

Silva, C. L. Distribuição das assembleias de peixes pelágicos e demersais, por meio de prospecção acústica multifrequencial e vídeo, do arquipélago de Fernando de Noronha.

1



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

DISTRIBUIÇÃO DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES PELÁGICOS E DEMERSAIS, POR
MEIO DE PROSPECÇÃO ACÚSTICA MULTIFREQUENCIAL E VÍDEO, DO
ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA.

Cristiano Lopes da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Mestre.

Prof.(a) Dr.(a) Arnaud Bertrand
Orientador

Prof.(a) Dr.(a) Paulo Travassos
Co-orientador

Recife, Outubro/2023

Ficha catalográfica

Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central - UFRPE

Cristiano Lopes da Silva
Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifrequencial e vídeo / Cristiano Lopes da Silva Silva.
- 2023

50 folhas.: il.

Orientador: Arnaud Bertrand
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura). Departamento de Pesca e Aquicultura Recife, PE, 2023.
Inclui bibliografia

CDD [Nº]

1. Prospecção de vídeos. 2. peixes demersais. 3. nível trófico 4. Acústica 5. Substratos
- I. Arnaud Bertrand
- II. Distribuição das assembleias de peixes pelágicos e demersais, por meio de prospecção acústica multifrequencial e vídeo, do arquipélago de Fernando de Noronha.

Silva, C. L. Distribuição das assembleias de peixes pelágicos e demersais, por meio de prospecção acústica multifrequencial e vídeo, do arquipélago de Fernando de Noronha.

3

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifrequencial e vídeo.

Cristiano Lopes da Silva

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre/doutor em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em 23/10/2023 pela seguinte Banca Examinadora.



Prof. Dr. Dra. Arnaud Bertrand

Orientador

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo Guilherme Vasconcelos de Oliveira

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dra. Caroline Vieira Feitosa

Laboratório de Dinâmica Populacional e Ecologia de Peixes Marinhos
Universidade Federal do Ceará

Silva, C. L. Distribuição das assembleias de peixes pelágicos e demersais, por meio de prospecção acústica multifrequencial e vídeo, do arquipélago de Fernando de Noronha.

4

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família como gratidão aos mais velhos pelo incentivo e apoio aos estudos desde sempre e aos mais novos, que sirva de inspiração.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a minha família que sempre me deu suporte e incentivo para os estudos. Em especial a dona Luzinete, minha vó que desde cedo lutou pela minha educação, pelo suporte dado pela minha tia para minha formação e finalmente para minha mãe que sempre está comigo nos momentos mais difíceis.

Também gostaria de agradecer à minha esposa por ser minha fonte de inspiração e pelos conselhos na área, assim como importantes contribuições para melhoria do meu trabalho e a meu filho pelos momentos de lazer nessa jornada. Ao meu orientador Arnaud Bertrand por suas contribuições e por acreditar na minha capacidade mesmo nos momentos de dificuldade. Também tenho agradecimentos especiais a Paulo Travassos e a todos os docentes que participaram da minha formação, e ao Lemar e todos que passaram por lá durante meu período de formação e que puderam contribuir com meu trabalho. Não posso deixar de agradecer a Julie Salvetat por suas valiosas contribuições na área da pesquisa e por sugerir mudanças fundamentais para melhoria do meu trabalho, assim como suporte nas análises. Por fim, gostaria de agradecer a Capes pelo suporte a pesquisa através do financiamento de uma bolsa de nível de mestrado, que foi fundamental para execução do projeto.

Resumo

Este estudo apresenta uma abordagem que complementa as tendências previamente identificadas sobre a distribuição da biomassa acústica de peixes demersais e pelágicos em Fernando de Noronha. Utilizando vídeos subaquáticos como principal método de análise, os padrões de abundância relativa (T_{max}), biomassa acústica de peixes e não peixes (algas, gelatinosos e crustáceos) foram avaliados como indicadores de biomassa, riqueza e níveis tróficos de assembleias demersais e pelágicas. Para tanto, foram considerados estrato de profundidade, Área Marinha Protegida (AMP) que inclui o Parque Marinho Nacional (PARNAMAR) e a Zona de Pesca Sustentável (ZPS) e fatores oceanográficos/abióticos (e.g. ventos, correntes e complexidade do substrato). Os resultados atestam que a complexidade do substrato e a profundidade promovem uma maior abundância e riqueza de espécies, onde as áreas mais rasas (0-20 metros) têm destaque sobre a região eufótica inferior (20-40 metros). Entretanto, vale salientar a limitação do vídeo em detectar peixes em áreas mais profundas. A exposição ao vento também é um fator positivo sobre a abundância e diversidade de peixes demersais, demonstrando o impacto do "efeito ilha" na distribuição das espécies. A pesquisa também destaca a relevância da Área Marinha Protegida (AMP) em Fernando de Noronha, tanto para a conservação da biodiversidade quanto para a sustentabilidade da atividade pesqueira. No entanto, a análise do nível trófico revelou a representatividade de níveis mais elevados fora da AMP, principalmente devido à abundância da espécie *Melichthys niger*. A presença de substratos complexos e a menor competição trófica podem explicar essa observação. Portanto, o estudo fornece fundamentos e inéditos para o planejamento de Áreas Marinhas Protegidas, bem como a necessidade de incluir a distribuição espacial das espécies de níveis tróficos superiores na conservação marinha.

Palavras-chave: Prospecção de vídeos, peixes demersais, nível trófico, acústica, substratos.

Abstract

This study presents an approach that complements previously identified trends in the distribution of the acoustic biomass of demersal and pelagic fish in Fernando de Noronha. Using underwater videos as the main method of analysis, the patterns of relative abundance (Tmaxn), acoustic biomass of fish and non-fish (algae, gelatinous and crustaceans) were evaluated as indicators of biomass, richness and trophic levels of demersal and pelagic assemblages. To this end, depth stratum, Marine Protected Area (MPA) which includes the National Marine Park (PARNAMAR) and the Sustainable Fishing Zone (ZPS) and oceanographic/abiotic factors (e.g. winds, currents and substrate complexity) were considered. The results show that substrate complexity and depth promote greater abundance and species richness, where the shallower areas (0-20 meters) stand out over the lower euphotic region (20-40 meters). However, it is worth noting the limitation of video in detecting fish in deeper areas. Exposure to wind is also a positive factor in the abundance and diversity of demersal fish, demonstrating the impact of the "island effect" on species distribution. The research also highlights the importance of the Marine Protected Area (MPA) in Fernando de Noronha, both for biodiversity conservation and for the sustainability of fishing activity. However, the trophic level analysis revealed the representativeness of higher levels outside the MPA, mainly due to the abundance of the species *Melichthys niger*. The presence of complex substrates and less trophic competition may explain this observation. Therefore, the study provides fundamental and unprecedented insights for the planning of Marine Protected Areas, as well as the need to include the spatial distribution of higher trophic level species in marine conservation.

Keywords: Video prospecting, demersal fish, trophic level, acoustics, substrates.

Lista de figuras

Figure 1. Área de estudo e limites das diversas zonas de proteção, o quadro mostra os limites entre as regiões sotavento e barlavento do arquipélago.....	17
Figure 2. Transectos das campanhas Farofa 1 (pontos vermelhos), 2 (pontos verdes) e 3 (pontos azuis) ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha.....	19
Figure 3. Equipamentos de coleta utilizados durante a campanha. A) transdutores, b) vídeo rebocado com uma paravana (downrigger)	19
Figure 4. Média da distribuição de abundância de peixes observados por vídeo com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estratos de profundidade (BottomDepthFactor)	26
Figure 5. Média da distribuição da biomassa acústica de peixes com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundidade (BottomDepthFactor).....	28
Figure 6. Média da biomassa acústica de não peixes com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundidade (BottomDepthFactor).....	29
Figure 7. Média da riqueza com erro padrão indicado por barras pretas para a) Exposição aos ventos e correntes (windExp), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (catsed), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundidade (depth).	30
Figure 8. Nível trófico com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundi.	31
Figure 9. Nível trófico sem a espécie <i>M. niger</i> com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundi.....	49

Página

Lista de tabelas

Tabela 1. Tabela de sedimentos com descrição e separada por categorias (ver Salvetat et al., 2022).....	23
Tabela 2. Nível Trófico, estatus de conservação, guilda trófica e TmaxN das espécies identificadas em Fernando de Noronha, Brasil	24

Sumário

Dedicatória.....	4
Agradecimentos	5
Resumo	6
Abstract	7
Lista de figuras.....	8
Lista de tabelas.....	8
1. INTRODUÇÃO	10
2. Distribuição de peixes em ilha do atlântico tropical do nordeste brasileiro através da utilização de técnicas de vídeo e acústica	14
CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS.....	38
ANEXOS	49

1. INTRODUÇÃO

Contextualização da pesquisa

Os ecossistemas costeiros e oceânicos desempenham um papel de vital importância para a sociedade, oferecendo uma ampla gama de benefícios, incluindo a regulação do clima, o tratamento de resíduos tóxicos e a provisão de alimentos, medicamentos e empregos em indústrias como a pesca, aquicultura e turismo (Barbier, 2015; Barbier et al., 2011; Costanza et al., 2014; Sutton-Grier & Sandifer, 2019). No entanto, com mais de 60% da população mundial vivendo a menos de 60 km do litoral, os ecossistemas marinhos costeiros enfrentam desafios significativos, tornando imperativo o esforço para o uso racional desses ambientes (D.LAFFOLEY;BAXTER, 2016; ST. JOHN et al., 2016; WORM et al., 2006). De fato, a perda e degradação de habitats costeiros e marinhos, vem reduzindo a biodiversidade,ameaçando os serviços ecossistêmicos e diminuindo a resiliência do sistema face aos impactos locais e globais (Duarte et al., 2015; Pendleton et al., 2012). A deterioração dos ecossistemas marinhos é atribuída a uma variedade de impactos antropogênicos, tais como práticas de pesca destrutivas, sobrepesca, aquicultura, disseminação de espécies invasoras, eutrofização, exploração de petróleo, poluição e gás em larga escala (Crain et al., 2009; Tiano et al., 2019). Essas mudanças globais levantam questões cruciais sobre como a sociedade lidará com a escassez dos recursos marinhos, dos quais dependemos (Moore,2016).

O Brasil, com sua extensa costa de 7.400 quilômetros, abriga a Amazônia Azul, um vasto espaço marítimo de 5,7 milhões de quilômetros quadrados, de importância estratégica para o país. A exploração sustentável dos ecossistemas costeiros, responsáveis por 19% do PIB nacional, é um desafio central (da Silva Carneiro, 2022), pois desempenha um papel crucial na soberania do Brasil, apoiando atividades como navegação, pesca, turismo e produção de energia renovável, além de ser fundamental paraa extração de petróleo e gás (Comando do 8o Distrito Naval, 2019). Na conferência da ONU para os oceanos em 2017, o Brasil se comprometeu a implementar oPlano de Estratégia Marinha (PEM) até 2030, contribuindo para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 14, que visa conservar e portanto, usar de forma sustentável os

oceanos e recursos marinhos (de Seixas Carvalho & Coelho, 2021). O PEM, começará pela região Sul devido à disponibilidade de dados (Agência Marinha de Notícias, 2022). No entanto, para sua implementação nacional é fundamental compilar dados em outras regiões. Este é o caso da região Nordeste que tem vasto litoral associado a uma diversidade de habitats, tais como recifes de corais, estuários e manguezais e ilhas oceânicas, que detem uma rica biodiversidade, inclusive de espécies endêmicas. Além disso, as ilhas oceânicas, como o Arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas têm grande importância biogeográfica, (Cardoso De Melo et al., 2020; Lessa, R. P. et al., 2009).

