

NECROFAGIA E PREDACÃO DE CETÁCEOS POR TUBARÕES
(CHONDRICHTHYES: SELACHIMORPHA) NA COSTA NORTE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO, BACIA DE CAMPOS, SUDESTE DO BRASIL

ELOAH SAINT'CLAIR VELASCO DA SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

JULHO - 2026

NECROFAGIA E PREDACÃO DE CETÁCEOS POR TUBARÕES
(CHONDRICHTHYES: SELACHIMORPHA) NA COSTA NORTE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO, BACIA DE CAMPOS, SUDESTE DO BRASIL

ELOAH SAINT'CLAIR VELASCO DA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de
Biociências e Biotecnologia, no Programa
de Pós-Graduação em Ecologia e
Recursos Naturais da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para
a obtenção do título de Mestre em
Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Dr. Salvatore Siciliano
Coorientadora: Dra. Greicy Fernández Ruenes

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO - 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

S586

Silva, Eloah Saint'Clair Velasco da.

NECROFAGIA E PREDACÃO DE CETÁCEOS POR TUBARÕES (CHONDRICHTHYES : SELACHIMORPHA) NA COSTA NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BACIA DE CAMPOS, SUDESTE DO BRASIL / Eloah Saint'Clair Velasco da Silva. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

91 f. : il.

Bibliografia: 66 - 89.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2026.

Orientador: Salvatore Siciliano.

1. Odontoceti. 2. Mysticeti. 3. Costeiro-estuarino. 4. Marinho-oceânico. 5. Carcaça. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 577

NECROFAGIA E PREDÇÃO DE CETÁCEOS POR TUBARÕES
(CHONDRICHTHYES: SELACHIMORPHA) NA COSTA NORTE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO, BACIA DE CAMPOS, SUDESTE DO BRASIL

ELOAH SAINT'CLAIR VELASCO DA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de
Biociências e Biotecnologia, no Programa
de Pós-Graduação em Ecologia e
Recursos Naturais da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para
a obtenção do título de Mestre em
Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em 23/07/2026

Comissão examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LETICIA VERSIANI GOMES DA SILVA
Data: 25/08/2026 10:58:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Letícia Versiani Gomes da Silva - UENF

Documento assinado digitalmente
 CLAUDIO LUIS SANTOS SAMPAIO
Data: 26/08/2026 10:16:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Cláudio Luis Santos Sampaio - UFAL

Documento assinado digitalmente
 SALVATORE SICILIANO
Data: 27/08/2026 04:48:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Salvatore Siciliano - Escola Nacional de Saúde Pública/Fiocruz (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 GREICY FERNANDEZ RUENES
Data: 28/08/2026 15:39:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Greicy Fernández Ruenes - UENF (Coorientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter abençoado meus caminhos até aqui, guiando meus passos e me dando forças, sabedoria e perseverança para superar os desafios e concluir mais esta importante etapa da minha vida.

Aos meus pais, Zana Saint'Clair e Elias Moraes, por todo o amor, apoio, incentivo e dedicação ao longo da minha trajetória. Vocês sempre acreditaram em mim e me motivaram a perseguir meus objetivos. Sem dúvida, esta conquista também pertence a vocês, que estiveram ao meu lado em cada passo do caminho.

À minha avó, Adília Velasco, por todo o carinho, apoio e incentivo. Mesmo sem compreender completamente o universo acadêmico, sempre demonstrou orgulho pelas minhas conquistas e torceu por mim em cada etapa. Seu apoio foi fundamental durante toda esta jornada.

Aos meus familiares e amigos, pelo carinho, incentivo e apoio constante. Ter pessoas especiais ao meu lado tornou esta caminhada mais leve e significativa, contribuindo de forma importante para que eu chegasse até aqui.

Em especial, aos meus amigos do SERCAS, Camila Priante, Henrique Simfrone, Lara de Paula, Maria Eduarda Soares e Natália Satsuki, por todo o apoio ao longo dessa trajetória. Agradeço pelas contribuições durante a elaboração da dissertação, pelas conversas diárias, pelos almoços e pelos cafezinhos compartilhados. A presença de vocês tornou essa jornada muito mais leve e especial.

Ao professor Carlos Ruiz, por disponibilizar o espaço do SERCAS para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Salvatore Siciliano, pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa, pela orientação e pelo apoio ao longo deste processo.

À minha coorientadora, Dra. Greicy Fernandez Ruenes, por toda a dedicação, paciência, disponibilidade e suporte ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES e à FAPERJ, pelo financiamento concedido para a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN/UENF) e ao seu corpo docente, pelo acolhimento, formação acadêmica e conhecimentos compartilhados ao longo desta trajetória.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1. 1. SUPERORDEM SELACHIMORPHA.....	14
1. 2. PRINCIPAIS ESPÉCIES DE TUBARÕES ASSOCIADAS ÀS MARCAS DE MORDIDAS EM CARCAÇAS DE CETÁCEOS	15
1. 3. PADRÃO DE MORDIDA E ECOLOGIA ALIMENTAR DOS TUBARÕES	17
2. OBJETIVOS	20
2. 1. OBJETIVO GERAL	20
2. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. HIPÓTESES	20
4. METODOLOGIA.....	21
4. 1. ÁREA DE ESTUDO	21
4. 2. AMOSTRAGEM	22
4. 3. COLETA DE DADOS	23
4. 3. 1. PARÂMETROS PARA A CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE ALIMENTAÇÃO	25
4. 3. 2. PARÂMETROS PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES DE TUBARÕES	30
4. 3. 3. MEDIÇÃO DAS MARCAS DE MORDIDAS	35
4. 3. 4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	38
5. RESULTADOS	41
5. 1. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CETÁCEOS COM MARCAS DE INTERAÇÃO COM TUBARÕES.....	41
5. 2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS MARCAS DE MORDIDAS EM CETÁCEOS	42
5. 3. DESCRIÇÃO DOS EVENTOS DE PREDACÃO E NECROFAGIA ENTRE AS ESPÉCIES DE TUBARÕES.....	45
5. 4. FATORES QUE INFLUENCIAM O NÚMERO DE MORDIDAS	48
5. 4. 1. ESPÉCIES DE TUBARÕES E HABITAT PREFERENCIAL DAS ESPÉCIES DE CETÁCEOS E TIPO DE INTERAÇÃO	48
5. 4. 2. COMPRIMENTO TOTAL DOS CETÁCEOS	51
6. DISCUSSÃO	54
6. 1. PANORAMA GERAL DOS REGISTROS DE INTERAÇÃO ENTRE TUBARÕES E CETÁCEOS	55
6. 2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS REGISTROS DE INTERAÇÃO.....	55
6. 3. ESPÉCIES DE TUBARÕES ASSOCIADAS ÀS INTERAÇÕES	56
6. 4. PREDACÃO E NECROFAGIA EM CETÁCEOS ENCALHADOS	58
6. 5. DISTRIBUIÇÃO ANATÔMICA DAS MORDIDAS	59
6. 6. INFLUÊNCIA DO HABITAT PREFERENCIAL DE CETÁCEOS NAS INTERAÇÕES COM TUBARÕES.....	60
6. 7. INFLUÊNCIA DO TAMANHO CORPORAL DAS CARCAÇAS SOBRE O NÚMERO DE MORDIDAS.....	62
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS	64
8. CONCLUSÃO.....	65
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área monitorada pelo Projeto de Monitoramento de Praias das Bacias de Campos e Espírito Santo (PMP-BC/ES), e utilizada neste estudo.....	23
Figura 2. Exemplo de marca de necrofagia observada em <i>Pontoporia blainvillei</i> . A lesão apresenta remoção de tecido com bordas irregulares, sem evidências de contenção da presa ou sinais associados a um ataque ativo.....	26
Figura 3. Exemplo de marca de predação registrada em <i>Pontoporia blainvillei</i> . A mordida apresenta formato definido e padrão compatível com um ataque direcionado em regiões anatomicamente vulneráveis, característico de interações predatórias.....	27
Figura 4. Exemplo de lesão <i>ante-mortem</i> em <i>Megaptera novaeangliae</i> . Observam-se sinais de reparação tecidual, compatíveis com uma resposta fisiológica do organismo anterior ao óbito.....	28
Figura 5. Exemplo de lesão <i>pré-mortem</i> em <i>Pontoporia blainvillei</i> . A presença de sangramento recente e reação tecidual sugere que o organismo ainda se encontrava vivo no momento da ocorrência da lesão.....	29
Figura 6. Exemplo de lesão <i>post-mortem</i> em <i>Pontoporia blainvillei</i> . Observa-se ausência de sinais inflamatórios ou hemorrágicos, indicando que a alteração ocorreu após o óbito.....	30
Figura 7. Características da dentição de <i>Carcharhinus leucas</i> . (a) Arcada dentária evidenciando a disposição dos dentes sobrepostos ao longo da mandíbula e a reduzida diferenciação entre os dentes da arcada. (b) Dente característico da espécie, apresentando formato largo, bordas serrilhadas e cúspide principal curvada obliquamente.....	31
Figura 8. Mordida atribuída a <i>Carcharhinus leucas</i> em <i>Pontoporia blainvillei</i> , caracterizada por contornos bem definidos e margens relativamente suaves, resultantes da sobreposição das bordas cortantes dos dentes ao longo da arcada dentária.....	32

Figura 9. Características utilizadas para a identificação de mordida de <i>Galeocerdo cuvier</i> . (a) Arcada dentária evidenciando a disposição dos dentes ao longo da mandíbula, com pouca diferenciação entre os dentes superiores e inferiores. (b) Dente característico da espécie, apresentando formato largo, bordas serrilhadas e cúspide principal curvada obliquamente, conferindo elevado poder cortante à mordida.....	33
Figura 10. Exemplo de marca de mordida atribuída a <i>Galeocerdo cuvier</i> em <i>Pontoporia blainvillei</i> . Observam-se bordas bem definidas e a presença de abas de tecido ("flaps"), características associadas ao elevado poder cortante da dentição dessa espécie.....	33
Figura 11. Cavidade bucal de <i>Isistius brasiliensis</i> , evidenciando a dentição especializada da espécie, com dentes inferiores robustos e adaptados à remoção de fragmentos circulares de tecido durante a alimentação.....	34
Figura 12. Mordidas atribuídas a <i>Isistius brasiliensis</i> em <i>Pontoporia blainvillei</i> (circuladas em vermelho). As lesões apresentam forma circular a ovalada, bem delimitada e com aspecto crateriforme, produzida pela remoção de um fragmento de tecido durante o movimento rotacional realizado pela espécie.....	35
Figura 13. Linha traçada pelo software ImageJ. (a) Mensuração do diâmetro da mordida (BW) de um tubarão em <i>Pontoporia blainvillei</i> . (b) Mensuração da circunferência (BC) da mordida de um tubarão em <i>Pontoporia blainvillei</i>	36
Figura 14. Perfil de identificação de dentição e marcas de mordidas da mandíbula de tubarões predadores de cetáceos. (a) tubarão-charuto (<i>Isistius brasiliensis</i>), (b) tubarão-tigre (<i>Galeocerdo cuvier</i>), (c) tubarão-branco (<i>Carcharodon carcharias</i>), (d) tubarão-mako (<i>Isurus oxyrinchus</i>), (e) tubarão-cabeça-chata (<i>Carcharhinus leucas</i>)	37
Figura 15. Distribuição espacial dos registros de cetáceos (<i>Pontoporia blainvillei</i> , <i>Sotalia guianensis</i> , <i>Tursiops truncatus</i> , <i>Stenella frontalis</i> e <i>Megaptera novaeangliae</i>) com presença de marcas de mordidas de tubarão nos municípios litorâneos do estado do Rio de Janeiro.....	42
Figura 16. Número de mordidas classificadas como predação e necrofagia nas carcaças de cetáceos encalhados na Bacia de Campos.....	44

Figura 17. Distribuição das marcas de mordidas de tubarões nas diferentes regiões anatômicas dos cetáceos analisados.....	45
Figura 18. Soma total de mordidas registradas para as espécies de tubarões (<i>Carcharhinus leucas</i> , <i>Galeocerdo cuvier</i> e <i>Isistius brasiliensis</i>) em diferentes tipos de interação (necrofagia e predação).....	46
Figura 19. Valores médios preditos de eventos por carcaça de cetáceo registrados para as espécies de tubarões <i>Carcharhinus leucas</i> , <i>Galeocerdo cuvier</i> e <i>Isistius brasiliensis</i> com habitats preferenciais (costeiro-estuarino e marinho oceânico).....	50
Figura 20. Valores médios de eventos preditos para as espécies de tubarões <i>Carcharhinus leucas</i> , <i>Galeocerdo cuvier</i> e <i>Isistius brasiliensis</i> em diferentes tipos de interação (predação e necrofagia).....	51
Figura 21. Distribuição do comprimento total (CT) das carcaças de odontocetos (<i>Pontoporia blainvillei</i> , <i>Sotalia guianensis</i> e <i>Tursiops truncatus</i>) em relação aos tipos de interação (predação e necrofagia).....	52
Figura 22. Valores preditos do número de mordidas em relação ao comprimento total (CT) das carcaças para as diferentes espécies de tubarões (<i>Carcharhinus leucas</i> , <i>Galeocerdo cuvier</i> e <i>Isistius brasiliensis</i>).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de condição da carcaça.....	25
Tabela 2. Distribuição das espécies de cetáceos com marcas de mordidas de tubarões no litoral do estado do Rio de Janeiro.....	43
Tabela 3. Número de cetáceos com marcas de mordidas e número total de mordidas registradas para as diferentes espécies de tubarões identificadas. CT: comprimento total dos cetáceos; BW: média $\pm$ desvio padrão do diâmetro das marcas de mordida; BC: média $\pm$ desvio padrão da circunferência das marcas de mordida.....	47
Tabela 4. Resultados do modelo linear generalizado binomial negativo (GLM-NB) para avaliar os efeitos do habitat preferencial de cetáceos, a espécie de tubarão e o tipo de interação sobre o número de eventos registrados.....	49
Tabela 5. Resultados do modelo linear generalizado para avaliar os efeitos do comprimento total dos cetáceos e a espécie de tubarão sobre o número de eventos registrados.....	53

RESUMO

As interações entre tubarões e cetáceos representam processos ecológicos relevantes para a compreensão das relações tróficas em ecossistemas marinhos. Este estudo teve como objetivo identificar padrões ecológicos relacionados aos comportamentos tróficos de *Carcharhinus leucas*, *Galeocerdo cuvier* e *Isistius brasiliensis* sobre cetáceos encalhados na costa norte do estado do Rio de Janeiro, Bacia de Campos, sudeste do Brasil. Foram analisadas fotografias de 426 cetáceos encalhados registradas no banco de dados SIMBA entre 2017 e 2025. As marcas de mordidas foram utilizadas para caracterizar os tipos de interação, identificar as espécies de tubarões envolvidas e avaliar a distribuição espacial e anatômica das lesões, bem como a influência do habitat preferencial e do tamanho corporal dos cetáceos sobre a frequência das interações. Dos 426 registros avaliados, 130 (30,52%) apresentaram evidências de interação com tubarões. *Pontoporia blainvillei* (n = 48) e *Sotalia guianensis* (n = 40) foram as espécies mais frequentemente registradas com marcas de mordidas. Os registros distribuíram-se ao longo da área de estudo, com maior concentração no norte da Bacia de Campos. Foram registradas 440 mordidas, das quais 90 eventos foram classificados como necrofagia e 46 como predação. As lesões concentraram-se principalmente nas regiões ventral, genital, flanco e gular dos cetáceos. *Carcharhinus leucas* apresentou o maior número total de mordidas, enquanto *G. cuvier* apresentou maior frequência predita de mordidas por carcaça. *Isistius brasiliensis* esteve mais associado a eventos de predação e a cetáceos marinho-oceânicos. Os Modelos Lineares Generalizados indicaram que o habitat preferencial dos cetáceos, a espécie de tubarão e o comprimento corporal influenciaram significativamente o número de mordidas registradas. Cetáceos marinho-oceânicos apresentaram maior frequência de eventos do que cetáceos costeiro-estuarinos, e carcaças de maior porte apresentaram maior número de mordidas. Os resultados demonstram que as interações entre tubarões e cetáceos são influenciadas por características ecológicas dos predadores, disponibilidade de recursos e atributos biológicos das presas, contribuindo para o entendimento das relações tróficas de grandes vertebrados marinhos no litoral do estado do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Odontoceti; Mysticeti; Costeiro-estuarino; Marinho-oceânico; Carcaça; Interações tróficas; Mordidas.

ABSTRACT

Interactions between sharks and cetaceans represent ecological processes relevant to understanding trophic relationships in marine ecosystems. This study aimed to identify ecological patterns related to the trophic behaviors of *Carcharhinus leucas*, *Galeocerdo cuvier*, and *Isistius brasiliensis* regarding cetaceans stranded on the coast of Rio de Janeiro state (Campos Basin, southeastern Brazil). Photographs of 426 stranded cetaceans recorded in the SIMBA database between 2017 and 2025 were analyzed. Bite marks were used to characterize interaction types, identify the shark species involved, and assess the spatial and anatomical distribution of lesions, as well as the influence of cetacean habitat preference and body size on interaction frequency. Of the 426 records evaluated, 130 (30.52%) showed evidence of interaction with sharks. *Pontoporia blainvillei* (n = 48) and *Sotalia guianensis* (n = 40) were the species most frequently recorded with bite marks. Records were distributed throughout the study area, with a higher concentration in the northern part of the Campos Basin. A total of 440 bites were recorded; 90 events were classified as scavenging and 46 as predation. Lesions were concentrated primarily on the ventral, genital, flank, and gular regions of the cetaceans. *Carcharhinus leucas* accounted for the highest total number of bites, whereas *G. cuvier* showed a higher predicted frequency of bites per carcass. *Isistius brasiliensis* was more strongly associated with predation events and with oceanic cetaceans. Generalized Linear Models indicated that cetacean habitat preference, shark species, and body length significantly influenced the number of recorded bites. Oceanic cetaceans exhibited a higher frequency of events than coastal-estuarine cetaceans, and larger carcasses showed a higher number of bites. The results demonstrate that interactions between sharks and cetaceans are influenced by predator ecological characteristics, resource availability, and prey biological attributes, contributing to the understanding of trophic relationships among large marine vertebrates off the coast of Rio de Janeiro state.

