



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

**ASSOCIAÇÕES COMPORTAMENTAIS ENTRE TUBARÕES E A PESCA NO
ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO, BRASIL.**

Rafael Barros Leite

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. Dr. Paulo Guilherme V. de Oliveira
Orientador.

Prof. Dra. Ilka Siqueira L. Branco Nunes
Coorientadora.

Recife,
Agosto /2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

- L533a Leite, Rafael Barros.
Associações comportamentais entre tubarões e a pesca no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil. / Rafael Barros Leite. - Recife, 2024.
41 f.
- Orientador(a): Paulo Guilherme V. de Oliveira.
Co-orientador(a): Ilka Siqueira L. Branco Nunes.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Recife, BR-PE, 2024.
- Inclui referências e anexo(s).
1. Tubarão (Peixe). 2. São Pedro e São Paulo, Arquipélago. 3. Pesca (São Pedro e São Paulo, Arquipélago. 4. Parques e reservas marinhos (São Pedro e São Paulo, Arquipélago) 5. Desenvolvimento econômico - Aspectos ambientais. I. Oliveira, Paulo Guilherme V. de, orient. II. Nunes, Ilka Siqueira L. Branco, coorient. III. Título

CDD 639.3

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

ASSOCIAÇÕES COMPORTAMENTAIS ENTRE TUBARÕES E A PESCA NO
ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO, BRASIL.

Rafael Barros Leite

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em 30/08/2024 pela seguinte Banca examinadora.

Prof. Dr. Paulo Guilherme V. de Oliveira

Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dra. Natalia Priscila Alves Bezerra

Departamento de Oceanografia e Ecologia
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dra. Renata Akemi Shinozaki Mendes

Unidade Acadêmica de Serra Talhada
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedicatória

Dedico este trabalho a Ângela, Carlos Alberto, Claudia, Renato, Renata e Bento.

Agradecimentos

Ao concluir esta dissertação, expresso minha gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar e fortalecer durante toda essa jornada.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Paulo Oliveira e Prof.^a. Dra. Ilka Nunes, por todo o suporte e ensinamentos.

Aos meus pais, Carlos Alberto e Ângela, por todo amor, apoio incondicional e por sempre acreditarem em mim. Suas palavras de encorajamento foram fundamentais em momentos de dúvida e cansaço.

Aos pescadores pelos ensinamentos e auxílio nas expedições científicas (Damião Bento, João Maria, Antônio Cruz, Robson Ferreira, Jailton Silva, e Aristides Melo).

Aos meus colegas e amigos do Laboratório de Etologia de Peixes, pelas discussões enriquecedoras, pelo companheirismo e pela colaboração em todos os momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, sem o qual a realização desta pesquisa não teria sido possível.

À Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM/Marinha do Brasil) por todo o apoio logístico durante as expedições ao Arquipélago São Pedro São Paulo.

Por fim, agradeço a todos os professores, funcionários e colegas da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Pesca e Aquicultura (UFRPE/DEPAq). A cada um de vocês, o meu muito obrigado.

Epígrafe

Uma característica central de quem não perde oportunidade é a capacidade de ter audácia. Não se confunda audácia com aventura. A mudança se faz com os audaciosos, não com os aventureiros. O grande pensador alemão Immanuel Kant, no século XVIII, dizia: “Avalia-se a inteligência de um individuo pela quantidade de incertezas que ele é capaz de suportar”. Suporta não significa sucumbir, mas resistir às incertezas e continuar. Para resistir às incertezas é preciso ter audácia. Repita-se: não confunda audácia com aventura, audacioso ou audaciosa é aquele (a) que planeja, organiza, estuda e vai. Aventureiro ou aventureira é quem diz: “Vamos que vamos e veremos no que dá” ou “primeiro a gente enlouquece e depois vê como é que fica”...

(Mario Sergio Cortella)

Resumo

A interação entre tubarões e atividades pesqueiras em áreas isoladas como o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) apresenta desafios significativos tanto para a conservação marinha quanto para a sustentabilidade econômica das pescarias. A depredação por tubarões, onde esses predadores danificam ou consomem as capturas antes de serem recolhidas, impacta diretamente a viabilidade das pescarias e levanta questões sobre a proteção das populações de tubarões na região. Este estudo teve como objetivo investigar as interações entre tubarões e a pesca comercial no ASPSP, com foco na identificação das taxas de depredação, bem como nos fatores ambientais e operacionais que influenciam esses eventos. Ao longo de quatro expedições científicas realizadas entre 2022 e 2023, foram coletados dados abrangentes sobre capturas de espécimes, taxas de depredação e variáveis ambientais. Para identificar os principais predadores da depredação, foram utilizados modelos de Boosted Regression Trees (BRT), enquanto a sobreposição entre atividades pesqueiras e Áreas Marinhas Protegidas (AMPs) foi avaliada por meio de mapas de densidade kernel. Os resultados indicaram uma taxa média de depredação de 10,9%, com *Thunnus albacares* sendo a espécie mais afetada, representando 77,43% dos casos. O esforço de pesca emergiu como o principal fator preditivo da depredação, respondendo por 52% da variabilidade observada. Além disso, as áreas de alta densidade de depredação coincidiram com as fronteiras das AMPs, sugerindo que essas zonas protegidas estão particularmente vulneráveis às interações negativas entre tubarões e pescadores. Os dados deste estudo sublinham a importância de regular o esforço de pesca, especialmente em áreas adjacentes às AMPs, para mitigar a depredação por tubarões e promover a sustentabilidade das pescarias no ASPSP. Recomenda-se a implementação de práticas de pesca mais seletivas e a adoção de tecnologias de dissuasão de tubarões como medidas complementares de manejo. O monitoramento contínuo e o uso de modelos preditivos são essenciais para ajustar as estratégias de gestão às dinâmicas populacionais dos tubarões e às condições ambientais em constante mudança. Este estudo contribui para o desenvolvimento de políticas de manejo que equilibrem a conservação da biodiversidade marinha com a sustentabilidade econômica das atividades pesqueiras na região, auxiliando na proteção das espécies de tubarões e na continuidade das operações de pesca no ASPSP.

Palavras-chave: Depredação por tubarões, Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Pesca comercial, Áreas marinhas protegidas, Modelos preditivos.

Abstract

The interaction between sharks and fishing activities in isolated areas such as the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (ASPSP) presents significant challenges for both marine conservation and the economic sustainability of fisheries. Shark depredation, where these predators damage or consume catches before they can be retrieved, directly impacts the viability of fisheries and raises concerns about the protection of shark populations in the region. This study aimed to investigate interactions between sharks and commercial fishing in the ASPSP, focusing on identifying depredation rates, as well as the environmental and operational factors that influence these events. Over four scientific expeditions conducted between 2022 and 2023, comprehensive data on fish catches, depredation rates, and environmental variables were collected. Boosted Regression Trees (BRT) models were applied to identify the main predictors of depredation, while the overlap between fishing activities and Marine Protected Areas (MPAs) was assessed using kernel density maps. The results indicated an average depredation rate of 10.9%, with *Thunnus albacares* being the most affected species, representing 77.43% of cases. Fishing effort emerged as the primary predictor of depredation, accounting for 52% of the observed variability. Additionally, areas of high depredation density coincided with the boundaries of MPAs, suggesting that these protected zones are particularly vulnerable to negative interactions between sharks and fishers. The findings of this study highlight the importance of regulating fishing effort, especially in areas adjacent to MPAs, to mitigate shark depredation and promote the sustainability of fisheries in the ASPSP. The implementation of more selective fishing practices and the adoption of shark deterrent technologies are recommended as complementary management measures. Continuous monitoring and the use of predictive models are essential to adjust management strategies to the population dynamics of sharks and ever-changing environmental conditions. This study contributes to the development of management policies that balance marine biodiversity conservation with the economic sustainability of fishing activities in the region, supporting the protection of shark species and the continuity of fishing operations in the ASPSP.

Keywords: Shark depredation, Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Commercial fishing, Marine protected areas, Predictive models.

Lista de figuras

Página

Figura 1. Mapa de localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), no Oceano Atlântico. O mapa principal mostra as ilhas e ilhotas que compõem o ASPSP, incluindo as principais áreas: Ilha Belmonte, Ilha Barão de Teffé, Ilha de São Pedro e a Ilha de São Paulo. São demarcadas as Áreas de Proteção Ambiental (APA ASPSP), o Monumento Natural Marinho (MONA ASPSP)..... 18

Figura 2. Mapa densidade *kernel* concentração de esforço da pesca comercial no ASPSP, com isóbatas representando diferentes profundidades (em metros). As áreas em vermelho indicam maior densidade, enquanto as áreas em azul representam menor densidade.....25

Figura 3. Mapa densidade *kernel* *Carcharhinus sp* capturas acidentais no ASPSP. As áreas em vermelho indicam maior densidade de ocorrência da espécie, enquanto as áreas em azul indicam menor densidade.....28

Figura 4. Mapas densidade *kernel* padrões depredação região corporal das presas na pesca comercial ASPSP. O primeiro mapa (superior esquerdo) mostra a densidade de depredação na região abdominal, o segundo (superior direito) na região abdômen-cauda, o terceiro (inferior esquerdo) na cauda e o quarto (inferior direito) a densidade total de depredação.29

Figura 5. Gráficos das funções ajustadas mostrando a influência das variáveis 'Esforço', 'Mês', 'Isca', e 'Tuba_fim' (avistamento de tubarões ao final de cada lance) no modelo estatístico. O percentual indicado em cada gráfico representa a porcentagem da variância explicada pela respectiva variável no modelo.....33

Lista de tabelas

Página

Tabela 1. Composição das capturas (n), participação relativa (%) das espécies capturadas e valores de depredações (n e %) provocadas nos espécimes capturados pela pesca comercial, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.....23-24

Tabela 2. Capturas acidentais de tubarões, agrupadas pelos períodos seco e chuvoso, com destaque para a média de capturas por lance ($\bar{x}$), variância (s^2), desvio padrão (s), intervalo de confiança de 95% (IC 95%), porcentagem de lances sem capturas (%), e lance com maior número de capturas (n), provocadas pela pesca comercial, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.....26

Tabela 3. Frequência e proporção de depredação por arte de pesca provocada pela pesca comercial, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.....30

Tabela 4. Frequência e proporção de interações por lance na arte de pesca, provocada pela pesca comercial no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.....31

Sumário

	Página
Dedicatória	4
Agradecimento	5
Epígrafe	6
Resumo	7
Abstract	8
Lista de figuras	9
Lista de tabelas	10
1 – Introdução	12
3 – Artigo científico	14
4 – Referências bibliográficas	39
5 – Apêndices	44

1. Introdução

Diversos conflitos e uma ampla gama de impactos socioeconômicos são gerados quando a vida selvagem se alimenta de recursos cultivados ou capturados por humanos, sendo este um comportamento denominado de “depredação” (TIXIER et al. 2021). No ambiente marinho, o processo de depredação ocorre, quando um predador (por exemplo, um tubarão, cetáceo, ave marinha, grande teleósteo) consome completa ou parcialmente um animal capturado por um apetrecho de pesca, sendo está uma problemática observada em diversas pescarias ao redor do mundo (TIXIER et al. 2021). Particularmente, a interação entre tubarões e a atividade pesqueira tem sido amplamente estudada em diversas regiões, nos últimos anos, devido às suas implicações intrínsecas à necessidade da execução de uma gestão pesqueira sustentável, na expectativa de minimizar os conflitos e promover o equilíbrio na coexistência da atividade pesqueira e da vida marinha. (MACNEIL et al., 2009; BIQUET et al., 2024; CARMODY et al., 2021; MITCHELL et al., 2022).

No Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), essa interação é particularmente crítica, dada a singularidade do ecossistema marinho local e a presença significativa de tubarões, especialmente as espécies que compõe o gênero *Carcharhinus*. Historicamente, barcos pesqueiros brasileiros, passaram a pescar no entorno do ASPSP em meados da década de 1970, tendo como alvo inicial de suas capturas os atuns e afins (PAIVA e GALL, 1975). Além das espécies tradicionalmente capturadas, os tubarões foram considerados, um importante recurso pesqueiro no entorno do ASPSP (VIANA et al., 2015). Contudo, suas capturas foram descontinuadas a partir de 2012, em razão da suspensão do uso do espinhel como aparelho de pesca, em atendimento a uma determinação da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (BRASIL, 2014). Em razão dessa descontinuidade, ao longo da década subsequente, houve uma recuperação significativa das populações de tubarões que habitam o entorno do ASPSP (QUEIROZ, 2020), interferindo diretamente na estratégia de pesca e composição das capturas no ASPSP.

A localização estratégica do ASPSP, associada à forte dinâmica oceanográfica que incide sobre o mesmo, o transforma em uma área de altíssima relevância para o ciclo de vida de diversas espécies pelágicas e demersais, sejam elas residentes ou migratórias. Nesse contexto, a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) e do Monumento Natural (MONA) do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, instituídos pelo Decreto nº 9.313 de 19 de março de 2018, representa uma importante medida para a conservação dos recursos naturais e da biodiversidade na região. A APA, com aproximadamente 40.705.236 hectares, visa garantir a proteção dos ambientes marinhos, incluindo a coluna d'água e montes submarinos, promovendo

o uso sustentável dos recursos naturais. Já o MONA, com cerca de 4.726.318 hectares, foi criado para preservar o sítio natural raro do arquipélago, caracterizado por sua formação geológica única e pela presença de espécies endêmicas. Ambas as unidades de conservação são fundamentais para a conservação da biodiversidade local desse importante ecossistema insular (BRASIL, 2018).