As ilhas do Arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas abrigam ecossistemas marinhos recifais únicos e são conhecidas por ser hotspots de biodiversidade com alto grau de endemismo (Almeida, 2000; Krajewski & Floeter, 2011a), sendo consideradas Patrimônio Mundial Natural pela Unesco. Assim, estas ilhas são áreas prioritárias para conservação por constituir verdadeiros oásis, fornecendo uma ampla variedade de serviços ecossistêmicos, especialmente por agregarem recursos pesqueiros de importância social e econômica (Martins et al., 2021). No entanto, estes recursos estão enfrentando crescentes ameaças devido à distúrbios antropogênicos tais como e a perda e degradação dos habitats, introdução de espécies invasoras, poluição, e mudanças climáticas (e.g. aumento do nível do oceano, elevação das temperaturas, desoxigenação, acidificação e alteração na concentração de nutrientes) (Lam et al., 2020; de Oliveira Soares, M. 2018). Embora o arquipélago de Fernando de Noronha seja conhecido por sua biodiversidade marinha, sua ecologia ainda é pouco conhecida, devido ao isolamento geográfico e pouco recurso financeiro para financiar pesquisas in situ (Eduardo et al., 2023). Portanto, para propor estratégias eficazes de conservação para essa ilha, é crucial compreender a estrutura, e distribuição das espécies nesses ecossistemas insulares (Jaisankar & Sivaperuman, 2018).

Estudos em áreas costeiras e oceânicas enfrentam vários desafios. A logística para a realização de pesquisas em ilhas é um desafio, devido à localização remota e o difícil acesso. Além disso, áreas com ecossistemas únicos e habitats complexos exigem uma abordagem multidisciplinar (Jones, D. et al., 2012). Para incrementar e melhor compreender esses ecossistemas, é fundamental implementar programas de monitoramento de longo prazo, promover práticas de conservação e manejo, assim como acoplar o conhecimento científico ao local tradicional (LEK) e desenvolver atividades de envolvimento colaborativo de educação ambiental. Tais medidas configuram-se como alternativas para favorecer a conservação desses ecossistemas (Thornton & Scheer, 2012).

Contudo, estudos recentes realizados por Salvetat et al., 2022 trouxeram informações importantes sobre a biodiversidade e distribuição das assembleias de peixes em Fernando de Noronha, o que nos permitiu traçar as seguintes hipóteses: (I) A riqueza específica está maior do lado exposto da ilha. (II) Os predadores são mais abundantes no lado exposto da ilha, logo o nível trófico está maior deste lado. Nesse contexto, o presente trabalho se baseia no uso de dados de três campanhas realizadas nos anos de 2017, 2018 e 2019 em Fernando de Noronha, visando contribuir sobre distribuição, habitats e aspectos tróficos dos peixes por meio de acústica multifrequencial e vídeos.

1. OBJETIVO

1.1- OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é de caracterizar os habitats bentônicos e pelágicos do arquipélago de Fernando de Noronha para determinar a distribuição dos peixes de acordo com seus hábitos alimentares através de perfis de vídeo e dados acústicos de multifrequência.

1.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Associar a distribuição das espécies observadas com as características dos habitats (tipos de substratos, profundidade, status de proteção).
- Categorizar as espécies de acordo com seus os hábitos alimentares disponíveis na literatura.

1.3- HIPÓTESE

O trabalho se baseia nas seguintes hipóteses: (i) a riqueza específica é maior no lado exposto da ilha; e (ii) os predadores são mais abundantes no lado exposto da ilha, logo o nível trófico está maior deste lado.

2. Distribuição de peixes em ilha do atlântico tropical do nordeste brasileiro através da utilização de técnicas de vídeo e acústica

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, tem sido observada uma diminuição de praticamente todos os estoques pesqueiros explorados, causada pelo excesso de esforço da pesca e pelo uso de técnicas destrutivas para captura (Garcia & Rosenberg, 2010), prejudicando a produtividade dos diferentes ecossistemas marinhos. Além disso, esses ambientes são impactos por outros fatores que podem atuar em sinergia com a pesca, tais como perda de habitat, introdução de espécies exóticas e mudanças climáticas. Como estratégia de mitigação, a pesca deve ser gerida com abordagem ecossistêmica e para tanto, faz-se necessário um profundo conhecimento dos ecossistemas. Em particular, é fundamental identificar e quantificar os recursos e habitats para compreender a interação entre os ecossistemas e os diversos processos que influenciam a distribuição das espécies (Anderson et al., 2008). Zonas costeiras rasas representam um dos ambientes mais produtivos do oceano, sendo considerados mosaicos complexos de habitats bentônicos (Eyre & Maher, 2011). Mapear esses habitats é fundamental para protegê-los dos impactos antropogênicos (Jackson et al., 2001). Assim, é necessária uma caracterização que abranja a ecologia trófica, habitat e distribuição, permitindo que as espécies sejam classificadas por grupo funcional, como objetivo de estudar o papel que as espécies desempenham nas comunidades (Villéger et al., 2017).

A estruturação das comunidades de peixes é influenciada pela complexidade do substrato e pelos tipos de habitats existentes (Eduardo et al., 2018; Salvetat et al., 2022). A complexidade do substrato influencia na quantidade de refúgio e fonte de alimento para a maioria das espécies que habitam dado ecossistema (Coelho et al., 2012).

Para estudar as comunidades de peixes, utiliza-se classicamente a observação direta *in situ* como o censo visual subaquático (UVC) (Bohnsack & Bannerot, 1986) ou monitoramentos de desembarques pesqueiros (Kavanagh & Olney, 2006a). Além disso, pode ser empregada a técnica de foto quadrat, como utilizada por (Krajewski & Floeter, 2011b) ou (Matheus et al., 2019) para estudo dos substratos. No entanto, estes métodos têm muitas limitações, tais como escala espacial limitada, tempo subaquático e

profundidade máximas de trabalho associada ao mergulho sem descompressão, restrição seletivas devido à particularidade da técnica, ou restrições de amostragem, tais como a complexidade topográfica que dificulta a amostragem de arrasto e o alto custo (Harvey et al., 2007). A técnica de vídeo garante uma imagem detalhada dos habitats e zonas estudadas (Cappo et al., 2003; Denny & Babcock, 2004; Westera et al., 2003), apesar de suas limitações de tempo de filmagem e profundidade.

Técnicas acústicas ativas envolvem a produção de sinais sonoros e receptores de organismos e da coluna de água, oferecendo o benefício de alta resolução espacial e temporal (Benoit-Bird & Lawson, 2016). Em contraste com outros métodos descritos anteriormente, os acústicos ativos permitem uma visão 3D dos componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas marinhos, bem como das suas interações (Bertrand et al., 2014, 2018; Salvetat et al., 2022). Esta ferramenta também permite a classificação de diferentes tipos de organismos segundo suas características a diferentes frequências e possibilita a caracterização do fundo do mar (rugosidade, tipo de sedimento, tamanho de grão, porosidade, densidade, etc.). Desta forma, a acústica submarina constitui a única ferramenta que permite uma amostragem simultânea, em várias escalas espaço-temporal, de informação qualitativa e quantitativa, desde o zooplâncton até os predadores de topo (Bertrand et al., 2003, 2014), tornando-a um método chave para a abordagem ecossistêmica.

Portanto, a identificação dos organismos observados por acústica envolve o uso de métodos complementares. Tradicionalmente, são utilizadas diferentes artes de pesca, principalmente redes de arrasto pelágico e de fundo. Estes métodos não podem ser aplicados em áreas protegidas, nem permitem a obtenção de informações completas sobre as comunidades. Por outro lado, o uso de perfis de vídeo (Stereo-Video), vídeos de arrasto (Towed Video) e vídeos operados remotamente (ROV) usados simultaneamente com a acústica permite remediar essas desvantagens, minimizando também os vieses introduzidos pela presença de mergulhadores autônomos (Mallet e Pelletier 2014; Westera et al., 2003; Willis & Babcock, 2000), enquanto são eficazes para observação simultânea de habitats e organismos marinhos.

A região oceânica do Nordeste do Brasil (Atlântico Tropical) caracteriza-se por uma baixa produtividade e uma alta biodiversidade (Miloslavich et al., 2011). Muitas espécies nessa região são importantes para a pesca artesanal (e.g.), sendo regularmente

capturadas na plataforma continental e em torno de ilhas (Amaral et al., 2006). No Atlântico Tropical, o Arquipélago de Fernando de Noronha (FN) desempenha um papel fundamental como área de reprodução, dispersão, além de propiciar áreas disponíveis para a colonização de organismos marinhos, com uma importância única para seu entorno, gerando, atraindo e agregando vida marinha, entre eles importantes recursos pesqueiros (Travassos et al., 1999). Este arquipélago com alta biodiversidade é protegido por uma série de instrumentos jurídicos, incluindo o Patrimônio Mundial pela UNESCO e reconhecido como uma EBSA ("Ecologically or Biologically Significant Areas") (Casier & Douvère, 2016). Além disso, esta região oceânica está inserida em uma Área de Proteção Ambiental (APA) de Fernando de Noronha - Atol das Rocas - São Pedro e São Paulo) e incluída como unidade de conservação (UC) sob gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade (ICMBio.) e um Parque Nacional Marinho (PARNAMAR). Apesar desse parque existir há 35 anos, existe uma demanda científica na caracterização da estrutura e dinâmica das comunidades bentônicas locais (IBAMA, PNUD, e Tetraplan 2005; Matheus et al., 2019).

Neste contexto foi desenvolvido o projeto FAROFA (Fish acoustic around Fernando de Noronha) que combina observação por acústica ativa multifrequência, perfis de vídeo e perfis realizados com CTD (Bertrand et al., 2017). No âmbito deste projeto, foram realizadas três campanhas ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha (FN) em 2017, 2018 e 2019 para descrever o tipo de habitat e a distribuição dos peixes da costa até a começo da zona oceânica. Salvetat et al. (2022) caracterizaram os padrões de distribuição espacial das assembleias de peixe ao redor da ilha, além de fornecer uma descrição da distribuição da biomassa acústica das assembleias ao redor de FN.

A fim de complementar informações pretéritas, esta pesquisa objetiva (1) caracterizar os hábitos tróficos das espécies observadas e estrutura trófica das assembleias em diferentes habitats; (2) relacionar a distribuição das espécies observadas com as características do habitat bentônico e pelágico no entorno de FN e (3) compreender os padrões de diversidade do ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O arquipélago de Fernando de Noronha ($03^{\circ}51.3'S$ - $32^{\circ}25.6'W$) abrange 21 ilhas e ilhotas situadas a 540 km da cidade de Recife, capital de Pernambuco, Nordeste do Brasil (Figura 1). O clima é tropical quente, caracterizado pelo domínio oceânico, possui duas estações bem definidas: chuvosa ocorrendo entre março e julho e seca entre agosto e janeiro (Castro, 2010). A ilha principal tem relevo acentuado e dois lados distintos chamados mar dentro e mar de fora. O "mar de dentro", voltada para noroeste, constitui a face mais protegida dos ventos e correntes. O "mar de fora", voltado para sudeste, é mais agitado pela exposição à ação dos ventos alísios de Sudeste e da corrente Sul Equatorial (Costa da Silva et al., 2021). As áreas de pesca estão localizadas na porção mais externa (Lessa et al. (1998), próximas à região de quebra da plataforma insular, onde a profundidade cai drasticamente (de 50 a 1.000 m).