Keywords: Odontoceti; Mysticeti; Coastal-estuarine; Marine-oceanic; Carcass; Trophic interactions; Bite marks.

1. INTRODUÇÃO

Os cetáceos, divididos nas subordens Odontoceti (cetáceos com dentes) e Mysticeti (baleias com cerdas) (Jefferson *et al.*, 2008; Perrin, 2018), ocupam posições centrais nas redes tróficas marinhas. Seu duplo papel ecológico deriva do fato de que atuam simultaneamente como predadores de topo de cadeia alimentar e assumem o papel de presas em determinadas interações interespecíficas, onde são consumidos de forma ativa. Além disso, mesmo após a morte, esses mamíferos marinhos continuam exercendo um papel ecológico importante, ao fornecerem recursos nutricionais críticos para diversos organismos quando mortos, através do aproveitamento oportunista de suas carcaças (DeVault *et al.*, 2003; Wilson e Wolkovich, 2011).

A ordem Cetacea reúne 94 espécies ao nível mundial com grande diversidade morfológica e comportamental (*Marine Mammal Taxonomy List, Marine Mammal Society*, 2026). Os odontocetos, que abrangem aproximadamente 72–75 espécies distribuídas em 10 famílias, incluem predadores altamente especializados como *Orcinus orca* (Orca), capaz de caçar mamíferos marinhos de grande porte, e golfinhos costeiros e oceânicos que predam principalmente espécies de peixes e cefalópodes (Jefferson *et al.*, 2008; Perrin, 2018).

No Brasil, ocorrem espécies costeiras e oceânicas, como *Tursiops truncatus*, *Stenella frontalis*, *Pontoporia blainvillei* e *Sotalia guianensis*, distribuídas ao longo de diferentes regiões da costa brasileira (Di Benedetto e Ramos, 2004; Di Benedetto *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2010). Dentre elas, a toninha (*P. blainvillei*) é considerada um dos cetáceos mais ameaçados do Atlântico Sul Ocidental, principalmente em decorrência da captura acidental em redes de pesca (Kasuya e Brownell, 1979; Panebianco *et al.*, 2015). Em âmbito global, a espécie é classificada como Vulnerável (VU) pela Lista Vermelha da IUCN, enquanto no Brasil encontra-se categorizada como Criticamente em Perigo (CR) segundo o ICMBio (MMA, 2022; Zerbini *et al.*, 2017).

Por outro lado, os misticetos, grandes cetáceos com adaptações evolutivas específicas para a alimentação, como corpo hidrodinâmico e filtração por cerdas bucais (Santos e Gadig, 2009), são representados por 4 famílias e 14 espécies, todas exclusivamente marinhas (*Marine Mammal Taxonomy List, Marine Mammal Society*, 2026). No Brasil, ocorrem espécies como *Megaptera novaeangliae*, *Eubalaena australis* e *Balaenoptera bonaerensis* (Farah *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2010).

Mudanças ambientais, como perda de habitat, variações térmicas e flutuações na disponibilidade de presas, provocam respostas ecológicas nos cetáceos que afetam sua distribuição, reprodução e mortalidade (Ijsseldijk *et al.*, 2018; Truchon *et al.*, 2013). Sendo assim, esses animais desempenham um papel importante como sentinelas ambientais, uma vez que suas características ecológicas, como longevidade, fidelidade a determinados habitats e ocupação de diferentes ambientes, desde estuários até regiões oceânicas, refletem alterações ocorridas nos ecossistemas marinhos ao longo do tempo (Bossart, 2011; Moore, 2008).

A necrofagia é uma estratégia alimentar amplamente registrada nos ecossistemas naturais (Selva e Fortuna, 2007), sendo praticada por diversas espécies de vertebrados carnívoros, que frequentemente atuam como necrófagos facultativos (Quaggiotto, 2016). Nas últimas duas décadas, o crescimento significativo nas pesquisas voltadas aos necrófagos e ao aproveitamento de carcaças (Olea *et al.*, 2019; Hyndes *et al.*, 2022; Newsome *et al.*, 2023), evidencia o papel ecológico essencial que as carcaças de mamíferos marinhos desempenham nos ecossistemas (Barton *et al.*, 2013).

Embora ocorram de forma pontual e com frequência relativamente estocástica, as carcaças de cetáceos representam fontes importantes de alimento que funcionam como *hotspots* de biodiversidade (Carter *et al.*, 2008; Bump *et al.*, 2009; Mateo-Tomas *et al.*, 2015). Por serem um recurso extremamente abundante em termos de massa de tecido, as mesmas impulsionam o funcionamento dos ecossistemas através de transferência de energia e nutrientes (Barton *et al.*, 2013; Subalusky *et al.*, 2017).

A presença de tubarões (Chondrichthyes: Selachimorpha), próximos a carcaças de cetáceos é compreendida como um fenômeno natural, uma vez que esses predadores são atraídos pelo cheiro do sangue e pela decomposição dos corpos de baleias e golfinhos, aproveitando-se dessas fontes de alimento (Midway *et al.*, 2019; Tucker *et al.*, 2018; Tucker *et al.*, 2019). As interações presa-predador entre tubarões e cetáceos, foram estudadas em diversos níveis, classificando os tubarões em categorias ecológicas específicas: predadores regulares, ocasionais, suspeitos, necrófagos facultativos e ectoparasitas (Heithaus, 2001).

Entre as espécies de tubarões predadores mais frequentes de cetáceos, destacam-se: tubarão-tigre (*Galeocerdo cuvier*), tubarão-cabeça-chata (*Carcharhinus leucas*), tubarão-branco (*Carcharodon carcharias*), tubarão-mako (*Isurus oxyrinchus*) e tubarão-charuto *Isistius spp.* (*Isistius brasiliensis* e *Isistius plutodus*) (Bornatowski *et*

al., 2012; Long e Jones, 1996). Estes tubarões costumam deixar lesões com marcas características, que favorecem o reconhecimento da espécie.

Do ponto de vista ecológico, os tubarões exercem uma função essencial nos ecossistemas marinhos, particularmente em regiões tropicais e subtropicais, onde atuam como reguladores das cadeias tróficas. Essa importância se dá principalmente pela predação sobre uma grande diversidade de organismos, o que os torna peças-chave na manutenção do equilíbrio ecológico (Garrick, 1982; Camhi, 1998; Ferretti *et al.*, 2010; Heupel *et al.*, 2014; Ciena *et al.*, 2016). Sua dieta inclui uma diversidade de presas, como peixes, crustáceos, lulas (Cailliet *et al.*, 2005), cetáceos e aves marinhas (Gadig, 2001; Heithaus, 2001; Long e Jones, 1996).

Vale destacar que diferentes espécies de tubarões podem apresentar comportamentos distintos nesse contexto, podendo inclusive ocorrer competição alimentar entre eles (tanto intraespecífica como interespecífica). Tais interações fornecem dados importantes sobre a ecologia e o comportamento desses animais (Fallows *et al.*, 2013). A carcaça de uma megafauna, sem dúvida influencia o comportamento de forrageamento e alcance dos necrófagos facultativos, incluindo espécies de tubarões, que podem usar tal alimento por longos períodos (Sidous *et al.*, 2024). Por exemplo, tubarões podem ficar saciados por vários dias após ingerirem uma carcaça de baleia (Fallows *et al.*, 2013).

Esse tipo de alimentação oportunista contribui significativamente para o ciclo de nutrientes nos ambientes marinhos e atrai uma variedade de espécies, formando um ecossistema temporário em torno das carcaças (Midway *et al.*, 2019; Tucker *et al.*, 2018; Tucker *et al.*, 2019). Há uma preferência destacada pela gordura, presumivelmente atribuída ao elevado teor calórico desse componente, que desempenha um papel crucial em atender às exigências energéticas dos consumidores (Bagstad *et al.*, 2013).

Portanto, compreender os padrões alimentares de tubarões, com ênfase em eventos de predação e necrofagia envolvendo mamíferos marinhos, bem como as espécies participantes dessas interações, é essencial para ampliar o conhecimento sobre sua ecologia trófica. Nesse contexto, os ferimentos induzidos por tubarões em cetáceos representam uma ferramenta valiosa para investigar essas relações ecológicas e o papel desses predadores na dinâmica dos ecossistemas marinhos.

Ademais, obter estimativas confiáveis de tamanho e a correta identificação das espécies de tubarões envolvidas são fundamentais para compreender o

comportamento alimentar e de caça (Stillwell e Kohler, 1982), a composição da dieta (Cortés, 1999) e as interações ecológicas (Heithaus e Dill, 2002), assim como para avaliar o risco potencial que representam para os seres humanos (Burgess, 2008). No entanto, estudos envolvendo a ecologia alimentar destes animais e que comprovam sua relevância no fornecimento de serviços ecossistêmicos ao realizar necrofagia ainda são escassos. No cenário brasileiro, essas lacunas tornam-se ainda mais evidentes.

Embora o país se destaque como um dos principais *hotspots* mundiais em diversidade funcional, endemismo e riqueza de espécies de elasmobrânquios (Lucifora *et al.*, 2011), com 89 espécies descritas ao longo da costa (Rosa e Gadig, 2014), apenas cerca de 26% delas foram contempladas em estudos voltados à biologia alimentar. Essa escassez de informações reflete, em grande parte, os desafios metodológicos envolvidos nas pesquisas com elasmobrânquios (tubarões e raias), os quais incluem desde a coleta, preservação e manutenção dos exemplares em coleções científicas até a realização de observações diretas tanto em ambiente natural quanto em cativeiro (Nelson, 1977; Gruber e Myrberg, 1977; Aguiar e Valentin, 2010).

Tais limitações técnicas contribuem para o reduzido número de estudos sobre sua biologia alimentar e comportamento trófico, especialmente em contextos regionais, como o brasileiro, onde há uma notável diversidade de espécies.

1. 1. SUPERORDEM SELACHIMORPHA

Os tubarões (Superordem Selachimorpha), são peixes cartilaginosos que surgiram há aproximadamente 400 milhões de anos, compondo, juntamente com as raias e as quimeras, a classe Chondrichthyes. Essa classe é dividida em duas subclasses: Elasmobranchii, que inclui tubarões e raias, e Holocephali, que compreende as quimeras (Cook *et al.*, 1987; Compagno, 2001; Ciena *et al.*, 2016).

Estes animais apresentam como principais características o esqueleto composto predominantemente por cartilagem (Gadig e Sazima, 2014; Hamlett, 1999), a presença de cinco a sete pares de fendas branquiais localizadas lateralmente a região cefálica, pele recoberta por dentículos dérmicos e um sofisticado conjunto de sistemas sensoriais, como as ampolas de Lorenzini, que permitem detectar campos elétricos no ambiente (Phillips *et al.*, 2020). Suas nadadeiras são bem desenvolvidas, e o corpo, geralmente fusiforme e alongado (Sternes e Shimada, 2020).

Predominantemente marinhos, carnívoros e pelágicos, os tubarões ocupam uma ampla gama de habitats, sendo encontrados desde zonas costeiras rasas até áreas oceânicas profundas (Guerra, 2020). Embora a maioria das espécies seja marinha, algumas possuem tolerância a ambientes dulcícolas, como o tubarão-cabeça-chata (*Carcharhinus leucas*) e o tubarão-do-ganges (*Glyphis gangeticus*) (Compagno, 1999). Os tubarões apresentam características biológicas que os tornam altamente suscetíveis às crescentes pressões antrópicas, principalmente à pesca intensiva. Grande parte de suas espécies segue a estratégia reprodutiva K, caracterizada por um ciclo de vida longo, crescimento lento, baixa fecundidade relativa e maturação sexual tardia (Hoenig e Gruber, 1990).

Tais fatores dificultam significativamente a recuperação populacional frente à elevada taxa de mortalidade causada pelas atividades pesqueiras, especialmente em razão da estreita relação entre o tamanho das populações e os níveis de exploração a que são submetidas (Holden, 1974). Atualmente, são reconhecidas 537 espécies de tubarões em todo o mundo (Gadig, 2023), distribuídas em 9 ordens, 37 famílias e 116 gêneros (Compagno, 1999; Gadig, 2023). No Brasil, essa diversidade também é notável, com registros de 7 ordens, 26 famílias, 46 gêneros e 89 espécies (Gadig e Rosa, 2014; Gadig *et al.*, 2023), ressaltando a importância do território nacional como uma área de significativa representatividade para esse grupo.

1. 2. PRINCIPAIS ESPÉCIES DE TUBARÕES ASSOCIADAS ÀS MARCAS DE MORDIDAS EM CARCAÇAS DE CETÁCEOS

No Brasil, apesar da escassez de literatura sobre o tema, alguns estudos relatam como principais espécies de tubarões predadores e necrófagos oportunistas de cetáceos, o tubarão-tigre (*Galeocerdo cuvier*), o tubarão-cabeça-chata (*Carcharhinus leucas*) e os tubarões-charuto do gênero *Isistius* (*I. brasiliensis* e *I. plutodus*) (Silva, 2024; Gois, 2025). Entre estes, *C. leucas* é classificado como Vulnerável (VU) e *G. cuvier* como Quase Ameaçado (NT) pela Lista Vermelha da IUCN, evidenciando a relevância conservacionista das espécies envolvidas nas interações registradas neste estudo.

O tubarão-charuto (*I. brasiliensis*) já foi encontrado desde a superfície até 3.500 m de profundidade, e realiza migrações verticais diárias, deslocando-se para as águas superficiais à noite (Le Boeuf *et al.* 1987, Papastamatiou *et al.* 2010). Apesar de sua ampla distribuição, o conhecimento sobre sua biologia ainda é limitado (Jones, 1971;

Jahn e Haedrich, 1987). No Brasil, os dados disponíveis são escassos, e grande parte das informações existentes é obtida indiretamente a partir da análise das mordidas crateriformes observadas em cetáceos e grandes teleósteos oceânicos (Gasparini e Sazima, 1996).

De acordo com Dwyer e Visser (2011), há muitas variáveis envolvidas nos fatores causais de feridas ovais, redondas ou em forma de crescente em cetáceos, e a determinação da origem dessas cicatrizes nem sempre é simples. Embora não seja possível confirmar que as marcas arredondadas sejam sempre originárias de *Isistius sp.*, evidências crescentes indicam que essa espécie é a provável responsável por grande parte das feridas e cicatrizes observadas em cetáceos (Shevchenko, 1970; Jones, 1971; Shirai e Nakaya, 1992; Walker e Hanson, 1999).

Por outro lado, o tubarão-cabeça-chata (*C. leucas*) apresenta ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais, sendo frequentemente associado a ambientes costeiros e estuarinos, embora também possa ocorrer em sistemas de água doce (Garrick, 1982; Thorson, 1972). Ele possui registros ao longo da costa do Brasil, incluindo as regiões Sudeste e Sul, ocorrendo sobre a plataforma continental e em sistemas lagunares (Werder e Alhanati, 1981; Stride *et al.*, 1992).

Trata-se de uma espécie de hábito alimentar generalista, consumindo diversos grupos de presas, incluindo peixes ósseos, outros elasmobrânquios, tartarugas marinhas, invertebrados e mamíferos marinhos (Sadowsky, 1971; Garrick, 1982). Os indivíduos podem atingir aproximadamente 3,5 m de comprimento total, característica que, associada ao comportamento oportunista da espécie, pode favorecer sua participação em interações envolvendo predação e necrofagia (Cliff e Dudley, 1991).

O tubarão-tigre (*G. cuvier*) apresenta ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais, ocorrendo em ambientes costeiros e oceânicos (Randall, 1992). A espécie é encontrada desde águas rasas até aproximadamente 350 m de profundidade, sendo que indivíduos de maior porte tendem a ocupar áreas mais profundas, enquanto juvenis são frequentemente registrados em regiões mais rasas e superficiais (Tricas *et al.*, 1981).

No Brasil, possui distribuição ao longo de toda a costa, incluindo plataforma continental, ilhas oceânicas e ambientes oceânicos (Rosas *et al.*, 1992). É também uma espécie com hábito alimentar generalista e oportunista, consumindo ampla variedade de presas, incluindo peixes ósseos, outros elasmobrânquios, aves, répteis, invertebrados e mamíferos marinhos, além de apresentar comportamento necrófago

(Witzell, 1987; Lowe *et al.*, 1996). Os indivíduos podem atingir aproximadamente 6,1 m de comprimento total, sendo uma das maiores espécies predadoras entre os tubarões costeiros, característica que pode ampliar seu potencial de interação com diferentes organismos marinhos (Randall, 1992; Heithaus, 2001).

1. 3. PADRÃO DE MORDIDA E ECOLOGIA ALIMENTAR DOS TUBARÕES

Ao longo do tempo evolutivo, pressões seletivas favoreceram adaptações morfológicas nas estruturas dentárias dos tubarões, permitindo uma mordida eficiente em presas que muitas vezes apresentam tecidos flexíveis, capazes de suportar deformações significativas antes de se romperem (Frazzetta, 1988). Acredita-se que a morfologia dos dentes dos tubarões esteja relacionada à sua função, ou seja, agarrar, cortar ou triturar suas presas (Frazzetta, 1988; Huber *et al.*, 2009; Cappetta, 2012).

Entre essas adaptações, destacam-se maxilas especializadas com múltiplas fileiras de dentes continuamente substituíveis, compostos por fluorapatita, um mineral mais resistente que a hidroxiapatita, presente nos dentes de mamíferos (Frazzetta, 1988). A forma, a funcionalidade e a resistência dos dentes variam amplamente entre as espécies, refletindo suas diferentes estratégias alimentares. A coroa dos dentes dos tubarões é composta por um núcleo dentinário recoberto por esmaltoide hipermineralizado, cuja origem e composição difere do esmalte dos tetrápodes (Kemp, 1999).

Essa característica histológica reforça a distinção evolutiva entre as estruturas dentárias dos tubarões e dos mamíferos, refletindo diferenças fundamentais em sua origem e desenvolvimento. Em alguns casos, os dentes podem permanecer presos à presa após a mordida (Szpilman, 2004). Além disso, há diversos relatos de danos provocados por mordidas de tubarões em alvos variados, incluindo cabos submarinos, tartarugas marinhas, pinípedes, cetáceos, outros tubarões, pranchas de surfe e até seres humanos (Heithaus e Dill 2002; Long e Jones, 1996).