A despeito do avanço na proteção dos habitats marinhos e da biodiversidade local, representado pela criação de Áreas Marinhas Protegidas (AMPs), incluindo as estabelecidas ao redor do ASPSP, para que essas áreas sejam efetivas, é imperativo o estabelecimento de um monitoramento pesqueiro, no intuito de garantir uma gestão pesqueira efetiva, a fim de proteger a biodiversidade local das práticas pesqueiras insustentáveis, além da degradação ambiental (SOARES e LUCAS, 2018).

No atual cenário, no qual já foi relatado a considerável interação dos tubarões com a atividade pesqueira, compreender as complexidades dessas interações no ASPSP se torna fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo que possam conciliar a viabilidade econômica das pescarias com a conservação dos tubarões. A depredação por tubarões pode comprometer a rentabilidade das pescarias ao aumentar as perdas de capturas e danificar os equipamentos de pesca (MITCHELL et al., 2018). Por outro lado, práticas pesqueiras intensivas e insustentáveis ameaçam as populações de tubarões, muitas das quais já enfrentam declínios significativos devido à sobrepesca e à degradação de seus habitats (BARRETO et al., 2015). Considerando que o ASPSP é reconhecido por sua alta biodiversidade, adotar medidas de gestão que sejam tanto ecologicamente fundamentadas quanto socialmente justas são fundamentais para manutenção e sucesso das Unidades de Conservação de que compõem o ASPSP.

A depredação causada por tubarões representa um grande desafio tanto para a sustentabilidade econômica das pescarias quanto para a conservação desses predadores marinhos. Nesse contexto, as práticas de manejo por evidências científicas são essenciais. Isso inclui a adoção de técnicas de pesca seletivas, monitoramento e regulamentação das atividades pesqueiras (GIGLIO et al., 2018; MAGRIS e PRESSEY, 2018). O monitoramento contínuo das populações de tubarões e da atividade pesqueira no entorno do ASPSP se torna imperativo, na perspectiva de que seja possível coletar dados precisos sobre as populações de tubarões, as taxas de captura e as interações com as pescarias. Esse monitoramento pode fornecer a base para decisões de manejo adaptativo, permitindo ajustes nas práticas pesqueiras conforme necessário para proteger tanto os tubarões quanto a sustentabilidade das pescarias (BARRETO et al., 2015). De maneira geral, a adoção de técnicas de pesca que minimizem a captura incidental de tubarões e outras espécies não alvo pode incluir a modificação dos equipamentos de pesca, a alteração dos

horários de pesca e a implementação de restrições sazonais para proteger os tubarões durante períodos críticos de reprodução ou alimentação (MITCHELL et al., 2018).

A dinâmica complexa entre tubarões e atividades pesqueiras no ASPSP representa um desafio significativo para a conservação marinha e a gestão pesqueira. Enfrentar esse desafio requer uma abordagem holística e integrada, que combine ciência robusta, gestão eficaz, educação e engajamento das partes interessadas. Nesse sentido, a presente pesquisa teve como objetivo investigar as interações entre tubarões e a atividade pesqueira comercial, que ocorre no entorno do ASPSP, com vistas de contribuir no desenvolvimento de políticas para o desenvolvimento de um Plano de Gestão Pesqueira do ASPSP.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Investigar as interações entre tubarões e as atividades de pesca comercial no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, com foco nas taxas de depredação por tubarões, os fatores ambientais e operacionais que influenciam essas interações.

2.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar a composição e a abundância relativa das capturas provenientes das embarcações pesqueiras que atuam no entorno do ASPSP;
2. Estimar a abundância de tubarões no início e no final das pescarias;
3. Avaliar a taxa de depredação promovida pelos tubarões na atividade pesqueira.
4. Analisar a variação sazonal na composição das capturas, abundância de tubarões e taxa de depredação entre os períodos seco e chuvoso no ASPSP.

3. Artigo Científico

ASSOCIAÇÕES COMPORTAMENTAIS ENTRE TUBARÕES E A PESCA NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO, BRASIL.

Resumo

A depredação por tubarões em pescarias comerciais representa um desafio significativo para a sustentabilidade das atividades pesqueiras, especialmente em áreas marinhas isoladas como o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP). Este estudo investiga as interações entre tubarões e a pesca no ASPSP, com o objetivo de identificar os fatores que influenciam a depredação e propor estratégias de manejo que possam mitigar seus impactos. Foram realizadas quatro expedições entre 2022 e 2023 para coletar dados sobre as capturas de espécimes, taxas de depredação, e variáveis ambientais. Modelos de Boosted Regression Trees (BRT) foram aplicados para identificar os principais preditores da depredação. Além disso, foram utilizados mapas de densidade kernel para avaliar a sobreposição das atividades pesqueiras com as Áreas Marinhas Protegidas (AMPs) no ASPSP. O estudo revelou uma taxa média de depredação de 10,9%, com *Thunnus albacares* sendo a espécie mais afetada (77,43% das depredações). O esforço de pesca foi identificado como o principal preditor da depredação, contribuindo com 52% da variabilidade observada. As áreas de alta densidade de depredação coincidiram com as fronteiras das AMPs, sugerindo uma vulnerabilidade das áreas protegidas às interações entre tubarões e pescadores. Este estudo destaca a necessidade de regular o esforço de pesca, especialmente em áreas próximas às AMPs, para mitigar a depredação por tubarões e melhorar a sustentabilidade das pescarias no ASPSP. A implementação de práticas de pesca mais seletivas e o uso de tecnologias de dissuasão de tubarões são recomendados para complementar as medidas de manejo existentes. A aplicação contínua de modelos preditivos e o monitoramento das condições ambientais são essenciais para ajustar as estratégias de manejo às dinâmicas populacionais dos tubarões e às mudanças ambientais.

Palavras-chave: Depredação por tubarões; Arquipélago de São Pedro e São Paulo; Pesca comercial; Áreas marinhas protegidas; Modelos preditivos.

Introdução

A pesca comercial no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), uma das regiões mais remotas e ecologicamente valiosas do Oceano Atlântico Equatorial, enfrenta desafios significativos, entre os quais a depredação por tubarões aos recursos pesqueiros capturados se destaca como um dos potencialmente críticos. Este fenômeno, caracterizado pela interação entre tubarões e atividades pesqueiras, resulta na captura parcial ou total de peixes que se encontram nas linhas ou redes de pesca, gerando prejuízos econômicos substanciais aos pescadores e comprometendo a sustentabilidade das pescarias na região (MACNEIL et al., 2009). A alta

frequência desses eventos tem levantado preocupações crescentes sobre a viabilidade econômica e ecológica das operações de pesca no entorno do ASPSP.

O ASPSP é reconhecido por sua biodiversidade marinha singular e por abrigar espécies pelágicas de alto valor comercial, como a albacora-laje (*Thunnus albacares*) e a cavala-impigem (*Acanthocybium solandri*) (VIANA et al., 2015). Em 2012, a Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM) proibiu o uso de espinhel no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, como medida para proteger as populações de elasmobrânquios, que estavam em declínio devido à intensa pressão pesqueira, essa proibição resultou em uma recuperação significativa das populações de tubarões na região ao longo da década subsequente, demonstrando a eficácia da medida na preservação da biodiversidade marinha local (QUEIROZ, 2020). No entanto, a abundância de tubarões na região, atraídos pela oferta alimentar de fácil acesso que a pesca disponibiliza, tem levado a frequentes eventos de depredação, onde os tubarões danificam ou consomem as capturas antes que possam ser recolhidas pelos pescadores (MACNEIL et al., 2009). Essa interação não só afeta a economia, mas também levanta questões sobre a gestão sustentável dos recursos pesqueiros.

As operações de pesca no ASPSP são majoritariamente focadas na captura de *A. solandri*, com capturas secundárias de outras espécies pelágicas, como albacora-laje, dourado (*Coryphaena hippurus*) e peixe-rei (*Elagatis bipinnulata*). A atividade é distribuída em duas zonas principais: o entorno imediato do arquipélago, com profundidades variando entre 44 e 198 metros e uma área conhecida como "banco de pesca" (0°57'20" N, 29°17'34" W), com distância aproximada de 7 milhas náuticas a leste do ASPSP. As técnicas de pesca empregadas variam conforme as espécies-alvo e as condições ambientais, incluindo o uso de corrico com iscas naturais e artificiais, linha de mão e puça (VIANA et al, 2015; PINHEIRO et al., 2020). Embora as capturas sejam dominadas por espécies como *T. albacares* e *A. solandri*, a presença constante, no decorrer das pescarias, de tubarões da família *Carcharhinidae*, especialmente *Carcharhinus falciformes* (Tubarão lombo-preto), *Carcharhinus galapagensis* (Tubarão de Galápagos) e *Carcharhinus obscurus* (Tubarão fidalgo), contribui para uma alta frequência de depredação.

Estudos recentes indicam que as taxas de depredação variam significativamente em função de fatores como localização geográfica, estação do ano e condições ambientais, tornando o manejo dessas interações um desafio complexo (MITCHELL et al., 2018; GILMAN et al., 2008; RABEARISOA et al. 2018). Além dos impactos econômicos, a depredação por tubarões levanta preocupações sobre a sustentabilidade ecológica das pescarias, uma vez que a interação

frequente com esses predadores pode alterar a dinâmica populacional das espécies envolvidas e comprometer a integridade do ecossistema marinho (GILMAN et al., 2008).

A crescente demanda por recursos pesqueiros e a expansão das atividades de pesca industrial nas proximidades do arquipélago exacerbam a pressão sobre as populações de tubarões e aumentam a incidência de captura incidental e mortalidade, agravando os desafios de conservação (GIGLIO et al., 2018). Diante desse cenário, a compreensão detalhada das dinâmicas de depredação e a implementação de estratégias eficazes para mitigar esses impactos são cruciais para garantir a viabilidade a longo prazo da pesca comercial no ASPSP. Medidas de gestão sustentável e a adoção de tecnologias de pesca mais seletivas têm sido propostas como soluções para minimizar a depredação e promover a sustentabilidade das pescarias (MAGRIS, 2021). Este estudo teve como objetivo investigar as interações entre tubarões e as atividades de pesca comercial no entorno do ASPSP, com vistas de caracterizar as taxas de depredação por tubarões, os fatores ambientais e operacionais que influenciam essas interações.

Material e Métodos

Área de estudo

Inserido em uma Área de Proteção Ambiental (APA Arquipélago de São Pedro e São Paulo) o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (0°55'01" N, 29°20'44" W) é um dos menores e mais isolado grupo de ilhas oceânicas do planeta, localizado a cerca de 510 milhas náuticas (1.010 quilômetros) da costa do Nordeste do Brasil e a 985 milhas náuticas (1.824 quilômetros) da costa Oeste de Guiné Bissal, África, no meio do oceano Atlântico equatorial (Figura 1). Consiste em um remoto grupo de ilhas, próximo à linha do Equador, que ocupa uma área emersa de cerca de 17.000 m², cuja elevação máxima é de 18 m acima do nível do mar, situadas no hemisfério norte. (OLIVEIRA, VIANA e SOUZA., 2018).

O Arquipélago é uma das áreas com os maiores índices pluviométricos em todo o oceano Atlântico, ocorrem duas estações climáticas distintas, uma chuvosa (janeiro-junho) e outra seca (julho-dezembro), estando diretamente sob a influência da zona de convergência intertropical, que regula o regime de chuvas na costa nordestina do Brasil, resultando em menor salinidade superficial (MOHR et al., 2009). A corrente equatorial sul de superfície, fluindo para oeste, e a Subcorrente Equatorial, fluindo para leste em profundidades entre 40 e 150 m, influenciam diretamente a área, onde as interações dessas correntes com a topografia local favorece a

ocorrência de correntes ascendentes e descendentes, tornando-se um “hotspot” de alimentação e reprodução, atraindo espécies pelágicas (PIMENTEL et al., 2022).

