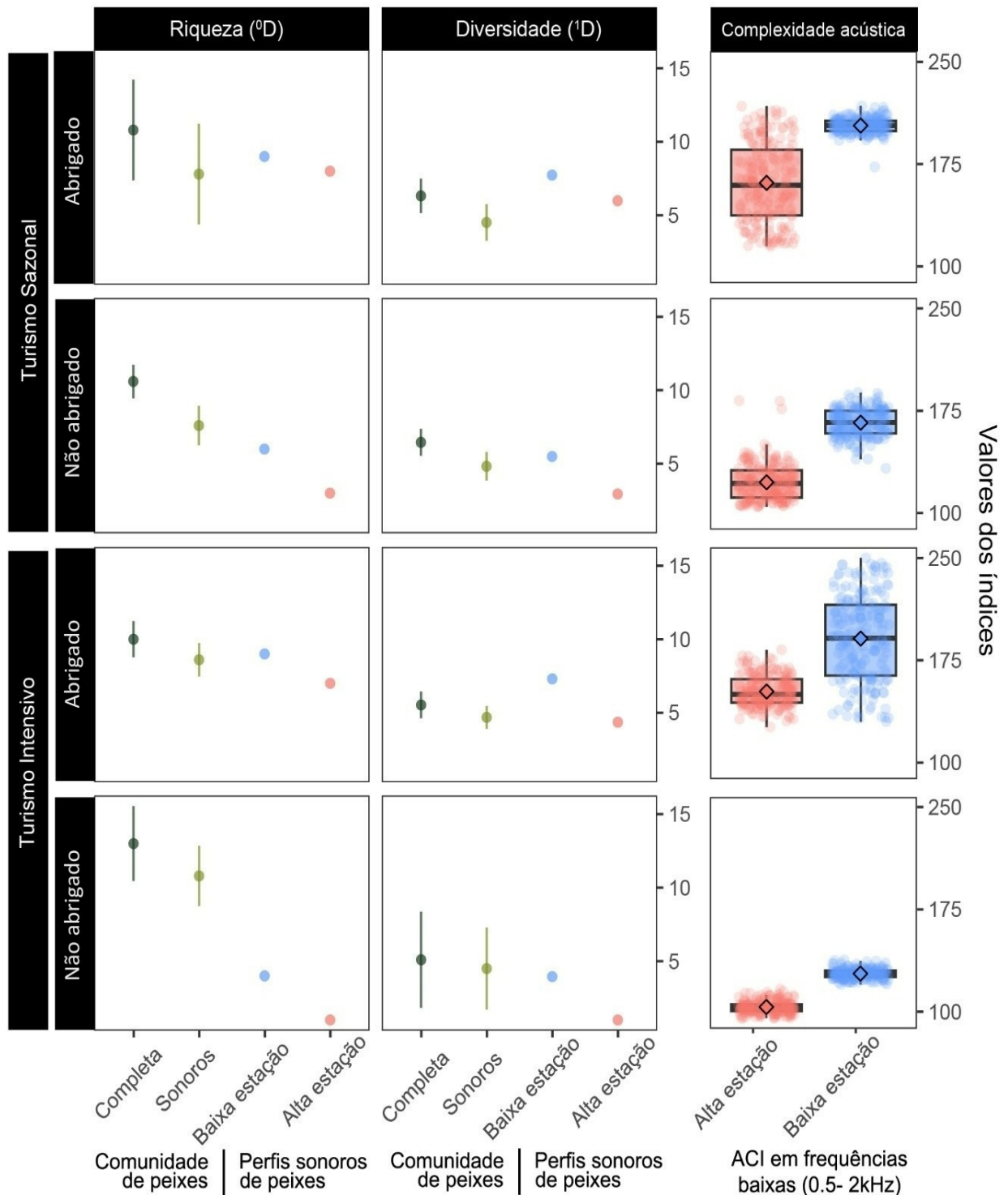


Figura 7. Análises da relação da comunidade de peixes recifais, quanto a sua riqueza e diversidade, com os seus respectivos perfis sonoros e complexidade acústica da ictiofauna observada nos 4 sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.

Em termos específicos, os locais abrigados demonstraram uma conexão mais robusta entre as variáveis acústicas e a comunidade de peixes, particularmente em relação à riqueza durante a alta temporada e à diversidade durante a baixa temporada. Essa relação se tornou mais notável nos locais com turismo intensivo. Em contrapartida, o sítio caracterizado pelo turismo intensivo não abrigado não revelou uma associação significativa com a riqueza de peixes, embora tenha mostrado tal associação com a diversidade durante a baixa temporada. No caso do turismo sazonal não abrigado, houve uma ligação tanto com a riqueza quanto com a diversidade de peixes durante a baixa temporada, com uma ênfase maior na associação com a diversidade.

4.3.3 Influência da antropofonia e fatores abióticos na complexidade acústica das paisagens sonoras

Utilizando análises de Modelo Linear Generalizado, o modelo escolhido com base nos valores de ACI foi o modelo completo, abrangendo todas as variáveis analisadas (Apêndice B). Cada variável incorporada no modelo demonstrou significância estatística (Apêndice C). Conforme observado, tanto entre as variáveis categóricas quanto as contínuas (Figura 8a), a condição de abrigo mostrou ser o preditor mais influente. Assim, os sítios amostrais não abrigados são os mais suscetíveis a receberem uma maior influência dos impactos da antropofonia, apresentando menores valores de complexidade acústica. Em seguida, a alta estação e o turismo intensivo foram o segundo e terceiro preditores mais negativamente influentes na complexidade acústica dos sítios, respectivamente. Em específico para as variáveis contínuas (Figura 8b), relacionado aos valores abióticos obtidas (Tabela 3), uma relação indiretamente proporcional foi observada entre a temperatura e profundidade para como o ACI, sendo a temperatura o preditor de maior influência sobre a complexidade acústica em comparação com a profundidade. Ainda sim esses preditores foram menos influentes no ACI quando comparados as variáveis categóricas.