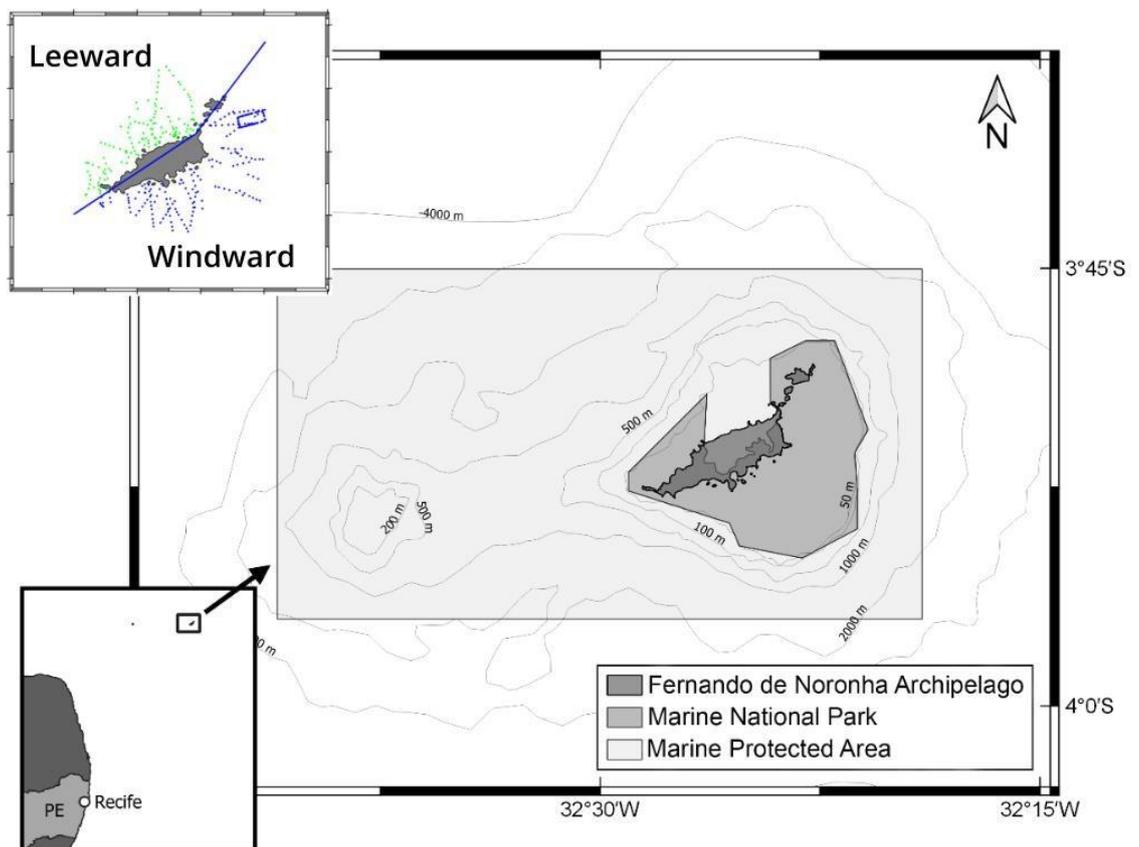


Figure 1. Área de estudo com regiões delimitadas pelo Parque Marinho de Fernando de Noronha, Zona de pesca sustentável e o limite da APA de Fernando de Noronha, o quadro mostra os limites entre as regiões sotavento e barlavento do arquipélago.

Coleta de dados

As campanhas, FAROFA 1, 2 e 3 (Figura 2), foram realizadas em setembro de 2017, abril 2018 e abril de 2019, abrangendo a costa até o começo da zona oceânica, ou seja, logo após o talude. Para tanto, foi utilizado um barco de pesca esportiva de cerca de 10 m de comprimento (Bertrand et al., 2017, 2018, 2019). Os dados acústicos foram coletados continuamente durante os cruzeiros com duas sondas do tipo SIMRAD EK80 conectadas a dois transdutores de feixe de 7° usados simultaneamente e centrados em transmissão de banda estreita (CW) (frequências de 70 kHz e 200 kHz) (Figura 3a). Os transdutores foram fixos com uma vara de inox em um dos lados do barco. Com objetivo de medir a refletividade acústica dos organismos, ou seja, a força de reflexão do alvo (TS) (ver Salvetat et al., 2020) e rastrear detecções individuais, a taxa de ping foi definida como “máxima” para um alcance máximo de aquisição de 50 m na plataforma continental (100 m durante o FAROFA 2), utilizando pulsos de 1.024 ms para ambas as frequências. Isto permite um baixo ruído na faixa máxima de 400 m a 70 kHz, bem como 200 kHz para identificar peixes individuais.

Para identificar as espécies e as características do habitat no fundo do mar, foram utilizados dois sistemas ópticos diferentes: (i) uma câmera de vídeo rebocada e (ii) uma câmera de vídeo fixada no suporte do transdutor próximo à superfície. A câmera de vídeo rebocada e a de vídeo fixada no transdutor foram usadas para capturar vídeos ao longo de transectos. Ambas forneceram uma visão da coluna de água e permitiram a identificação do substrato em águas rasas. A câmera de vídeo rebocada apontava para baixo e era arrastada com uma corda de 15 metros de comprimento a uma velocidade de 1,5 m/s. Ambas as técnicas utilizaram câmeras do tipo GoPro TM Hero 3+ e operando em HD a 1.080 p equivalente 30 quadros por segundos durante Farofa 1 e 2 e 60 quadros por segundo durante Farofa 3. Os vídeos capturados com o auxílio do suporte dos transdutores foram especialmente úteis em águas muito rasas (Salvetat et al., 2022).

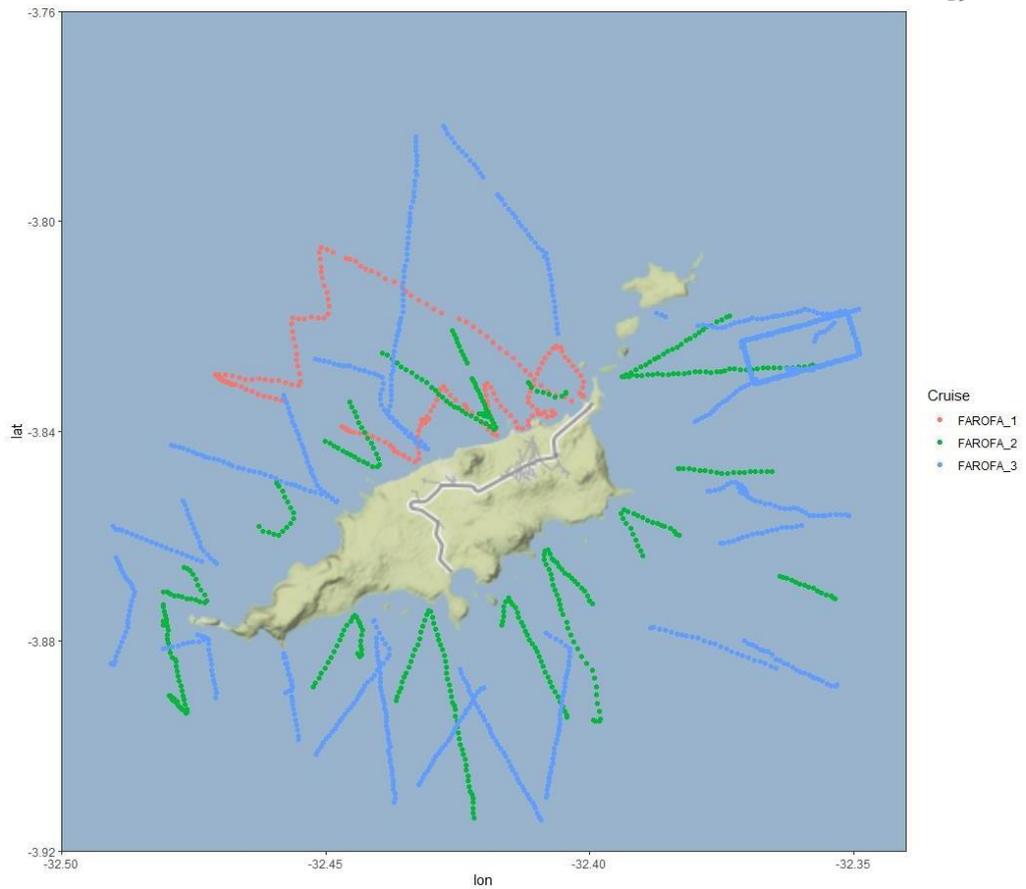


Figure 2. Transectos das campanhas Farofa 1 (pontos vermelhos), 2 (pontos verdes) e 3 (pontos azuis) ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha.

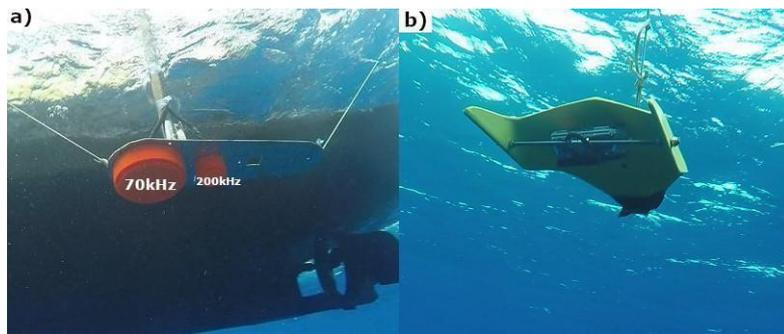


Figure 3. Equipamentos de coleta utilizados durante a campanha. A) transdutores, b) vídeo rebocado com uma paravana (downrigger)

Processamento e Análise de dados

O processamento dos dados de vídeo foi feito com o uso do Solomon Coder (András Péter, 2019), software que permite analisar e realizar anotação de comportamentos, sendo utilizado para registrar os eventos. Para sincronizar as observações acústicas e de vídeo arrastados, foi subtraído um intervalo de 9.7 segundos dos vídeos para ajustar ao tempo da sonda (Salvetat et al., 2022). Todos os eventos observados foram anotados: registros de organismos (espécie, quantidade, distribuição na coluna de água) tais como peixes, algas, gelatinosos e também os tipos de habitat classificados como (areia, coral, algas, rodolitos, pedras, rochas, ver Eduardo et al., 2018) e suas associações. Os organismos foram identificados no menor nível taxonômico possível com auxílio de literatura específica (e.g.) e em parceria com especialistas de outros laboratórios parceiros da UFPE e UFRPE. As espécies identificadas foram classificadas de acordo com o hábito alimentar (Ferreira e Gonçalves 2006; Ferreira et al., 2004), nível trófico e status de conservação através de consultas ao Fishbase.

Os dados acústicos foram processados no Matlab utilizando a ferramenta Matecho (Perrot et al., 2018) vinculada ao Matlab© e ao software Movies3D do IFREMER. Matecho foi usado para gerar os ecogramas e a partir deles fazer o tratamentos conforme etapas explicadas a seguir. Primeiro os arquivos ".raw" foram transformados em arquivos ".hac" (McQuinn, 2005) com o software Hermes do IFREMER, onde as configurações dos parâmetros de calibração foram introduzidas (V. M. Trenkel et al., 2009). Matecho utiliza algoritmos para limpar e filtrar ruídos no ecograma (Trenkel et al., 2009), na ocasião foi usada para: (i) detecção de fundo e sua correção manual, (ii) detecção de ecos de duplo-fundo ou fundo falso e remoção manual, (iii) remoção de ruídos por filtragem no ecograma (pico profundo), sinal atenuado (pico vazio), ruído impulsivo (parasitas) e finalmente remoção do ruído do fundo (De Robertis & Higginbottom, 2007; Ryan et al., 2015). Finalmente, Matecho foi usado para integrar os ecogramas ping a ping e extrair a biomassa acústica correspondente aos peixes, utilizando o Nautical Area Scattering Coefficient (NASC) (símbolo s_A , unidades $m^2 \cdot nm^{-2}$, ver Maclellan, 2002), um índice de biomassa acústica de peixes. O s_A corresponde à integração dos valores sobre a

coluna de água (utilizado para revelar a distribuição horizontal dos peixes ao longo da trajetória do barco). Para este tratamento foi utilizado unidades elementares de 1 ping horizontalmente e 0,20 m verticalmente para conseguir resultados em alta resolução. Adicionalmente, foi utilizado em ambas as frequências um limite a -80 dB e somente dados abaixo de 100 m foram considerados devido ao limite do alcance vertical da frequência em 200 kHz. Contudo, o sinal acústico foi utilizado para discriminar echo atribuídos a peixes e não peixes (incluindo algas, gelatinosos e crustáceos). Para isso Salvetat et al. (2022) desenvolveu uma abordagem baseada em limiares (i) na força de retrospalhamento de volume Sv (Sv, em dB re 1 m⁻¹), (ii) na soma de duas frequências de Sv e (iii) na variação de Sv. Para obter uma descrição completa do método, consultar Salvetat et al. (2022).