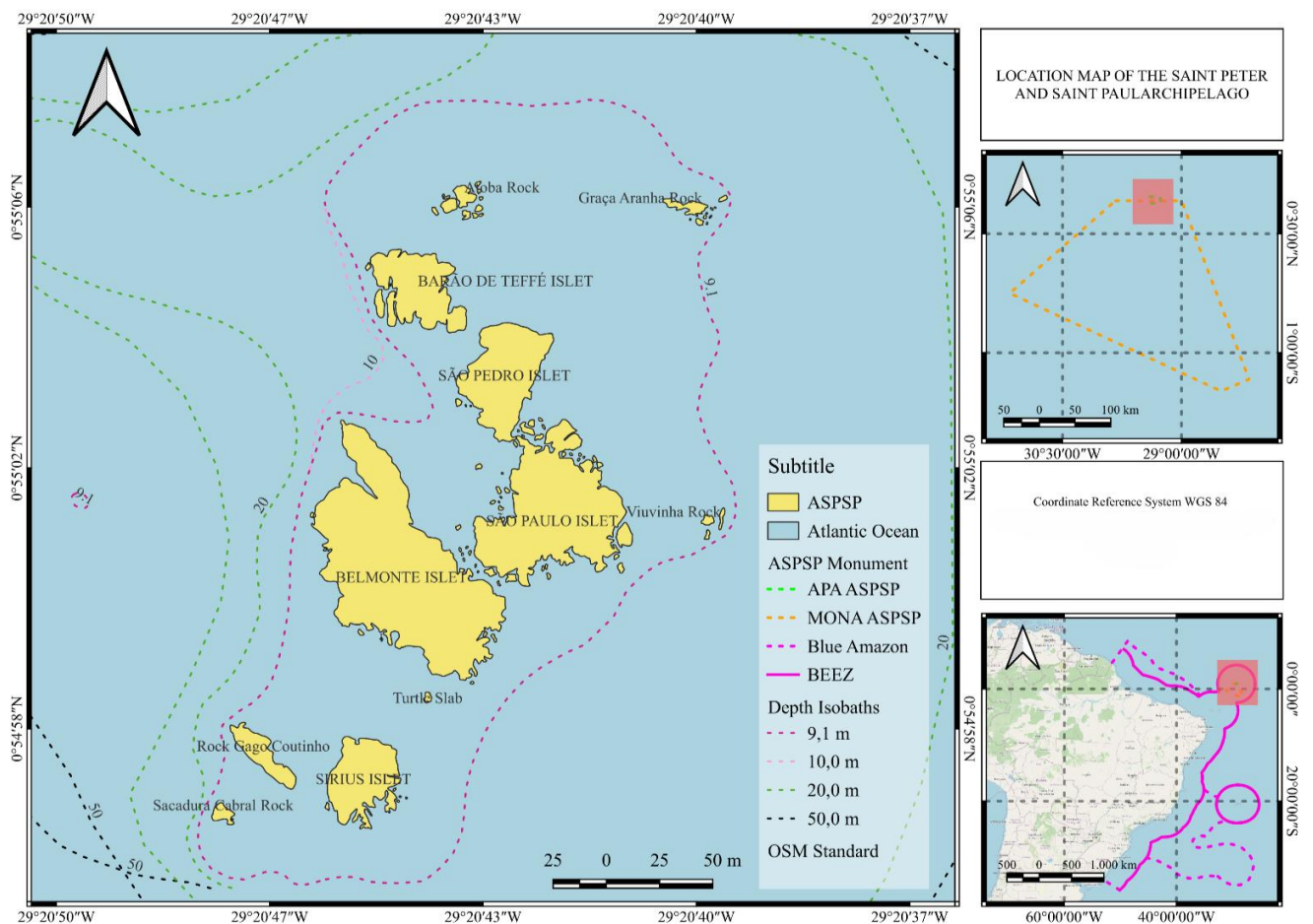


Figura 1. Mapa de localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), no Oceano Atlântico. O mapa principal mostra as ilhas e ilhotas que compõem o ASPSP, incluindo as principais áreas: Ilha Belmonte, Ilha Barão de Teffé, Ilha de São Pedro e a Ilha de São Paulo. São demarcadas as Áreas de Proteção Ambiental (APA ASPSP), o Monumento Natural Marinho (MONA ASPSP).

Coleta dos dados

Entre novembro de 2022 e julho de 2023 foram executadas um total de quatro expedições científicas ao ASPSP para coleta de dados, das quais duas foram realizadas período chuvoso e duas no período seco. O monitoramento da atividade pesqueira comercial, que ocorre no entorno do ASPSP, foi realizado a partir do preenchimento de Mapas de Bordo por pesquisador embarcado, com o auxílio dos mestres das embarcações, em operação na área de pesca. Nos formulários, foi registrado a data, a posição geográfica de captura, temperatura da superfície do mar, o tipo de aparelho de pesca utilizado, a profundidade de atuação da arte de pesca, a

identificação das espécies, quantitativo das espécies capturadas, bem como o tamanho dos espécimes, sexo, além do número de espécimes que apresentaram algum tipo de depredação, promovida por tubarões. Marcas de depredação foram registradas por fotografias e vídeos, sendo classificadas pela região corporal acometidas nas presas: depredação parcial (e.g. região do abdômen, região da cauda, região do abdômen e cauda) e depredação total. Maiores detalhes relacionados ao formulário podem ser verificados no material complementar (Apêndice 1).

Censo visual

A metodologia para a realização de censos de tubarões utilizando embarcação foi adaptada com base em métodos previamente estabelecidos para a observação de aves marinhas, especialmente o método de censo contínuo por Tasker et al. (1984). Esse método é reconhecido por fornecer estimativas de densidade relativa, e foi modificado para atender às necessidades específicas para observação de tubarões. O método envolve a contagem dos tubarões avistados em um campo de visão de 180°, localizado à frente do ponto de observação da embarcação (cabine de comando). Se posicionando cerca de 5 metros acima da superfície do mar, para uma visão clara e abrangente da área, permitindo o avistamento dos tubarões. A estimativa de densidade, a partir da contagem dos espécimes, foi realizada no início e no final das pescarias.

Em condições meteorológicas adversas, como chuva intensa ou mar agitado, as observações foram interrompidas, para garantir acurácia suficiente na coleta dos dados. As coordenadas de latitude e longitude foram registradas no início e no fim de cada período de contagem (10 minutos por lance).

Análise dos dados

Indicadores de captura e depredação

Os estudos de Rabearisoa et al. (2018) e Biquet et al. (2024) fornecem uma metodologia detalhada para quantificar a depredação em operações de pesca. A abordagem utilizada por esses autores envolve várias métricas importantes para estimar o impacto da depredação por predadores, como tubarões, nas capturas. Abaixo estão as definições e metodologias associadas a cada uma dessas métricas:

Indicadores de Captura

- CPUE (Captura Por Unidade de Esforço): Definida como a quantidade de espécime capturada (número de indivíduos) dividido pelo esforço de pesca empregado (número de anzóis).

$$CPUE = \left(\frac{\text{Número de espécimes capturados}}{\text{Esforço de pesca}} \right) \times 100 \quad (1)$$

- BPUE (Captura Acidental Por Unidade de Esforço): Quantifica a captura acidental de tubarões por unidade de esforço de pesca empregado (número de anzóis).

$$BPUE = \left(\frac{\text{Número de capturas acidentais tubarões}}{\text{Número total de anzóis}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Indicadores de depredação

- Taxa de Interação (TI): A TI avalia a frequência de depredações. Quantifica a proporção de lances com depredações em relação ao número total de lances.

$$TI = \left(\frac{\text{Número de lances com depredações}}{\text{Número total de lances}} \right) \times 100 \quad (3)$$

- Depredação por Unidade de Esforço (DPUE): A DPUE mensura a quantidade de depredação em relação ao esforço de pesca empregado (número de anzóis).

$$DPUE = \left(\frac{\text{Número de espécimes depredados}}{\text{Esforço de pesca}} \right) \times 100 \quad (4)$$

- Taxa de Depredação Bruta (TDB): A TDB representa a proporção número total de espécimes capturados que foram perdidos por depredação.

$$TDB = \left(\frac{\text{Número de espécimes depredados}}{\text{Número total de capturas}} \right) \times 100 \quad (5)$$

- Taxa de Danos (TD): Razão entre o número de espécimes depredados e o número de espécimes capturados.

$$TD = \left(\frac{DPUE}{CPUE} \right) \times 100 \quad (6)$$

Análise dos dados (sobre o BRT)

Boosted Regression Trees (BRT) são modelos baseados em árvores de regressão integrados a técnicas de aprendizagens de máquinas (*boosting*). As árvores de regressão buscam identificar o grupo de variáveis preditoras que melhor explicam a variável resposta, usando como método as divisões binárias (i.e nós das árvores). Nos modelos BRT, os nós basais indicam variáveis com alto poder explicativo, enquanto os derivados representam variáveis com baixa influencia. A técnica de boosting é aplicada no treinamento dos dados, gerando vários modelos a partir da combinação de três parâmetros principais: i) a complexidade da árvore (*tree complexity* - *tc*), que define o número de interações entre os preditores em uma árvore; ii) a taxa de aprendizado (*learning rate* - *lr*), que determina a contribuição de cada árvore ao modelo; iii) fração de amostragem (*bag-fraction* - *bf*), que indica a porcentagem de dados utilizados em cada iteração.

Com o objetivo de prever a depredação de tubarões em operações de pesca, o treinamento do modelo envolveu a utilização de diversas variáveis preditoras, como o tipo de embarcação, o mês do ano, a arte de pesca utilizada, o esforço de pesca, o número de pescadores, a profundidade da água, o tipo de isca, a temperatura da superfície do mar, a fase da lua, as correntes marítimas e o estado do mar. O processo de treinamento começou com a criação de uma árvore de regressão básica para cada variável preditora, seguido por um processo iterativo de boosting, no qual novas árvores de regressão foram adicionadas ao modelo para corrigir os erros das iterações anteriores. Durante o treinamento, foram ajustados parâmetros como a complexidade das árvores (*tc*), a taxa de aprendizado (*lr*) e a fração de dados utilizada em cada iteração (*bf*), com o objetivo de melhorar o desempenho do modelo. Os modelos foram treinados com os seguintes valores: *tc* (1, 2, 3, 4, 5), *lr* (0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005) e *bf* (0.5, 0.75).

O modelo final foi escolhido com base no menor desvio de validação cruzada e no menor erro-padrão, sendo então selecionado como o modelo ideal ('parcimonioso'). Esse modelo treinado permite prever os níveis de depredação de tubarões, identificando os fatores que mais influenciam esse fenômeno em diferentes condições de pesca, como aquelas representadas pelas variáveis preditoras. Os modelos BRT foram ajustados com a variável resposta (depredação) utilizando a distribuição de Poisson, e o desempenho explicativo do modelo selecionado foi calculado pelo Coeficiente de Variação (CV%) das predições obtidas nas diferentes iterações de validação cruzada. A análise foi realizada utilizando o pacote *dismo* (HIJMANS et al., 2023) no software R 3.4.4 (R Core Team, 2018 - RStudio), seguindo as orientações de Elith et al. (2008). Um nível de significância de $\alpha = 0,05$ foi considerado para todos os testes estatísticos, garantindo

a robustez dos resultados obtidos. Maiores detalhamentos relacionados análise dos dados modelo BRT podem ser verificados no material complementar (Apêndice 2).

Análise dos dados (sobre os Mapas de *Kernel*)

A metodologia aplicada neste estudo utiliza a estimativa de densidade *Kernel* (*Kernel Density Estimation* - KDE) para analisar a distribuição espacial dos tubarões com base nos dados coletados nas expedições científicas. O KDE, técnica estatística não-paramétrica, é amplamente reconhecida por sua capacidade de estimar a densidade de ocorrência de eventos ou objetos em uma área geográfica específica, gerando uma superfície contínua que representa a probabilidade de ocorrência ao longo do espaço estudado (SILVERMAN, 1986; WORTON, 1989). Esse método é especialmente eficaz para identificar *hotspots*, ou seja, áreas de maior concentração de tubarões, explorando as variações espaciais na abundância relativa das espécies.

Para garantir que as estimativas de densidade reflitam com precisão a abundância relativa dos tubarões, os dados foram ajustados ao esforço de amostragem realizado durante as expedições. Ajustes ao esforço de amostragem são críticos em estudos ecológicos para evitar vieses que possam surgir devido a variações na intensidade de coleta de dados (EFFORD, 2004). Cada avistamento foi georreferenciado com coordenadas geográficas (latitude e longitude), complementado por informações: número de indivíduos e o comportamento registrado. Além disso, os eventos de depredação, onde tubarões danificaram ou consumiram parcialmente as capturas de pesca, foi registrado e quantificado, o que forneceu dados essenciais para a análise espacial e a correlação com os padrões de densidade.

A análise espacial dos dados georreferenciados foi implementada utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) no software QGIS, onde a KDE foi aplicada para criar mapas de densidade que ilustram a distribuição espacial da abundância relativa dos tubarões. A escolha da largura de banda do *kernel*, um passo crucial na aplicação da KDE, foi otimizada para garantir um equilíbrio entre a suavização dos dados e a preservação da precisão espacial, assegurando que os *hotspots* fossem identificados sem perda de detalhes críticos (SHEATHER e JONES, 1991). Os resultados foram então interpretados considerando as variáveis ambientais e o esforço de amostragem, com o objetivo de identificar padrões de distribuição e compreender as dinâmicas espaciais que influenciam a presença de tubarões e a ocorrência de depredações.

Resultados

Análise de Captura e Depredação

Indicadores de captura, depredação e esforço.

Um total de 2076 espécimes foram capturados, dos quais 226 (10,9%) foram afetados por depredação. *Thunnus albacares* foi a espécie mais capturada, com 890 indivíduos (42,87%) a mais afetada pela depredação, com 175 indivíduos depredados (77,43% das depredações). *Acanthocybium solandri* foi a segunda mais capturada, com 352 indivíduos (16,96%) e 24 indivíduos depredados (10,62%). *Elagatis bipinnulata* o qual representou 13,49% do total capturado (280 indivíduos), com 14 indivíduos afetados por depredação (6,19%). Algumas espécies, como *Auxis* sp. (Bonito cachorro), *Caranx crysos* (Guarassuma), *Cypselurus cyanopterus* (Peixe voador) e *Sphyraena barracuda* (Barracuda), não sofreram depredação, apesar de terem sido capturadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição das capturas (n), participação relativa (%) das espécies capturadas e valores de depredações (n e %) provocadas nos espécimes capturados pela pesca comercial, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.