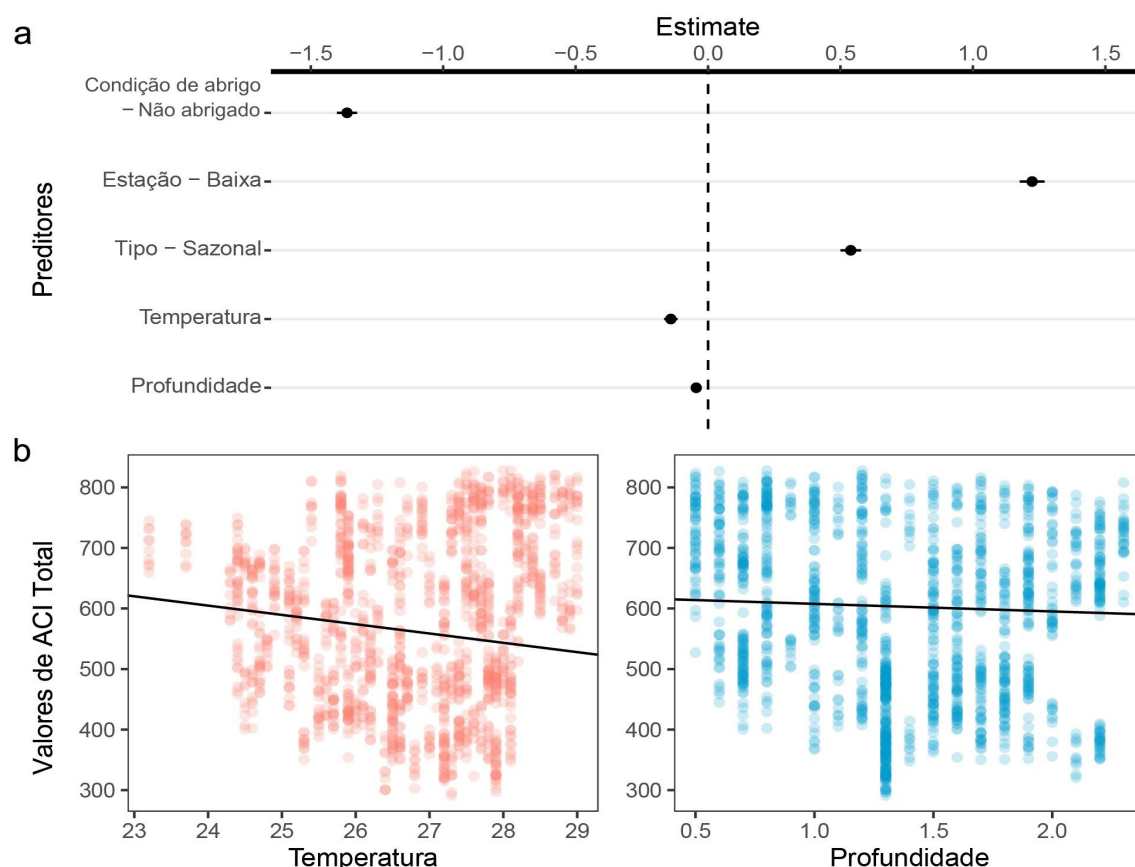


Figura 8. Análises de Modelo Linear Generalizado, mostrando a relação dos preditores perante a Complexidade Acústica dos sítios amostrais analisados. a – Variáveis categóricas (Condição de abrigo, Estação, Tipo de turismo). b – Variáveis contínuas (Temperatura e Profundidade).

Tabela 3. Valores de temperatura (°C) e profundidade (m) obtidos dos sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.

Tipos de turismo	Condição de abrigo	Estações de turismo	Variáveis ambientais (Média ± Desvio padrão)	
			Temperatura	Profundidade
Intensivo	Não abrigado	Alta estação	26,76 ± 0,87	1,45 ± 0,21
Intensivo	Abrigado		25,06 ± 0,83	1,35 ± 0,56
Sazonal	Não abrigado		26,03 ± 1,10	1,41 ± 0,55
Sazonal	Abrigado		26,74 ± 1,05	1,32 ± 0,83
Intensivo	Não abrigado	Baixa estação	27,41 ± 0,50	1,51 ± 0,23
Intensivo	Abrigado		26,47 ± 0,65	1,57 ± 0,56
Sazonal	Não abrigado		28,19 ± 0,43	1,13 ± 0,51
Sazonal	Abrigado		27,89 ± 0,83	1,18 ± 0,60

Ainda em relação da antropofonia para com os valores de complexidade acústica total (50 a 10000 Hz) analisados, nota-se que os sítios amostrais abrigados sobressaíram como os sítios de maior complexidade acústica, ao passo que os não abrigados exibiram os valores mais baixos de ACI (Figura 9).

Nesse contexto, quando os valores totais do ACI foram observados ao longo de uma variação temporal (Figura 9), cada sítio apresentou diferenças em seus resultados. Entretanto, na alta temporada de turismo, os quatro sítios demonstraram uma queda significativa nos valores do índice, ocorrendo aproximadamente no período das 08:30 h às 14:00 h, representando o intervalo de tempo em que as atividades antropogênicas tiveram maior influência. Em contraste, na baixa estação a complexidade acústica dos sítios amostrais se manteve mais constante durante os períodos de gravação, mostrando variações mais sutis ao longo do tempo entre os sítios. O sítio de turismo sazonal não abrigado, durante a alta estação, evidenciou a maior duração temporal de redução no ACI entre os sítios de amostragem, ocorrendo das 09:30 h às 15:30 h. Por outro lado, o sítio de turismo sazonal abrigado, também na alta estação, exibiu a menor extensão temporal de queda no ACI, ocorrendo das 09:30 h às 12:30 h.

Nos espectrogramas é observado o mesmo padrão obtido nos valores de ACI. Nos sítios não abrigados, turismo intensivo destacou-se como o único sítio a apresentar antropofonia na faixa de frequência de 50 a 1000 Hz em ambas as estações e turismo. Com relação ao turismo sazonal, durante a alta estação, identifica-se um perfil semelhante ao do turismo intensivo, porém menos proeminente. Adicionalmente, os sítios abrigados também revelam indícios de antropofonia na faixa de frequência de 50 a 500 Hz durante a alta estação. Contudo, durante a baixa estação, tanto o sítio de turismo sazonal não abrigado e abrigado, quanto o de turismo intensivo não abrigado, não apresentaram sinais de antropofonia.