Para evitar a dupla contagem de espécies, foi utilizado o máximo número de indivíduos (MaxN) de cada espécie presente em cada frame de vídeo (Priede et al., 1994; Salvetat et al., 2022). Dados de vídeo arrastados foram padronizados. Primeiro foi extraído um tempo de 20 min de cada vídeo para compor amostras com mesmo tamanho e tempo. Em seguida essas amostras foram transformadas em unidades amostrais com intervalos de 1 em 1 minuto ao longo do transecto. Para estimar a abundância total (TMaxN) foi usada a soma dos valores máximos de MaxN dessas amostras. Este protocolo permite estudar a riqueza de espécies observadas por cada intervalo de tempo (Baletaud et al., 2022). Guildas tróficas foram classificadas seguindo Pinheiro et al. (2011) e Ferreira et al. (2004) e compostas como Carnívoros (CA), Herbívoro móvel (RH), Herbívoro territorial (TH), Predadores de invertebrados móveis (MIF), Predadores de invertebrados sésseis (SIF), onívoros (OM), piscívoros (PI) e planctívoros (PL). Peixes da família Scaridae, Acanthuridae e Kyphosidae foram classificados inclusas como herbívoros moveis (Ferreira & Gonçalves, 2006).

Diferentes fatores ambientais foram considerados:

- Exposição ao vento e correntes: A Ilha de Fernando de Noronha foi categorizada em lado de dentro e lado de fora, de acordo com a exposição aos ventos e correntes (Salvetat et al., 2022; Assunção et al., 2016).
- Estratos de profundidade de acordo com a penetração de luz: foram classificados em dois níveis eufóticos (eufótico superior: 0 a 20 m; eufótico inferior: 20-40 m) e um mesofótico (mesofótico superior: 40–60 m, mesofótico médio: 60-80 m, e mesofótico inferior: 80-100 m). A profundidade foi detectada por acústica.
- Área Marinha Protegida: Os dados foram comparados dentro e fora do PARNAMAR, incluindo um trecho da Zona de Pesca Sustentável na mesma faixa de profundidade (0 - 50 m).
- Substrato: Onze tipos de substrato foram registrados e separados em duas categorias (Tabela 1): com areia (Sa, SaAl) e substrato duro (SaCoRhAl, SaCoAl, SaStCoAl, SaStCoRhAl, SaRhAl e SaStAl, SaLrAl, SaLr, LrAl) (Tabela 1.).

Para evitar a contagem do mesmo peixe várias vezes, foi utilizado uma medida conservadora de abundância relativa (MaxN) de cada espécie presente em cada frame de vídeo (Salvetat et al., 2022 and Priede et al., 1994). Para estimar a abundância de cada espécie, foi usado a soma dos valores máximos de MaxN de cada vídeo (TMaxN). Em seguida foi calculado a riqueza(S) de espécie por cada amostra de vídeo.

Os testes não-paramétricos de Wilcoxon (MW) e Kruskal Wallis (KW) seguido de posthoc ajustado para Bonferroni foram usados para relacionar a distribuição da abundância, riqueza, biomassa acústica $\log_{10}(s_A + 1)$ de peixe e não-peixe, guilda trófica, status de conservação e o nível trófico das espécies entre os diferentes fatores ambientais. Comparações de TmaxN, Riqueza, Biomassa Acústica, Guildas tróficas, Nível Trófico e Status de Conservação foram feitas entre seguintes fatores (dentro e fora da área marinha protegida, categorias de sedimento e fator de exposição aos ventos e correntes), utilizando Mann-Whitney (MW). Testes Kruskal- Wallis (KW) foram utilizados para comparar TmaxN, Riqueza, Biomassa Acústica, Guildas tróficas, status de conservação e nível trófico entre os fatores ambientais (Estratos de profundidade, Tipos de sedimentos com exceção dos sedimentos não identificados).

Para análises de distribuição de peixes também foi utilizado dados de biomassa acústica $\log_{10}(s_A + 1)$ classificados como tipo peixe e não peixe.

Tabela 1. Tabela de sedimentos com descrição e separada por categorias (ver Salvetat et al., 2022).

<i>Categoria</i>	<i>Sedimento</i>	<i>Código</i>
<i>Com areia</i>	Areia	Sa
	Areia+Alga	SaAl
<i>Duro</i>	Areia+Coral+Rodólito+Alga	SaCoRhAl
	Areia+Coral+Alga	SaCoAl
	Areia+Pedra+Coral+Alga	SaStCoAl
	Areia+Pedra+Coral+Rodólito+Alga	SaStCoRhAl
	Areia+Rodólito+Alga	SaRhAl
	Areia+Pedra+Alga	SaStAl
	Areia+Rocha+Alga	SaLrAl
	Areia+Rocha	SaLr
	Rocha+Alga	LrAl

RESULTADOS

No total, 29h06 de vídeos foram analisadas correspondentes a 1744 unidades amostrais. A análise dos dados de vídeo permitiu a identificação de 6506 indivíduos (Tabela 2) distribuídos em 36 espécies de 26 famílias incluindo uma tartaruga (*Chelonia mydas*), um golfinho (*Stenella longirostris*), elasmobrânquios sendo um tubarão (*Ginglymostoma cirratum*), e duas raias (*Hypanus berthallutzae* e *Aetobatus narinari*). Foram identificados 33 em nível de espécies, 1 em nível de gênero (*Caranx spp*) e 2 a nível de família (Gobiidae e Ostraciidae). As famílias com maior número de espécies foram Carangidae (5 espécies), Pomacentridae (3 espécies) e Balistidae (3 espécies) e as espécies mais abundantes foram *Melichthys niger* (TmaxN 4629, 71,1%), *Chromis multilineata* (TmaxN 513, 7,8%) e *Abudefduf saxatilis* (TmaxN 457, 7%). Foram identificados 11 carnívoros (CA), 6 Caçador de invertebrados móveis (MIF), 6 piscívoros (PI), 5 herbívoros itinerantes (RH), 3 onívoros (OM), 3 Planctívoros (PL), 1 caçador de invertebrado sésil (SIF) e 1 herbívoro territorial (TH).

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifreqüencial e vídeo.

Tabela 2. *Nível trófico, estatus de conservação, guilda trófica e TmaxN das espécies identificadas em Fernando de Noronha, Brasil, organizados em ordem alfabética.*

Class	Order	Family	Specie	Code	Trophic level	Conservation status	Trophic guild	Tmax N
Actinopterygii	Beryciformes	Holocentridae	<i>Holocentrus adscensionis</i>	hol_ads	3.1	LC	MIFs	2
	Perciformes	Acanthuridae	<i>Acanthurus coeruleus</i>	aca_coe	2.2	LC	RH	9
			<i>Acanthurus chirurgus</i>	aca_chi	2.1	LC	RH	23
		Carangidae	<i>Caranx crysos</i>	car_cry	4.1	LC	PI	98
			<i>Caranx latus</i>	car_lat	4.2	LC	PI	41
			<i>Caranx lugubris</i>	car_lug	4.5	LC	CA	41
			caranx_spp	caranx_spp	-	-	-	18
			<i>Elagatis bipinnulata</i>	ela_bip	4.3	LC	PI	42
		Istiophoridae	<i>Makaira nigricans</i>	mak_nig	4.5	VU	PI	2
		Lutjanidae	<i>Lutjanus jocu</i>	lut_joc	4.4	DD	CA	16
		Labridae	<i>Thalassoma noronhanum</i>	tha_nor	3.4	LC	PL	25
		Malacanthidae	<i>Malacanthus plumieri</i>	mal_plu	3.7	LC	MIFs	3
		Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i>	abu_sax	3.8	LC	OM	457
			<i>Chromis multilineata</i>	chr_mul	3	LC	PL	513
			<i>Stegastes rocasensis</i>	ste_roc	2.7	NE	TH	10
		Serranidae	<i>Cephalopholis fulva</i>	cep_ful	4.1	LC	CA	11
			<i>Paranthias furcifer</i>	par_fur	3.2	LC	PL	39
		Mullidae	<i>Pseudupeneus maculatus</i>	pse_mac	3.7	LC	MIFs	1
		Gobiidae	gobiidae_spp	gobiidae_spp	-	-	-	1
		Haemulidae	<i>Haemulon</i>	hae_chr	3.5	LC	MIFs	108
			<i>chrysargyreum</i>					
		Labridae	<i>Halichoeres radiatus</i>	hal_rad	3.5	LC	MIFs	1
		Kyphosidae	<i>Kyphosus sectatrix</i>	kyp_sec	2	LC	RH	153
	Scombriformes	Scaridae	<i>Sparisoma amplum</i>	spa_amp	2.0	LC	RH	5

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifreqüencial e vídeo.

25

	Scombridae	<i>Acanthocybium solandri</i>	aca_sol	4.3	LC	CA	3	
	Sphyrænidae	<i>Sphyræna barracuda</i>	sph_bar	4.5	LC	CA	56	
Tetraodontiformes	Balistidae	<i>Balistes vetula</i>	bal_vet	3.8	NT	MIFs	2	
		<i>Canthidermis sufflamen</i>	can_suf	3.5	LC	OM	180	
		<i>Melichthys niger</i>	mel_nig	2.4	LC	OM	4629	
	Monacanthidae	<i>Cantherhines macrocerus</i>	can_mac	3.1	LC	SIF	6	
	Ostraciidae	Ostraciidae spp	ostraciidae_sp	-	-	-	1	
Pleuronectiformes	Bothidae	<i>Bothus lunatus</i>	bot_lun	4.5	LC	CA	1	
Chondrichthyes	Myliobatiformes	Dasyatidae	<i>Hypanus berthaltutzae</i>	das_ame	3.5	NT	CA	1
		Myliobatidae	<i>Aetobatus narinari</i>	aet_nar	4.2	EN	CA	1
Orectolobiformes	Ginglymostomatidae	<i>Ginglymostoma cirratum</i>	gin_cir	4.2	VU	PI	3	
Mammalia	Cetacea	Delphinidae	<i>Stenella longirostris</i>	ste.lon	-	LC	CA	1
Reptilia	TeTSudinata	Cheloniidae	<i>Chelonia mydas</i>	che_myd	-	EN	RH	3

Abundância

As análises demonstraram que o TMaxN dos peixes foi significativamente maior no lado exposto ao vento (MW, $P < 0.01$) (Figura 4a), bem como significativamente maior dentro da MPA do que fora (MW, $p < 0.01$) (Figura 4b). A maior abundância estava associada aos substratos duros (MW, $p < 0.01$) (Figura 4c). Além disso, foram encontradas diferenças significativas na abundância relativa dos peixes em dos diferentes tipos de sedimentos analisados (KW, d.f = 10, $p < 0.01$) (Figura 4d). A abundância foi significativamente maior no sedimento SaStCoRhAl (média = 11.1) em comparação com os sedimentos SaStAl (média = 8.6), SaLrAl (média = 7.2), SaCoRhAl (média = 4.3), SaRhAl (média = 1.7), SaAl (média = 0.7) e Sa (média = 0.5) ($P. adj. < 0.01$).

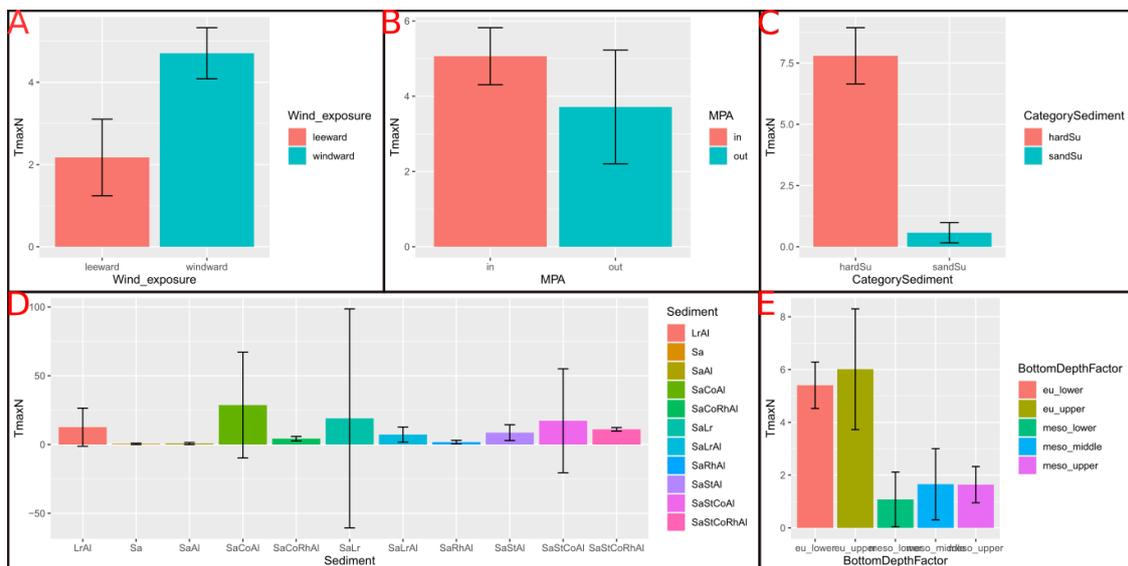


Figure 4. Média da distribuição de abundância de peixes observados por vídeo com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estratos de profundidade (BottomDepthFactor).