Os motivos pelos quais os tubarões mordem podem ser vários, tais como: curiosidade, fome, defesa e acasalamento (Tricas e McCosker, 1984; Gruber, 1988). Em tecidos mais moles, como pele e gordura, as marcas de mordida geralmente se apresentam como cortes irregulares e quase paralelos, por vezes com contorno semicircular, evidenciando a forma da arcada dentária (Byard *et al.*, 2000; Heithaus, 2001; Woolgar *et al.*, 2001; Auerbach e Burgess, 2007). Acredita-se ainda que a

capacidade de protrusão das maxilas contribua para a eficiência do corte promovido pelos dentes (Dicken, 2008).

As lesões deixadas por tubarões apresentam marcas características que permitem a identificação da espécie. Por exemplo, os tubarões-cabeça-chata, possuem dentes triangulares, muitos dos quais pontiagudos. As bordas cortantes desses dentes se sobrepõem, o que favorece a formação de uma superfície contínua e resulta em cortes mais limpos e suaves (Long e Jones, 1996; Heithaus, 2001). Em contraste, os tubarões-tigre apresentam dentes amplamente espaçados, com formatos mais largos e tamanhos semelhantes tanto na mandíbula superior quanto na inferior, sendo comumente associados à produção de mordidas com padrão de corte evidente (Long e Jones, 1996; Heithaus, 2001).

As pontas são curvas e oblíquas, semelhante ao formato de gancho (Gadig, 2001; Grace, 2001). Um outro aspecto da impressão deixada pelas mordidas desta espécie é a presença de abas (Leal *et al.* 2022). O surgimento de abas no tegumento após uma mordida ocorre devido ao relativamente alto poder cortante de sua mordida, que produz um corte muito bem definido (Corn *et al.*, 2016; Clua e Reid, 2018).

Já os tubarões-charuto, são muitas vezes descritos como ectoparasitas temporários de cetáceos (Perrin *et al.*, 1994; Miyazaki e Perrin, 1995; Heithaus, 2001). Estes atingem cerca de 40 cm de comprimento e são capazes de se alimentar de animais significativamente maiores, graças a estratégias alimentares peculiares e à sua morfologia especializada, que inclui uma dentição adaptada, língua modificada e conformação bucal única (Grace *et al.*, 2023; Petean; Carvalho, 2018).

Durante a alimentação, esses tubarões realizam um movimento rotacional com o corpo, que resulta na remoção de um fragmento de tecido muscular, originando lesões circulares bem definidas, geralmente com diâmetros entre 3 e 4 cm (Cunha e Gonzalez, 2000; Long e Jones, 1996), frequentemente descritas como crateriformes (Williams e Bunkley-Williams, 1996; Grace, 2018; Flach, 2022).

Segundo Aguiar e Valentin (2010), para compreender o funcionamento e a dinâmica trófica dos ecossistemas marinhos, é fundamental estudar a ecologia dos grandes predadores, como os elasmobrânquios. Isso porque, a biologia comportamental tem sido cada vez mais reconhecida como um aspecto relevante nas decisões relacionadas à conservação ambiental (Buchholz, 2007). Neste sentido, a ecologia forense tem se consolidado como uma ferramenta essencial para investigações e análises que envolvem as interações entre cetáceos e tubarões.

Por meio de diversas metodologias e técnicas específicas, essa abordagem possibilita a reconstrução de eventos passados e amplia a compreensão das dinâmicas populacionais desses organismos em seus respectivos ecossistemas (Jefferson, 2008). Mesmo após a morte de um organismo, os processos que ocorrem *post-mortem* continuam a ser objeto de estudo, possibilitando a análise das transformações que se seguem ao óbito (Casagrande *et al.*, 2018; Dos Santos, 2018).

No caso específico dos tubarões, a ecologia forense pode fornecer informações importantes sobre padrões de predação, identificação das espécies envolvidas, rotas migratórias e o papel ecológico desses predadores no equilíbrio dos ambientes marinhos (Clua e Reid, 2018; Flach, 2022; O'Bryhim *et al.*, 2021; Ritter e Levini, 2004; Sheng, 2020). Esse tipo de abordagem é essencial para promover a conservação dessas espécies-chave, contribuindo com dados valiosos para o manejo sustentável e a mitigação de impactos à biodiversidade marinha.

Além disso, os benefícios ecológicos que os tubarões proporcionam podem ser amplos, contribuindo positivamente para a saúde e o bem-estar humano por meio da mitigação de doenças e do descarte natural de resíduos (Ćirović *et al.*, 2016), além de contribuírem para a recirculação (Beasley *et al.*, 2019) e transporte de nutrientes (Hocking e Reimchen, 2006; Dunlop *et al.*, 2021). Dessa forma, a divulgação do papel ecológico e dos possíveis benefícios associados a esses organismos pode funcionar como um incentivo relevante para a conservação dos elasmobrânquios (O'Bryan *et al.*, 2018).

Ademais, entende-se que o equilíbrio e a saúde dos ecossistemas podem depender diretamente da integridade das populações locais de espécies de tubarões (Aguiar e Valentin, 2010). Sendo assim, entender como se dão as interações entre cetáceos e tubarões, grupos com papel ecológico fundamental, incluindo aspectos como o comportamento predatório (Stillwell e Kohler, 1982), a dieta dos tubarões (Cortés, 1999) e as relações ecológicas entre predadores e presas (Heithaus, 2001), torna-se possível por meio dos registros de encalhes de cetáceos. Esses dados, disponíveis em plataformas públicas de monitoramento de fauna, oferecem *insights* sobre a diversidade de espécies, suas distribuições e abundância relativa no ambiente marinho.

2. OBJETIVOS

Com base no anteriormente descrito, propõe-se como objetivos desta pesquisa:

2. 1. OBJETIVO GERAL

Identificar padrões ecológicos relacionados aos comportamentos tróficos de tubarões das espécies *Carcharhinus leucas*, *Galeocerdo cuvier* e *Isistius brasiliensis* sobre carcaças de cetáceos encalhados na costa norte do estado do Rio de Janeiro, Bacia de Campos, sudeste do Brasil.

2. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever a distribuição geográfica dos eventos de interação entre as espécies de tubarões avaliadas e carcaças de cetáceos na costa norte do estado do Rio de Janeiro, Bacia de Campos, sudeste do Brasil;
- Quantificar a frequência de eventos de necrofagia e predação associados às marcas de mordidas das espécies avaliadas de tubarões, nas carcaças de cetáceos encalhados na costa norte do estado do Rio de Janeiro, Bacia de Campos, sudeste do Brasil;
- Caracterizar a distribuição anatômica das marcas de mordidas atribuídas a tubarões em espécies de cetáceos encalhados na costa norte do estado do Rio de Janeiro, Bacia de Campos, sudeste do Brasil;
- Identificar a associação das principais espécies de tubarões envolvidas nos eventos com os diferentes tipos de interação (necrofagia e predação);
- Avaliar a relação entre a frequência de lesões atribuídas a mordidas de tubarões em cetáceos encalhados na costa norte do estado do Rio de Janeiro, Bacia de Campos, sudeste do Brasil, e o habitat preferencial das diferentes espécies de cetáceos;
- Avaliar a influência do tamanho corporal dos cetáceos sobre a ocorrência de eventos de mordidas e o tipo de interação.

3. HIPÓTESES

1. Espera-se que a frequência e o número de mordidas se diferenciem entre eventos de predação e necrofagia, refletindo diferenças comportamentais e estratégias alimentares das espécies de tubarões envolvidas.

2. Espera-se que regiões anatomicamente mais vulneráveis, como as regiões gular, ventral e genital, apresentem maior frequência de marcas de mordidas, por constituírem áreas frequentemente associadas a ataques predatórios e ao consumo de tecidos moles por tubarões.
3. Espera-se que *Isistius brasiliensis*, *Galeocerdo cuvier* e *Carcharhinus leucas* estejam associados à maior parte dos registros de interação entre tubarões e cetáceos, em função de sua ampla distribuição geográfica, hábitos alimentares oportunistas e registros prévios de predação e necrofagia envolvendo cetáceos. Dentre essas espécies, espera-se que *C. leucas* seja o mais recorrente, devido à sua associação com ambientes costeiros e estuarinos, onde há maior probabilidade de interação com cetáceos que utilizam essas áreas, bem como ao seu potencial predatório em águas rasas.
4. Espera-se que cetáceos costeiro-estuarinos apresentem maior frequência de interações com tubarões do que cetáceos marinho-oceânicos, em razão da maior sobreposição espacial com espécies de tubarões costeiros e da maior probabilidade de detecção de lesões em indivíduos que encalham próximos à costa.
5. Espera-se que indivíduos adultos apresentem maior frequência de marcas de mordidas do que juvenis e filhotes, em razão de seu maior tamanho corporal e maior tempo de exposição ao ambiente marinho.

4. METODOLOGIA

4. 1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na costa norte do estado do Rio de Janeiro, entre as localidades de Araruama (22°52'22" S e 42° 20' 34" O) e Barra de Itabapoana (21° 18' 14" S e 40° 58' 10" O), compondo 294,1 km de linha costeira da região norte do Rio de Janeiro, no sudeste do Brasil. Esta área pertence às mesorregiões das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense, que constituem a Bacia de Campos (Marangoni *et al.*, 2013). Os tipos climáticos de Köppen predominantes são Aw (savana tropical) e Af (floresta tropical pluvial) (Alvares *et al.*, 2013). Nas regiões litorâneas e de baixada, isso ocasiona um clima do tipo tropical úmido, com verões quentes e chuvosos e invernos secos (IBGE, 2021).

A plataforma continental apresenta topografia irregular, estreitando-se em Cabo Frio e alargando-se em direção ao extremo norte. Essa morfologia influencia as

características hidrológicas regionais e modula o fluxo da Corrente do Brasil (CB) na região. As águas superficiais são também influenciadas pelo regime anticiclônico e abrangem duas massas de água distintas: Água Superficial Tropical (TSW) e Água Central do Atlântico Sul (SACW) (Viana, 2013).

4. 2. AMOSTRAGEM

As mesorregiões das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense são contempladas pelo Projeto de Monitoramento de Praias das Bacias de Campos e Espírito Santo (PMP - BC/ES). Os Projetos de Monitoramento de Praias foram estabelecidos como condicionante do licenciamento ambiental federal conduzido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), como parte das exigências do licenciamento ambiental federal da petrolífera brasileira PETROBRAS devido a exploração e escoamento de petróleo e gás natural em área marinha (*offshore*).

O objetivo principal do PMP é monitorar a ocorrência de encalhes de vertebrados marinhos, como cetáceos, tartarugas e aves, avaliando possíveis impactos das atividades de exploração *offshore* sobre a fauna costeira. O monitoramento é realizado por meio de vistorias sistemáticas ao longo do litoral, feitas por equipes treinadas, que percorrem trechos previamente definidos de praia em veículos ou a pé. Essas ações ocorrem diariamente, com frequência e metodologia padronizadas, abrangendo tanto encalhes de animais vivos quanto mortos.

Durante o monitoramento, são coletados dados como: data, local e condição do animal (vivo ou morto), estado de decomposição da carcaça - baseado em Geraci e Lounsbury (2008), identificação da espécie, biometria (comprimento, peso, sexo), evidências externas de interação antrópica ou predação natural (como marcas de mordida), além de material biológico (tecidos, órgãos, parasitas), quando aplicável.

Os PMPs cobrem uma área extensa pelo Brasil, abrangendo de forma quase contínua a linha de costa entre Laguna/SC e Conceição da Barra/ES, totalizando 2.788 km. A área deste estudo engloba os trechos: 5A (São Francisco de Itabapoana); 5B (São João da Barra, Campos dos Goytacazes); 6A (Quissamã, Carapebus); 6B (Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu); 7A (Cabo Frio, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo); 7B (Arraial do Cabo, Araruama, Saquarema) (Figura 1).

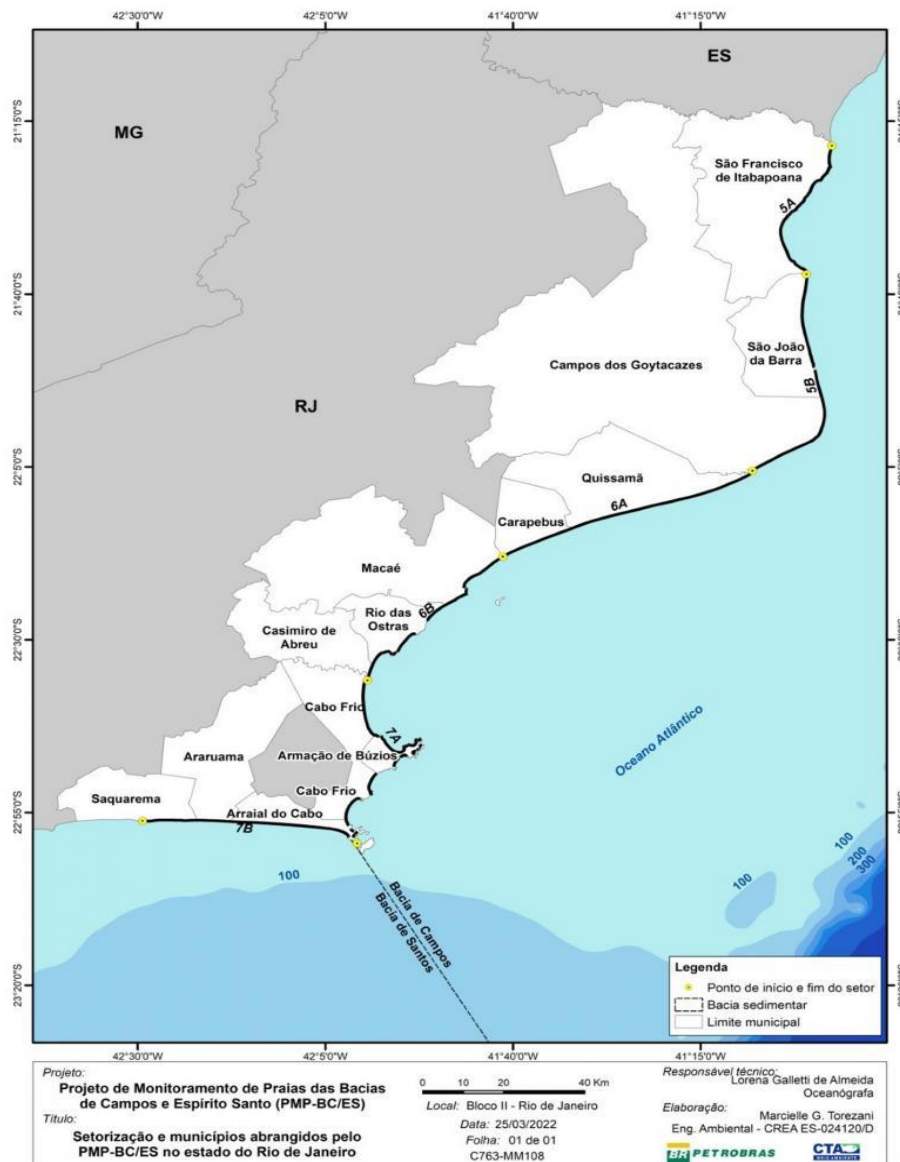


Figura 1. Área monitorada pelo Projeto de Monitoramento de Praias das Bacias de Campos e Espírito Santo (PMP-BC/ES), e utilizada neste estudo. As marcações em amarelo mostram as divisões de cada trecho. Fonte: Petrobras, 2022.

4. 3. COLETA DE DADOS

Para este estudo, foram analisadas as cinco espécies de cetáceos com maior ocorrência nos registros de encalhe do litoral do estado do Rio de Janeiro: quatro espécies de odontocetos, *Tursiops truncatus* (golfinho-nariz-de-garrafa), *Pontoporia blainvillei* (toninha), *Sotalia guianensis* (boto-cinza) e *Stenella frontalis* (golfinho-pintado-do-atlântico), e uma espécie de mysticeto, *Megaptera novaeangliae* (baleia-jubarte).

Para fins de análise e apresentação dos resultados, as espécies foram agrupadas de acordo com suas características ecológicas e padrões de uso do

habitat. Foram consideradas espécies costeiro-estuarinas aquelas associadas predominantemente a ambientes costeiros-estuários e regiões de plataforma continental interna, até 50 m de profundidade, representadas por *P. blainvillei* e *S. guianensis*. Por sua vez, as espécies classificadas como marinho-oceânicas foram *M. novaeangliae*, *S. frontalis* e *T. truncatus*, por apresentarem maior associação com a plataforma continental a profundidades > 50m, e águas oceânicas. Essa categorização foi utilizada com o objetivo de avaliar possíveis diferenças na ocorrência das marcas de mordidas de tubarões entre cetáceos com distintos hábitos ecológicos e áreas de distribuição.

Todas as carcaças documentadas pelo PMP são registradas fotograficamente, incluindo imagens das regiões dorsal, ventral, lateral direita e esquerda, regiões anterior, média e caudal e nadadeiras peitoral, dorsal e caudal. As imagens são realizadas usando sempre uma placa de identificação que inclui uma escala de 20 cm. Para espécies de maior comprimento, é usada como escala uma régua de 160 cm. Os dados gerados pelo PMP são disponibilizados publicamente através do Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática (SIMBA; disponível em: <https://simba.petrobras.com.br/simba/web/>), incluindo a documentação fotográfica das carcaças registradas.

O SIMBA também fornece informações complementares sobre os eventos de encalhe, como: cidade, praia, coordenadas geográficas (latitude e longitude), sexo, data, espécie, estágio de desenvolvimento e condição da carcaça. Este último parâmetro é categorizado em cinco níveis (Tabela 1). As análises foram baseadas nos registros fotográficos de encalhes ocorridos entre os anos de 2017 e 2025. A seleção das imagens no sistema SIMBA foi realizada por meio de filtros específicos, como nome da espécie, data de ocorrência e trecho da praia.

As fotografias selecionadas deveriam apresentar boa resolução e nitidez, além de evidências visuais compatíveis com marcas de mordidas atribuídas à interação com tubarões, incluindo marcas semicirculares ou em arco, perfurações alinhadas compatíveis com impressões dentárias, lacerações com bordas regulares, perda de tecido e lesões circulares características de *I. brasiliensis*.

Tabela 1. Níveis de condição da carcaça. Fonte: Geraci e Lounsbury (2005); Brooks e Sutton (2018); Da Cunha Ramos *et al.* (2013); Pugliares *et al.* (2007).