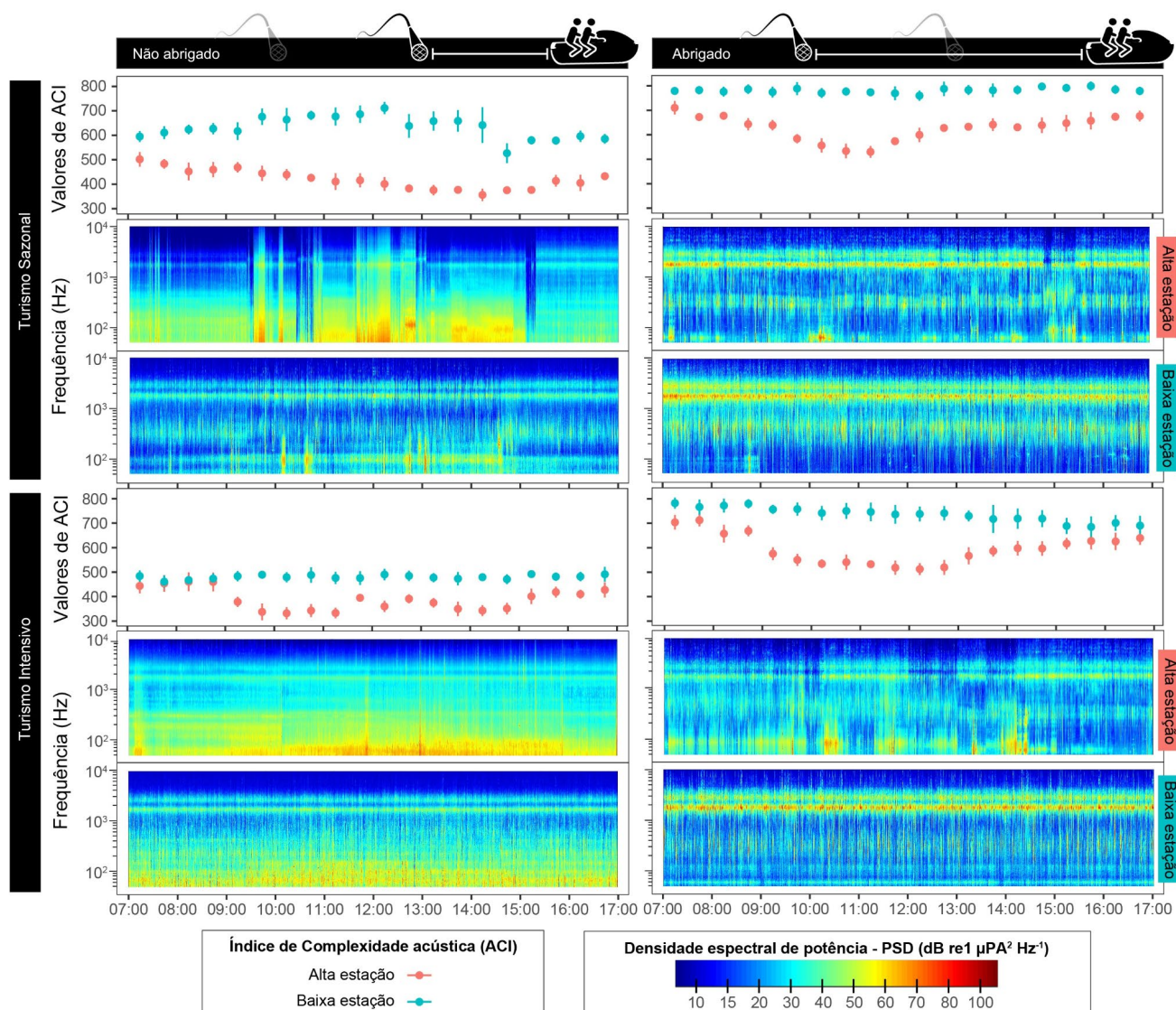


Figura 9. Espectrogramas e valores do Índice de Complexidade Acústica, em relação à variação temporal dos sítios amostrais analisados, em alta e baixa estação de turismo.

4.4 DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que as paisagens sonoras revelaram a presença significativa de representantes contribuintes de biofonia, geofonia e antropofonia. Os sítios abrigados exibiram predominância de sons naturais na baixa estação, contrastando com ruídos humanos predominantes nos sítios não abrigados durante a alta estação. Os resultados também mostraram que nos locais mais impactados pela antropofonia, a complexidade acústica e o número de perfis sonoros de peixes, não acompanharam a diversidade e riqueza da ictiofauna, mostrando a interferência da antropofonia nessa relação. As análises de GLM revelaram que, dentre os fatores de antropofonia analisados, a condição de abrigo representou o maior impacto na complexidade acústica, seguida pela estação e tipo de turismo. As variáveis temperatura e

profundidade também influenciaram, porém com menor intensidade. Os períodos de queda mais intensiva no ACI coincidiram com as atividades resultantes da antropofonia, sendo mais prolongados em sítios não abrigados durante a alta estação. Nos espectrogramas, observou-se um padrão semelhante com a presença de antropofonia em faixas de frequência mais baixas, principalmente nos sítios não abrigados em locais de turismo intensivo.

A condição de abrigo, em específico, o fator não abrigado, exerceu uma influência significativa na amplificação dos ruídos humanos, resultando em uma maior presença de antropofonia. Estudos prévios também destacaram os efeitos prejudiciais do ruído antropogênico em regiões expostas a antropofonia, afetando a sobreposição e comunicação sonora de golfinhos (*Sotalia guianensis*) (DE SOUSA PAIS et al., 2016), bem como a cognição de peixes de recifais (FERRARI et al., 2018). O tipo de turismo desempenhou um papel importante na intensificação da antropofonia, especialmente em locais de turismo intensivo, onde se observou um aumento expressivo durante a alta estação. A antropofonia em locais de turismo intensivo pode resultar em uma redução significativa nos valores de complexidade acústica (PIERETTI et al., 2017). A variação sazonal do turismo revelou que durante a alta estação houve um aumento notável na antropofonia, enquanto a biofonia permaneceu mais predominante durante a baixa estação. Corroborando que a presença das atividades de antropofonia, tem efeitos negativos sobre a biofonia. No entanto, estudos apontam que mesmo com esses impactos, quando a antropofonia diminui ou cessa, a biofonia tende a recuperar sua influência, o que sugere uma adaptação dos componentes de biofonia sobre esses impactos, algo que foi observado em nosso trabalho (HAVER et al., 2019; PICCIULIN et al., 2022). Dados semelhantes foram encontrados em estudos que visualizaram a flutuações de antropofonia e biofonia, durante a presença e ausência de atividades turísticas, destacando o equilíbrio dinâmico das paisagens acústicas de recifes de coral (LIN et al., 2023).