Além disso, foram observadas diferenças significativas na abundância entre os diferentes estratos de profundidades (KW, d.f = 4, $P < 0.01$) (Figura 4e). A maior abundância de peixes foi encontrada nos níveis eufótico superior (0-20 m, média = 6.0), seguido pelo eufótico inferior (20-40 m, média = 5.4), mesofótico médio (60-80 m, média = 1.7), mesofótico superior (40-60 m, média = 1.6) e mesofótico inferior (80-100 m, média = 1.1) ($P. adj. < 0.01$).

Biomassa acústica de peixe e não peixe

A biomassa acústica de peixes foi significante maior no lado exposto aos ventos e correntes (média $\log_{10}(s_A + 1) = 3.72$) em comparação com o lado não exposto ($\log_{10}(s_A + 1) = 2.49$) (MW, $P < 0.01$) (Figura 5a). Além disso, a biomassa acústica de peixes foi significante maior dentro da área protegida ($\log_{10}(s_A + 1) = 4.02$) em comparação com fora da área protegida ($\log_{10}(s_A + 1) = 4.02$) (Figura 5b).

Além disso, constatou-se que houve uma maior biomassa acústica nos substratos mais duros ($\log_{10}(s_A + 1) = 4.29$) em relação aos substratos associados com areia ($\log_{10}(s_A + 1) = 4.29$) (Figura 5c). No entanto, a maior biomassa acústica de peixes entre os diferentes tipos de sedimentos analisados estava associada aos sedimentos mais complexos, como SaStCoRhAl ($\log_{10}(s_A + 1) = 5.18$), seguido por SaLr ($\log_{10}(s_A + 1) = 3.93$), SaCoRhAl ($\log_{10}(s_A + 1) = 3.81$), SaLrAl ($\log_{10}(s_A + 1) = 3.74$) e SaRhAl ($\log_{10}(s_A + 1) = 3.7$) (Figura 5d). Por outro lado, os substratos menos complexos associados com areia, como SaAl ($\log_{10}(s_A + 1) = 3.25$), apresentaram uma biomassa acústica menor, seguido por Sa ($\log_{10}(s_A + 1) = 2.96$) (KW, d.f = 10, $P < 0.01$). A classe de profundidade eufótica inferior (20-40 m, $\log_{10}(s_A + 1) = 3.94$) exibiu a maior média de biomassa registrada em comparação com as outras classes de profundidade analisadas. Além disso, a classe mesofótica média (60-80 m, média = 3.28) apresentou a maior média de biomassa entre as classes mesofóticas (KW, d.f = 4, $P < 0.01$) (Figura 5e).

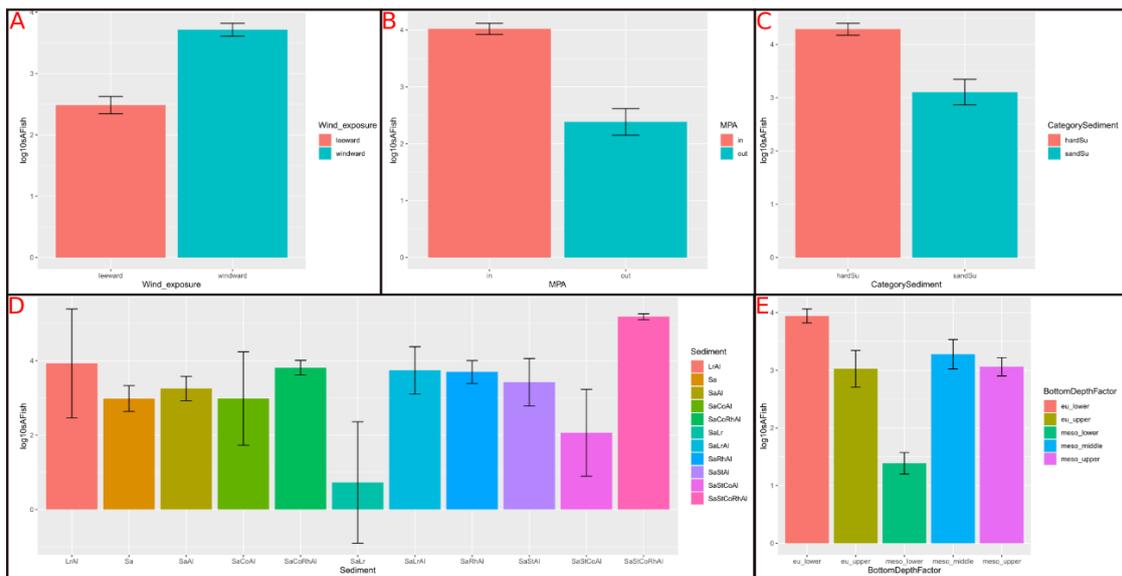


Figure 5. Média da distribuição da biomassa acústica de peixes com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundidade (BottomDepthFactor).

A maior biomassa acústica de não peixes foi encontrada do lado de fora da ilha ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.44)$) (MW, $P < 0.01$) (Figura 6a). Além disso, houve uma maior biomassa acústica de não peixes dentro da Área Marinha Protegida do que fora ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.48)$) (MW, $P < 0.01$) (Figura 6b). Em relação aos sedimentos, houve uma associação da biomassa de não peixes significativamente maior nos sedimentos duros ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.54)$) (MW, $P < 0.01$) (Figura 6c). De fato, os sedimentos mais complexos como SaStCoRhAl ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.56)$), SaCoRhAl ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.49)$) e SaCoAl ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.35)$) demonstraram possuir uma maior biomassa de não peixes que os substratos arenosos como SaAl ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.23)$) e Sa ($\log_{10}(s_A + 1 = 4.06)$) (KW, d.f = 10, $P < 0.01$) (Figura 6d). Para as classes de profundidade a maior biomassa de não peixes foi detectada para as profundidades mesofótica média (60-80m, mean = 4.84) e mesofótica superior (40-60 m, mean = 4.82), seguidas pelas profundidades eufóticas inferior (0-20 m, mean = 4.47) (KW, d.f = 4, $P < 0.01$) (Figura 6e).

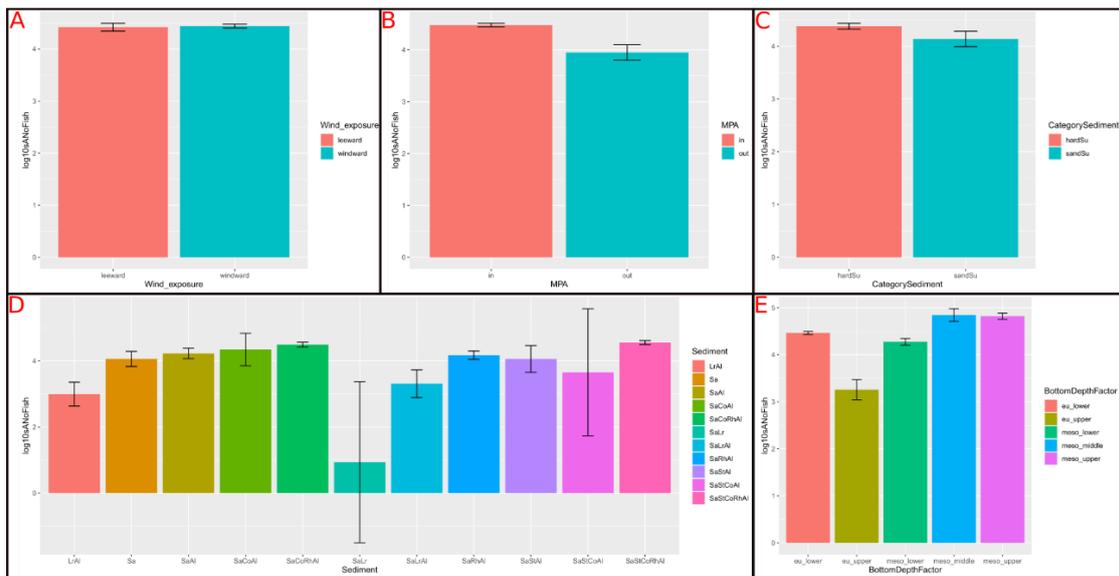


Figure 6. Média da biomassa acústica de não peixes com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (*Wind_exposure*), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (*CategorySediment*), d) tipos de substratos (*Sediment*), e) estrato de profundidade (*BottomDepthFactor*).

Riqueza

A maior riqueza estava do lado exposto aos ventos e correntes (MW, $P < 0.01$) (Figura 7a). Em relação a MPA (Figura 7b), a maior riqueza foi encontrada dentro das delimitações da área protegida (MW, $P < 0.01$). Quando comparamos as categorias de sedimento, os substratos duros apresentaram uma maior riqueza (MW, $P < 0.01$) (Figura 7c). A riqueza estava maior associada aos substratos mais complexos e significativamente maior em SaStCoRhAl (média = 1.17) quando comparado com Sa (média = 0.07), SaAl (média = 0.12), SaRhAl (média = 0.24), SaCoRhAl (média = 0.35), SaStAl (média = 0.68) e SaLrAl (média = 1.1) (KW, d.f = 10, $P < 0.01$) (Figura 7d). Os substratos SaLrAl, SaCoRhAl, LrAl (média = 2.0) e SaStAl demonstraram ter significativamente mais riqueza em relação a Sa e SaAl. Além disso, o substrato SaLrAl também demonstrou possuir mais riqueza que SaRhAl. Entre as classes de profundidade analisadas (Figura 7e), a eufótica apresentou maior riqueza em relação a mesofótica (KW, d.f = 4, $P < 0.01$). Contudo, a profundidade eufótica superior (média = 0.58) apresentou significativamente uma maior riqueza em comparação com mesofótica inferior (média = 0.12), mesofótica superior (0.17) e eufótica inferior (média = 0.52).

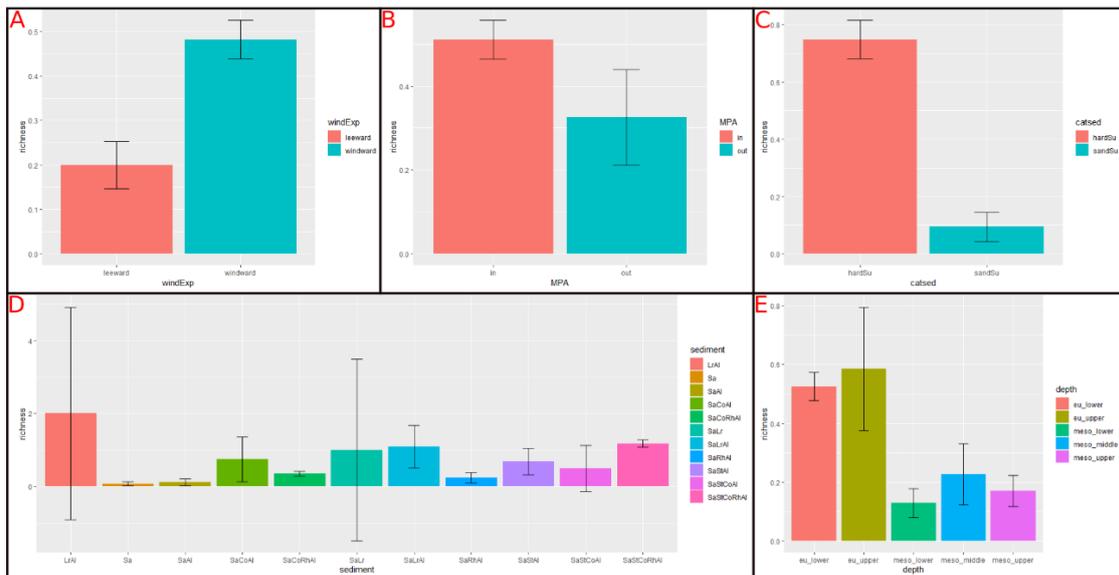


Figure 7. Média da riqueza com erro padrão indicado por barras pretas para a) Exposição aos ventos e correntes (windExp), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (catsed), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundidade (depth).