Condição da Carcaça	
Nível 1	Animal vivo
Nível 2	Carcaça fresca: Corpo preservado, olhos ainda translúcidos, mucosas e superfície ocular com aspecto pouco ressecado ou enrugado. A pele mantém firmeza e integridade, sem sinais evidentes de flacidez. Não há distensão gasosa no abdômen ou trato gastrointestinal, e também não se observam projeções anormais da língua, região peniana ou anal.
Nível 3	Início da decomposição: Carcaça com pele seca e descamando, olhos fundos ou ausentes, mucosas secas, órgãos opacos e sem cor natural, distensão abdominal por gases, leve projeção de língua, pênis e ânus (mais comum em animais maiores, como baleias), odor moderado, possíveis marcas de necrófagos.
Nível 4	Decomposição avançada: Carcaça estruturalmente comprometida, pele se solta facilmente, órgãos internos frágeis ou liquefeitos, músculos e gordura separados dos ossos, odor forte, danos por animais necrófagos frequentes.
Nível 5	Animal mumificado: Carcaça ressecada, com presença apenas de fragmentos de pele aderidos aos ossos.

4. 3. 1. PARÂMETROS PARA A CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE ALIMENTAÇÃO

Primeiramente, as análises consistiram na observação direta das imagens disponibilizadas pelo SIMBA, com foco nas características morfológicas das lesões, coloração ou sinais de retalhos nas bordas das lesões e na presença de marcas de dentes em volta delas, que pudessem indicar movimentos de contenção e/ou luta. Lesões observadas em carcaças em avançado estado de decomposição não foram classificadas como mordidas quando não apresentavam evidências suficientes que permitissem distingui-las de alterações decorrentes do próprio processo de decomposição.

Da mesma forma, imagens com baixa resolução, iluminação inadequada ou ângulos que impossibilitassem a correta visualização da lesão foram excluídas das

análises de identificação. Para a caracterização dos eventos de alimentação foram realizadas buscas na literatura com o objetivo de aprofundar a compreensão dos critérios morfológicos utilizados na identificação das espécies de tubarões envolvidos, bem como na distinção entre os comportamentos de predação e necrofagia. A necrofagia consiste no consumo de organismos que já se encontram mortos, sendo uma estratégia alimentar observada em diversas espécies de tubarões (Fallows *et al.*, 2013; Moleón *et al.*, 2015).

As marcas associadas a esse tipo de comportamento tendem a ser superficiais, com bordas irregulares e distribuição difusa, refletindo a remoção de tecidos em estágio de decomposição (Andersen *et al.*, 2008; Brooks e Sutton, 2018). Em geral, essas lesões não apresentam perfurações dentárias próximas nem sinais de tentativa de contenção da presa ou luta, o que reforça a ausência de um ataque ativo (Fallows *et al.*, 2013; Da Cunha Ramos *et al.*, 2024; Pugliares *et al.*, 2007) (Figura 2).



Figura 2. Exemplo de marca de necrofagia observada em *Pontoporia blainvillei*. A lesão apresenta remoção de tecido com bordas irregulares, sem evidências de contenção da presa ou sinais associados a um ataque ativo. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2021).

Em contraste, a predação representa um comportamento ativo e agressivo, com o intuito de capturar e matar a presa para consumo imediato. Nesses casos, os tubarões realizam ataques direcionados, produzindo ferimentos profundos e concentrados em regiões anatomicamente vulneráveis, como a área gular e as regiões ventral e genital (Long e Jones, 1996) (Figura 3). As mordidas decorrentes da predação geralmente apresentam dimensões variando entre 10 e 60 cm, sendo bem definidas e localizadas.

Nesses casos, é comum a presença de marcas de dentes associadas à lesão, bem como hematomas ao redor da área mordida, indicando que a presa se encontrava viva e responsiva no momento da interação. Essas características sugerem um padrão de ataque direcionado a regiões vulneráveis da presa, aumentando a probabilidade de sucesso da predação. (Heithaus, 2001; Long e Jones, 1996; Auerbach e Burgess, 2007).

Assim, enquanto a necrofagia contribui para a reciclagem de matéria orgânica no ambiente marinho, a predação se configura como uma interação trófica direta, com implicações importantes para a dinâmica populacional das espécies envolvidas.



Figura 3. Exemplo de marca de predação registrada em *Pontoporia blainvillei*. A mordida apresenta formato definido e padrão compatível com um ataque direcionado em regiões anatomicamente vulneráveis, característico de interações predatórias. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação

de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2021).

Além disso, a fim de identificar se o evento associado às mordidas observadas foi necrofagia ou predação, foram considerados diversos parâmetros morfológicos e contextuais. Um dos critérios adotados foi a avaliação dos estágios das carcaças, com base em sinais físicos e biológicos que indicam o momento em que determinadas lesões ou alterações ocorreram em relação à morte do animal. Essa categorização é dividida em três principais estágios: *ante-mortem*, *pré-mortem* e *post-mortem*.

O estágio *ante-mortem* abrange lesões causadas por mordidas que aconteceram pouco tempo antes da morte, permitindo o início de processos de reparação tecidual e cicatrização. As evidências típicas incluem crostas, formação de tecido de granulação, alterações na coloração ao redor das bordas da ferida, além de indícios de necrose isquêmica e inflamação crônica, características que sugerem uma resposta do organismo anterior à morte (Figura 4).

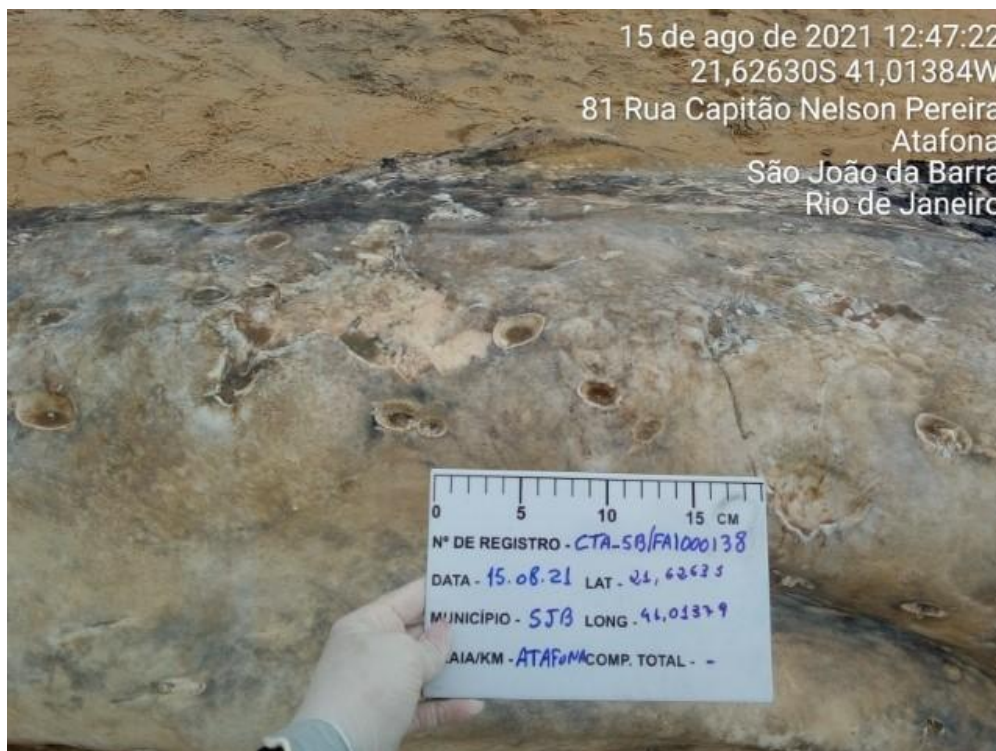


Figura 4. Exemplo de lesão *ante-mortem* em *Megaptera novaeangliae*. Observam-se sinais de reparação tecidual, compatíveis com uma resposta fisiológica anterior ao óbito. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2021).

Lesões classificadas como *pré-mortem* são aquelas que ocorrem instantes antes do óbito e estão relacionadas a eventos críticos que precipitam a morte. Nesses casos, é possível observar sinais de sangramento recente, áreas inflamadas e inchadas ao redor das lesões, além de traumas agudos com tecidos deslocados ou órgãos visivelmente comprometidos, o que indica que o organismo ainda estava reagindo fisiologicamente ao ferimento (Figura 5).



Figura 5. Exemplo de lesão *pré-mortem* em *Pontoporia blainvillei*. A presença de sangramento recente e reação tecidual sugere que o organismo ainda se encontrava vivo no momento da ocorrência da lesão. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2021).

Por fim, alterações *post-mortem* dizem respeito a processos que ocorrem somente após a morte do animal, sem qualquer reação orgânica. Esses sinais incluem a ausência de sangramento fresco ou inflamação, lesões secas, presença de rigidez cadavérica (*rigor mortis*), deposição de sangue coagulado em determinadas partes do corpo (*livor mortis*), coloração alterada da pele, decomposição avançada e, frequentemente, atividade de animais necrófagos sobre os tecidos já degradados (Figura 6).



Figura 6. Exemplo de lesão *post-mortem* em *Pontoporia blainvillei*. Observa-se ausência de sinais inflamatórios ou hemorrágicos, indicando que a alteração ocorreu após o óbito. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2021).

Esse modelo de classificação é amplamente utilizado em necropsias de mamíferos marinhos para interpretar a cronologia dos eventos traumáticos e patológicos que acometeram os indivíduos, e tem sido proposto por diversos autores ao longo das últimas décadas (Andersen *et al.*, 2008; Brooks e Sutton, 2018; Da Cunha Ramos *et al.*, 2024; DiMaio e Dana, 2007; Geraci e Lounsbury, 2005; Hadley *et al.*, 1999; Hare e Mead, 1987; Northridge, 2009; Pugliares *et al.*, 2007; Read e Murray, 2000; Terio *et al.*, 2018; Van Der Hoop *et al.*, 2013; Virner e Kagan, 2018).

4. 3. 2. PARÂMETROS PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES DE TUBARÕES

Para a identificação das espécies de tubarões envolvidas nos eventos foram realizadas análises com base em critérios descritos por Lowry *et al.*, (2009) e Clua e Reid (2018), que consideram o formato, a disposição, o diâmetro (BW), a circunferência (BC) e a profundidade das lesões, bem como o tamanho dos dentes e a presença de retalhos ou dilacerações nos tecidos.

Embora não exista uma métrica forense padronizada para a identificação de espécies de tubarões a partir de marcas de mordida, a análise de características morfológicas das lesões registradas em fotografias constitui uma abordagem amplamente empregada em estudos dessa natureza, sendo complementada por informações sobre distribuição geográfica e comportamento alimentar das espécies (Ritter e Levine, 2004).

Dessa forma, a combinação entre a morfologia dos dentes e o padrão das lesões observadas constituiu um importante critério para a identificação das espécies nos registros fotográficos analisados.

A identificação da mordida de *C. leucas* foi baseada nas características morfológicas de sua dentição e no padrão das lesões observadas nas carcaças analisadas. Os dentes dessa espécie apresentam formato triangular, com cúspides pontiagudas e bordas cortantes serrilhadas. Ao longo da arcada dentária, as margens de corte dos dentes tendem a se sobrepor, formando uma superfície contínua que favorece a produção de cortes mais limpos e regulares nos tecidos da presa (Long e Jones, 1996; Heithaus, 2001) (Figura 7a; 7b).

Em razão dessa configuração dentária, as mordidas atribuídas a *C. leucas* geralmente apresentam contornos bem definidos, com margens relativamente suaves quando comparadas às produzidas por espécies com dentição mais especializada para o corte de grandes porções de tecido (Long e Jones, 1996; Heithaus, 2001) (Figura 8).

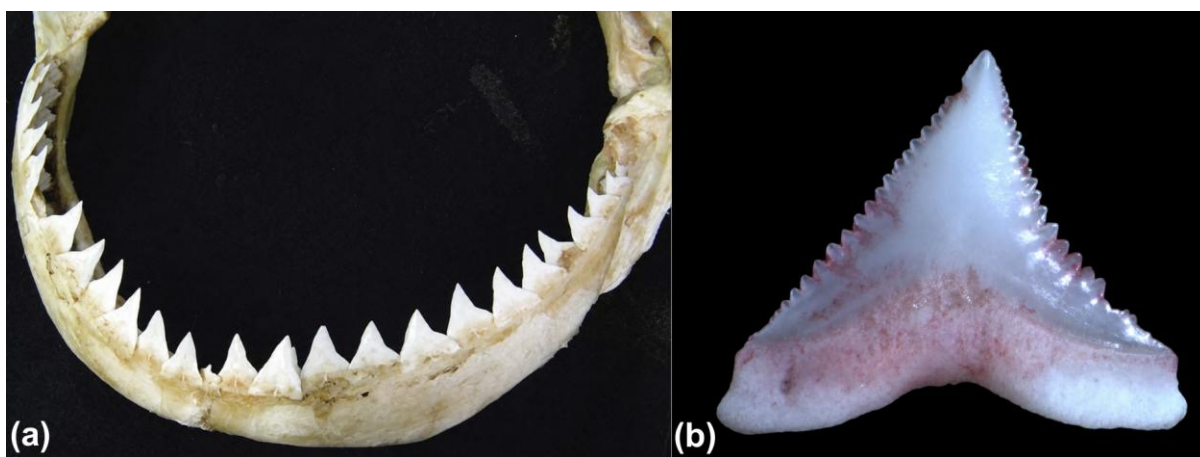


Figura 7. Características da dentição de *Carcharhinus leucas*. (a) Arcada dentária evidenciando a disposição dos dentes sobrepostos ao longo da mandíbula e a reduzida diferenciação entre os dentes da arcada. (b) Dente característico da espécie, apresentando formato largo, bordas serrilhadas e

cúspide principal curvada obliquamente. Fonte: (a) Adaptado de Lowry *et al.* (2009); (b) Adaptado de Goodman *et al.* (2022).



Figura 8. Mordida atribuída a *Carcharhinus leucas* em *Pontoporia blainvillei*, caracterizada por contornos bem definidos e margens relativamente suaves, resultantes da sobreposição das bordas cortantes dos dentes ao longo da arcada dentária. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2021).

No caso de *G. cuvier*, os dentes superiores e inferiores apresentam pouca diferenciação ao longo da arcada dentária, sendo largos, serrilhados e com a cúspide principal curvada obliquamente, formando uma estrutura semelhante a um gancho (Gadig, 2001; Grace, 2001) (Figura 9a; 9b). Essa morfologia confere elevado poder cortante à mordida, resultando em lesões amplas e bem delimitadas.

Uma característica frequentemente associada às mordidas dessa espécie é a presença de abas de tecido ("flaps") nas bordas da lesão, formadas pelo destacamento parcial da pele e do tegumento dos tecidos adjacentes (Figura 10). Essas estruturas são resultado do corte eficiente promovido pelos dentes serrilhados do tubarão-tigre e constituem um importante critério para sua identificação em registros fotográficos (Corn *et al.*, 2016; Clua e Reid, 2018; Leal *et al.*, 2022).

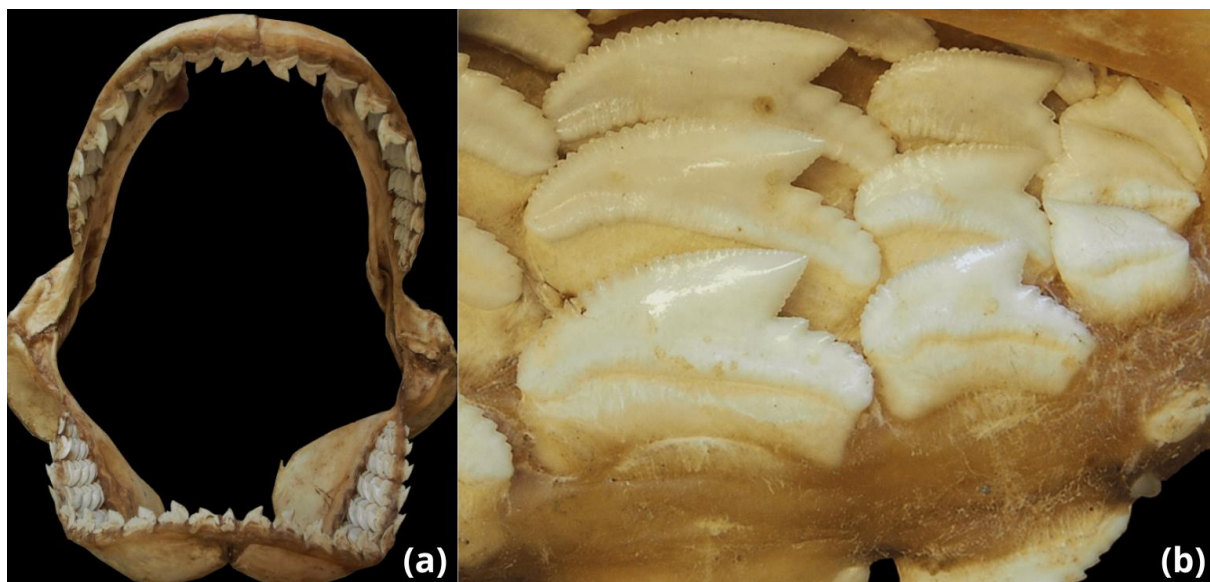


Figura 9. Características utilizadas para a identificação de mordida de *Galeocerdo cuvier*. (a) Arcada dentária evidenciando a disposição dos dentes ao longo da mandíbula, com pouca diferenciação entre os dentes superiores e inferiores. (b) Dente característico da espécie, apresentando formato largo, bordas serrilhadas e cúspide principal curvada obliquamente, conferindo elevado poder cortante à mordida. Fonte: Adaptado de Türtcher *et al.* (2023).



Figura 10. Exemplo de marca de mordida atribuída a *Galeocerdo cuvier* em *Pontoporia blainvillei*. Observam-se bordas bem definidas e a presença de abas de tecido ("flaps"), características associadas ao elevado poder cortante da dentição dessa espécie. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de

A identificação da mordida de *I. brasiliensis* foi baseada principalmente no padrão característico das lesões observadas e em aspectos de sua morfologia dentária. Embora atinja aproximadamente 40 cm de comprimento corporal, é capaz de remover porções de tecido de animais muito maiores devido à sua adaptação anatômica, que inclui uma dentição especializada, com dentes relativamente pequenos e pontiagudos na mandíbula superior e relativamente grandes e cortantes na inferior (Grace *et al.*, 2023; Petean; Carvalho, 2018), língua modificada e conformação bucal peculiar (Figura 11).