Nesse estudo, foi observado que os contribuintes de antropofonia são distintos em relação aos encontrados em trabalhos anteriores, nos quais a antropofonia foi composta majoritariamente por ruídos de embarcações, como navios de carga, navios petroleiros, barcos de pesca e navios de cruzeiro (BRACCIALI et al., 2012; HERMANNSEN et al., 2019; PICCIULIN et al., 2022). Nessa pesquisa, identificamos a presença de ruídos gerados por barcos, jet skis, lanchas, voos de paramotor e parapente com diferentes motores e propagações sonoras, além de atividades recreativas entre os banhistas, que se mostrou ser a atividade mais constante. Essa configuração de ruídos antrópicos, acabou por ser mais impactante na

complexidade acústica dos locais analisados, resultante da maior quantidade e diversidade de fontes de antropofonia, em comparação com outros estudos.

Os contribuintes de antropofonia foram observados na faixa de frequência entre 50 a 1000 Hz e tiveram um impacto direto na biofonia, indicando uma relação indiretamente proporcional entre esses dois elementos. Os contribuintes da biofonia foram representados por peixes e crustáceos, e os resultados demonstraram que a antropofonia afetou ambos os grupos, visto que suas presenças e quantitativos foram menos representativos onde a antropofonia foi maior. De maneira similar a outros estudos, os crustáceos foram observados em faixa de frequência de 2500-4500 Hz, que ultrapassa a faixa de frequência da antropofonia (ERBE et al., 2016; PUTLAND et al., 2017; CARRIÇO et al., 2020). Entretanto, é evidenciado que o impacto causado pelo ruído antrópico não é resultado apenas do mascaramento das faixas de frequência, mas também da inibição da emissão de sons por efeitos indiretos. Esses impactos afetam diretamente o comportamento dos crustáceos decápodes de várias maneiras, incluindo o comportamento antipredatório e alterações na busca por alimentos (TIDAU & BRIFFA, 2016).

Nos sítios amostrais, em locais com menor incidência de antropofonia, foi demonstrada uma relação diretamente proporcional entre a diversidade e riqueza da ictiofauna, com os valores de ACI e quantitativo de perfis sonoros de peixes observados. Isso se deve ao fato de que a ausência de interferência da antropofonia nessas áreas permite que as vocalizações dos peixes sejam mais perceptíveis nas paisagens sonoras marinhas (BOLGAN et al., 2018; VIEIRA et al., 2021). Em nosso estudo, os valores de ACI da ictiofauna em certos sítios amostrais chegaram a cair até 50% em momentos de altos níveis de antropofonia. Esses dados também são comparáveis a trabalhos que avaliaram a complexidade acústica dos peixes de áreas costeiras e observaram uma queda de ~ 20% (faixa de frequência de 63-3000 Hz) e ~ 40% (faixa de frequência de 50-2000 Hz) nos valores de ACI (CERAULO, 2018; BITTENCOURT et al., 2020).

Os sítios não abrigados e com a maior diversidade e riqueza da ictiofauna, durante a alta estação, apresentaram menor complexidade acústica e número de perfis sonoros de peixes. Embora tenha sido identificado que esses locais abrigam espécies conhecidas por emitir sons, o quantitativo de perfis sonoros e os valores de ACI, na faixa de frequência observada, foram os mais baixos do estudo. Isso pode ser explicado pela influência predominante da antropofonia, que parece atuar como um fator de mascaramento sonoro nos peixes desses sítios. Assim, mesmo na presença de espécies sonoras, a antropofonia parece inibir a emissão e percepção das

vocalizações entre os peixes (CLARK et al., 2009; BOLGAN et al., 2018; VIEIRA et al., 2021). Esse fenômeno de mascaramento acústico pode prejudicar as atividades comportamentais dos peixes, afetando sua comunicação, capacidade de localização de presas e predadores, bem como causando estresse, perturbação comportamental, dificuldades no recrutamento de larvas nos recifes de corais, alteração de habitats, afastamento de áreas essenciais e prejuízo à orientação migratória (SMITH et al., 2004; SARÀ et al., 2007; BRACCIALI et al., 2012; MENSINGER et al., 2018).

Em uma perspectiva geral, vários fatores atuaram como variáveis influentes na complexidade acústica das paisagens sonoras analisadas. Ao explorar o efeito dos fatores antrópicos e abióticos, a condição de abrigo em relação às atividades humanas demonstrou ser o fator predominante. Esses dados têm implicações significativas para os recifes de coral do Brasil, uma vez que estes estão localizados mais próximos da costa em comparação com outros recifes no mundo (LEÃO et al., 2003; LEÃO, 2010), tornando-os mais expostos aos impactos sonoros decorrentes de atividades humanas. Outros trabalhos também constatarem efeitos da antropofonia em regiões costeiras brasileiras, causando um impacto negativo na complexidade acústica das paisagens marinhas analisadas (DE SOUSA PAIS et al., 2016; BITTENCOURT et al., 2020). Essa configuração também ocorre em regiões fora do Brasil, como as análises realizadas no Golfo de Tribugá, Colômbia, que comparou paisagens acústicas marinhas e identificou níveis elevados de antropofonia nas regiões mais próximas da costa, com uma caracterização de intensas atividades turística, semelhantes ao encontrado em nosso estudo (BAQUERO et al., 2018). Ao comparar nossos resultados com esses estudos, observamos que a distância da costa em relação aos pontos de gravação é similar entre os trabalhos, porém nossos resultados indicaram maiores níveis de impacto da antropofonia.