(continua)					
Espécie	Nome comum	Capturas (n)	(%)	Depredação (n)	(%)
<i>Acanthocybium solandri</i>	Cavala-impigem	352	16,96	24	10,62
<i>Auxis</i> sp.	Bonito cachorro	3	0,14	-	-
<i>Canthidermis sufflamen</i>	Cangulo-fernando	86	4,14	2	0,88
<i>Caranx crysos</i>	Guarassuma	5	0,24	-	-
<i>Caranx lugubris</i>	Xaréu-preto	39	1,88	3	1,33
<i>Caranx</i> sp.	Xáreu	35	1,69	-	-
<i>Carcharhinus</i> sp.	Tubarão	158	7,61	-	-
<i>Cypselurus cyanopterus</i>	Peixe voador	86	4,14	-	-
<i>Coryphaena hippurus</i>	Dourado	24	1,16	-	-
<i>Elagatis bipinnulata</i>	Peixe-rei	280	13,49	14	6,19
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Bonito listrado	16	0,77	4	1,77
<i>Seriola rivoliana</i>	Arabaiana	26	1,25	-	-

Tabela 1 - Composição das capturas (n), participação relativa (%) das espécies capturadas e valores de depredações (n e %) provocadas nos espécimes capturados pela pesca comercial, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.

(conclusão)					
Espécie	Nome comum	Capturas (n)	(%)	Depredação (n)	(%)
<i>Sphyrna barracuda</i>	Barracuda	8	0,39	-	-
<i>Thunnus alalunga</i>	Albacora-branca	7	0,34	-	-
<i>Thunnus albacares</i>	Albacora-laje	890	42,87	175	77,43
<i>Thunnus atlanticus</i>	Albacorinha	44	2,12	3	1,33
<i>Thunnus obesus</i>	Albacora- bandolim	17	0,82	1	0,44
Total	-	2076	100	226	100

Fonte: Elaborada pelo autor

As expedições revelaram variação nas médias de captura por lance, entre os períodos seco e chuvoso observou-se que as médias de captura por lance variaram de forma significativa entre os períodos. Durante o período seco, a média combinada de capturas por lance foi de 21,3 capturas (IC 95%: 13,11 $\pm$ 29,49). Esse período apresentou um esforço de pesca médio de 38,4 anzóis por lance, com uma consistência tanto nas capturas quanto no número de anzóis utilizados por lance, com pequenas variações observadas entre os diferentes conjuntos de dados.

No período chuvoso, a média geral de capturas por lance foi de 21,9 capturas (IC 95%: 9,67 $\pm$ 34,13), indicando uma leve variação em relação ao período seco. O esforço de pesca no período chuvoso mostrou uma pequena redução, com uma média de 35,45 anzóis por lance, revelando uma adaptação nas práticas de pesca. Observou-se, ainda, uma maior variabilidade nas capturas, sugerindo que as condições ambientais durante o período chuvoso podem influenciar tanto a captura quanto o esforço de pesca.

Foi utilizado o mapa de densidade *kernel* para avaliar a concentração de esforços de pesca em diferentes profundidades e em relação às áreas de proteção, como a APA ASPSP e o MONA ASPSP (Figura 2). Os resultados mostraram uma alta densidade de atividades de pesca em áreas específicas, especialmente a leste do arquipélago, onde as maiores intensidades de pesca foram registradas em profundidades de aproximadamente 200 metros.

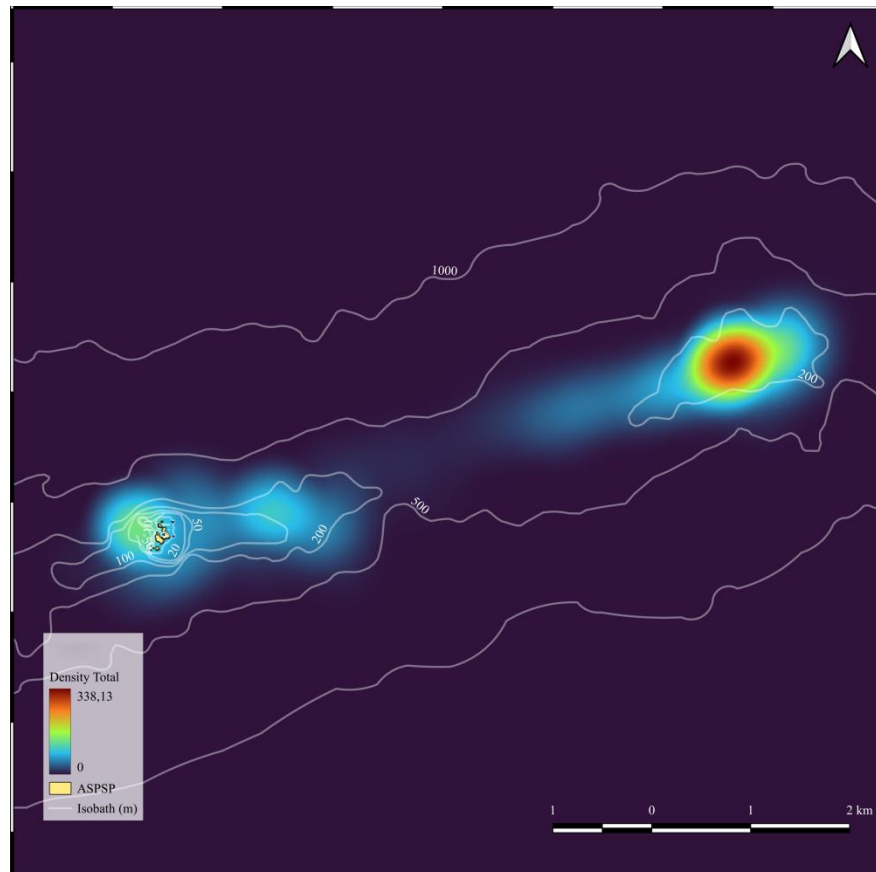


Figura 2. Mapa densidade *kernel* concentração de esforço da pesca comercial no ASPSP, com isóbatas representando diferentes profundidades (em metros).

Capturas acidentais de tubarões

O presente estudo documentou a captura acidental de tubarões por estação climática, revelando uma variação significativa na incidência de capturas acidentais (Tabela 2). No período seco, foi realizado 60 lances de pesca, com um total de 52 capturas acidentais de tubarões, resultando na média de 1,73 tubarões capturados por lance (IC 95%: $0,92 \pm 2,48$), com uma variância de 4,34 e um desvio padrão de 2,08. Observou-se que 50% dos lances não resultaram em capturas, com o maior número de capturas ocorrendo no Lance 2 da segunda expedição, onde foram capturados 9 tubarões. Durante o período chuvoso, foram realizados 41 lances de pesca, resultando em um total de 106 capturas acidentais de tubarões, resultando na média de 2,59 tubarões por lance (IC 95%: $1,51 \pm 3,66$), com uma variância de 9,46 e um desvio padrão de 3,08. No período chuvoso, 54,9% dos lances não resultaram em capturas. O maior número de capturas ocorreu em cinco lances diferentes (Lances 13, 30-33), cada um registrando 9 tubarões.

Tabela 2 - Capturas acidentais de tubarões, agrupadas pelos períodos seco e chuvoso, com destaque para a média de capturas por lance ($\bar{x}$), variância (s^2), desvio padrão (s), intervalo de confiança de 95% (IC 95%), porcentagem de lances sem capturas (%), e lance com maior número de capturas (n), provocadas pela pesca comercial, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.

Período	Número de lances (n)	Total de captura acidental (Σ)	Média de captura por lance ($\bar{x}$)	Variância (s^2)	Desvio padrão (s)	Intervalo de confiança a 95% (IC 95%)	Lance sem capturas (%)	Maior captura lance (n)
Seco	60	52	1,73	4,34	2,08	0,92 – 2,48	50,0	9
Chuvoso	41	106	2,59	9,46	3,08	1,51 – 3,66	54,9	9

Fonte: Elaborada pelo autor

Capturas por unidade de esforço (CPUE)

Os dados coletados indicam a utilização de 3697 anzóis, resultando em 2076 capturas, o que gerou uma CPUE média de 56,2%. A análise por período seco e chuvoso revelou variações significativas na eficiência de captura e na composição das espécies ao longo do tempo. No período seco, que inclui um total de 2304 anzóis utilizados nas atividades de pesca, foram realizadas 1278 capturas, resultando em uma CPUE média de 55,4%. A albacora-laje foi a espécie mais representativa nas capturas desse período, correspondendo a aproximadamente 47% do total, com uma CPUE específica entre 24,87 e 27,24 peixes/100 anzóis. Além disso, a diversidade de espécies capturadas foi relativamente alta, com registros de até 12 espécies diferentes.

No período chuvoso, em que foram utilizados 1393 anzóis, as capturas totalizaram 798 espécimes, com uma CPUE média ligeiramente superior, de 57,3%, essas observações indicam uma leve superioridade na eficiência de captura durante o período chuvoso, embora com uma menor quantidade de anzóis, sugerindo uma potencial influência das condições sazonais sobre as capturas e a eficiência dos esforços de pesca.

Captura acidental por unidade de esforço (BPUE)

A análise revelou variações substanciais no BPUE (*Bycatch Per Unit Effort*) entre os períodos seco e chuvoso, destacando diferenças na taxa de captura acidental de tubarões ao longo das expedições. No período seco, abrangendo as expedições mencionadas, houve uma variação significativa nas taxas de BPUE relacionadas à captura acidental de tubarões. Enquanto uma das

expedições não registrou qualquer captura acidental, resultando em um BPUE de 0,0%, a outra expedição apresentou um BPUE de 4,6%, o que indica uma incidência moderada dessas capturas.

No período chuvoso, o BPUE variou de 8,9% a 3,0% entre as expedições realizadas. A primeira expedição desse período registrou o maior BPUE entre todas, com uma taxa de 8,9%, sugerindo uma incidência relativamente alta de capturas acidentais de tubarões. A expedição seguinte apresentou um BPUE de 3,0%, que, embora menor que o da expedição anterior, ainda reflete uma taxa considerável de capturas acidentais.

Esses dados apontam para uma variação nas taxas de BPUE entre os períodos seco e chuvoso, com o período chuvoso apresentando uma maior propensão à captura acidental de tubarões, especialmente durante a primeira expedição. Essa disparidade nas taxas de BPUE pode indicar uma influência das condições ambientais sazonais sobre a ocorrência de capturas acidentais.

Em termos de arte de pesca, o corrico múltiplo foi responsável pela maior parte do *bycatch*, com 136 capturas, correspondendo a uma taxa de *bycatch* de 86,1%. A pargueira contribuiu com 22 capturas (13,9%), enquanto os métodos de linha de mão e puçá não registraram capturas acidentais de tubarões.

As análises do mapa densidade *kernel* revelaram duas áreas principais de alta concentração de capturas acidentais de *Carcharhinus sp* (Figura 3). A primeira área de alta densidade foi localizada próxima ao Arquipélago de São Pedro e São Paulo, particularmente nas proximidades das isóbatas de 100 e 200 metros, sugerindo uma preferência da espécie por essas profundidades. A segunda área significativa foi identificada mais ao leste, área conhecida como "banco de pesca".

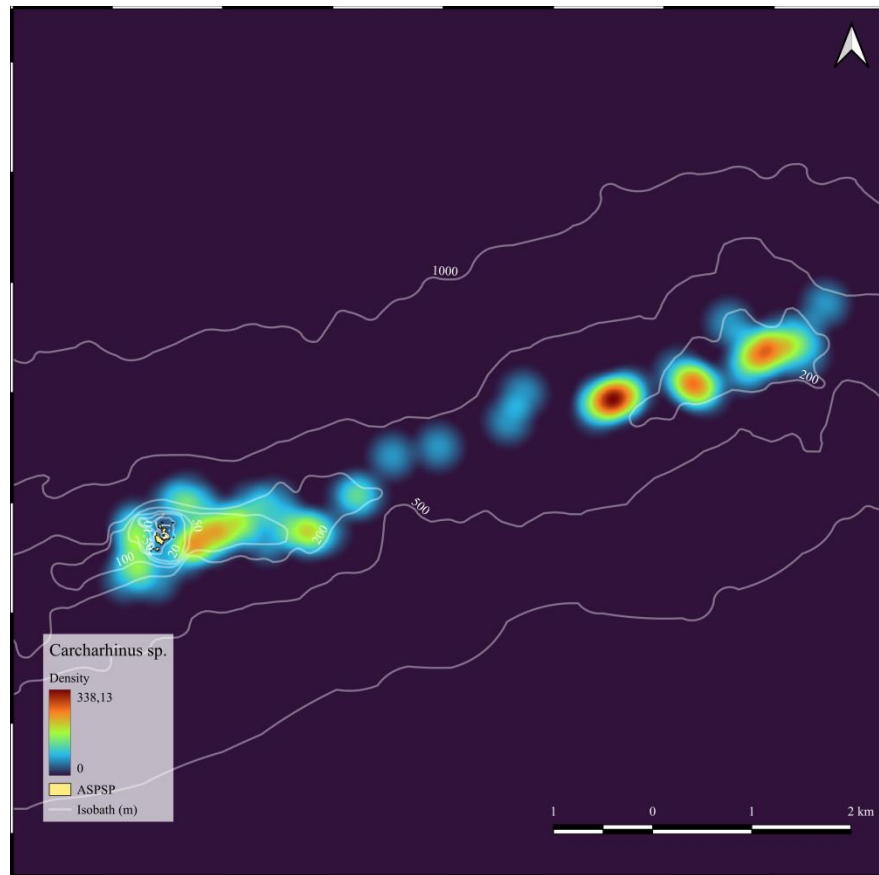


Figura 3. Mapa densidade *kernel Carcharhinus sp* capturas acidentais no ASPSP. As áreas em vermelho indicam maior densidade de ocorrência da espécie, enquanto as áreas em azul indicam menor densidade.