Esta espécie realiza um movimento rotacional do corpo, removendo um fragmento circular ou ovalado de tecido. Esse comportamento resulta em lesões bem delimitadas, geralmente circulares, com bordas regulares e aspecto crateriforme, frequentemente descritas na literatura como uma das marcas mais diagnósticas produzidas por tubarões (Long e Jones, 1996; Cunha e Gonzalez, 2000) (Figura 12). As mordidas normalmente apresentam diâmetros entre 3 e 4 cm e constituem um importante critério para a identificação da espécie em registros fotográficos de cetáceos (Williams e Bunkley-Williams, 1996; Grace, 2018; Flach, 2022).



Figura 11. Cavidade bucal de *Isistius brasiliensis*, evidenciando a dentição especializada da espécie, com dentes inferiores robustos e adaptados à remoção de fragmentos circulares de tecido durante a alimentação. Fonte: Adaptado de Widder (1998).



Figura 12. Mordidas atribuídas a *Isistius brasiliensis* em *Stenella frontalis* (circuladas em vermelho).
Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2024).

4. 3. 3. MEDIÇÃO DAS MARCAS DE MORDIDAS

As imagens selecionadas foram analisadas e mensuradas com o auxílio do *software* ImageJ (<https://imagej.net/ij/download.html>), uma ferramenta amplamente utilizada para análise e quantificação de imagens científicas. Esse *software* permite realizar medições precisas diretamente sobre fotografias, desde que haja uma escala de referência presente na imagem. Neste estudo, o *software* ImageJ foi utilizado para mensurar as dimensões das lesões por mordida, com base em escalas previamente inseridas nas imagens.

Todas as lesões identificadas como mordidas de tubarão foram avaliadas individualmente e contabilizadas nas análises de frequência e ocorrência. Entretanto, nem todas puderam ser incluídas nas análises morfométricas. Em alguns casos, a qualidade da fotografia, a ausência de escala adequada, a posição da carcaça ou a presença de estruturas anatômicas sobre a lesão impediram a obtenção de medidas confiáveis. Nessas situações, as mordidas foram consideradas nas análises de ocorrência, mas excluídas das mensurações biométricas.

Adicionalmente, quando múltiplas mordidas apresentavam características semelhantes e encontravam-se agrupadas em uma mesma região corporal, foi selecionada uma marca representativa para obtenção das medidas biométricas. Esse procedimento teve como objetivo caracterizar as dimensões das marcas de mordidas sem atribuir peso excessivo a conjuntos de lesões visualmente semelhantes concentradas em uma mesma área anatômica.

Inicialmente, foram consideradas duas variáveis principais: o diâmetro da mordida (BW – *Bite Width*), correspondente à medida linear entre as extremidades laterais da lesão, traçada ao longo da borda visível da ferida, e a circunferência estimada (BC – *Bite Circumference*) (figura 13a; 13b). Como parâmetro de referência para as medidas, foi utilizada a régua localizada ao lado do animal na fotografia analisada. Para a medição do diâmetro (BW), foi utilizada a ferramenta de linha reta do ImageJ, conectando os dois extremos da mordida do animal. De forma semelhante, a ferramenta de medição livre foi empregada para estimar a circunferência (BC), contornando o perímetro da lesão.

Nos casos em que a circunferência total da lesão não pôde ser traçada no *software* devido à presença de estruturas sobrepostas ou interferências visuais (como partes do corpo do animal ou elementos do ambiente), foi considerada uma forma circular idealizada, aplicando-se a fórmula da circunferência ' $C = \pi (3,14) \times \text{Diâmetro}$ ' para estimar seu valor. A combinação entre observações visuais e mensurações pelo ImageJ permitiu uma análise mais completa das interações entre tubarões e cetáceos.

Ao transformar imagens em dados quantitativos, o uso do *software* agrega rigor técnico à análise, ao mesmo tempo em que respeita as limitações de um estudo baseado em registros fotográficos, sem acesso direto aos espécimes. A padronização das medidas também facilitou a comparação com trabalhos anteriores.



Figura 13. Linha traçada no *software* ImageJ. (a) Mensuração do diâmetro da mordida (BW) de um tubarão em *Pontoporia blainvillei*. (b) Mensuração da circunferência (BC) da mordida de um tubarão em *Pontoporia blainvillei*. Fonte: Plataforma SIMBA (Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática), Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Campos e Espírito Santo - PMP BC/ES (2021).

Após a mensuração das lesões, as características delas foram posteriormente comparadas com descrições disponíveis na literatura científica e com registros fotográficos de arcadas dentárias de tubarões predadores e necrófagos de cetáceos com ocorrência conhecida na costa brasileira (figura 14). Essa etapa teve como objetivo auxiliar na identificação das espécies potencialmente envolvidas nas interações com os cetáceos analisados neste estudo, bem como verificar a compatibilidade entre as dimensões e características das lesões observadas e os padrões esperados para mordidas de tubarões.

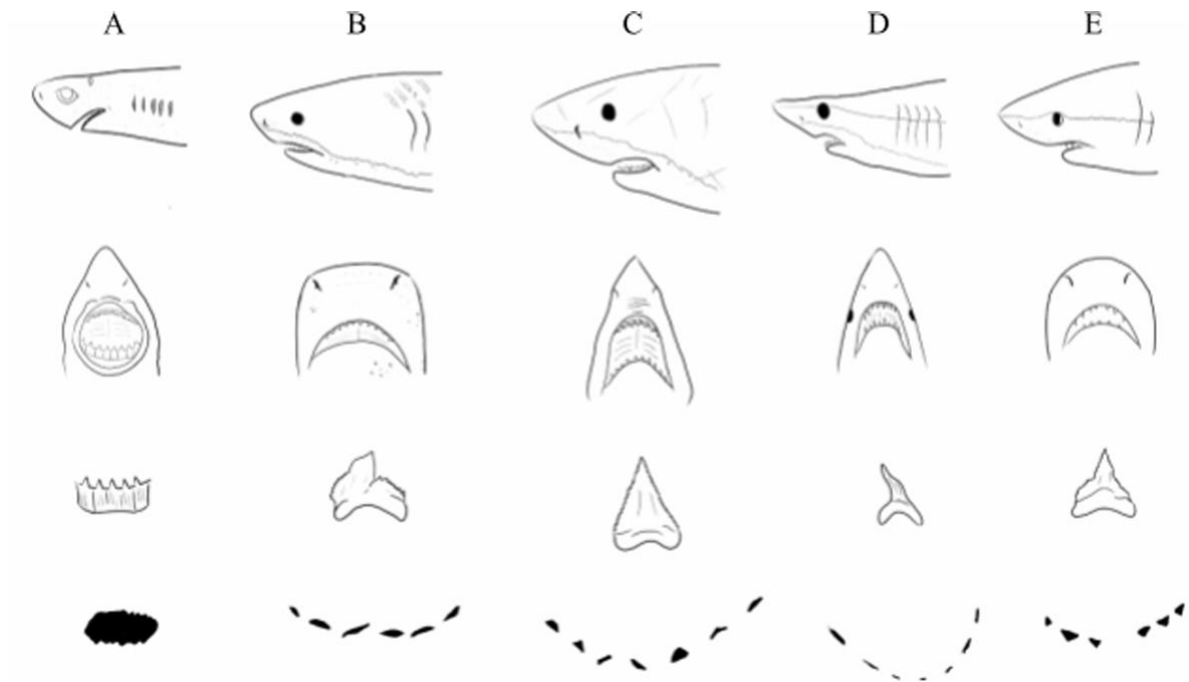


Figura 14. Marcas de mordidas e perfil de identificação das mandíbulas de tubarões predadores de cetáceos da costa brasileira. (A) O tubarão-charuto (*Isistius brasiliensis*) apresenta uma placa dentária localizada na mandíbula inferior, que resulta na remoção de um fragmento de tecido muscular, originando lesões circulares bem delimitadas (Gonzalez e Cunha, 2000; Long e Jones, 1996). (B) O tubarão-tigre (*Galeocerdo cuvier*) apresenta dentes relativamente afastados entre si, com formatos mais amplos. Essa conformação é comumente associada a mordidas com padrões de cortes bem definidos (Long e Jones, 1996; Heithaus, 2001). (C) O tubarão-branco (*Carcharodon carcharias*) apresenta distância interdental relativamente uniforme, com dentes serrilhados e pontiagudos. As mordidas geralmente deixam marcas bem delineadas e com formato quase circular, podendo causar lacerações e cortes profundos (Clua e Séret, 2016). (D) O tubarão-mako (*Isurus oxyrinchus*) apresenta dentição assimétrica, formada por dentes longos e bastante afiados, adaptados para perfurar tecidos moles com eficiência (Clua e Reid, 2018). (E) O tubarão-cabeça-chata (*Carcharhinus leucas*) possui

dentes em formato triangular, frequentemente pontiagudos, e dispostos de maneira que suas bordas cortantes se sobrepõem. Essa configuração cria uma superfície contínua, favorecendo cortes mais precisos e uniformes durante a mordida (Long e Jones, 1996; Heithaus, 2001). Fonte da ilustração: Adaptado de Gois (2025), imagem de Lara Bennati Madureira.

4. 3. 4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para cada imagem analisada foram documentadas informações referentes ao indivíduo enalhado e às lesões observadas, incluindo o número de mordidas atribuídas a espécies de tubarões identificadas e não identificadas, bem como as respectivas medidas morfológicas de cada lesão. Neste estudo, foi assumido que cada “evento” corresponde a uma única mordida observada nas carcaças de cetáceos. Essa definição foi adotada devido à natureza dos dados, uma vez que as observações foram realizadas a partir de carcaças enalhadas, impossibilitando a visualização direta do comportamento de predação ou necrofagia no momento em que ocorreu a interação.

Dessa forma, não é possível determinar se uma mesma lesão resulta de múltiplas mordidas de um único indivíduo, de diferentes mordidas de um mesmo animal ou de múltiplos indivíduos. Assim, cada marca de mordida foi considerada como um evento independente de alimentação para fins analíticos, constituindo uma simplificação necessária e mantida ao longo de todas as análises. Foram inicialmente realizadas análises descritivas espaciais e por meio da sumarização do número total de eventos por espécie de cetáceo, espécie de tubarão e tipo de interação (predação e necrofagia), com o objetivo de explorar a distribuição geral dos registros entre as categorias analisadas.

A frequência relativa das espécies de tubarões e cetáceos envolvidos foi calculada considerando o total de registros com interação. Os resultados foram representados por meio de mapas, gráficos de barras e *boxplots*, permitindo a comparação visual entre as espécies analisadas e a contribuição relativa dos diferentes tipos de interação. Para avaliar diferenças no número de eventos entre as interações classificadas como necrofagia e predação, bem como entre as espécies de cetáceos envolvidas, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis, em virtude da ausência de normalidade dos dados.

Quando identificadas diferenças significativas, realizou-se o teste post hoc de Dunn com correção de Bonferroni para determinar quais grupos diferiam entre si.

Diferenças no comprimento total entre carcaças classificadas como predação e necrofagia foram avaliadas nos odontocetos mais abundantes, por meio do teste não paramétrico de Wilcoxon, aplicado separadamente para cada espécie (*P. blainvillei*, *S. guianensis* e *T. truncatus*), devido à não normalidade dos dados. Em todas as análises, foi adotado nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), considerando-se estatisticamente significativos os resultados com $p < 0,05$.

Posteriormente, foram ajustados Modelos Lineares Generalizados (GLMs) para avaliar os fatores associados à variação no número de eventos representados pelas marcas de mordidas registradas nos cetáceos analisados. A variável resposta foi o número de eventos observados, enquanto as variáveis explicativas compreenderam o habitat preferencial dos cetáceos envolvidos (costeiro-estuarino ou marinho-oceânico), a espécie de tubarão associada às marcas (*C. leucas*, *G. cuvier* e *I. brasiliensis*) e o tipo de interação identificado (predação ou necrofagia). Foram avaliadas diferentes estruturas de modelos, considerando os efeitos principais das variáveis explicativas e suas interações, sob as distribuições de Poisson e binomial negativa, ambas com função de ligação logarítmica.

A presença de multicolinearidade entre as variáveis preditoras foi avaliada por meio do Fator de Inflação da Variância (*Variance Inflation Factor* – VIF). A adequação da distribuição assumida foi avaliada por meio da análise dos resíduos e de testes de sobredispersão. A presença de sobredispersão nos modelos com distribuição de Poisson indicou a necessidade de considerar a distribuição binomial negativa, que apresentou maior adequação à estrutura dos dados. Os modelos candidatos foram comparados por meio do Critério de Informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc), considerando-se também o Δ AICc e o peso de Akaike como medidas do suporte relativo de cada modelo. Modelos com menores valores de AICc e Δ AICc e maior peso de Akaike foram considerados mais fortemente suportados pelos dados.

Para a comparação entre modelos aninhados, foi utilizado o teste de razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio Test* – LRT), considerando-se a diferença no número de graus de liberdade e o valor de p associado ao teste. Dessa forma, a seleção do modelo considerou conjuntamente o ajuste estatístico e a parcimônia. Entre os modelos avaliados, foi selecionado o modelo com distribuição binomial negativa que incluiu o habitat preferencial, a espécie de tubarão, o tipo de interação e as interações entre habitat e espécie de tubarão e entre espécie de tubarão e tipo de interação, por apresentar o maior suporte segundo os critérios de seleção adotados.

Para facilitar a interpretação dos resultados do modelo selecionado, os coeficientes estimados na escala logarítmica foram convertidos para a escala original por meio da exponenciação (e^β), em que β corresponde ao coeficiente estimado pelo modelo. Adicionalmente, foi avaliada a influência do comprimento total (CT) das carcaças de odontocetos sobre o número de mordidas registradas. Para essas análises, foram inseridas apenas as espécies que apresentaram registros associados às três espécies de tubarões analisadas (*C. leucas*, *G. cuvier* e *I. brasiliensis*), bem como ocorrências de ambos os tipos de interação (predação e necrofagia).

Dessa forma, foram incluídas nas análises *P. blainvillei*, *S. guianensis* e *T. truncatus*. Registros de *S. frontalis* e *M. novaeangliae* não foram considerados nessa etapa devido à ausência de representatividade em uma ou mais categorias avaliadas, impossibilitando comparações consistentes entre os grupos. Igualmente, foram ajustados Modelos Lineares Generalizados (GLMs) com distribuição de Poisson e função de ligação logarítmica, incluindo o comprimento total da carcaça (CT), a espécie de tubarão e o tipo de interação (predação ou necrofagia), bem como suas interações.

Como o tipo de interação não apresentou efeito significativo, foi selecionado um modelo final mais simples, contendo apenas os efeitos principais das variáveis explicativas significativas (CT e espécie de tubarão). A adequação do modelo foi avaliada de forma semelhante ao modelo anterior, por meio da análise dos resíduos e de testes de sobredispersão.

Todas as análises estatísticas e os gráficos foram realizados no *software* RStudio, versão 2026.04.0+526 (RStudio, 2026), utilizando os pacotes MASS v. 7.3-64 (Venables e Ripley, 2013), DHARMA v. 0.4.7 (Hartig, 2016), lme4 v. 2.0-1 (Bates et al., 2015), MuMIn v. 1.48.19 (Bartoń, 2022) e mgcv v. 1.9-1 (Wood, 2025) para o ajuste, diagnóstico e seleção dos modelos; e os pacotes dplyr v. 1.1.4 (Wickham et al., 2023), tidyverse v. 2.0.0 (Wickham et al., 2019), tidyselect v. 1.2.1 (Henry e Wickham, 2024), ggpubr v. 0.6.3 (Kassambara, 2026) e ggplot2 v. 4.0.0 (Hadley, 2016) para o processamento dos dados e elaboração dos gráficos. O *software* QGIS v. 3.44 LTR (QGIS Development Team, 2026) foi utilizado para a espacialização dos eventos de alimentação documentados.

5. RESULTADOS

5. 1. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CETÁCEOS COM MARCAS DE INTERAÇÃO COM TUBARÕES

Os registros de cetáceos que apresentaram marcas de mordidas de tubarões exibiram uma distribuição contínua ao longo da área de estudo, englobando a linha da costa desde o município de São Francisco de Itabapoana até Saquarema (Figura 15). A maior densidade dessas interações concentrou-se na região compreendida entre os municípios de São Francisco (n = 23), São João da Barra (n = 22), Campos dos Goytacazes (n = 9) e Quissamã (n = 43), associada principalmente a áreas de maior extensão da plataforma continental com uma menor profundidade (batimetria entre 10 m e 20 m).

Os registros de interações em *P. blainvillei* concentraram-se majoritariamente no eixo representado por São João da Barra (n = 5), Campos dos Goytacazes (n = 4) e Quissamã (n = 33), estendendo-se pontualmente até Saquarema. Já *S. guianensis* apresentou forte agregação de carcaças com marcas de interação na costa de Quissamã (n = 7) e nas proximidades dos litorais de São João da Barra (n = 90) e São Francisco de Itabapoana (n = 17). Por outro lado, *T. truncatus* demonstrou ampla distribuição latitudinal ao longo de toda a área amostrada, ocorrendo desde os limites ao norte (São Francisco de Itabapoana) até o extremo sul (Saquarema).

Por fim, os casos de predação ou necrofagia em *S. frontalis* estiveram localizados predominantemente na porção centro-sul da área de estudo, entre Cabo Frio (n = 2), Arraial do Cabo (n = 1) e Saquarema (n = 1), enquanto baleia-jubartes identificadas com marcas de mordidas (*M. novaeangliae*) distribuíram-se de forma mais homogênea e pulverizada ao longo de toda a extensão costeira avaliada (n = 23).