Essa distinção pode estar relacionada à caracterização dos tipos e estações de turismo dos sítios amostrais do nosso estudo, que são os fatores de maior influência na complexidade acústica, após a condição de abrigo, respectivamente. Nossos resultados mostraram que o turismo intensivo e períodos de alta estação de atividades turísticas afetaram a biofonia significativamente. Em analogia, assim como em nossos resultados, já foi evidenciado que a presença frequente de embarcações em períodos de alta estação de atividades antrópicas, causou interferência acústica em coros de peixes em ~50% do tempo das gravações (BUSCAINO et al., 2016). Da mesma forma, que paisagens sonoras avaliadas sazonalmente, demonstraram que nos períodos que a antropofonia foi mais intensa, os valores de ACI foram aproximadamente

22% menores em comparação com as paisagens que tinham menor incidência de antropofonia (PIERETTI et al., 2017).

Os fatores abióticos também se mostraram influentes nos valores de complexidade acústica, embora em uma menor proporção quando comparada aos fatores antrópicos. Os resultados revelaram uma relação inversamente proporcional perante aos valores de ACI para com a temperatura e profundidade. É importante observar que essa correlação diverge de estudos que indicam que com o aumento da temperatura, há um aumento no número de contribuintes para a biofonia, como observado no estudo realizado com camarões de estalo (*Alpheus angulosus* e *Alpheus estuariensis*), onde o aumento de 1°C na temperatura regional resultou em taxas de produção de estalos aumentando de 15 a 60% (LILLIS & MOONEY, 2022). Essa divergência pode estar relacionada a diversos fatores, entre eles, os organismos que foram estudados podem ser diferentes dos encontrados em nosso estudo. As diferenças na amostragem entre os estudos, na estação do ano e na localização geográfica, bem como questões de adaptação biológica dos próprios organismos em relação a variações de temperatura. Em relação à profundidade, outros trabalhos também mostram uma fraca interação com as variáveis acústicas, ressaltando a necessidade de mais pesquisas para melhor compreensão (CROCKER, 2007; MCWILLIAM & HAWKINS et al., 2013).

Quanto à temporalidade, o impacto da antropofonia tornou-se evidente tanto nos valores de ACI total (50-10000 Hz) quanto nos espectrogramas dos sítios amostrais. Em pesquisas prévias, observou-se um padrão semelhante, porém em janelas temporais distintas ao observado nesse estudo (08:30 h às 14:00 h). Das 06:00 h às 18:00 h (CERAULO et al., 2018), das 08:00 h às 16:00 h (BERTUCCI et al., 2020) e das 06:00 h às 12:00 h (STAATERMAN et al., 2014). Os estudos mencionados apresentam perfis de antropofonia distintos dos observados em nosso trabalho, que apresentou uma configuração voltada para atividades turísticas. Entretanto, ao compararmos, identificamos maiores níveis de impacto da antropofonia em nossas análises, em relação aos trabalhos citados. Durante a alta estação, observou-se uma notável diminuição nos valores do ACI em todos os sítios, coincidindo com o período de intensificação das atividades humanas. Esse fenômeno está diretamente relacionado ao aumento das atividades turísticas e recreativas nesse período, o que resulta em uma maior presença de fontes antropogênicas (PICCIULIN et al., 2021). Além disso, durante a baixa estação, a complexidade acústica manteve-se relativamente constante nos sítios amostrais. Essa estabilidade pode ser atribuída à ausência das atividades turísticas, levando a valores mais consistentes do ACI (BOLGAN et al., 2018).

Os resultados desse estudo oferecem uma visão das paisagens sonoras recifais de pontos turísticos do nordeste brasileiro e suas interações com fatores antrópicos. Eles destacam o impacto significativo das atividades humanas nessas paisagens acústicas, enfatizando a importância de considerar a conservação acústica nos ecossistemas marinhos costeiros. A relação identificada entre a diversidade da ictiofauna e a complexidade acústica evidencia o papel fundamental desempenhado pelos peixes na criação desses ambientes sonoros. Além disso, a influência negativa da poluição sonora em áreas de intenso turismo realça os desafios que enfrentamos na preservação das paisagens acústicas recifais.

Nesse contexto, os gestores da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais e da Área de Proteção Ambiental Guadalupe devem considerar esses dados como uma base fundamental para compreender como os impactos sonoros de origem humana podem ser prejudiciais aos recifes de coral e à toda comunidade marinha. Atualmente, os gestores da APACC já reconhecem a importância desses problemas, incluindo em seu plano de manejo que o uso de aparelhos sonoros no interior das embarcações não pode exceder o nível de ruído produzido pela própria embarcação. Essas unidades de conservação também apresentam Zonas de Preservação onde os ecossistemas existentes permanecem os mais preservados possíveis, o que contribui para a conservação das paisagens acústicas desses ecossistemas. Ainda assim, os resultados desse estudo demonstram que há uma presença significativa de impactos de antropofonia em regiões de atividades turísticas dessas Unidades de Conservação, o que ressalta a necessidade de implementação de medidas adicionais para mitigar esses impactos (CPRH, 2012; BRASIL, 2021).

Entre as medidas mitigatórias que podem ser adotadas, destacam-se o estabelecimento de programas de monitoramento acústico, com o uso de tecnologias de detecção para registrar e analisar os sons subaquáticos, a fim de compreender a extensão e os padrões dos impactos sonoros na área. Também, é fundamental que essas ações de monitoramento também ocorram dentro das Zonas de Preservação, tendo em vista que a propagação dos sons antrópicos produzidos na região costeira e ao redor das áreas “no take” pode estar atingindo as comunidades dos recifes desses locais (BUSCAINO et al., 2016; BUXTON et al., 2017; LA MANNA et al., 2021), os quais frequentemente desempenham um papel crítico na reprodução, alimentação e migração de espécies que utilizam o som para tais atividades comportamentais. Também é necessário a condução de campanhas de conscientização pública sobre os impactos do ruído humano no ambiente marinho e as medidas de conservação, fornecendo informações

sobre áreas sensíveis e regulamentações por meio de sinalizações, folhetos e programas educacionais (AUDOLY et al., 2017; MARKUS & SÁNCHEZ, 2018).