Nível trófico

O lado de dentro (Figura 8a) apresentou uma maior presença de indivíduos com maior nível trófico representados por (*Caranx lugubris*, *Sphyræna barracuda* e *Lutjanus jocu*,) (MW, $P < 0.01$). O lado de fora da área marinha protegida também mostrou possuir peixes de maior nível trófico (MW, $P < 0.01$) (Figura 8b). A categoria de sedimento associado com areia demonstrou maior nível trófico (MW, $P < 0.01$) (Figura 8c). Houve significativa diferença entre a maior parte dos tipos de sedimentos analisados, SaStCoAl(média = 3.67), SaAl(média = 3.16), SaLr(média = 3.15) e Sa(média = 3.05) demonstraram maior média de presença de espécies com maior nível trófico (KW, d.f = 10, $P < 0.01$) (Figura 8d). Entre as profundidades analisadas houve diferença significativa (KW, d.f = 4, $P < 0.01$) entre a maioria das categorias analisadas. A profundidade mesofótica inferior (média = 3.28) demonstrou possuir a maior média de indivíduos com maiores níveis tróficos, seguido por eufótico superior (média = 3.17) e mesofótico médio (média = 3.09) (Figura 8e).

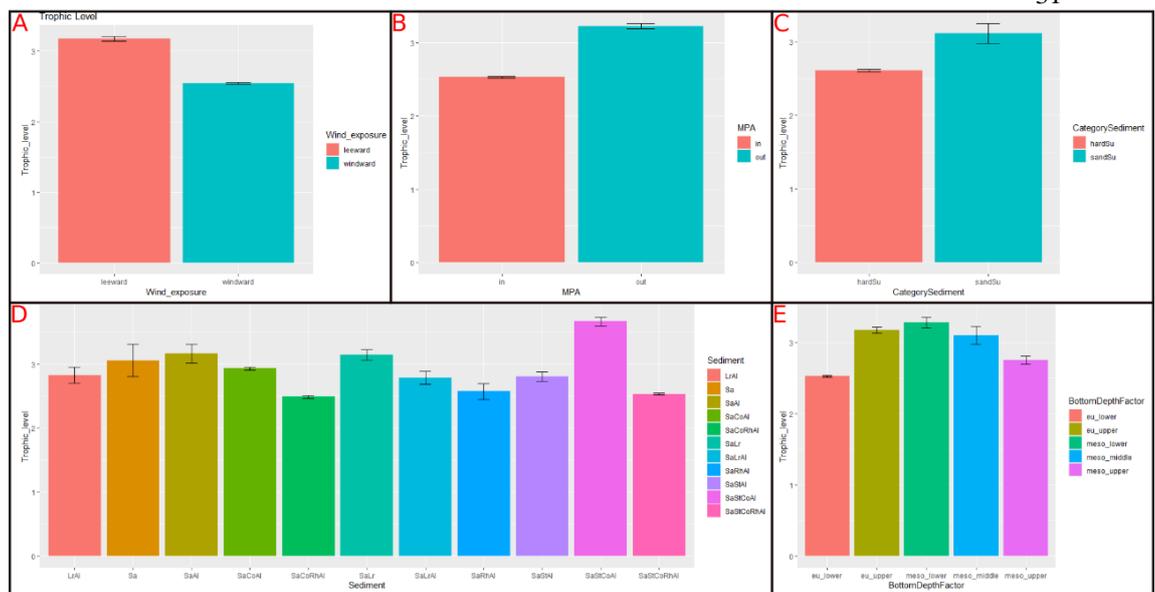


Figure 8. *Nível trófico com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundi.*

DISCUSSÃO

Este estudo representou uma abordagem para confirmar e complementar as tendências identificadas por Salvetat et al. (2022), relacionadas aos padrões de distribuição da biomassa acústica de espécies demersais em Fernando de Noronha. Desta forma, os padrões de abundância relativa (expressos como T_{maxn}) puderam ser utilizados como indicador da biomassa das assembleias de peixes demersais e pelágicos. Além disso, a técnica de vídeo nos possibilitou compreender os padrões espaciais da diversidade e dos níveis tróficos dos peixes, fornecendo uma visão essencial para a implementação de ferramenta permitindo definir as AMP de maneira otimizada (Brunel et al., 2022a).

A abundância de peixes observados por vídeo foi maior nos substratos complexos como inicialmente observado por Salvetat et al. (2022) usando métodos acústicos. Além disso revelamos que estes substratos apresentaram uma maior riqueza específica. A correlação entre substratos complexos e biodiversidade já havia sido notada na costa do Nordeste Brasileiro (Eduardo et al., 2018) e foi empiricamente comprovada em laboratórios (Rogers et al., 2014). Ao propiciar o desenvolvimento de ecossistemas com maior disponibilidade de recursos, esses habitats proporcionam a vantagem de suprir altas demandas alimentares, resultando em uma capacidade de carga superior. Nossos resultados ilustram o fato que esses ambientes conferem o benefício adicional de reduzir a competição trófica interespecífica (Pelage et al., 2022), uma vez que a disponibilidade de recursos é reconhecida como um dos principais determinantes da competição entre espécies e então da sua distribuição. Os substratos de complexidade elevada providenciam outra vantagem que é a criação de micro nichos e micro habitats propícios à colonização por diversos tipos de espécies distintas (Andrades et al., 2021; Richardson et al., 2017).

Observamos uma abundância e riqueza de peixes significativamente maiores na área mais rasa (entre 0 e 20 metros). Isso contrasta com a maior biomassa acústica de peixes que foi notada um pouco mais profunda na camada eufótica inferior 20 a 40m (Salvetat et al. 2022). Essa diferença pode ser atribuída à maior capacidade da tecnologia acústica de detectar espécies semidemersais e pelágicas (Mallet & Pelletier, 2014; V. Trenkel et al., 2011), enquanto o nosso método de vídeo não é capaz de captar com precisão indivíduos

a partir de 20 metros de profundidade. Dessa forma, para minimizar essas limitações, é importante combinar a acústica com métodos complementares para uma cobertura completa do ambiente marinho (Jones et al., 2012), permitindo a identificação das espécies, dos tipos de substratos e suas associações. Nossa abordagem não seria a mais adequada para uma avaliação abrangente dos recursos pesqueiros, mas segue válida para aprofundar nosso entendimento sobre a distribuição de espécies demersais. Nossos resultados em termos de abundância e riqueza de peixes mostram a importância do uso de técnicas de vídeos para estudar as zonas rasas.

Nosso estudo também confirma o padrão de distribuição observado por (Salvetat et al., 2022), que revela uma maior abundância do lado exposto aos ventos. Além disso, identificamos uma maior diversidade de peixes demersais nessa região. É importante destacar que a resposta assimétrica dos peixes a esse efeito é uma área de pesquisa pouco explorada. Embora o efeito ilha tenha sido predominantemente estudado em modelos biogeoquímicos (Borrione et al., 2013; Hasegawa, 2019; Messié et al., 2022), nossos resultados demonstram que ele também influencia a distribuição de peixes demersais em termos de abundância e diversidade. Esse estudo corrobora a ideia de que o efeito ilha não apenas gera uma resposta assimétrica na produção primária e secundária, devido à maior turbulência e à formação de redemoinhos que retêm partículas do lado protegido dos ventos (Borrione et al., 2013), mas também exerce influência sobre a distribuição dos peixes demersais. Isso ocorre porque a formação de recifes está ligada à energia das ondas e aos padrões locais de vento, o que, por sua vez, modela o habitat (Hongo & Kayanne, 2009). A corrente mais forte do lado exposto aos ventos impede a acumulação de sedimentos mais macios e promove a dominância de sedimentos mais complexos (Curley et al., 2002). Por tanto, esse efeito ilha tem um impacto direto na distribuição espacial dos peixes demersais. Esse padrão de assimetria de habitat, com a presença de grandes estruturas rochosas e recifes no lado exposto e sedimentos mais macios do lado protegido dos ventos, já foi observado em locais como a Ilha da Madeira e o Japão (Caldeira et al., 2002; Hongo & Kayanne, 2009). A consideração desse efeito ilha na proteção de espécies recifais ameaçadas é de grande importância e pode ser um critério valioso para o planejamento de Áreas Marinhas Protegidas (AMPs)."

De fato, constatamos uma abundância significativamente maior dentro da Área Marinha Protegida (AMP), reforçando os achados de Salvetat et al. (2022). Além disso, notamos que a AMP também abriga uma biodiversidade mais rica provavelmente por ser localizada no lado exposto da ilha e caracterizada por uma maior presença de substratos duros. Isso ressalta a relevância socioecológica da zona designada como atual AMP, tanto para a conservação da biodiversidade quanto para a manutenção da saúde das populações de peixes demersais, com o objetivo de garantir a sustentabilidade da atividade pesqueira (Friedlander et al., 2003) e (Turnbull et al., 2018). A relevância espacial não implica necessariamente que a área escolhida seja a ideal. No entanto, um estudo de otimização espacial do planejamento marinho demonstrou que a solução ideal para uma AMP tinha considerável sobreposição com a AMP existente em Fernando de Noronha (Brunel et al., 2022). É importante ressaltar que esse estudo de otimização foi baseado principalmente em dados coletados dentro da AMP atual, o que pode introduzir um viés na determinação da melhor opção (Brunel, et al., 2022). Portanto, em um contexto com poucos dados disponíveis, os vídeos podem representar uma abordagem não invasiva e complementar à acústica para o delineamento de AMPs. Contrariamente a acústica, os vídeos possibilitam uma identificação precisa a nível taxonômico dos indivíduos permitindo a criação de dados espaciais que representam a distribuição espacial de espécies de interesse. Esses dados, por sua vez, podem ser empregadas como critério na construção de modelos de apoio à decisão para melhorar o desenho das AMPs.

Em relação ao nível trófico, ao contrário do que nossa hipótese inicial sugeria, identificamos um nível trófico mais elevado do lado protegido dos ventos, fora da AMP. Este resultado é contraintuitivo, considerando que uma das principais vantagens de se estabelecer uma AMP é a proteção das espécies de peixes contra os efeitos negativos da pesca na estrutura das comunidades marinhas (Habtemariam & Fang, 2016). A razão pela qual o nível trófico se apresentou mais baixo na zona exposta aos ventos está fortemente relacionada à dominância de *M. niger*, uma espécie detritívora com habilidades natatórias que lhe permitem enfrentar correntes mais fortes no lado exposto aos ventos (Krajewski & Floeter, 2011a). A predominância de *M. niger* pode ser relacionada a sua plasticidade alimentar e capacidade decolonizar nichos vazios de herbívoros em locais isolados como já foi observada no arquipélago de São Pedro e São Paulo (Kavanagh & Olney, 2006b; Mendes et al., 2019).

Isso pode ser atribuído, entre outros fatores, à sua longa fase pelágica, que permite alcançar locais remotos, e à sua plasticidade alimentar (Kavanagh & Olney, 2006b; Mendes et al., 2019). Nossos registros vídeos mostram a escassez de herbívoros em Fernando de Noronha, com herbívoros dos gêneros *Sparisoma*, *Kyphosus* e *Acanthurus* representando juntos menos de 5% dos indivíduos amostrados. Em outras áreas de latitudes semelhante, geralmente se observa uma proporção mais elevada de herbívoros, como foi documentado em vários estudos no nordeste do Brasil (EDUARDO & FRÉDOU, 2017; Ferreira et al., 2004b). Além disso, a presença de substratos complexos e abundantes do lado exposto aos ventos proporciona à população de *M. niger* a oportunidade de ser abundante, uma vez que essa espécie pode colocar seus ovos em substratos mais complexos.