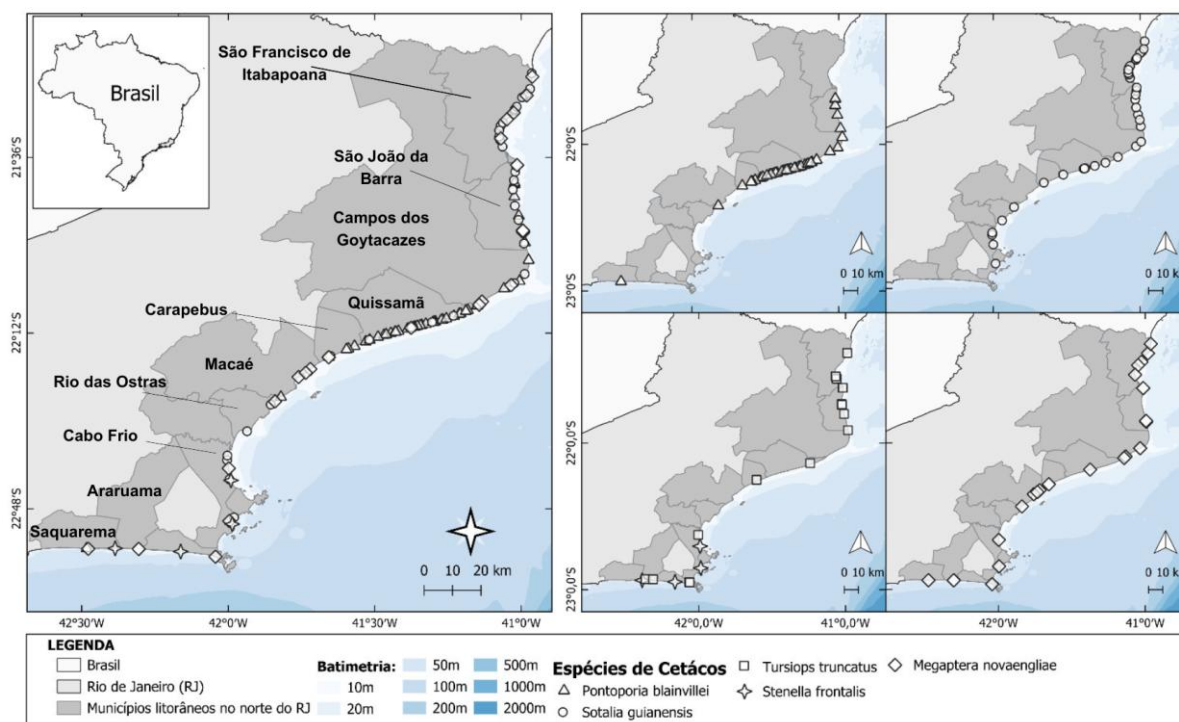


Figura 15. Distribuição espacial dos registros de cetáceos (*Pontoporia blainvillei*, *Sotalia guianensis*, *Tursiops truncatus*, *Stenella frontalis* e *Megaptera novaeangliae*) com presença de marcas de mordidas de tubarão nos municípios litorâneos do estado do Rio de Janeiro. O mapa principal à esquerda ilustra a área de estudo geral e a batimetria local, enquanto os painéis à direita detalham a ocorrência geográfica individualizada das interações por espécie.

5. 2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS MARCAS DE MORDIDAS EM CETÁCEOS

A partir da análise de fotografias de 426 registros de cetáceos encalhados ao longo do litoral amostrado da Bacia de Campos, obteve-se um total de 130 indivíduos com evidências de marcas de mordidas de tubarões, representando 30,52% dos registros de cetáceos encalhados (Tabela 2). Entre os registros de indivíduos com interação, *P. blainvillei* (n = 48) e *S. guianensis* (n = 40) foram as espécies mais frequentes, seguidas por *M. novaeangliae* (n = 23), *T. truncatus* (n = 14) e *S. frontalis* (n = 4) (Tabela 2).

Para o tipo de interação, foram identificados 46 indivíduos com marcas classificadas como predação e 90 com marcas classificadas como necrofagia. A soma desses eventos excedeu o número total de registros com interação, pois alguns indivíduos apresentaram simultaneamente evidências de predação e necrofagia, sendo contabilizados em ambas as categorias. Esse padrão foi observado, por exemplo, em carcaças que apresentavam marcas *pré-morte* compatíveis com

predação por *I. brasiliensis* e, posteriormente, sinais *post-mortem* resultado de consumo necrófago por tubarões de maior porte.

Tabela 2. Distribuição das espécies de cetáceos com marcas de mordidas de tubarões no litoral do estado do Rio de Janeiro.

Espécie	Total de indivíduos registrados	Registros com marcas de mordidas	Frequência (%)
<i>Pontoporia blainvillei</i>	146	48	36,9
<i>Sotalia guianensis</i>	174	40	30,8
<i>Megaptera novaeangliae</i>	45	23	17,7
<i>Tursiops truncatus</i>	51	15	11,5
<i>Stenella frontalis</i>	10	4	3,1

Com relação ao número de mordidas, utilizadas como indicadoras de eventos de interação, foram registradas 440 mordidas nas 130 carcaças de cetáceos identificadas. O número de mordidas variou significativamente entre as espécies de cetáceos. Nos eventos classificados como predação, foram observadas diferenças significativas entre as espécies (Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 24,30$; gl = 4; $p < 0,001$), com diferenças detectadas entre *M. novaeangliae* e *P. blainvillei* ($p = 0,0002$), bem como entre *M. novaeangliae* e *S. guianensis* ($p = 0,0001$). Para os eventos classificados como necrofagia, também foram observadas diferenças significativas entre as espécies (Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 10,35$; gl = 4; $p = 0,035$), sendo detectada diferença significativa apenas entre *M. novaeangliae* e *P. blainvillei* ($p = 0,0237$) (Figura 16).

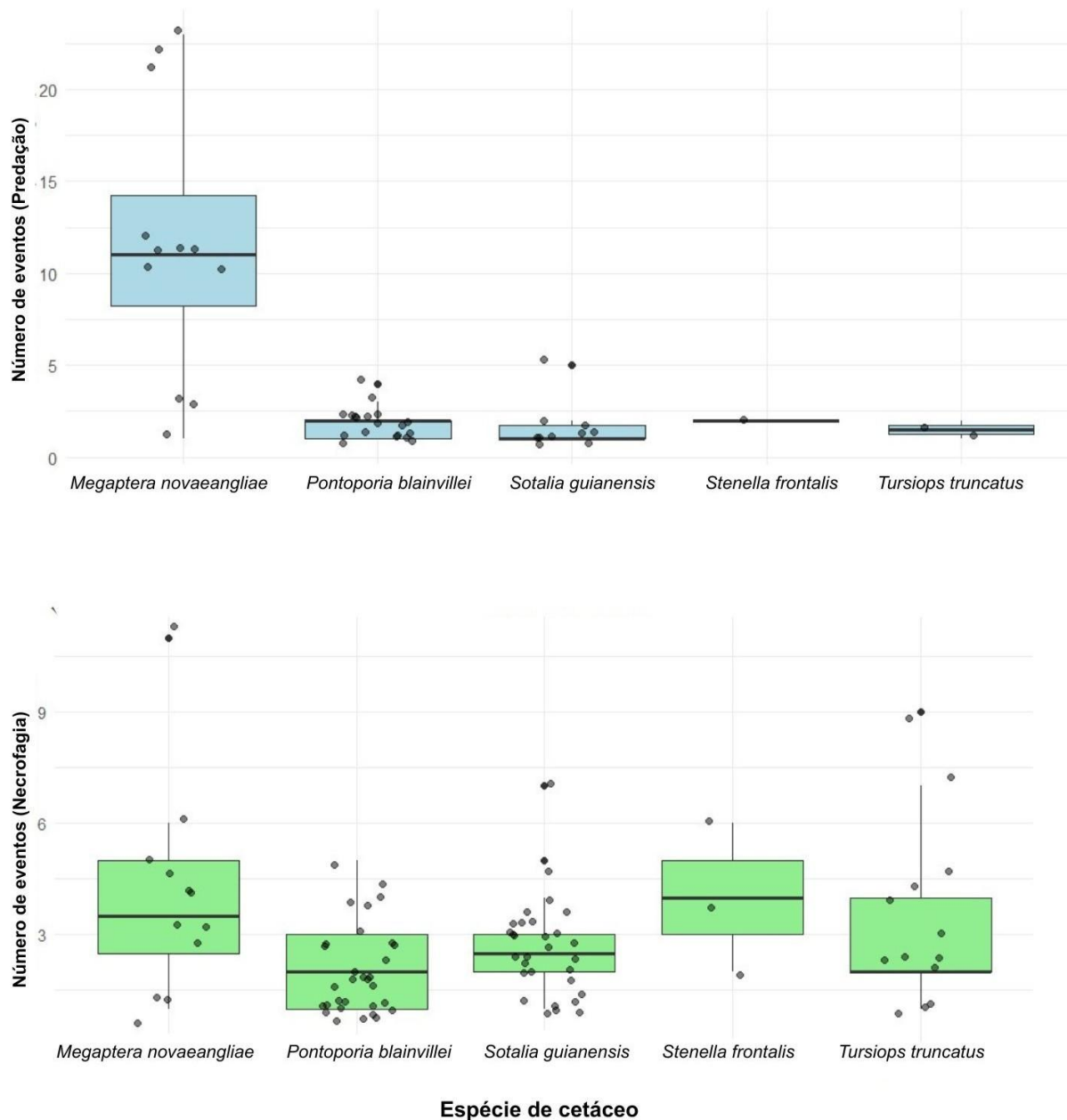


Figura 16. Número de mordidas classificadas como predação e necrofagia nas carcaças de cetáceos encalhados na Bacia de Campos.

Em relação à posição das marcas de mordidas, as mesmas foram observadas predominantemente nas regiões ventral ($n = 62$), genital ($n = 50$), flanco ($n = 40$) e gular ($n = 26$) das carcaças, enquanto as demais regiões apresentaram menor frequência de ocorrência (Figura 17).

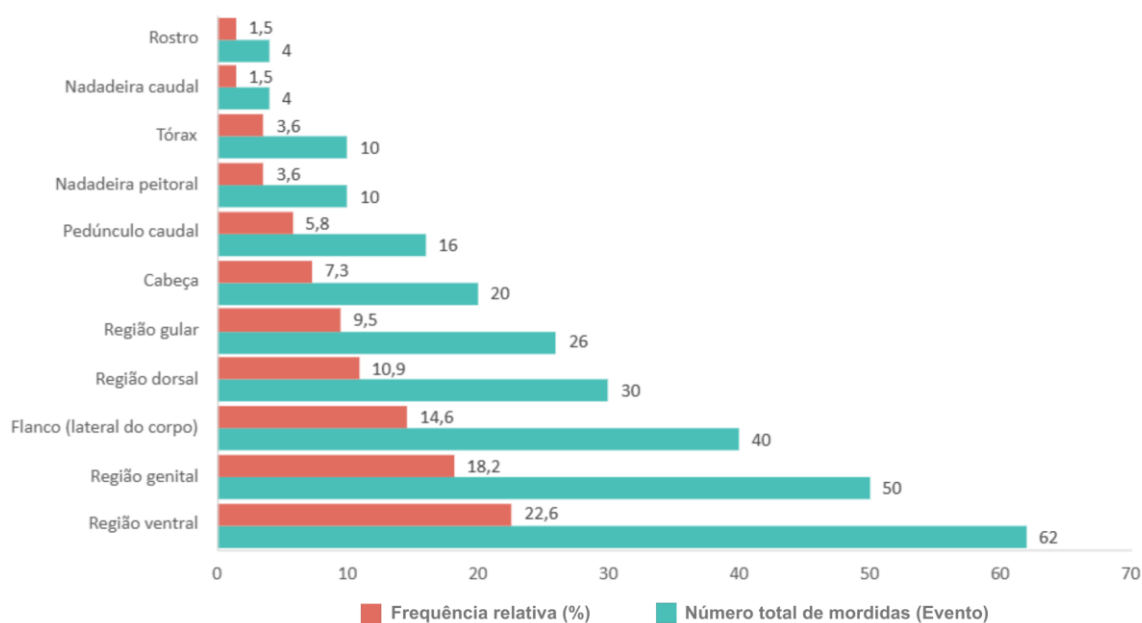


Figura 17. Distribuição das marcas de mordidas de tubarões nas diferentes regiões anatômicas dos cetáceos encalhados no litoral do Rio de Janeiro.

5. 3. DESCRIÇÃO DOS EVENTOS DE PREDACÃO E NECROFAGIA ENTRE AS ESPÉCIES DE TUBARÕES

A caracterização geral das mordidas indicou que, dentre as espécies de tubarões analisadas, *I. brasiliensis* apresentou a maior média de eventos por carcaça ($7,08 \pm 7,86$ DP), seguido por *G. cuvier* ($2,62 \pm 1,86$ DP) e *C. leucas* ($2,51 \pm 1,79$ DP), evidenciando maior variabilidade nos valores de eventos associados a *I. brasiliensis* em comparação às demais espécies (1 - 30+ mordidas por carcaça). A soma total dos eventos registrados variou entre as espécies de tubarões (Figura 18).

Carcharhinus leucas apresentou o maior número acumulado de mordidas ($n = 204$), sendo 171 associadas à necrofagia e 33 à predação. *Isistius brasiliensis* apresentou o segundo maior total ($n = 155$), com predominância de mordidas relacionadas à predação ($n = 144$), enquanto os registros de necrofagia foram menos frequentes ($n = 11$). Já *G. cuvier* apresentou o menor número acumulado de mordidas ($n = 75$), das quais 60 foram registradas em eventos de necrofagia e 15 em eventos de predação. De modo geral, observou-se predominância de mordidas associadas à necrofagia para *C. leucas* e *G. cuvier*, enquanto *I. brasiliensis* esteve majoritariamente associado a eventos de predação.

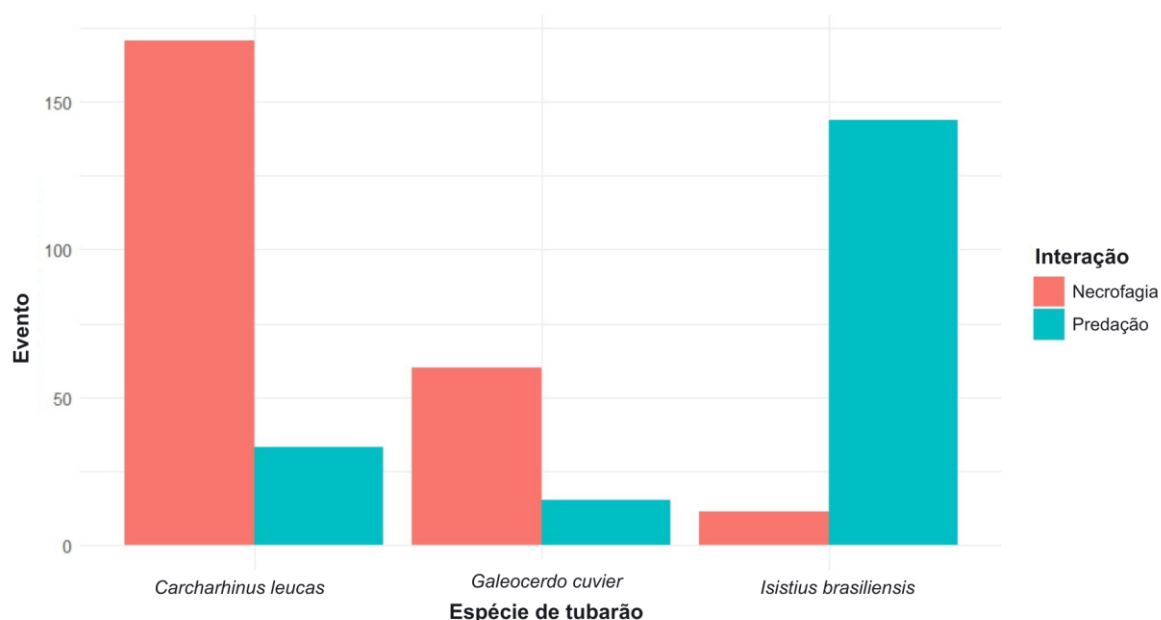


Figura 18. Soma total de mordidas registradas para as espécies de tubarões (*Carcharhinus leucas*, *Galeocerdo cuvier* e *Isistius brasiliensis*) em diferentes tipos de interação (necrofagia e predação). As barras representam o número acumulado de mordidas observadas para cada espécie de tubarão em cada tipo de interação.

As medidas das marcas de mordidas variaram entre as espécies de tubarões e cetáceos analisadas (Tabela 3), indicando que indivíduos de diferentes tamanhos estão presentes nas interações. As maiores médias de diâmetro e circunferência foram observadas para *C. leucas* e *G. cuvier*, enquanto as menores medidas foram registradas para *I. brasiliensis*. Não foram registradas marcas atribuídas a *G. cuvier* em *S. frontalis* e *M. novaeangliae*.

Tabela 3. Número de cetáceos com marcas de mordidas e número total de mordidas registradas para as diferentes espécies de tubarões identificadas. CT: comprimento total dos cetáceos; BW: média $\pm$ desvio padrão do diâmetro das marcas de mordida; BC: média $\pm$ desvio padrão da circunferência das marcas de mordida. N corresponde ao número total de mordidas registradas, e os valores entre parênteses indicam o número de marcas utilizadas para o cálculo das medidas biométricas.