Neste cenário, o financiamento e apoio a pesquisas científicas visando uma compreensão mais aprofundada de como o ruído afeta a vida marinha local são igualmente essenciais. Adicionalmente, a colaboração entre governos, ONGs, indústrias e comunidades locais na elaboração e implementação de estratégias de conservação de paisagens acústicas é de suma importância. Essas medidas têm o potencial de reduzir de forma substancial os impactos sonoros de origem humana nas paisagens acústicas marinhas, preservando assim a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas marinhos dessas unidades de conservação. A cooperação entre diversas partes interessadas e a implementação de monitoramento contínuo são fatores-chave para o êxito dessas iniciativas de proteção contra os impactos da antropofonia sobre as paisagens acústicas marinhas dos ecossistemas recifais (HARDING & COUSINS, 2022; REYMOND et al., 2022).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os resultados revelam uma complexa interação entre os componentes de biofonia e antropofonia nas paisagens acústicas recifais.
- A antropofonia emergiu como um fator crítico na modelagem das paisagens sonoras marinhas, especialmente no sítio de turismo intensivo não abrigado.
- A significativa relação entre a diversidade e riqueza da ictiofauna e a complexidade acústica sublinha o papel central dos peixes na estruturação dos sons marinhos.
- Fatores categóricos, como condição de abrigo, estação e tipo de turismo, desempenharam respectivamente os maiores níveis e impacto sonoro antrópico nas paisagens acústicas observadas.
- Além da antropofonia, fatores abióticos, como a temperatura e a profundidade, também impactam na complexidade acústica.
- O estudo evidencia a importância da preservação das paisagens sonoras marinhas em locais de alta atividade turística, onde a antropofonia é intensa e perturbadora.
- As descobertas destacam a necessidade de considerar a conservação acústica como parte integrante das estratégias de gestão e conservação de ecossistemas marinhos.
- A partir desses resultados, além de aprofundar o entendimento das interações entre os contribuintes sonoros, pesquisas futuras podem explorar mecanismos de mitigação da antropofonia e avaliar sua eficácia.

REFERÊNCIAS

- AUDOLY, Christian et al. Mitigation of underwater radiated noise related to shipping and its impact on marine life: A practical approach developed in the scope of AQUO project. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 42, n. 2, p. 373-387, 2017.
- ACOUSTICS, Wildlife. Kaleidoscope Pro Analysis Software. **Wildlife Acoustics, Inc.: Maynard**, MA, USA, 2019.
- BAQUERO, Maria Paula Rey et al. Comparison of Two Soundscapes. **Oceanography**, v. 34, n. 4, p. 62-65, 2021.
- BARTON, Kamil. MuMIn: multi-model inference. R package version 0.13. 17. **[http://CRAN.R-project.org/package= MuMIn](http://CRAN.R-project.org/package=MuMIn)**, 2010.
- BERTUCCI, Frédéric et al. A preliminary acoustic evaluation of three sites in the lagoon of Bora Bora, French Polynesia. **Environmental Biology of Fishes**, v. 103, p. 891-902, 2020.
- BERTUCCI, Frédéric et al. Acoustic indices provide information on the status of coral reefs: an example from Moorea Island in the South Pacific. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 33326, 2016.
- BERTUCCI, Frédéric et al. First highlight of sound production in the glassy sweeper Pempheris schomburgkii (Pempheridae). **Marine Biology**, v. 168, n. 3, p. 32, 2021.
- BITTENCOURT, L. et al. Anthropogenic noise influences on marine soundscape variability across coastal areas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111648, 2020.
- BOLGAN, Marta et al. Acoustic Complexity of vocal fish communities: a field and controlled validation. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 10559, 2018.
- BRACCIALI, Claudia et al. Effects of nautical traffic and noise on foraging patterns of Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*). **PloS one**, v. 7, n. 7, p. e40582, 2012.
- BRASIL. Instituto Chico Mendes De Conservação e Biodiversidade. **Plano de manejo da área de proteção ambiental costa dos corais**. Brasília, 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Brasília: MMA, 2011. 76 p.

- BUSCAINO, Giuseppa et al. Temporal patterns in the soundscape of the shallow waters of a Mediterranean marine protected area. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 34230, 2016.
- BUXTON, Rachel T. et al. Noise pollution is pervasive in US protected areas. **Science**, v. 356, n. 6337, p. 531-533, 2017.
- CARRIÇO, Rita et al. The Use of Soundscapes to Monitor Fish Communities: Meaningful Graphical Representations Differ with Acoustic Environment. In: **Acoustics**. MDPI, 2020. p. 382-398.
- CASTRO, Rebeca Oliveira; DA SILVA, Melanie Lopes; DE ARAÚJO, Fábio Vieira. Review on microplastic studies in Brazilian aquatic ecosystems. **Ocean & Coastal Management**, v. 165, p. 385-400, 2018.
- CERAULO, M. et al. Acoustic comparison of a patchy Mediterranean shallow water seascape: Posidonia oceanica meadow and sandy bottom habitats. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 1030-1043, 2018.
- CHARIF, R. A.; WAACK, A. M.; STRICKMAN, L. M. Raven Pro 1.4 user's manual. **Cornell Lab of Ornithology**, Ithaca, NY, v. 25506974, 2010.
- CLARK, Christopher W. et al. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. **Marine Ecology Progress Series**, v. 395, p. 201-222, 2009.
- CROCKER, Malcolm J. (Ed.). **Handbook of noise and vibration control**. John Wiley & Sons, 2007.
- CPRH. **Regimento Interno do Conselho Gestor da APAG**. 2012. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Regimento%20%20APA%20GUADALUP E%20%2007_11_12;500501;20160728.pdf. Acesso em: 23 jul. 2023.
- DE JONG, Karen et al. Predicting the effects of anthropogenic noise on fish reproduction. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 30, p. 245-268, 2020.
- DE SOUSA PAIS, Fábio et al. Anthropogenic noise and Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Brazil: ecological and conservation concerns. **Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America: Technological Innovation and Conservation**, p. 321-366, 2018.
- DOBRIN, M. B. Measurements of underwater noise produced by marine life. **Science**, v. 105, n. 2714, p. 19-23, 1947.

DUARTE, Carlos M. et al. The soundscape of the Anthropocene ocean. **Science**, v. 371, n. 6529, p. eaba4658, 2021.

ERBE, Christine et al. The underwater soundscape around Australia. **Proceedings of Acoustics** 2016, v. 1, p. 8-17, 2016.

FERRARI, Maud CO et al. School is out on noisy reefs: the effect of boat noise on predator learning and survival of juvenile coral reef fishes. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, n. 1871, p. 20180033, 2018.

FERREIRA, Beatrice P.; MAIDA, Mauro. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil**. 2006.