Quando excluímos a espécie *M. niger* de nossa análise, torna-se visível que, na verdade, o nível trófico é mais elevado no lado exposto aos ventos (MW, $P < 0.01$) (Figura 9a), mas segue mais elevado fora da MPA (MW, $P < 0.01$). Assim como para profundidade, revelando níveis tróficos maiores associados com uma menor profundidade 60-80m (KW, $df = 4$, $P < 0.01$). Contudo, isso realça que uma AMP com habitats complexos e que considera o efeito ilha tem potencial para desempenhar um papel significativo para os níveis tróficos superiores o que é importante uma vez que frequentemente ocupam uma posição fundamental nas redes tróficas, atuando como predadores de topo (Tromeur & Loeuille, 2017). Ademais, o nível trófico em ecossistemas marinho está altamente correlacionado com o tamanho da espécie (Soler et al., 2015). Isso torna as espécies de nível trófico mais elevado mais suscetíveis a ser comercialmente relevante e a sofrer dos impactos da pesca (Robinson et al., 2016; Sadovy et al., 2005). Além disso, as espécies de grande porte que ocupam níveis tróficos superiores geralmente apresentam maturação tardia e, portanto, são menos resilientes à atividade de pesca (Juanes, 2016). Assim, ao usar uma ferramenta de apoio à decisão baseado em critérios, a consideração da distribuição espacial dessas espécies de nível trófico elevado e grande porte se torna uma camada relevante a ser incorporada. Isso contribuiria para a obtenção de soluções prioritárias para a conservação baseados num critério que reflete o aspecto ecológico (espécies mais vulneráveis e menos resilientes) e o aspecto socioeconômico (espécies importantes para a pesca artesanal).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo enfatiza a relevância de uma abordagem multidisciplinar e complementar para compreender a dinâmica dos ecossistemas marinhos, especialmente em áreas singulares como Fernando de Noronha. Utilizando vídeos como principal ferramenta de análise, conseguimos confirmar e ampliar as tendências já observadas em relação à biomassa acústica e à distribuição de espécies demersais. Isso nos permitiu identificar a influência significativa dos substratos complexos na abundância e diversidade de peixes, destacando sua importância como habitats críticos para as populações marinhas. Além disso, nossa pesquisa revelou que a área mais rasa de 0 a 20 metros abriga uma riqueza de espécies e abundância de peixes notáveis. Isso destaca a necessidade de considerar essas zonas rasas em estratégias de conservação e gestão, apesar das limitações técnicas que podem dificultar sua observação em grandes profundidades.

A influência do "efeito ilha" também emergiu como um fator significativo na distribuição de espécies demersais, com uma maior abundância e diversidade no lado exposto aos ventos. Essa descoberta enfatiza como as características locais, como a topografia do fundo do mar e os padrões de vento, podem moldar os ecossistemas marinhos e ressalta a importância de considerar esses fatores na gestão de áreas marinhas. No entanto, a análise do nível trófico apresentou resultados inesperados, com um nível trófico mais elevado fora da Área Marinha Protegida (AMP), impulsionado pela abundância de uma espécie específica, *M. niger*. Essa observação realça a complexidade das interações ecológicas nos ecossistemas marinhos e a importância de considerar não apenas a abundância, mas também a função das espécies em estudos de conservação.

Em termos de aplicação prática, nosso estudo destaca a relevância da AMP em Fernando de Noronha, tanto para a conservação da biodiversidade quanto para a sustentabilidade da pesca. No entanto, também ressalta a importância de uma abordagem de gestão adaptativa que leve em consideração as particularidades locais e as mudanças nas condições ambientais. Além disso, enfatiza a importância da consideração das espécies com níveis

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifrequencial e vídeo.

37

tróficos mais elevado na conservação marinha, uma vez que desempenham papéis fundamentais nas redes tróficas e podem ser vulneráveis à pesca.

Em resumo, este estudo contribui para o entendimento mais aprofundado dos ecossistemas marinhos de Fernando de Noronha e destaca a necessidade de uma gestão baseada em evidências científicas para garantir a conservação e a exploração sustentável desses valiosos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- Agência Marinha de Notícias. (2022, maio 17). *Planejamento Espacial Marinho terá início pela região marítima do Sul do Brasil* [Text]. Agência Marinha de Notícias. <https://www.marinha.mil.br/agenciadenoticias/planejamento-espacial-marinho-tera-inicio-pela-regiao-maritima-do-sul-do-brasil>
- Almeida, F. F. (2000). *The Fernando de Noronha archipelago*.
- Amaral, Silveira, S. R. M., Vasconcelos, S. L., Ramos, C. A. C., Vaske Júnior, T., Lessa, R. P., & Silveira, S. E. M. (2006). *Archipiélago de São Paulo e São Paulo, Pablo: 20 anos de pesquisa* (1a edição). Via Design Publicações.
- Anderson, J. T., Van Holliday, D., Kloser, R., Reid, D. G., & Simard, Y. (2008). Acoustic seabed classification: Current practice and future directions. *ICES Journal of Marine Science*, 65(6), 1004–1011. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn061>
- Assunção, R. V., Silva, A. C., Martins, J., & Flores Montes, M. (2016). Spatial-Temporal Variability of the Thermohaline Properties in the Coastal Region of Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 75(sp1), 512–516. <https://doi.org/10.2112/SI75-103.1>
- Baletaud, F., Gilbert, A., Mouillot, D., Come, J.-M., & Vigliola, L. (2022). Baited video reveal fish diversity in the vast inter-reef habitats of a marine tropical lagoon. *Marine Biodiversity*, 52(2), 16. <https://doi.org/10.1007/s12526-021-01251-3>
- Barbier, E. B. (2015). Valuing the storm protection service of estuarine and coastal ecosystems. *Ecosystem Services*, 11, 32–38.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs*, 81(2), 169–193.

- Benoit-Bird, K. J., & Lawson, G. L. (2016). Ecological Insights from Pelagic Habitats Acquired Using Active Acoustic Techniques. *Annual Review of Marine Science*, 8(1), 463–490. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-034001>
- Bertrand, A. (2003). Acoustics for ecosystem research: Lessons and perspectives from a scientific programme focusing on tuna-environment relationships. *Aquatic Living Resources*, 16(3), 197–203. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00018-4)
- Bertrand, A., Bertrand, S., Assuncao, R., Docean, A. S., Vargas, G., Lucena-Fredou, F., Travassos, P., Lebourges-Dhaussy, A., & Roudaut, G. (2017). Underwater acoustics for ecosystem research: Synthesis of current knowledge and current advances and perspectives in Northeast Brazil. *2017 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/RIOAcoustics.2017.8349758>
- Bertrand, A., Grados, D., Colas, F., Bertrand, S., Capet, X., Chaigneau, A., Vargas, G., Mousseigne, A., & Fablet, R. (2014). Broad impacts of fine-scale dynamics on seascape structure from zooplankton to seabirds. *Nature Communications*, 5(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.1038/ncomms6239>
- Borrione, I., Schlitzer, R., Nielsdóttir, M. C., & Aumont, O. (2013). *The South Georgia island mass effect: Observations from satellite imagery and biogeochemical modeling*.
- Brunel, A., Davret, J., Trouillet, B., Bez, N., Salvétat, J., Gicquel, A., & Bertrand, S. L. (2022a). Opening the Black Box of Decision Support Tools in Marine Spatial Planning: Shedding Light into Reserve Site Selection Algorithms for a Balanced Empowerment of Stakeholders. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4060705>

Brunel, A., Davret, J., Trouillet, B., Bez, N., Salvetat, J., Gicquel, A., & Bertrand, S. L.

(2022b). Opening the black box of decision support tools in marine spatial planning: Shedding light into reserve site selection algorithms for a balanced empowerment of stakeholders. *Available at SSRN 4060705*.

Brunel, A., Omer, J., & Lanco Bertrand, S. (2022). Producing a diverse set of near-optimal reserve solutions with exact optimisation. *Environmental Modeling & Assessment*, 1–16.

Cappo, M., Harvey, E., Malcolm, H., & Speare, P. (2003). *POTENTIAL OF VIDEO TECHNIQUES TO MONITOR DIVERSITY, ABUNDANCE AND SIZE OF FISH IN STUDIES OF MARINE PROTECTED AREAS*. 10.

Cardoso De Melo, C., Soares, A. P. C., Pelage, L., Eduardo, L. N., Frédou, T., Lira, A. S., Ferreira, B. P., Bertrand, A., & Lucena-Frédou, F. (2020). Haemulidae distribution patterns along the Northeastern Brazilian continental shelf and size at first maturity of the most abundant species. *Regional Studies in Marine Science*, 35, 101226. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101226>

Casier, R., & Douvère, F. (2016). *The future of the World Heritage Convention for Marine Conservation: Celebrating 10 years of the World Heritage Marine Programme*.

Castro, J. W. A. (2010). Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: Uma visão da Geologia Ambiental. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*.

Coelho, F. do N., Pinheiro, H. T., Santos, R. G. dos, Albuquerque, C. Q. de, & Martins, A. S. (2012). Spatial distribution and diet of *Cephalopholis fulva* (Ephinephelidae) at Trindade Island, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 10(2), 383–388. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012005000010>

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifrequencial e vídeo.

41

Comando do 8o Distrito Naval. (2019). *Amazônia Azul*.

https://www.marinha.mil.br/com8dn/?q=amazonia_azul

Costa da Silva, A., Chaigneau, A., Dossa, A. N., Eldin, G., Araujo, M., & Bertrand, A.

(2021). Surface Circulation and Vertical Structure of Upper Ocean Variability Around Fernando de Noronha Archipelago and Rocas Atoll During Spring 2015 and Fall 2017. *Frontiers in Marine Science*, 8, 598101.

<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.598101>

Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski,

I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152–158.

Crain, C. M., Halpern, B. S., Beck, M. W., & Kappel, C. V. (2009). Understanding and

managing human threats to the coastal marine environment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 39–62.

da Silva Carneiro, M. L. (2022). PLANEJAMENTO ESPACIAL MARINHO: O

CAMINHO PARA O CRESCIMENTO ECONÔMICO DO BRASIL. *Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy-International Law and Business Review*, 2(1), 196–214.

De Robertis, A., & Higginbottom, I. (2007). A post-processing technique to estimate the

signal-to-noise ratio and remove echosounder background noise. *ICES Journal of Marine Science*, 64(6), 1282–1291. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm112>

de Seixas Carvalho, B., & Coelho, E. R. (2021). GEOPOLÍTICA DOS OCEANOS E

PLANEJAMENTO ESPACIAL MARINHO. *Boletim Trimestral do CEDEPEM–Junho/Agosto 2021-Volume 1, número 2, 1(2), 32.*

- Denny, C. M., & Babcock, R. C. (2004). Do partial marine reserves protect reef fish assemblages? *Biological Conservation*, *116*(1), 119–129.
[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00183-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00183-6)
- Duarte, C. M., Borja, A., Carstensen, J., Elliott, M., Krause-Jensen, D., & Marbà, N. (2015). Paradigms in the recovery of estuarine and coastal ecosystems. *Estuaries and Coasts*, *38*(4), 1202–1212.
- Eduardo, L. N., Frédou, T., Lira, A. S., Ferreira, B. P., Bertrand, A., Ménard, F., & Frédou, F. L. (2018). Identifying key habitat and spatial patterns of fish biodiversity in the tropical Brazilian continental shelf. *Continental Shelf Research*, *166*, 108–118.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.07.002>
- EDUARDO, N., & FRÉDOU, T. (2017). Feeding ecology of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) and *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) in two tropical estuaries in Northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, *12*(2), 123–135.
- Eyre, B. D., & Maher, D. (2011). Mapping ecosystem processes and function across shallow seascapes. *Continental Shelf Research*, *31*(2), S162–S172.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.01.013>
- Ferreira, C. E. L., Floeter, S. R., Gasparini, J. L., Ferreira, B. P., & Joyeux, J. C. (2004a). Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: A latitudinal comparison. *Journal of Biogeography*, *31*(7), 1093–1106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01044.x>
- Ferreira, C. E. L., Floeter, S. R., Gasparini, J. L., Ferreira, B. P., & Joyeux, J. C. (2004b). Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: A latitudinal comparison. *Journal of Biogeography*, *31*(7), 1093–1106.