Indicadores depredações

As variações nas taxas de depredação durante as operações de pesca comercial foram significativas, resultando em uma taxa global de depredação de 10,9%. Ao analisar esses dados por períodos, surgem diferenças notáveis entre o período seco e o chuvoso. No período seco, as taxas de depredação variaram consideravelmente. A maior taxa de depredação desse período foi de 12,6%, enquanto a menor taxa registrada foi de 5,7%. Já no período chuvoso, observou-se um aumento nas taxas de depredação em comparação ao período seco. A taxa mais alta alcançou 15,2%, indicando uma intensa atividade predatória, enquanto a taxa mais baixa foi de 7,7%, ainda superior à menor taxa registrada no período seco.

Esses dados sugerem uma tendência de aumento nas taxas de depredação durante o período chuvoso, o que pode refletir uma maior atividade predatória sazonal ou alterações nas condições ambientais que influenciam a presença e o comportamento dos predadores. O mapa de densidade *kernel* revelou padrões distintos de depredação para cada região corporal das presas (Figura 4). As depredações concentradas no abdômen e na cauda mostraram maior intensidade na área

significativa mais a leste (banco de pesca) do ASPSP, com uma notável concentração ao longo da isóbata de 200 metros. A combinação de depredações no abdômen e cauda apresentou um padrão mais disperso, mas ainda com uma clara concentração em torno da região “banco de pesca”.

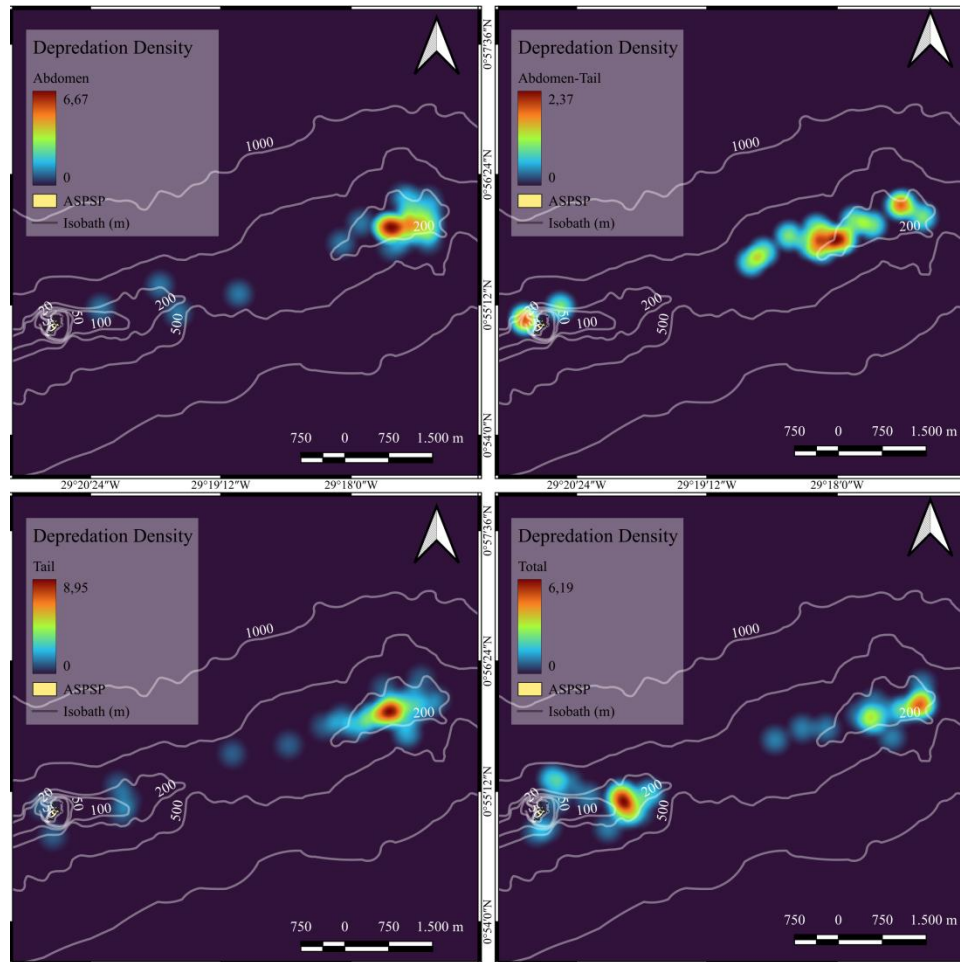


Figura 4. Mapas densidade *kernel* padrões depredação região corporal das presas na pesca comercial ASPSP. O primeiro mapa (superior esquerdo) mostra a densidade de depredação na região abdominal, o segundo (superior direito) na região abdômen-cauda, o terceiro (inferior esquerdo) na cauda e o quarto (inferior direito) a densidade total de depredação.

Analisando os métodos de pesca utilizados na pesca comercial, o corrico-múltiplo apresentou a maior vulnerabilidade à depredação, com uma taxa de 89,4% (202 eventos de depredação), enquanto a linha de mão e a pargueira registraram taxas menores, 7,1% e 3,5%, respectivamente. O método puçá não registrou depredações (Tabela 3). A avaliação por espécie revelou que albacora-laje foi a mais impactada, com 175 eventos de depredação, resultando em uma taxa de 77,43%. Outras espécies, como cavala-impigem (10,62%) e peixe-rei (6,19%), também apresentaram taxas relevantes. Em contrapartida, *Thunnus obesus* foi a espécie menos afetada, com uma taxa de depredação de 0,44%.

Tabela 3 - Frequência e proporção de depredação por arte de pesca provocada pela pesca comercial, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.

Arte de Pesca	Depredações (n)	(%)
Corrico-múltiplo	202	89,4
Linha de mão	16	7,1
Pargueira	8	3,5
Puçá	-	-
Total	226	

Fonte: Elaborada pelo autor

Taxa de Interação (TI)

A análise das taxas de interação (TI) entre métodos de pesca nos períodos seco e chuvoso revelou a eficácia relativa de cada técnica em minimizar interações indesejadas com tubarões. No período seco, a TI geral foi de 13,85%, calculada a partir dos lances depredados nas expedições. A TI mais alta desse período foi de 16,8%, com 17 lances depredados de um total de 101, enquanto a menor TI registrada foi de 10,9%, com 11 lances depredados. Esses valores sugerem que, embora as expedições no período seco tenham enfrentado interações predatórias, houve uma variação notável na frequência de depredação.

No período chuvoso, as taxas de interação apresentaram maior variabilidade, com uma TI geral média de 11,4%. A maior TI foi de 18,8%, com 19 lances depredados, indicando uma intensa atividade de depredação, enquanto a menor TI foi de 4,0%, com apenas 4 lances depredados. Esses resultados sugerem que, no período chuvoso, a variabilidade nas interações foi mais acentuada, possivelmente devido a mudanças sazonais que influenciam o comportamento predatório. No entanto, a menor TI registrada no período chuvoso indica que alguns métodos ou condições podem ser mais eficazes em reduzir as interações indesejadas com tubarões.

Ao analisar as interações por arte de pesca (Tabela 4), o método de corrico-múltiplo apresentou a maior taxa de interação durante ambos os períodos, com uma TI de 43,6%, correspondente a 44 lances depredados. A linha de mão e a pargueira tiveram TIs menores, de 3,0% e 4,0%, respectivamente, enquanto o método Puçá não registrou eventos de depredação, resultando em uma TI de 0,0%. Esses resultados destacam a variação significativa nas taxas de interação por depredação entre os períodos seco e chuvoso, com um aumento notável no período chuvoso, especialmente no uso do corrico-múltiplo.

Tabela 4 - Frequência e proporção de interações por lance na arte de pesca, provocada pela pesca comercial no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, entre novembro de 2022 e julho de 2023.

Arte de Pesca	Depredações	(%)
Corrico-multiplo	44	43,6
Linha de mão	3	3
Pargueira	4	4
Puçá	-	-
Total	101	

Fonte: Elaborada pelo autor

Depredação por Unidade de Esforço (DPUE)

A depredação por unidade de esforço foi avaliada totalizando 3.697 anzóis utilizados, as expedições registraram uma DPUE média de 6,1%, indicando uma perda considerável de capturas devido à ação de predadores. No período seco, a DPUE média foi de 7,3%, enquanto no período chuvoso, a DPUE foi mais variável, com uma média de 6,75%. O período chuvoso apresentou a maior DPUE, com 8,2%, enquanto no período seco, a DPUE foi menor, variando de 5,3% a 3,0%, destacando uma variação na intensidade da depredação entre os diferentes períodos.

Taxa de Danos

As taxas de danos variaram significativamente entre os períodos seco e chuvoso, refletindo na intensidade da depredação dos tubarões, no período seco a CPUE foi de 55,4%, com uma DPUE média de 5,15%, resultando em uma taxa de danos média de 9,15%. Especificamente, a maior taxa de danos foi de 12,6%, sugerindo uma alta interação com tubarões depredadores, enquanto a menor taxa de danos foi de 5,7%, indicando uma menor interação.

No período chuvoso, a CPUE foi de 61,3%, e a DPUE média foi de 6,75%, resultando em uma taxa de danos média de 11,45%. A maior taxa de danos foi observada no período chuvoso, com 15,2%, indicando uma maior interação com os tubarões, a menor taxa de danos no período chuvoso foi de 7,7%, sugerindo uma moderada incidência de depredação.

Abundância Tubarões avistados ao redor da embarcação

Na análise abundância de tubarões avistados, apontou variações significativas nas médias de tubarões avistados por lance, tanto nas médias iniciais quanto nas finais, refletindo mudanças na intensidade das interações com tubarões ao longo do tempo. Durante o período seco, a média inicial de tubarões avistados por lance foi de 4,05 (IC 95%: 3,03 $\pm$ 5,07), com uma média final de 5,45 (IC 95%: 4,03 $\pm$ 6,87). A variância da amostra inicial foi de 10,29, resultando em um desvio padrão de 3,13, enquanto a variância da média final foi de 18,45, com um desvio padrão de 4,30.

No período chuvoso, as médias de tubarões avistados por lance foram mais elevadas, com uma média inicial de 9,75 (IC 95%: 7,85 $\pm$ 11,65) e uma média final de 14,1 (IC 95%: 11,65 $\pm$ 16,55). A variância da amostra inicial foi de 24,46, com um desvio padrão de 4,95, e a variância da média final foi de 37,10, resultando em um desvio padrão de 6,09.

Análise BRT

Os resultados do modelo BRT indicaram um forte poder explicativo da variável ‘esforço’ (~52% de contribuição relativa) e baixa influência das demais variáveis (i.e. somadas equivalem a 20%). A forte relação positiva com o ‘esforço’ foi corroborada pelos parâmetros obtidos do modelo ideal, o qual produziu a menor complexidade de árvore (tc) (cenário ótimo: $tc = 1$, $lr = 0.005$, $bf = 0.5$). O modelo ideal teve um desempenho satisfatório (2.086 ± 0.308 ; desvio CV $\pm$ erro-padrão), resultando em um CV% de 49.2%. Sumariamente, a depredação de tubarões foi potencializada com o aumento do esforço de pesca, do 6º mês em diante, com o uso de isca artificial, filé de guaraçuma e albacora-laje e, finalmente, em altas densidades de tubarões em torno do barco (Figura 5).