FINE, Michael L.; PARMENTIER, Eric. Mechanisms of fish sound production. **Sound communication in fishes**, p. 77-126, 2015.

FISH, Marie Poland; MOWBRAY, William H. **Sounds of western North Atlantic fishes: a reference file of biological underwater sounds**. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1970.

GALLARDO, Santiago Sandoval et al. 150 years of anthropogenic impact on coastal and ocean ecosystems in Brazil revealed by historical newspapers. **Ocean & Coastal Management**, v. 209, p. 105662, 2021.

GREEN, John M. Studies on the swim bladders of *Eucinostomus gula* and *E. argenteus* (Pisces: Gerridae). **Bulletin of Marine Science**, v. 21, n. 2, p. 567-590, 1971.

GULLETT, Warwick et al. Tackling anthropogenic underwater noise through the Convention on Biological Diversity: Progress and future development. **Marine Policy**, v. 146, p. 105293, 2022.

HARDING, Simon.; COUSINS Neil. Review of the Impacts of Anthropogenic Underwater Noise on Marine Biodiversity and Approaches to Manage and Mitigate them. **Technical Series No. 99**. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, 145 pages, 2022.

HASTINGS, Philip A.; ŠIROVIĆ, Ana. Soundscapes offer unique opportunities for studies of fish communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 19, p. 5866-5867, 2015.

HAYER, Samara M. et al. Comparing the underwater soundscapes of four US national parks and marine sanctuaries. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 500, 2019.

HERMANNSEN, Line et al. Recreational vessels without Automatic Identification System (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2019.

HILL, Mark O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, v. 54, n. 2, p. 427-432, 1973.

JOST, Lou. Entropy and diversity. **Oikos**, v. 113, n. 2, p. 363-375, 2006.

LA MANNA, Gabriella et al. Marine soundscape and fish biophony of a Mediterranean marine protected area. **PeerJ**, v. 9, p. e12551, 2021.

LEÃO, Z. M. A. N. et al. Status of Eastern Brazilian coral reefs in time of climate changes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 224-235, 2010.

LEÃO, Zelinda MAN; KIKUCHI, Ruy KP; TESTA, Viviane. Corals and coral reefs of Brazil. In: Latin American coral reefs. **Elsevier Science**, 2003. p. 9-52.

LEDUC, Antoine O. et al. Land-based noise pollution impairs reef fish behavior: a case study with a Brazilian carnival. **Biological Conservation**, v. 253, p. 108910, 2021.

LILLIS, Ashlee; EGGLESTON, David B.; BOHNENSTIEHL, DelWayne R. Soundscape variation from a larval perspective: the case for habitat-associated sound as a settlement cue for weakly swimming estuarine larvae. **Marine Ecology Progress Series**, v. 509, p. 57-70, 2014.

LILLIS, Ashlee; MOONEY, T. Aran. Sounds of a changing sea: Temperature drives acoustic output by dominant biological sound-producers in shallow water habitats. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 960881, 2022.

LIN, Tzu-Hao et al. Using Soundscapes to Assess Changes in Coral Reef Social-Ecological Systems. **Oceanography**, v. 36, n. 1, p. 20-27, 2023.

LOBEL, Phillip S.; KAATZ, Ingrid M.; RICE, Aaron N. Acoustical behavior of coral reef fishes. **Reproduction and sexuality in marine fishes: patterns and processes**, p. 307-386, 2010.

MAIDA, Mauro; FERREIRA, Beatrice Padovani. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brazil, CEP 50739-540. In: **Proc 8th Int Coral Reef Sym.** 1997. p. 263-274.

MARKUS, Till; SÁNCHEZ, Pedro Pablo Silva. Managing and regulating underwater noise pollution. **Handbook on marine environment protection: Science, impacts and sustainable management**, p. 971-995, 2018.

MCWILLIAM, Jamie N.; HAWKINS, Anthony D. A comparison of inshore marine soundscapes. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 446, p. 166-176, 2013.

MENSINGER, Allen F.; PUTLAND, Rosalyn L.; RADFORD, Craig A. The effect of motorboat sound on Australian snapper *Pagrus auratus* inside and outside a marine reserve. **Ecology and evolution**, v. 8, n. 13, p. 6438-6448, 2018.

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

MERCHANT, Nathan D. et al. Spectral probability density as a tool for ambient noise analysis. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 133, n. 4, p. EL262-EL267, 2013.

MOJICA, Alfredo Leandro Borie et al. **Utilização do método acústico passivo para avaliar sons de peixes marinhos e continentais em ecossistemas tropicais brasileiros**. 2018.

PAVAN, Gianni. Fundamentals of soundscape conservation. **Ecoacoustics: The ecological role of sounds**, p. 235-258, 2017.

PICCIULIN, Marta et al. A fish and dolphin biophony in the boat noise-dominated soundscape of the Cres-Lošinj archipelago (Croatia). **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 10, n. 2, p. 300, 2022.

PICCIULIN, Marta et al. Characterization of the underwater noise produced by recreational and small fishing boats (< 14 m) in the shallow-water of the Cres-Lošinj Natura 2000 SCI. **Marine Pollution Bulletin**, v. 183, p. 114050, 2021.

PICCIULIN, Marta et al. Passive acoustic monitoring of *Sciaena umbra* on rocky habitats in the Venetian littoral zone. **Fisheries research**, v. 145, p. 76-81, 2013.

PIERETTI, N. et al. Marine soundscape as an additional biodiversity monitoring tool: A case study from the Adriatic Sea (Mediterranean Sea). **Ecological Indicators**, v. 83, p. 13-20, 2017.

PIERETTI, Nadia; FARINA, Almo; MORRI, Davide. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). **Ecological Indicators**, v. 11, n. 3, p. 868-873, 2011.

PIJANOWSKI, Bryan C. et al. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape ecology**, v. 26, p. 1213-1232, 2011.

PUTLAND, R. L.; CONSTANTINE, R.; RADFORD, C. A. Exploring spatial and temporal trends in the soundscape of an ecologically significant embayment. **Scientific reports**, 7(1), 1-12, 2017.

R CORE TEAM, A. et al. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. 2022.

RADFORD, Andrew N.; KERRIDGE, Emma; SIMPSON, Stephen D. Acoustic communication in a noisy world: can fish compete with anthropogenic noise? **Behavioral Ecology**, v. 25, n. 5, p. 1022-1030, 2014.