Espécie de cetáceo	N	CT	Espécie de tubarão	N mordida	BW(cm) Média $\pm$ DP	BC(cm) Média $\pm$ DP
<i>Sotalia guianensis</i>	19	101 - 205	<i>Carcharhinus leucas</i>	41(16)	19,3 $\pm$ 7,5	5 $\pm$ 21,4
<i>Sotalia guianensis</i>	20	86,5 - 210	<i>Galeocerdo cuvier</i>	44(22)	17,3 $\pm$ 6,1	52,5 $\pm$ 18,4
<i>Sotalia guianensis</i>	2	170 - 174	<i>Isistius brasiliensis</i>	2(2)	5	14 $\pm$ 1,4
<i>Pontoporia blainvillei</i>	36	65,4 - 144	<i>Carcharhinus leucas</i>	76(40)	14,2 $\pm$ 6,3	43,4 $\pm$ 18,6
<i>Pontoporia blainvillei</i>	6	89 - 140,2	<i>Galeocerdo cuvier</i>	11(6)	18,5 $\pm$ 6,3	54,7 $\pm$ 15,5
<i>Pontoporia blainvillei</i>	7	110,5 - 152	<i>Isistius brasiliensis</i>	12(5)	5,6 $\pm$ 1,5	16,8 $\pm$ 5,4
<i>Tursiops truncatus</i>	9	46 - 315	<i>Carcharhinus leucas</i>	32(15)	15,5 $\pm$ 9,3	46,9 $\pm$ 27,5
<i>Tursiops truncatus</i>	4	210 - 297,4	<i>Galeocerdo cuvier</i>	13(2)	10,5 $\pm$ 0,7	32,5 $\pm$ 2,1
<i>Tursiops truncatus</i>	1	281	<i>Isistius brasiliensis</i>	1(1)	6	16
<i>Stenella frontalis</i>	3	201	<i>Carcharhinus leucas</i>	12(6)	21,3 $\pm$ 8,1	67,7 $\pm$ 24,3
<i>Stenella frontalis</i>	1	207,7	<i>Isistius brasiliensis</i>	2(1)	7	20
<i>Megaptera novaeangliae</i>	11	460 - 1236,1	<i>Carcharhinus leucas</i>	24(8)	19,6 $\pm$ 10,9	54,4 $\pm$ 27,9

<i>Megaptera</i>	15	420 - 1070	<i>Isistius</i>	170(6)	6,3 ± 2,4	18,5 ± 4,3
<i>novaeangliae</i>			<i>brasiliensis</i>			

5. 4. FATORES QUE INFLUENCIAM O NÚMERO DE MORDIDAS

5. 4. 1. ESPÉCIES DE TUBARÕES E HABITAT PREFERENCIAL DAS ESPÉCIES DE CETÁCEOS E TIPO DE INTERAÇÃO

Dentre os Modelos Lineares Generalizados (GLMs) testados, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi aquele que considerou o habitat preferencial das espécies de cetáceos, o tipo de interação (necrofagia ou predação) e as espécies de tubarões como preditores do número de mordidas registradas. O modelo binomial negativo selecionado apresentou *deviance* residual de 104,12, em comparação à *deviance* nula de 225,24, resultando em uma variação explicada de 53,8%.

O resultado do modelo indicou um efeito significativo do habitat preferencial dos cetáceos com evidências de interação sobre o número de eventos registrados ($\beta = 0,470$; $p = 0,011$). Em relação à categoria costeiro-estuarino, a categoria marinho-oceânico apresentou um número esperado de eventos 1,6 vezes maior ($e^{\beta} = 1,60$), correspondendo a um aumento de aproximadamente 60% na frequência de eventos (Tabela 4). Considerando as categorias de referência do modelo (habitat costeiro-estuarino, interação de necrofagia e *C. leucas*), o número médio esperado de eventos foi estimado em 2,3, servindo como valor basal para a interpretação dos efeitos das demais variáveis e interações incluídas.

Para a categoria habitat costeiro-estuarino, os maiores números médios esperados de eventos foram observados para *G. cuvier* (1,13 vezes mais eventos por carcaça), seguido por *C. leucas* (2,3 eventos por carcaça), enquanto *I. brasiliensis* apresentou a menor média estimada (0,3 eventos por carcaça quando comparado a *C. leucas*), diferindo significativamente das demais espécies, mas com maior intervalo de confiança (Tabela 4, Figura 19).

Para a categoria de cetáceos com habitat preferencial marinho-oceânico, observou-se um aumento no número médio esperado de eventos por carcaça, embora esse aumento não tenha sido significativo para todas as espécies de tubarões analisadas. As predições do modelo indicaram que *I. brasiliensis* apresentou o maior número médio esperado de eventos (4,8 eventos por carcaça), seguido por *C. leucas*

(3,7 eventos por carcaça), enquanto *G. cuvier* apresentou valor semelhante ao de *C. leucas* (3,3 eventos por carcaça) (Tabela 4, Figura 19).

Tabela 4. Resultados do modelo linear generalizado binomial negativo (GLM-NB) para avaliar os efeitos do habitat preferencial de cetáceos, a espécie de tubarão e o tipo de interação sobre o número de eventos registrados. β : coeficiente estimado pelo modelo binomial negativo; e^{β} : razão entre o número esperado de eventos em relação à categoria de referência; z: estatística do teste de Wald; $p < 0,05$ (), $p < 0,001$ (**).

Variável	Estimativa (β)	Erro-padrão	z	p-valor	e^{β}
Intercepto (<i>Carcharhinus leucas</i>)	0,84	0,127	6,632	<0,001 ***	2,316
Habitat marinho-oceânico	0,47	0,184	2,556	0,011*	1,600
<i>Galeocerdo cuvier</i>	0,129	0,21	0,614	0,539	1,138
<i>Isistius brasiliensis</i>	-1,136	0,449	-2,53	0,011*	0,321
Predação	-0,316	0,232	-1,365	0,172	0,729
Habitat marinho-oceânico × <i>Galeocerdo cuvier</i>	-0,248	0,422	-0,589	0,556	0,780
Habitat marinho-oceânico × <i>Isistius brasiliensis</i>	1,441	0,409	3,526	<0,001 ***	4,225
<i>Galeocerdo cuvier</i> × Predação	0,261	0,399	0,655	0,512	1,298
<i>Isistius brasiliensis</i> × Predação	1,14	0,451	2,527	0,012 *	3,127

Foi detectado também um efeito significativo da interação entre a categoria habitat marinho-oceânico e *I. brasiliensis* ($\beta = 1,4405$; $p < 0,001$), indicando que o efeito do habitat preferencial marinho-oceânico sobre o número de eventos foi significativamente maior para essa espécie em comparação à espécie de referência (*C. leucas*) (Figura 19).

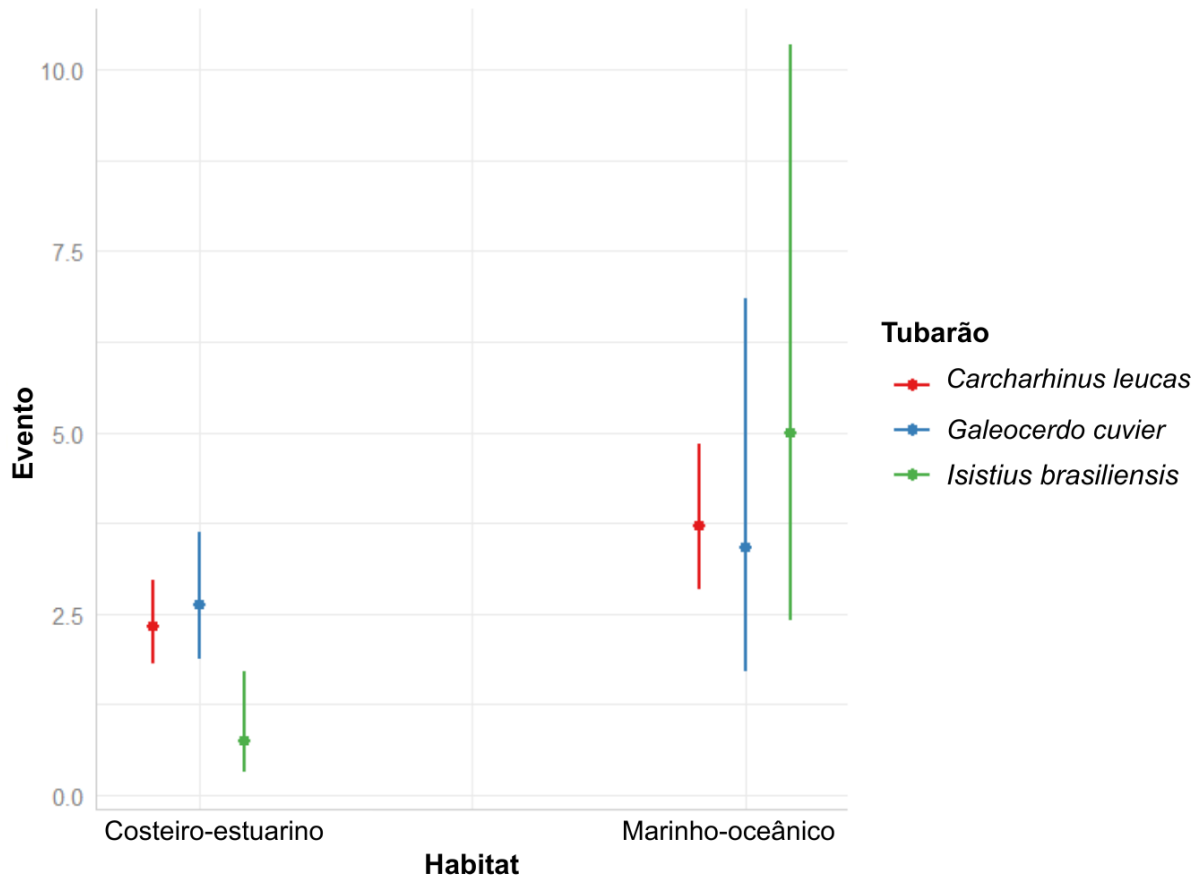


Figura 19. Valores médios preditos de eventos por carcaça de cetáceo registrados para as espécies de tubarões *Carcharhinus leucas*, *Galeocerdo cuvier* e *Isistius brasiliensis* com habitats preferenciais (costeiro-estuarino e marinho oceânico). Os pontos representam as médias estimadas e as barras indicam o intervalo de confiança de 95%.

Finalmente, os resultados indicaram que os eventos de necrofagia estiveram mais associados a *C. leucas* e *G. cuvier*, enquanto *I. brasiliensis* apresentou participação relativamente maior nos eventos classificados como predação. O resultado do modelo (Tabela 4), indicou que o tipo de interação (predação ou necrofagia), isoladamente, não apresentou efeito significativo sobre o número de eventos registrados ($\beta = -0,316$; $p = 0,172$). No entanto, foi observada interação significativa entre *I. brasiliensis* e eventos de predação ($\beta = 1,14$; $p = 0,012$), indicando que o padrão de ocorrência dessa espécie variou em função do tipo de interação. A distribuição esperada dos eventos entre os tipos de interação para cada espécie de tubarão predita pelo modelo é apresentada na Figura 20.

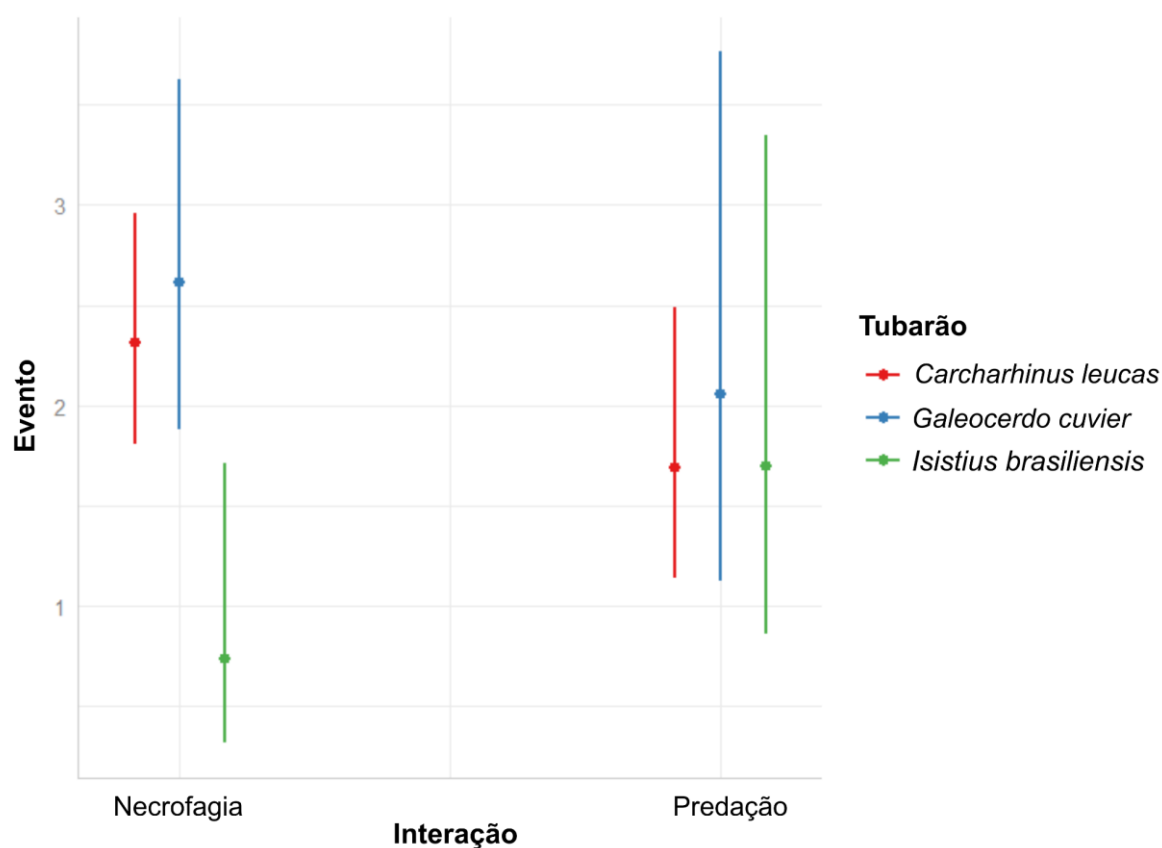


Figura 20. Valores médios de eventos preditos para as espécies de tubarões *Carcharhinus leucas*, *Galeocerdo cuvier* e *Isistius brasiliensis* em diferentes tipos de interação (predação e necrofagia). Os pontos representam as médias estimadas e as barras indicam o intervalo de confiança de 95%.

5. 4. 2. COMPRIMENTO TOTAL DOS CETÁCEOS

A comparação dos comprimentos totais entre carcaças classificadas como predação e necrofagia, realizada por meio do teste de Wilcoxon, não revelou diferenças significativas para nenhuma das espécies de odontocetos analisadas. Os valores de p foram 0,265 para *P. blainvillei* (Predação: Mediana = 94,2; Necrofagia: Mediana = 112), 0,690 para *S. guianensis* (Predação: Mediana = 172; Necrofagia: Mediana = 177) e 0,178 para *T. truncatus* (Predação: Mediana = 260; Necrofagia: Mediana = 289), indicando ausência de diferenças no comprimento total dos cetáceos identificados nos dois tipos de interação (Figura 21).

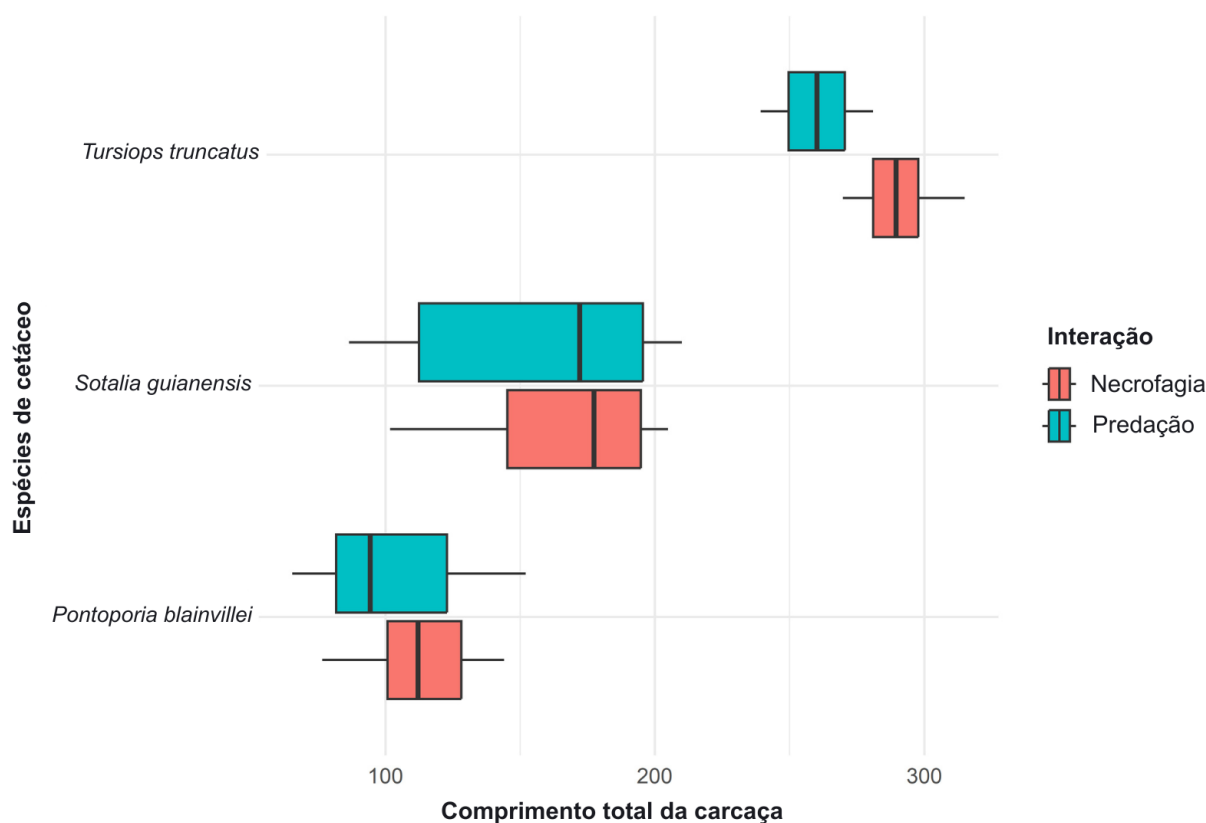


Figura 21. Distribuição do comprimento total (CT) das carcaças de odontocetos (*Pontoporia blainvillei*, *Sotalia guianensis* e *Tursiops truncatus*) em relação aos tipos de interação (predação e necrofagia). As linhas horizontais pretas internas representam a mediana, as caixas o intervalo interquartil e as hastes os valores mínimos e máximos.

O Modelo Linear Generalizado (GLM), tendo como variáveis preditoras o comprimento total dos odontocetos *P. blainvillei*, *S. guianensis* e *T. truncatus* e as espécies de tubarões envolvidas (Tabela 5), apresentou *deviance* residual de 46,60 em comparação à *deviance* nula de 67,21, correspondendo a uma variação explicada de 30,7%. O modelo indicou efeito positivo e significativo do comprimento total sobre o número de mordidas ($\beta = 0,003$; $p = 0,005$), demonstrando que carcaças maiores tendem a apresentar maior número de mordidas.