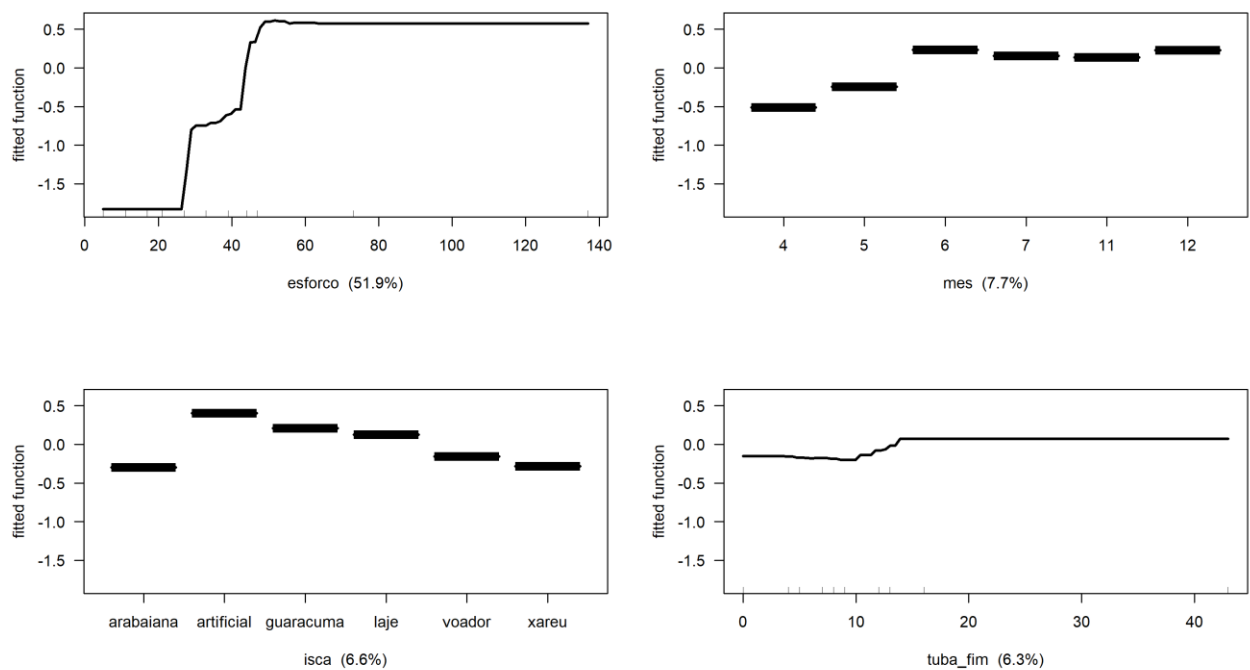


Figura 5. Gráficos das funções ajustadas mostrando a influência das variáveis 'Esforço', 'Mês', 'Isca', e 'Tuba_fim' (avistamento de tubarões ao final de cada lance) no modelo estatístico. O percentual indicado em cada gráfico representa a porcentagem da variância explicada pela respectiva variável no modelo.

Discussão

Os resultados apresentados neste estudo destacam a complexa interação entre as atividades de pesca e a depredação por tubarões no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, a análise revelou que o esforço de pesca é o principal fator preditivo da depredação, o que está em consonância com estudos anteriores que abordam as dinâmicas de depredação em ambientes marinhos (MACNEIL et al., 2009; MITCHELL et al., 2022).

A espécie *Thunnus albacares* destacou-se tanto em termos de captura quanto de depredação, essa espécie é a mais abundante e também a mais suscetível à depredação, possivelmente devido a comportamentos que a tornam mais vulnerável durante a captura, como a tendência de permanecer próxima à superfície o que facilita a ação de predadores durante a captura (ROMANOV, 2002). A *Acanthocybium solandri*, embora tenha sido a segunda espécie mais capturada, apresentou uma taxa de depredação significativamente menor, esse padrão pode estar associado a características comportamentais e morfológicas específicas, que potencialmente reduzem sua exposição aos predadores. A espécie possui um comportamento mais ágil, sendo capaz de se mover rapidamente para evitar a predação. Além disso, a cavala-impigem é menos

robusta em comparação com outras espécies capturadas, o que pode facilitar uma distribuição mais dispersa e dificultar a detecção por predadores. Esses fatores combinados sugerem adaptações que podem contribuir para a sua menor vulnerabilidade à depredação.

A análise do esforço de pesca revelou padrões distintos entre os períodos seco e chuvoso, no período seco com uma CPUE média de 55,4%, a albacora-laje foi a espécie mais capturada, com o esforço de pesca concentrado principalmente nas proximidades do arquipélago, ao longo das isóbatas de 100 metros, onde as condições foram favoráveis à pesca. A estabilidade nas capturas durante este período sugere uma estratégia de pesca mais homogênea e consistente. No período chuvoso, a CPUE média foi ligeiramente superior, em 57,3%, refletindo uma eficiência elevada, embora acompanhada de um intervalo de confiança mais amplo, indicando incerteza devido ao menor número de lances realizados. Nesse período, a cavala-impigem emergiu como a espécie dominante. A maior variabilidade na CPUE durante o período chuvoso sugere que as condições ambientais ou práticas de pesca podem ter influenciado a eficiência e a composição das capturas.

Essas observações indicam que o período seco apresentou uma média de captura por lance mais estável, enquanto o período chuvoso mostrou um aumento na eficiência, embora com maior variabilidade, o que aponta para a importância de adaptar as estratégias de pesca às condições sazonais para otimizar os resultados.

O mapa de densidade *kernel* revelou uma concentração acentuada das atividades de pesca em áreas específicas, particularmente a leste do arquipélago, em profundidades em torno de 200 metros. Esta concentração não é aleatória, reflete um direcionamento estratégico dos esforços de pesca para zonas conhecidas como "bancos de pesca," onde há uma maior probabilidade de sucesso na captura. Esses montes submarinos são áreas que favorecem a agregação de grandes cardumes devido às condições ambientais específicas, como correntes ascendentes que trazem nutrientes, atraindo uma diversidade de espécies pelágicas. A presença dessas estruturas submarinas cria *hotspots* de biodiversidade que não apenas suportam uma alta densidade de peixes, mas também atraem e concentram os esforços de pesca, resultando em uma maior eficiência na captura (MORATO et al., 2010; PITCHER et al., 2007; WATSON e MORATO, 2013).

A interação entre a pesca comercial e as AMPs é um ponto de preocupação, uma vez que a pressão da pesca em regiões adjacentes a áreas de conservação pode comprometer a eficácia dessas unidades na preservação da biodiversidade (MAGRIS, 2021). Além disso, a alta incidência de depredação, especialmente em espécies-alvo como a *T.albacares*, pode ter implicações econômicas significativas para a atividade pesqueira, reduzindo a eficiência da

pesca e a rentabilidade das capturas, o que reforça a necessidade de estratégias de manejo adaptativas que considerem a mitigação desses eventos para garantir a sustentabilidade a longo prazo da atividade pesqueira no ASPSP. (MACNEIL et al., 2009; DULVY et al., 2014).

Os dados de CPUE evidenciam uma variabilidade significativa na eficiência das capturas entre as expedições, essa variação na CPUE sugere que a eficiência das capturas pode ser influenciada por uma série de fatores, incluindo a abundância local das espécies-alvo, as condições ambientais prevalentes e as técnicas de pesca aplicadas. Expedições específicas apresentaram desempenhos próximos à média geral, indicando um nível de eficiência relativamente consistente, embora sujeito a variações em função desses fatores. Esses resultados são importantes para o planejamento de futuras operações, indicando a necessidade de ajustes nas estratégias de pesca para aperfeiçoar as capturas e minimizar o esforço despendido (PAULY e ZELLER, 2016).

A albacora-laje foi a espécie mais capturada nas três primeiras expedições, representando entre 32,7% e 47,1% das capturas totais, com uma CPUE variando de 17,67 a 27,24 (peixes/100 anzóis). No entanto, na última expedição, observou-se uma mudança significativa, com a cavala-impigem emergindo como a espécie dominante, representando 42,5% das capturas totais e alcançando a maior CPUE registrada, de 29,14 (peixes/100 anzóis). Essa alteração na composição das capturas sugere uma possível variação na abundância relativa das espécies, que pode estar associada a fatores ambientais ou a ajustes nas práticas de pesca ao longo das expedições. Além disso, os dados indicaram uma redução na diversidade de espécies ao longo das expedições, com a última expedição registrando apenas 8 espécies, em comparação com até 12 espécies nas expedições anteriores, esse declínio na diversidade pode indicar uma pressão crescente sobre as populações locais ou mudanças nas condições ambientais que afetam a distribuição das espécies.

A análise das capturas acidentais por unidade de esforço (BPUE) revelou variações significativas entre as expedições. A expedição com o maior BPUE, de 8,9%, indicou uma taxa elevada de captura acidental de tubarões em comparação com as demais. Em contraste, uma das expedições não registrou capturas acidentais de tubarões, enquanto outras apresentaram BPUEs mais moderados, de 4,6% e 3,0%, respectivamente. Esses resultados sugerem que a variação nas taxas de captura acidental pode estar relacionada tanto à densidade de tubarões nas áreas de pesca quanto às técnicas de pesca empregadas. Compreender esses fatores pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias para mitigar capturas acidentais, contribuindo para a conservação das populações de tubarões e para práticas pesqueiras mais sustentáveis. (GILMAN et al., 2006; CAMPANA et al., 2009; DULVY et al., 2014; CLARKE et al., 2006).

O elevado BPUE na expedição com maior taxa de captura accidental, de 8,9%, parece refletir a vulnerabilidade dos tubarões a métodos específicos de pesca, especialmente o corrico múltiplo, que foi responsável por 86,1% do *bycatch*, em comparação com a pargueira, que contribuiu com apenas 13,9%. A ausência de captura accidental com métodos como linha de mão e puçá sugere que a escolha do método de pesca tem um impacto significativo na taxa de *bycatch*, corroborando a necessidade de adaptar práticas de pesca para reduzir a captura accidental de tubarões, especialmente em áreas sensíveis como o ASPSP. A presença de tubarões em áreas protegidas pode aumentar a probabilidade de captura accidental, exigindo maior atenção na gestão dessas pescarias para preservar a biodiversidade marinha, conforme indicado por estudos que enfatizam a interação entre a pesca e a ecologia das espécies pelágicas (BONFIL, 1994; DULVY et al., 2014).

As análises espaciais, utilizando mapas de densidade *kernel*, revelaram duas áreas principais de alta concentração de capturas accidentais de tubarões. A primeira área de alta densidade foi identificada nas proximidades do ASPSP, especialmente ao redor das isóbatas de 100 e 200 metros, indicando que as características topográficas do fundo marinho desempenham um papel crítico na distribuição espacial dessas capturas. A segunda área significativa foi localizada mais ao leste, em uma região conhecida como "banco de pesca". A sobreposição dessas áreas de alta densidade de captura com as áreas (APA e MONA) levantou preocupações sobre a eficácia dessas áreas em proteger os tubarões, uma vez que as capturas concentradas dentro e ao redor dessas áreas sugerem que a espécie utiliza esses habitats como zonas de agregação ou passagem, tornando-as vulneráveis às atividades de pesca mesmo dentro de áreas legalmente protegidas (HYRENBACH et al., 2000).

A taxa de depredação observada no ASPSP (10,9%) está alinhada com outras regiões onde a interação entre tubarões e pescarias é comum. Rabearisoa et al. (2018) relataram taxas de depredação entre 7% e 14% nas pescarias de espinhel no sudoeste do Oceano Índico, variando conforme a espécie-alvo e as condições ambientais. A análise das expedições revelou variações notáveis na abundância média de tubarões avistados por lance, com um padrão de aumento progressivo ao longo das expedições.

Esse aumento pode ser indicativo de mudanças nas condições ambientais ou comportamentais que atraíram um maior número de tubarões para as áreas de pesca (HEITHAUS et al., 2008). Por exemplo, durante a expedição inicial, a média de tubarões avistados aumentou de 3,8 para 5,2 tubarões por lance, enquanto na última expedição, os avistamentos aumentaram substancialmente, de uma média inicial de 9,0 para 15,3 tubarões por lance. Esses aumentos podem estar associados à maior abundância local de presas ou à

intensificação da atividade pesqueira, que, segundo Mitchell. (2022), pode atrair tubarões devido à disponibilidade de alimento. Em particular, a expedição intermediária registrou uma abundância média de 12,9 tubarões por lance, com o pico mais alto na última expedição, que alcançou 15,3 tubarões por lance. Esses picos de abundância sugerem a influência de condições oceanográficas favoráveis e à intensificação da interação entre tubarões e a atividade pesqueira, como sugerido por Heithaus et al. (2008), que destacam a importância do comportamento forrageiro e das interações com atividades humanas na distribuição espacial dos tubarões, o que é evidenciado pelos aumentos observados ao longo das expedições.

Influência do Esforço de Pesca

Os resultados do modelo *Boosted Regression Trees* (BRT) indicaram que o esforço de pesca contribuiu com aproximadamente 52% da variabilidade na depredação, reforçando a ideia de que um aumento no esforço está diretamente associado a maiores taxas de depredação. Este achado é consistente com estudos realizados em outras áreas de pesca intensiva, como no Oceano Pacífico, onde Ward et al. (2005) e Carmody et al. (2021) documentaram que a intensificação do esforço de pesca em áreas de alta produtividade resultou em um aumento proporcional nas taxas de depredação por tubarões. Em comparação, o estudo de Mitchell et al. (2022) no oceano Atlântico Noroeste revelou que, embora o esforço de pesca fosse o principal fator preditivo, variáveis como a temperatura da água e a fase lunar também desempenharam papéis significativos, algo ser explorado em maior profundidade em futuras pesquisas no ASPSP.

A análise detalhada através do modelo BRT revela não apenas a relação intrínseca entre o esforço de pesca e a depredação de tubarões, mas também destaca a capacidade desta metodologia de desvendar padrões complexos e interações entre múltiplas variáveis em ecossistemas marinhos. A continuação desta discussão aborda as implicações práticas dos resultados obtidos, considerações metodológicas importantes e direções futuras para a pesquisa e conservação.

Os achados deste estudo sublinham a importância de regular o esforço de pesca para mitigar a depredação de tubarões. A contribuição predominante da variável ‘esforço’ sugere que políticas e práticas de gestão focadas na modulação dessa atividade podem ter um impacto significativo na redução da pressão sobre as populações de tubarões.