REYMOND, David et al. The bioacoustic proof of the effects of raising awareness of noise pollution among visitors to the Port Cros National Park using binding communication. **arXiv preprint arXiv:2203.16899**, 2022.

ROUNTREE, Rodney A. et al. Listening to fish: applications of passive acoustics to fisheries science. **Fisheries**, v. 31, n. 9, p. 433-446, 2006.

SARÀ, G. et al. Effect of boat noise on the behaviour of bluefin tuna *Thunnus thynnus* in the Mediterranean Sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 331, p. 243-253, 2007.

SMITH, Michael E.; KANE, Andrew S.; POPPER, Arthur N. Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (*Carassius auratus*). **Journal of Experimental Biology**, v. 207, n. 3, p. 427-435, 2004.

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

STAATERMAN, Erica et al. Celestial patterns in marine soundscapes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 508, p. 17-32, 2014.

TAVOLGA, W. N., et al. **Hearing and Sound Communication in Fishes**. Springer-Verlag New York Inc, 1981.

TIDAU, Svenja; BRIFFA, Mark. Review on behavioral impacts of aquatic noise on crustaceans. In: **Proceedings of Meetings on Acoustics**. AIP Publishing, 2016.

VIEIRA, Manuel; FONSECA, Paulo J.; AMORIM, M. Clara P. Fish sounds and boat noise are prominent soundscape contributors in an urban European estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 172, p. 112845, 2021.

WILLIAMS, Robert et al. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. **Ocean & Coastal Management**, v. 115, p. 17-24, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Espécies e indivíduos de peixes recifais registradas nos sítios amostrais analisados. Os caracteres com asterisco são as espécies e indivíduos conhecidos por emissão sonora.

Espécies	Sítios amostrais				Referências
	Turismo intensivo Não abrigado	Turismo intensivo abrigado	Turismo sazonal Não abrigado	Turismo sazonal abrigado	
<i>Abudefduf saxatilis</i> *	1028	53	50	44	Fish & Mowbray, 1970
<i>Acanthurus bahianus</i> *	17	50	26	24	Fish & Mowbray, 1970
<i>Acanthurus coeruleus</i> *	22	7	7	10	Fish & Mowbray, 1970
<i>Anisotremus moricandi</i> *	0	1	0	1	Fish & Mowbray, 1970
<i>Anisotremus virginicus</i> *	0	0	0	4	Fish & Mowbray, 1970
<i>Atherinella brasiliensis</i>	2	0	0	0	-
<i>Chaetodon striatus</i> *	1	1	7	6	Fish & Mowbray, 1970
<i>Coryphopterus glaucofraenum</i>	6	0	0	7	-
<i>Epinephelus adscensionis</i> *	1	2	2	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Eucinostomus spp.</i> *	21	0	0	0	Green, 1971
<i>Haemulon aurolineatum</i> *	49	80	0	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Haemulon parra</i> *	41	0	5	5	Fish & Mowbray, 1970
<i>Haemulon plumieri</i> *	0	7	0	2	Fish & Mowbray, 1970
<i>Haemulon squamipinna</i> *	1	26	0	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Halichoeres brasiliensis</i>	0	1	2	4	-
<i>Halichoeres poeyi</i>	0	42	21	22	-
<i>Holocentrus adscensionis</i> *	14	3	1	1	Fish & Mowbray, 1970
<i>Kyphosus incisor</i> *	1	0	0	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Labrisomus nuchipinnis</i>	1	0	2	1	-

<i>Lutjanus alexandrei</i> *	9	0	1	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Lutjanus analis</i> *	0	0	0	3	Fish & Mowbray, 1970
<i>Mugil curema</i>	1	0	0	0	-
<i>Mulloidichthys martini-cus</i>	0	0	6	1	-
<i>Myripristis jacobus</i> *	1	0	0	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Oligoplites saliens</i> *	0	3	0	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Pempheris schom-burgkii</i> *	1	0	0	0	Bertucci et al., 2021
<i>Pomacanthus paru</i> *	4	0	0	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Pseudupeneus macula-tus</i> *	0	7	2	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Scarus trispinosus</i> *	0	0	1	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Scarus zenlidae</i> *	0	1	11	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Sparisoma axillare</i> *	50	50	62	29	Fish & Mowbray, 1970
<i>Sparisoma frondosum</i> *	0	0	1	1	Fish & Mowbray, 1970
<i>Sphoeroides testudineus</i> *	11	0	0	0	Fish & Mowbray, 1970
<i>Stegastes fuscus</i> *	74	50	68	97	Dobrin, 1947
<i>Stegastes variabilis</i> *	14	2	5	8	Tavolga et al., 1981
<i>Synodus intermedius</i>	0	0	1	0	-
Total de spp.	24	18	20	19	-
Total de spp. sonoras *	20	16	16	14	-
Total de ind.	1370	386	281	270	-
Total - Ind. Sonoros*	1360	343	249	235	-

APÊNDICE B – Classificação decrescente da influência das variáveis selecionadas pelo Modelo Linear Generalizado, em relação à Complexidade Acústica dos sítios amostrais analisados.

Condição de abrigo	Estação de turismo	Profundidade	Tipo de turismo	Temperatura	DF	LogLik	AICc	Delta
+	+	+	+	+	7	-8,555.69	17,125.46	0.00
+	+	+	+	+	6	-8,567.14	17,146.33	20.87
+	+	+	+		6	-8,612.97	17,237.98	112.53
+	+	+	+		5	-8,628.87	17,267.78	142.32
+	+	+			5	-8,858.14	17,726.31	600.86
+	+	+		+	6	-8,857.99	17,728.03	602.57

APÊNDICE C – Valores não padronizados dos “estimates” de cada preditor do Modelo Linear Generalizado, em relação à Complexidade Acústica dos 4 sítios amostrais analisados.

Preditor	Estimate	Erro padrão	p
Tipo de turismo - Sazonal	75.94	2.81	< 0.0001
Condição de abrigo - Não abrigado	-192.06	2.72	< 0.0001
Estação - Baixa	172.42	3.37	< 0.0001
Temperatura	-15.36	1.41	< 0.0001
Profundidade	-12.51	2.61	< 0.0001