- Ferreira, C. E. L., & Gonçalves, J. E. A. (2006). Community structure and diet of roving herbivorous reef fishes in the Abrolhos Archipelago, south-western Atlantic. *Journal of Fish Biology*, 69(5), 1533–1551. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01220.x>
- Habtemariam, B. T., & Fang, Q. (2016). Zoning for a multiple-use marine protected area using spatial multi-criteria analysis: The case of the Sheik Seid Marine National Park in Eritrea. *Marine Policy*, 63, 135–143.
- Harvey, E., Cappo, M., Butler, J., Hall, N., & Kendrick, G. (2007). Bait attraction affects the performance of remote underwater video stations in assessment of demersal fish community structure. *Marine Ecology Progress Series*, 350, 245–254. <https://doi.org/10.3354/meps07192>
- Hongo, C., & Kayanne, H. (2009). Holocene coral reef development under windward and leeward locations at Ishigaki Island, Ryukyu Islands, Japan. *Sedimentary Geology*, 214(1–4), 62–73.
- Jackson, J. B. C., Kirby, M. X., Berger, W. H., Bjorndal, K. A., Botsford, L. W., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R., Erlandson, J., Estes, J. A., Hughes, T. P., Kidwell, S., Lange, C. B., Lenihan, H. S., Pandolfi, J. M., Peterson, C. H., Steneck, R. S., Tegner, M. J., & Warner, R. R. (2001). Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science*, 293(5530), 629–637. <https://doi.org/10.1126/science.1059199>
- James A Bohnsack & Bannerot, Scott P. (1986). *A Stationary Visual Census Technique for Quantitatively Assessing Community Structure of Coral Reef Fishes.*
- Jones, D., Wilson, C. D., & De Robertis, A. (2012). *Evaluation of rockfish abundance in untrawlable habitat: Combining acoustic and complementary sampling tools.*

- Juanes, F. (2016). A length-based approach to predator–prey relationships in marine predators. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 73(4), 677–684.
- Kavanagh, K. D., & Olney, J. E. (2006a). Ecological correlates of population density and behavior in the circumtropical black triggerfish *Melichthys niger* (Balistidae). *Environmental Biology of Fishes*, 76(2–4), 387–398.
<https://doi.org/10.1007/s10641-006-9044-1>
- Kavanagh, K. D., & Olney, J. E. (2006b). Ecological correlates of population density and behavior in the circumtropical black triggerfish *Melichthys niger* (Balistidae). *Environmental biology of fishes*, 76(2–4), 387–398.
- Krajewski, J. P., & Floeter, S. R. (2011a). Reef fish community structure of the Fernando de Noronha Archipelago (Equatorial Western Atlantic): The influence of exposure and benthic composition. *Environmental Biology of Fishes*, 92, 25–40.
- Krajewski, J. P., & Floeter, S. R. (2011b). Reef fish community structure of the Fernando de Noronha Archipelago (Equatorial Western Atlantic): The influence of exposure and benthic composition. *Environmental Biology of Fishes*, 92(1), Artigo 1.
<https://doi.org/10.1007/s10641-011-9813-3>
- Lessa, R. P. (1998). *Análise dos desembarques da pesca de Fernando de Noronha*. 47–56. Arquivos de Ciências do Mar.
- Lessa, R. P., De Nóbrega, & Marcelo Francisco. (2009). *Dinâmica das frotas pesqueiras da região Nordeste do Brasil. Análise das principais pescarias. Recife: Programa de avaliação do potencial sustentável dos recursos vivos da Zona Econômica Exclusiva–REVIZEE, Sub-comitê regional Nordeste–SCORE-NE. 4.*

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifreqüencial e vídeo.

45

- MacLennan, D. (2002). A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science*, 59(2), 365–369. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1158>
- Mallet, D., & Pelletier, D. (2014). Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952–2012). *Fisheries Research*, 154, 44–62. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.019>
- Martins, K., Pelage, L., Justino, A. K., Frédou, F. L., Júnior, T. V., Le Loc'h, F., & Travassos, P. (2021). Assessing trophic interactions between pelagic predatory fish by gut content and stable isotopes analysis around Fernando de Noronha Archipelago (Brazil), Equatorial West Atlantic. *Journal of Fish Biology*.
- Matheus, Z., Francini-Filho, R. B., Pereira-Filho, G. H., Moraes, F. C., Moura, R. L. de, Brasileiro, P. S., & Amado-Filho, G. M. (2019). Benthic reef assemblages of the Fernando de Noronha Archipelago, tropical South-west Atlantic: Effects of depth, wave exposure and cross-shelf positioning. *PLOS ONE*, 14(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210664>
- McQuinn, Reid, & Berger. (2005). *Description of the ICES HAC Standard Data Exchange Format, Version 1.60*. <https://doi.org/10.17895/ICES.PUB.5482>
- Mendes, T. C., Quimbayo, J. P., Bouth, H. F., Silva, L. P., & Ferreira, C. E. (2019). The omnivorous triggerfish *Melichthys niger* is a functional herbivore on an isolated Atlantic oceanic island. *Journal of fish biology*, 95(3), 812–819.
- Miloslavich, P., Klein, E., Díaz, J. M., Hernández, C. E., Bigatti, G., Campos, L., Artigas, F., Castillo, J., Penchaszadeh, P. E., Neill, P. E., Carranza, A., Retana, M. V., Díaz De Astarloa, J. M., Lewis, M., Yorrio, P., Piriz, M. L., Rodríguez, D., Yoneshigue-Valentin, Y., Gamboa, L., & Martín, A. (2011). Marine Biodiversity in the Atlantic

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifrequencial e vídeo.

46

and Pacific Coasts of South America: Knowledge and Gaps. *PLoS ONE*, 6(1), e14631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014631>

Moore, A. (2016). Anthropocene anthropology: Reconceptualizing contemporary global change. *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 22(1), 27–46.

Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., & Marbà, N. (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PloS one*, 7(9), e43542.

Perrot, Y., Brehmer, P., Habasque, J., Roudaut, G., Behagle, N., Sarré, A., & Lebourges-Dhaussy, A. (2018). Matecho: An Open-Source Tool for Processing Fisheries Acoustics Data. *Acoustics Australia*, 46(2), Artigo 2. <https://doi.org/10.1007/s40857-018-0135-x>

Pinheiro, H. T., Ferreira, C. E. L., Joyeux, J.-C., Santos, R. G., & Horta, P. A. (2011). Reef fish structure and distribution in a south-western Atlantic Ocean tropical island. *Journal of Fish Biology*, 79(7), 1984–2006. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03138.x>

Priede, I. G., Bagley, P. M., Smith, A., Creasey, S., & Merrett, N. R. (1994). Scavenging deep demersal fishes of the Porcupine Seabight, north-east Atlantic: Observations by baited camera, trap and trawl. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 74(3), 481–498. <https://doi.org/10.1017/S0025315400047615>

Ryan, T. E., Downie, R. A., Kloser, R. J., & Keith, G. (2015). Reducing bias due to noise and attenuation in open-ocean echo integration data. *ICES Journal of Marine Science*, 72(8), 2482–2493. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv121>

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifrequencial e vídeo.

47

- Salvetat, J., Bez, N., Habasque, J., Lebourges-Dhaussy, A., Lopes, C., Roudaut, G., Simier, M., Travassos, P., Vargas, G., & Bertrand, A. (2022). Comprehensive spatial distribution of tropical fish assemblages from multifrequency acoustics and video fulfils the island mass effect framework. *Scientific Reports*, *12*(1), 8787. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12409-9>
- Sutton-Grier, A. E., & Sandifer, P. A. (2019). Conservation of wetlands and other coastal ecosystems: A commentary on their value to protect biodiversity, reduce disaster impacts, and promote human health and well-being. *Wetlands*, *39*(6), 1295–1302.
- Thornton, T. F., & Scheer, A. M. (2012). Collaborative Engagement of Local and Traditional Knowledge and Science in Marine Environments: A Review. *Ecology and Society*, *17*(3), art8. <https://doi.org/10.5751/ES-04714-170308>
- Tiano, J. C., Witbaard, R., Bergman, M. J., van Rijswijk, P., Tramper, A., van Oevelen, D., & Soetaert, K. (2019). Acute impacts of bottom trawl gears on benthic metabolism and nutrient cycling. *ICES Journal of Marine Science*, *76*(6), 1917–1930.
- Travassos, Hazin, & Zagaglia. (1999). *Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil*.
- Trenkel, V. M., Berger, L., Bourguignon, S., Doray, M., Fablet, R., Massé, J., Mazauric, V., Poncelet, C., Quemener, G., Scalabrin, C., & Villalobos, H. (2009). Overview of recent progress in fisheries acoustics made by Ifremer with examples from the Bay of Biscay. *Aquatic Living Resources*, *22*(4), Artigo 4. <https://doi.org/10.1051/alr/2009027>
- Trenkel, V., Ressler, P., Jech, M., Giannoulaki, M., & Taylor, C. (2011). Underwater acoustics for ecosystem-based management: State of the science and proposals for

Silva, C. L. Caracterização da distribuição das comunidades de peixes pelágicos e demersais ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha através da prospecção acústica multifrequencial e vídeo.

48

ecosystem indicators. *Marine Ecology Progress Series*, 442, 285–301.

<https://doi.org/10.3354/meps09425>

Tromeur, E., & Loeuille, N. (2017). Balancing yield with resilience and conservation objectives in harvested predator–prey communities. *Oikos*, 126(12), 1780–1789.

Villéger, S., Brosse, S., Mouchet, M., Mouillot, D., & Vanni, M. J. (2017). Functional ecology of fish: Current approaches and future challenges. *Aquatic Sciences*, 79(4), 783–801. <https://doi.org/10.1007/s00027-017-0546-z>

Westera, M., Lavery, P., & Hyndes, G. (2003). Differences in recreationally targeted fishes between protected and fished areas of a coral reef marine park. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 294(2), Artigo 2. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00268-5)

Willis, T. J., & Babcock, R. C. (2000). A baited underwater video system for the determination of relative density of carnivorous reef fish. *Marine and Freshwater Research*, 51(8), 755. <https://doi.org/10.1071/MF00010>

ANEXOS

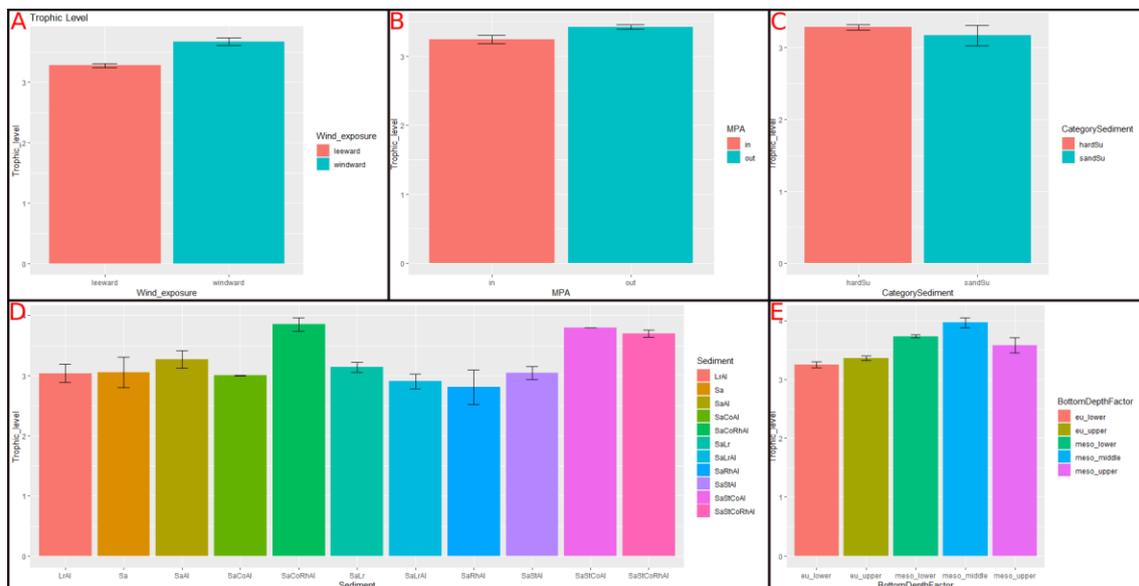


Figure 9. Nível trófico sem a espécie *M. niger* com erro padrão indicado por barras para a) Exposição aos ventos e correntes (Wind_exposure), b) Área Marinha Protegida (MPA), c) Categoria de substrato (CategorySediment), d) tipos de substratos (Sediment), e) estrato de profundidade.