A seleção de um modelo parcimonioso que prioriza uma abordagem mais simplificada demonstra a eficácia de aplicar princípios de parcimônia na modelagem ecológica, ou seja, modelos mais simples e com menos parâmetros tendem a ser mais robustos e interpretáveis

(BURNHAM e ANDERSON, 2002). Isso é especialmente relevante quando se lida com sistemas complexos, onde a inclusão de excessivas interações pode não apenas tornar os modelos sobreajustados, mas também obscurecer a compreensão das dinâmicas fundamentais. Além disso, o uso do BRT permite uma exploração abrangente do espaço do modelo, equilibrando a precisão e a generalização através da seleção de parâmetros ótimos. Em resumo, a análise usando *Boosted Regression Trees* oferece uma ferramenta robusta e flexível para desentranhar as complexidades das interações ecológicas, servindo como um guia valioso para a gestão sustentável dos recursos marinhos e a conservação da biodiversidade.

A análise temporal das expedições revelou variações significativas nas taxas de depredação entre os períodos chuvoso e seco, com a expedição realizada no período seco apresentando a maior taxa de depredação (15,2%). Estudos semelhantes em outras regiões tropicais, como o trabalho de Gilman et al. (2008) no Oceano Pacífico Ocidental, também observaram que as taxas de depredação tendem a ser mais altas durante os períodos secos, possivelmente devido à maior clareza da água e à concentração de presas. Esse padrão sazonal pode indicar que as condições ambientais durante o período seco favorecem a visibilidade e a eficiência predatória dos tubarões, um aspecto que deveria ser considerado ao planejar estratégias de manejo para mitigar a depredação.

A sobreposição das atividades pesqueiras com as AMPs do ASPSP levanta questões críticas sobre a eficácia dessas áreas em reduzir a depredação e proteger as populações de tubarões. Alguns estudos sugerem que, enquanto as áreas protegidas são eficazes na conservação de populações de predadores marinhos, elas também podem aumentar as interações entre tubarões e pescadores devido à maior densidade de presas e predadores dentro dessas zonas (MAGRIS e PRESSEY, 2018; GIGLIO et al., 2018).

Conclusão

Este estudo destacou a influência significativa do esforço de pesca nas taxas de depredação no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, demonstrando que o aumento do esforço de pesca é o principal preditor da depredação, responsável por mais da metade da variabilidade observada. A alta incidência de depredação em espécies de grande valor comercial, como *Thunnus albacares*, sublinha a necessidade urgente de estratégias de manejo que possam mitigar esses impactos e garantir a sustentabilidade da pesca comercial na região.

Os resultados levantam preocupações sobre a eficácia das AMPs do ASPSP, já que as zonas de alta densidade de depredação coincidem com as fronteiras dessas áreas. Essa sobreposição sugere que, apesar das proteções legais, as interações negativas entre tubarões e a

pesca persistem, o que pode comprometer tanto a conservação dos tubarões quanto a viabilidade econômica das pescarias. O estudo enfatiza a importância de um manejo adaptativo que regule o esforço de pesca e promova novos paradigmas para aumentar a eficácia das áreas protegidas, garantindo a preservação das espécies e a continuidade das atividades pesqueiras.

4. Referências Bibliográficas

BARETTO, R. ; FERRETTI, F.; FLEMMING, J. M.; AMORIM, A.; ANDRADE, H.; WORM, B.; LESSA, R. Trends in the exploitation of South Atlantic shark populations. **Conservation Biology**, 2015.

BIQUET, J.; TIXIER, P.; RICHARD, G.; SOEHNLEN, M.; THELLIER, T.; CARZON, P.; CLUA, E.; GUINET, C. Toothed whale and shark depredation and bycatch in the longline fishery of French Polynesia. **Fisheries Research**, v. 271, 2024.

BONFIL, R. Overview of world elasmobranch fisheries. **FAO Fisheries Technical Paper**, 341, 1994.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. **Springer-Verlag**, 2002.

BRASIL. Instrução Normativa nº 8, de 6 de Novembro de 2014. **Diário Oficial da União** Seção 1- Nº 217, Brasília, DF, Ministérios da Pesca e Aquicultura e do Meio Ambiente, 10 Nov. 2014. p. 50. ISSN: 1677-7042.

BRASIL. Decreto nº 9.313, de 19 de março de 2018. Cria a Área de Proteção Ambiental do Arquipélago de São Pedro e São Paulo e o Monumento Natural do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. **Diário Oficial da União**, 2018.

CAMPANA, S. E.; JOYCE, W.; MANNING, M. J. Bycatch and discard mortality in commercially caught blue sharks *Prionace glauca* assessed using archival satellite pop-up tags. **Marine Ecology Progress Series**, v. 387, p. 241-253, 2009.

CARMODY, H.; LANGLOIS, T.; MITCHELL, J.; NAVARRO, M. Shark depredation in a commercial trolling fishery in sub-tropical Australia. **Marine Ecology Progress Series**, v. 676, p. 19–35, 2021.

CLARKE, S. C.; MCALLISTER, M.; MILNER-GULLAND, E. Global estimates of shark catches using trade records from commercial markets. **Ecology Letters**, 2006.

DULVY, N. K.; FOWLER, S. L.; MUSICK, J. A.; CAVANAGH, R. D.; KYNE, P. M.; HARRISON, L. R.; CARLSON, J. K.; DAVIDSON, L. N.; FORDHAM, S. V.; FRANCIS, M. P.; POLLOCK, C. M.; SIMPFENDORFER, C. A.; BURGESS, G. H.; CARPENTER, K. E.; COMPAGNO, L. J.; EBERT, D. A.; GIBSON, C.; HEUPEL, M. R.; LIVINGSTONE, S. R.; SANCIANGCO, J. C.; STEVENS, J. D.; VALENTI, S.; WHITE, W. T.. Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. **Elife Sciences**, 2014.

EFFORD, M. G. Density estimation in live-trapping studies. **Oikos**, v. 106, n. 3, p. 598-610, 2004.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R.; HASTIE, T. A working guide to boosted regression trees. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, n. 4, p. 802-813, 2008.

GIGLIO, V. J.; HUDSON T. PINHEIRO, MARIANA G. BENDER, ROBERTA M. BONALDO, LETÍCIA V. COSTA-LOTUFO, CARLOS E.L. FERREIRA, SERGIO R. FLOETER, ANDREA FREIRE, JOÃO L. GASPARINI, JEAN-CHRISTOPHE JOYEUX, JOÃO PAULO KRAJEWSKI, ALBERTO LINDNER, GUILHERME O. LONGO, TITO M.C. LOTUFO, RAFAEL LOYOLA, OSMAR J. LUIZ, RAPHAEL M. MACIEIRA, RAFAEL A. MAGRIS, THAYNÁ J. MELLO, JUAN P. QUIMBAYO, LUIZ A. ROCHA, BÁRBARA SEGAL, JOÃO B. TEIXEIRA, DANIELE A. VILA-NOVA, CIRO C. VILAR, CARLA ZILBERBERG, RONALDO B. FRANCINI-FILHO. Large and remote marine protected areas in the South Atlantic Ocean are flawed and raise concerns: Comments on Soares and Lucas (2018). **Marine Policy**, v. 96, p. 13-17, 2018.

GILMAN, E.; SHELLEY CLARKE, NIGEL BROTHERS, JOANNA ALFARO-SHIGUETO, JOHN MANDELMAN, JEFF MANGEL, SAMANTHA PETERSEN, SUSANNA PIOVANO, NICOLA THOMSON, PAUL DALZELL, MIGUEL DONOSO, MEIDAD GOREN, TIM WERNER,. Shark interactions in pelagic longline fisheries. **Marine Policy**, v. 32, n. 1, p. 1-18, 2008.

GILMAN, E.; BROTHERS, N.; MCPHERSON, G.; DALZELL, P. A review of cetacean interactions with longline gear. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 8, n. 2, 2006.

HEITHAUS, M. R.; FRID, A.; WIRSING, A. J.; WORM, B. Predicting ecological consequences of marine top predator declines. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 23, n. 4, p. 202-210, 2008.

HIJMANS, R. J.; PHILIPS, S.; LEATHWICK, J.; ELITH, J. The dismo package: Modeling species distribution. **R package version 1.3-5**, 2023.

HYRENBACH, K. D.; FORNEY, K. A.; DAYTON, P. K. Marine protected areas and ocean basin management. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 10, p. 437-458, 2000.

MACNEIL, M. A.; CARLSON, J. K.; BEERKIRCHER, L. R. Shark depredation rates in pelagic longline fisheries: A case study from the Northwest Atlantic. **ICES Journal of Marine Science**, v. 66, n. 4, p. 708-719, 2009.

MAGRIS, R. A. Effectiveness of large-scale marine protected areas in the Atlantic Ocean for reducing fishing activities. **Frontiers in Marine Science**, 2021.

MAGRIS, R. A.; PRESSEY, R. L. Marine protected areas: Just for show? **Science**, v. 360, n. 6390, p. 723-724, 2018.

MITCHELL, J. D.; MCLEAN, D. L.; COLLIN, S. P.; LANGLOIS, T. J. Shark depredation in commercial and recreational fisheries. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 28, p. 715-748, 2018.

MITCHELL, J. D. Discussion paper for the Fisheries Research & Development Corporation National. **Workshop on Shark Depredation in Australian Fisheries**, 2022.

MORATO, T.; HOYLE, S. D.; ALLAIN, V.; NICOL, S. J. Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 21, p. 9707-9711, 2010.

MOHR, L. V.; CASTRO, J. W.; COSTA, P. M.; ALVES, R. J. Ilhas Oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo – volume II. **MMA/Secretaria de Biodiversidade e Florestas**, v. 2, 502 p., 2009.

OLIVEIRA, Jorge Eduardo Lins; VIANA, Danielle de Lima; SOUZA, Marco Antônio Carvalho de (Org.). Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 20 anos de pesquisa. **Via Design** Publicações, 2018. p. 143-159.

PAIVA, MP; GALL, J. 1975 Capturas de atuns e peixes similares a atuns nas áreas de pesca com palangre ao largo da costa do Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, 15(1):1-18.

PAULY, D.; ZELLER, D. Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. **Nature Communications**, v. 7, nº 10244, 2016.

PIMENTEL, C. R.; PINHEIRO, H.; GIARRIZZO, T.; FRANCINI-FILHO, R. B.; REIS-FILHO, J. A.; ROCHA, L. A.; FERREIRA, C. E. L.; BARBOSA, M. C.; JOYEUX, J. C. Ecological Links between Pelagic and Mesophotic Reef Fishes in an Oceanic Archipelago of the Equatorial Atlantic Ocean. **Diversity**, v. 14, 2022.

PINHEIRO, H. T.; MACENA, B. C. L.; VIEIRA, F.; ROCHA, L. A.; VASKE, T.; COELHO, R.; KOENEMANN, S. A.; CHESTER, H.; GONÇALVES, J. E. A.; FERREIRA, B. P.; FLOYD, T. Fish biodiversity of the Saint Peter and Saint Paul's Archipelago, Mid-Atlantic Ridge, Brazil: New records and a species database. **Journal of Fish Biology**, v. 97, n. 3, p. 593-612, 2020.

PITCHER, T. J.; MORATO, T.; HART, P. J. B.; CLARK, M. R.; HAGGAN, N.; SANTOS, R. S. (Eds.). Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation. **Blackwell Publishing**, 2007.

QUEIROZ, Joyce Dias Gois Rodrigues de. Histórico de recuperação e padrões de movimentação do tubarão de Galápagos *Carcharhinus galapagensis* (SNODGRASS & HELLER, 1905) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil. 2020. **Dissertação (Mestrado em Oceanografia)** - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018.

RABEARISOA, N.; SABARROS, P. S.; ROMANOV, E. V.; LUCAS, V.; BACH, P. Toothed whale and shark depredation indicators: A case study from the Reunion Island and Seychelles pelagic longline fisheries. **Plos One**, 2018.

ROMANOV, E. V. Bycatch in the tuna purse-seine fisheries of the western Indian Ocean. **Fisheries Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 90-105, 2002.

SHEATHER, S. J.; JONES, M. C. A reliable data-based bandwidth selection method for kernel density estimation. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 53, n. 3, p. 683-690, 1991.

SILVERMAN, B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. **Chapman & Hall**, 1986.

SOARES, M. O.; LUCAS, C. C. Towards large and remote protected areas in the South Atlantic Ocean St. Peter and St. Paul's Archipelago and the Vitória-Trindade Seamount Chain. **Marine Policy**, v. 93, 2018.

TASKER, M. L.; HOPE JONES, P.; DIXON, T.; BLAKE, B. F. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. **Nature Conservancy Council**, v. 101, p. 567-577, 1984.

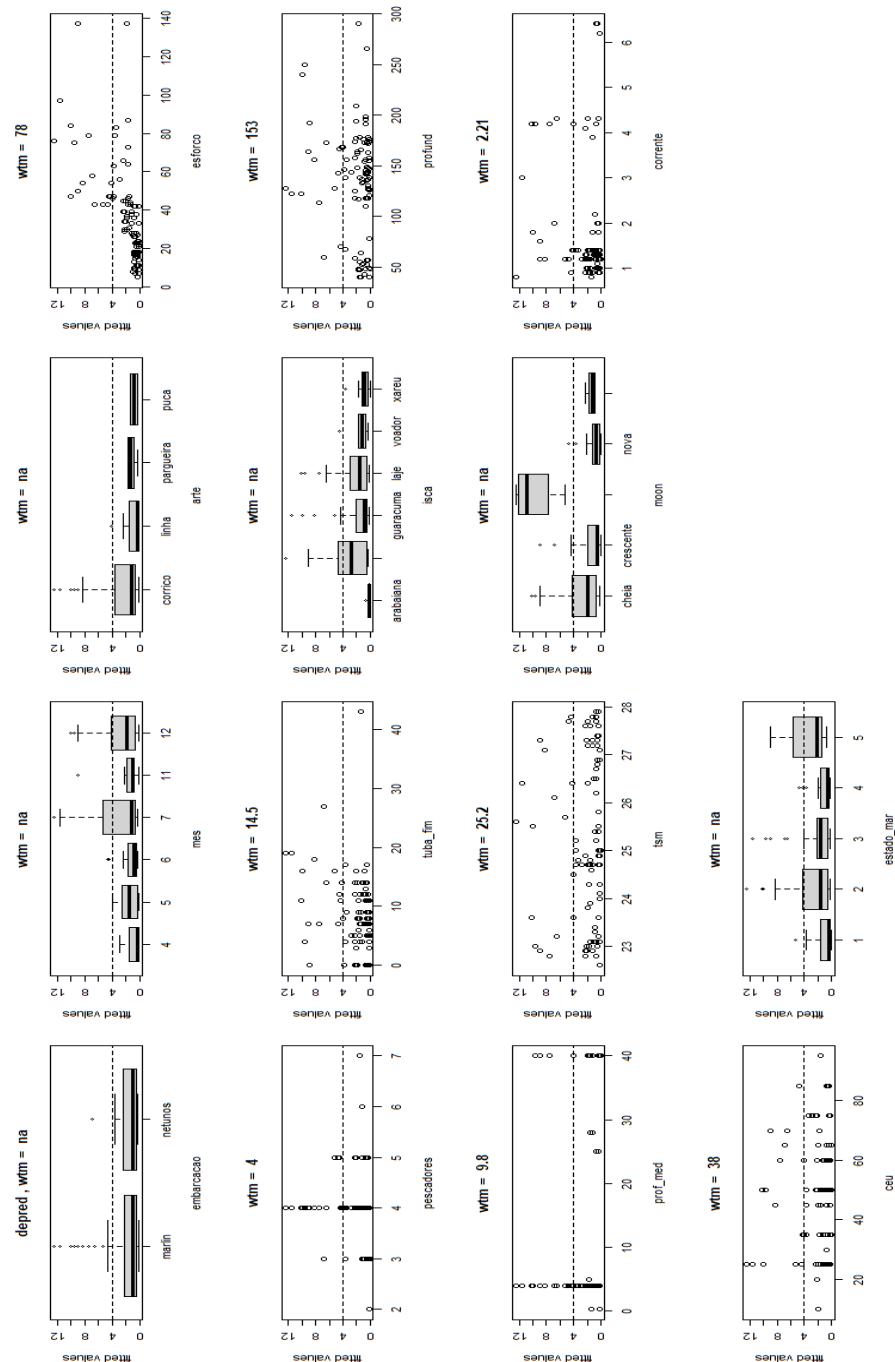
TIXIER, Paul; LEA, Mary-Anne; HINDELL, Mark; WELSFORD, Dirk; MAZÉ, Camille; GOURGUET, Sophie; ARNOULD, John. (2021). When large marine predators feed on fisheries catches: Global patterns of the depredation conflict and directions for coexistence. **Fish and Fisheries**. 22. 31-53. DOI: 10.1111/faf.12504.

VIANA, D. L.; HAZIN, F. H. V.; ANDRADE, H. A.; NUNES, D. M.; VIANA, D. L. Fisheries in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago: 13 years of monitoring. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. 2, p. 239-248, 2015.

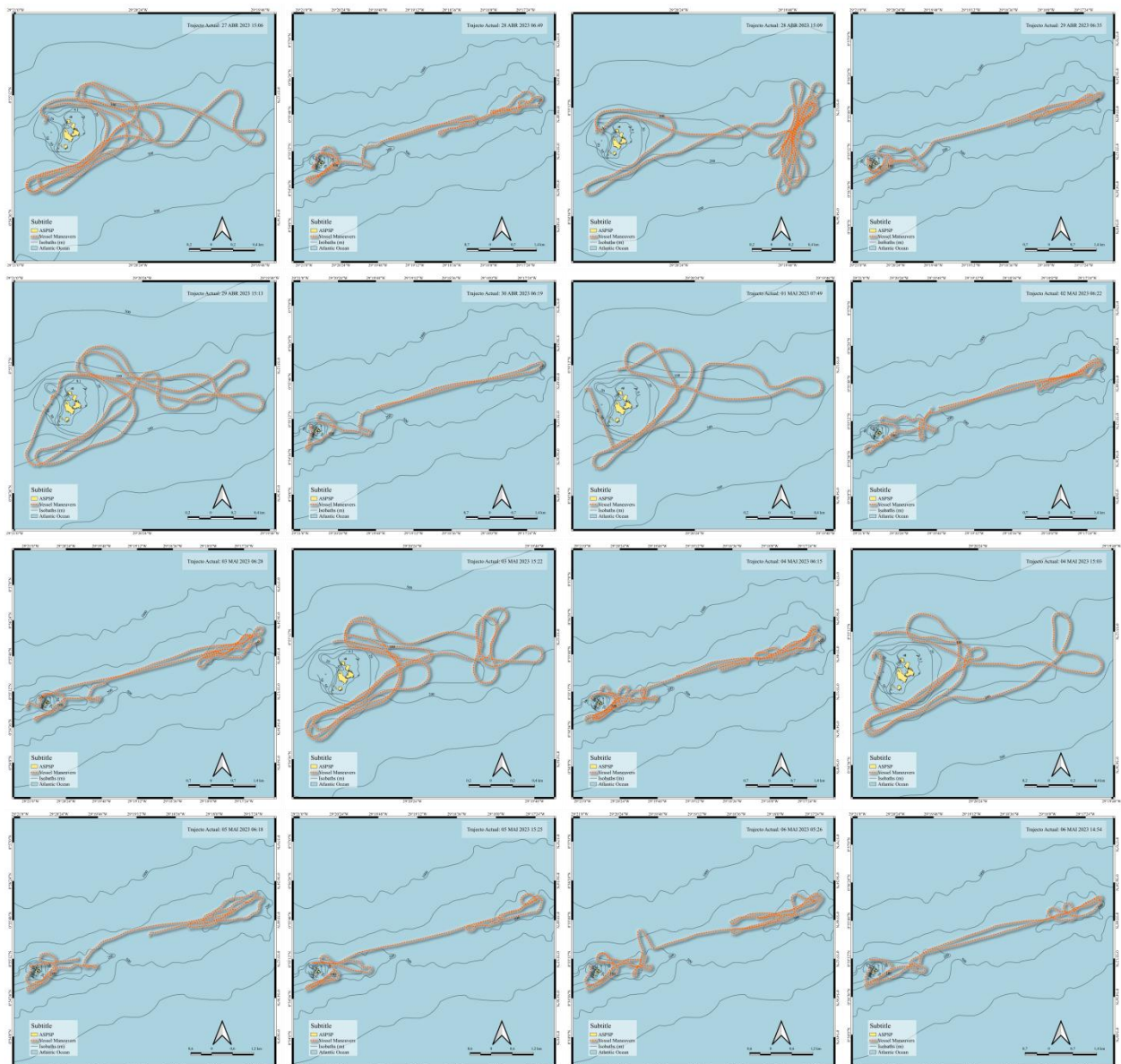
WARD, P.; MYERS, R. A. Shifts in open-ocean fish communities coinciding with the commencement of commercial fishing. **Ecology**, v. 86, p. 835-847, 2005.

WATSON, R.; MORATO, T. Fishing down the deep: Accounting for within-species changes in depth of fishing. **Fisheries Research**, v. 140, n. 3, p. 63-65, 2013

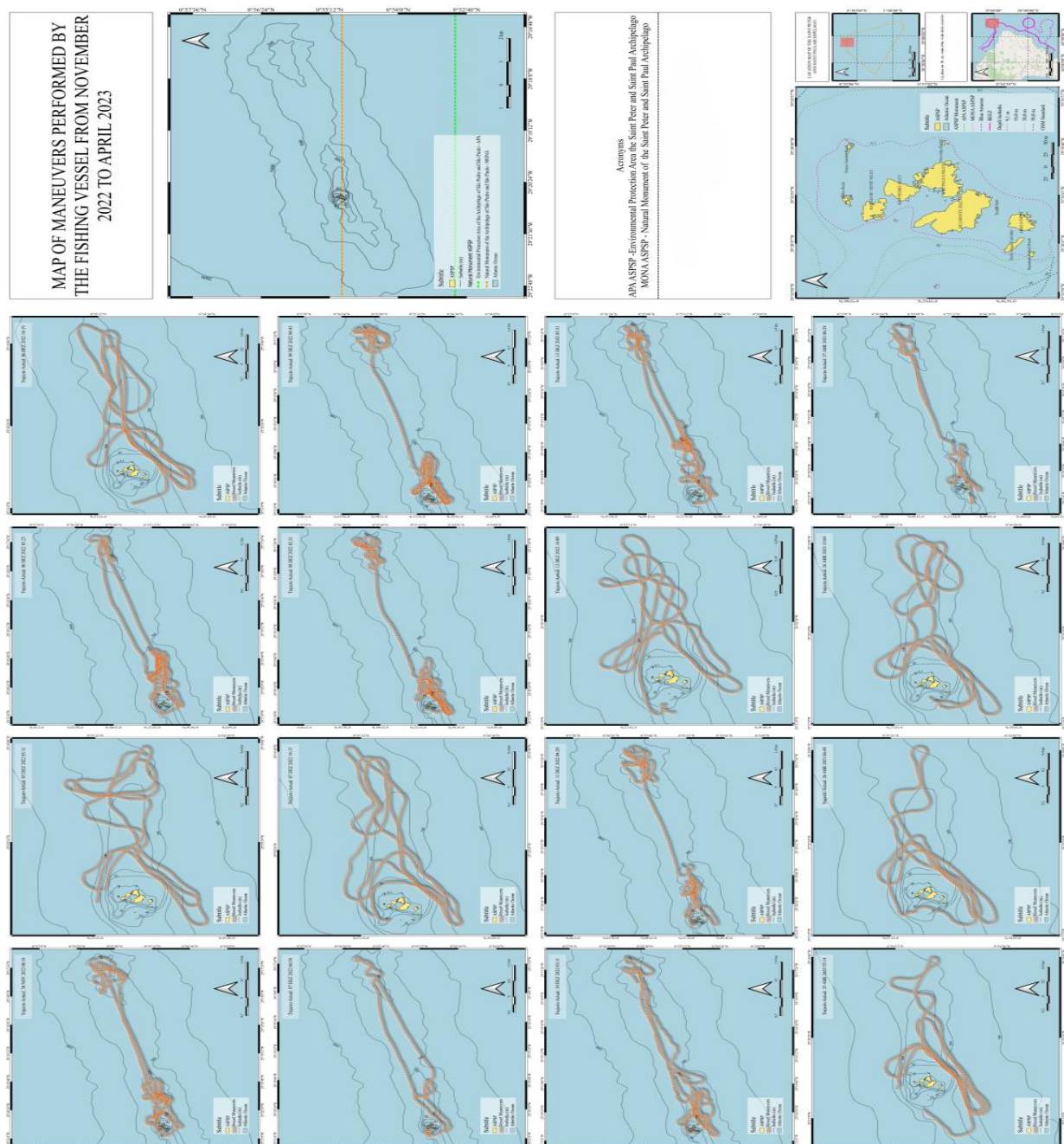
WORTON, B.J. Kernel Methods for Estimating the Utilization Distribution in Home-Range Studies. **Ecology**, v. 70 , 1989.



A2. Gráficos de resíduos ajustados mostrando a relação entre os valores preditos pelo modelo de *Boosted Regression Trees* (BRT) e várias variáveis preditoras utilizadas no estudo de depredação de tubarões em operações de pesca. As variáveis analisadas incluem o tipo de embarcação, mês do ano, arte de pesca, esforço de pesca, número de pescadores, profundidade da água, tipo de isca, temperatura da superfície do mar (TSM), fase da lua, correntes marítimas e estado do mar. Cada gráfico representa a dispersão dos resíduos para uma variável específica, permitindo a identificação de padrões e a avaliação da influência dessas variáveis na predição da depredação. As linhas tracejadas indicam os valores médios ajustados pelo modelo, enquanto os pontos representam os resíduos observados, com maior dispersão sugerindo maior variabilidade ou menos influência da variável em questão.



A3. Mapas de trajetórias de pesca realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) período abril de 2022 a maio 2023. Cada mapa ilustra as rotas percorridas pelas embarcações, destacando as áreas de atividade pesqueira. As trajetórias são sobrepostas em uma base cartográfica que inclui isóbatas, indicando a profundidade do mar, e a localização do arquipélago. As rotas variam em complexidade e extensão, refletindo os padrões de esforço de pesca ao redor do arquipélago.



A4. Mapas das rotas pesca comercial no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, realizadas entre novembro de 2022 e abril de 2023.