Em relação às espécies de tubarões, observou-se diferença significativa para *I. brasiliensis* ($\beta = -0,814$; $p = 0,027$), indicando menor número de mordidas quando comparado à *C. leucas*). Para *G. cuvier*, foi observada tendência à significância ($\beta = 0,321$; $p = 0,052$), sugerindo maior número de mordidas em relação à espécie de referência, *C. leucas* (Tabela 5, Figura 22).

Tabela 5. Resultados do modelo linear generalizado para avaliar os efeitos do comprimento total dos cetáceos e a espécie de tubarão sobre o número de eventos registrados.

Variável	β	EP	z	p	e^{β}
Intercepto (<i>Carcharhinus leucas</i>)	0,278	0,216	1,285	0,2	1,32
Comprimento total	0,003	0,001	2,788	0,005**	1,003
<i>Galeocerdo cuvier</i>	0,321	0,165	1,942	0,052	1,38
<i>Isistius brasiliensis</i>	-0,814	0,368	-2,212	0,027*	0,44

A avaliação da adequação do modelo não indicou problemas de sobredispersão (razão = 0,777; $p = 0,910$), demonstrando ajuste satisfatório dos dados à distribuição de Poisson. As curvas preditas pelo modelo evidenciaram aumento gradual do número de mordidas à medida que o comprimento total das carcaças aumentou (Figura 22). Esse padrão foi observado para todas as espécies de tubarões analisadas. As maiores frequências preditas de mordidas foram associadas a *G. cuvier*, enquanto *I. brasiliensis* apresentou os menores valores ao longo de toda a faixa de comprimento corporal avaliada.

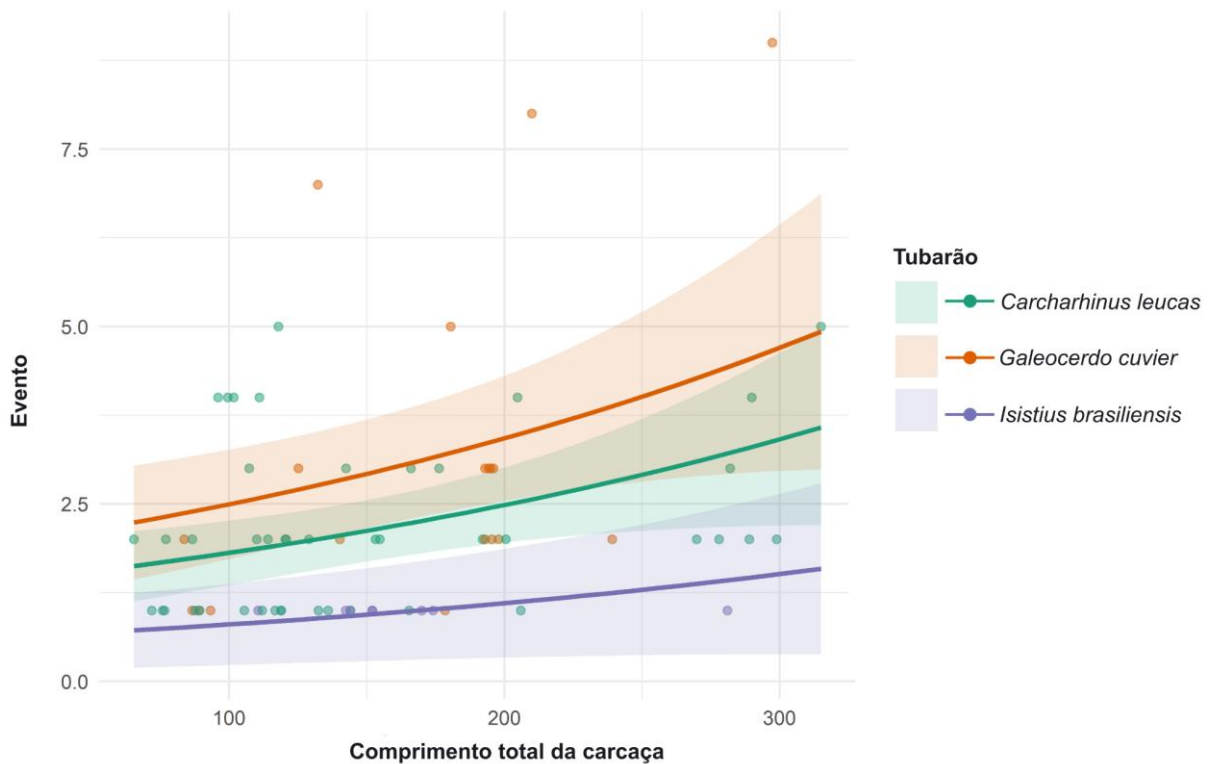


Figura 22. Valores preditos do número de mordidas em relação ao comprimento total (CT) das carcaças para as diferentes espécies de tubarões (*Carcharhinus leucas*, *Galeocerdo cuvier* e *Isistius brasiliensis*). As curvas foram estimadas por meio de um Modelo Linear Generalizado (GLM) com distribuição de Poisson, evidenciando o efeito positivo significativo do CT sobre o número de mordidas ($p = 0,005$). Os pontos coloridos representam os dados observados na amostragem.

6. DISCUSSÃO

As interações entre tubarões e cetáceos representam um importante componente das redes tróficas marinhas, envolvendo tanto eventos de predação quanto de necrofagia. Entretanto, observações diretas dessas interações são raras devido à dificuldade de monitoramento em ambiente oceânico, fazendo com que grande parte do conhecimento disponível seja baseada na análise de marcas de mordidas registradas em carcaças e indivíduos vivos (Bornatowski *et al.*, 2012).

Nesse contexto, os resultados obtidos neste estudo contribuem para o entendimento dos padrões de interação entre tubarões e cetáceos, permitindo avaliar diferenças relacionadas ao tipo de interação, às espécies envolvidas, ao habitat e ao tamanho corporal das presas.

6. 1. PANORAMA GERAL DOS REGISTROS DE INTERAÇÃO ENTRE TUBARÕES E CETÁCEOS

Foram analisados 426 registros de cetáceos encalhados ao longo da costa do estado do Rio de Janeiro, dos quais 130 apresentaram marcas de mordidas atribuídas a tubarões. Entre as espécies registradas, *P. blainvillei* apresentou a maior frequência de ocorrências com marcas de mordidas, seguida por *S. guianensis*. As demais espécies (*M. novaeangliae*, *T. truncatus* e *S. frontalis*) apresentaram menor representatividade. A elevada frequência de registros de *P. blainvillei* observada neste estudo pode estar relacionada às características ecológicas e à distribuição da espécie.

A toninha apresenta distribuição restrita a ambientes costeiros e estuarinos do Atlântico Sul Ocidental, frequentemente ocupando áreas sujeitas a intensa atividade pesqueira e maior influência antrópica (Secchi *et al.*, 2021). Além disso, a espécie é reconhecida como um dos pequenos cetáceos mais vulneráveis à captura incidental em redes de pesca, o que contribui para sua elevada representatividade em registros de encalhes (Siciliano *et al.*, 2002; Prado, 2016). A elevada ocorrência de *S. guianensis* também era esperada, uma vez que a espécie apresenta ampla distribuição ao longo da costa brasileira e utiliza preferencialmente ambientes costeiros, estuarinos e baías protegidas (Di Benedetto *et al.*, 2004; Rosas e Monteiro-Filho, 2002).

Nesse contexto, a ocorrência frequente dessas espécies em ambientes costeiros e sua maior suscetibilidade a mortalidade em áreas antropizadas podem aumentar a disponibilidade de carcaças na zona costeira, constituindo um recurso alimentar previsível para organismos necrófagos oportunistas, incluindo tubarões como *C. leucas* e *G. cuvier*. Dessa forma, a predominância dessas espécies nos registros analisados pode refletir não apenas sua abundância relativa nas áreas costeiras, mas também sua contribuição como fonte de recurso trófico em ecossistemas costeiros.

6. 2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS REGISTROS DE INTERAÇÃO

Os registros de cetáceos com marcas de mordidas apresentaram ampla distribuição ao longo da costa sul da Bacia de Campos, ocorrendo desde São Francisco de Itabapoana até Saquarema. Entretanto, observou-se maior concentração de registros entre os municípios de São Francisco, São João da Barra,

Campos dos Goytacazes, Quissamã e Macaé, regiões associadas a áreas mais rasas da plataforma continental.

A distribuição espacial observada refletiu, em grande parte, os padrões de ocorrência das espécies de cetáceos registradas. *Pontoporia blainvillei* e *S. guianensis* apresentam distribuição predominantemente costeira-estuarina, concentrando-se em áreas rasas próximas ao litoral (Di Benedetto *et al.*, 2004). *Tursiops truncatus* exibe ocorrência mais ampla ao longo de toda a área de estudo, sendo uma espécie menos associada à sistemas estuarinos (Lodi *et al.*, 2008). De forma semelhante, os registros de *M. novaeangliae* distribuíram-se ao longo de toda a extensão costeira analisada, refletindo seus deslocamentos migratórios pela costa brasileira (Gonçalves *et al.*, 2018).

Embora o presente estudo não tenha testado formalmente a influência da localização geográfica sobre a ocorrência das interações, os padrões espaciais observados sugerem que a distribuição das mesmas pode estar associada à distribuição das espécies utilizadas como recurso alimentar e aos ambientes por elas frequentados. A concentração dos registros em determinados setores da costa provavelmente reflete a sobreposição espacial entre áreas utilizadas por cetáceos e por tubarões oportunistas de diferentes portes, além da disponibilidade de carcaças nesses ambientes costeiros e estuarinos, reconhecidos como áreas de alimentação e trânsito de espécies como *C. leucas*, *G. cuvier* e *I. brasiliensis* (Barbosa-Filho *et al.*, 2021; Heithaus, 2001).

6. 3. ESPÉCIES DE TUBARÕES ASSOCIADAS ÀS INTERAÇÕES

A identificação de *I. brasiliensis*, *G. cuvier* e *C. leucas* por meio das marcas de mordidas corrobora a hipótese proposta neste estudo, que previa a participação dessas espécies nas interações analisadas, em função de sua ampla distribuição geográfica, plasticidade alimentar e comportamento oportunista. Entretanto, a expectativa de que *C. leucas* fosse a espécie mais recorrente foi apenas parcialmente corroborada. A análise da soma total de mordidas indicou *C. leucas* como a espécie mais frequentemente associada aos registros de interação, porém os modelos estatísticos evidenciaram maior frequência predita de mordidas por carcaça para *G. cuvier*. Esses resultados sugerem que diferentes métricas podem destacar aspectos distintos das interações e a ecologia das espécies de tubarões identificadas.

A elevada ocorrência de *C. leucas* pode estar relacionada à sua forte associação com ambientes costeiros e estuarinos, onde ocorre ampla sobreposição espacial com diversas espécies de cetáceos (Carlson *et al.*, 2010). Além disso, essa espécie apresenta elevada tolerância a variações de salinidade, podendo utilizar ambientes marinhos, estuarinos e até fluviais, ampliando sua distribuição e aumentando as oportunidades de interação com diferentes organismos (Pillans e Franklin, 2004; Thorson *et al.*, 1973; Thomerson *et al.*, 1977; Montoya e Thorson, 1982; Simpfendorfer *et al.*, 2005).

Por sua vez, *G. cuvier* é reconhecido como um dos tubarões com maior plasticidade ecológica, utilizando tanto ambientes costeiros quanto oceânicos e explorando uma ampla variedade de recursos alimentares (Heithaus, 2001; Alfonso e Hazin, 2015). Grandes espécimes preferem águas mais profundas e indivíduos jovens são mais frequentes em águas rasas (Randall 1992, Simpfendorfer 1992, Gadig 2001). A espécie pode atingir os 5,5 m de comprimento total, sendo uma espécie de porte maior quando comparada a *C. leucas* (Simpfendorfer 1992; Hoarau *et al.*, 2021). Tanto a flexibilidade no uso do habitat como o tamanho corporal podem explicar a elevada frequência de mordidas por carcaças nos modelos ajustados, especialmente em interações envolvendo cetáceos de maior porte.

Já *I. brasiliensis* apresenta hábitos predominantemente pelágicos e uma estratégia alimentar bastante distinta das demais espécies avaliadas (Papastamatiou *et al.*, 2010; Flach, 2022; Santos *et al.*, 2024). Diferentemente dos grandes tubarões predadores, o tubarão-charuto remove pequenas porções circulares de tecido de presas vivas, produzindo lesões características que podem se acumular ao longo da vida dos cetáceos (Wenzel e López-Suárez, 2012; Feunteun *et al.*, 2018). Embora os padrões tenham variado entre os modelos testados, a espécie destacou-se pela elevada frequência de ocorrência nos registros, e pela forte associação com cetáceos oceânicos, reforçando sua importância ecológica nas interações entre elasmobrânquios e mamíferos marinhos no Atlântico Sul.

As medidas de diâmetro e circunferência das lesões também apresentaram variação entre as espécies de tubarões identificadas. Como esperado, as maiores médias foram observadas para espécies de maior porte, como *C. leucas* e *G. cuvier*, enquanto *I. brasiliensis* apresentou lesões de menores dimensões. Esse padrão é consistente com as diferenças morfológicas entre essas espécies e reforça a utilidade

das características biométricas das lesões como ferramenta auxiliar na identificação dos tubarões envolvidos nas interações (Lowry *et al.*, 2009).

De forma geral, os resultados obtidos reforçam a relevância de *C. leucas*, *G. cuvier* e *I. brasiliensis* nas interações com cetáceos encalhados na costa da Bacia de Campos, corroborando padrões previamente descritos para a costa brasileira. A presença recorrente dessas espécies provavelmente reflete tanto sua ampla distribuição quanto suas diferentes estratégias de exploração de recursos, que incluem desde eventos de predação até o consumo oportunista de carcaças.

6. 4. PREDACÃO E NECROFAGIA EM CETÁCEOS ENCALHADOS

Entre os registros analisados, foram identificados 90 eventos classificados como necrofagia e 46 como predação, indicando predominância de interações necrófagas na amostra analisada. A soma dessas categorias (136) excede o número total de indivíduos com marcas de mordidas (130) porque alguns indivíduos apresentaram evidências simultâneas dos dois tipos de interação. Nesses casos, o mesmo indivíduo foi contabilizado tanto na categoria predação quanto na categoria necrofagia.

Esse resultado sugere que as carcaças de cetáceos representam um importante recurso alimentar para tubarões oportunistas, corroborando estudos que apontam a necrofagia como uma estratégia relevante para diversos predadores marinhos, especialmente diante da natureza imprevisível e esparsa dos recursos disponíveis em ambiente oceânico (DeVault *et al.*, 2003; Wilson e Wolkovich, 2011).

A predominância de eventos de necrofagia observada neste estudo também está de acordo com trabalhos que descrevem o consumo oportunista de carcaças de mamíferos marinhos por grandes tubarões, incluindo *C. leucas* e *G. cuvier* (Long e Jones, 1996; Kelly e Klimley, 2003; Curtis *et al.*, 2006; Dicken, 2008). Como as carcaças podem permanecer disponíveis por períodos prolongados no ambiente, elas representam recursos energeticamente vantajosos, uma vez que não exigem os custos associados à perseguição, captura e contenção de presas vivas.

Embora as análises estatísticas não tenham indicado diferenças significativas entre os tipos de interação, padrões distintos foram observados entre as espécies de tubarões analisadas. *Isistius brasiliensis* registrou o maior número de marcas associadas a eventos de predação, enquanto *C. leucas* e *G. cuvier* apresentaram valores mais expressivos vinculados à necrofagia. Na literatura, *I. brasiliensis* é

frequentemente descrito como um ectoparasita que remove pequenas porções de tecido de hospedeiros vivos durante interações rápidas (Grace *et al.*, 2018; Menezes *et al.*, 2022; Papastamatiou *et al.*, 2010).

Em contraste, *C. leucas* e *G. cuvier* apresentaram maiores valores associados à necrofagia. Além de serem predadores ativos, ambas as espécies são reconhecidas como oportunistas alimentares e frequentemente exploram recursos disponíveis no ambiente, incluindo carcaças de mamíferos marinhos (McCosker, 1985; Randall, 1992; Long e Jones, 1996; Kelly e Klimley, 2003). A ausência de resistência por parte da presa e a permanência das carcaças no ambiente podem favorecer múltiplas investidas sobre um mesmo indivíduo, resultando em maior número de mordidas associadas à necrofagia.

Esse padrão também foi observado na análise da soma total de mordidas por tipo de interação, na qual *C. leucas* e *G. cuvier* concentraram maior número absoluto de mordidas em eventos de necrofagia, enquanto *I. brasiliensis* apresentou maior número total de mordidas associadas à predação. No caso de *C. leucas* e *G. cuvier*, esse resultado pode estar relacionado à possibilidade de múltiplas interações sobre uma mesma carcaça. Por outro lado, o elevado número de mordidas de *I. brasiliensis* em eventos de predação está de acordo com seu comportamento alimentar característico, no qual múltiplas lesões podem ser acumuladas em um mesmo indivíduo ao longo do tempo.

6. 5. DISTRIBUIÇÃO ANATÔMICA DAS MORDIDAS

As marcas de mordidas registradas neste estudo concentraram-se principalmente nas regiões ventral (n = 62), genital (n = 50), flanko (n = 40) e gular (n = 26). Esse padrão corrobora a hipótese de que regiões anatomicamente mais vulneráveis apresentam maior frequência de interações com tubarões. A predominância de lesões nessas áreas está de acordo com o comportamento predatório descrito para diversas espécies de tubarões, que frequentemente direcionam seus ataques a regiões capazes de comprometer rapidamente a mobilidade da presa e reduzir sua capacidade de fuga (Long e Jones, 1996; Heithaus, 2001).

Regiões ventrais, gulares e genitais são consideradas particularmente vulneráveis por concentrarem tecidos moles e importantes estruturas anatômicas, incluindo órgãos vitais (Long e Jones, 1996). Da mesma forma, em cenários de

necrofagia, essas regiões representam áreas de grande interesse alimentar, funcionando como zonas de alta disponibilidade de recurso devido à facilidade de acesso à musculatura e às vísceras. Além disso, estudos sugerem que cetáceos apresentam menor capacidade de detectar predadores posicionados abaixo de seus corpos, especialmente durante os momentos de respiração na superfície, favorecendo ataques realizados por baixo (Strong, 1996; Heithaus *et al.*, 2002).

De forma semelhante, Cockcroft (1989) e Tricas e McCosker (1984) observaram predominância de lesões e cicatrizes na região ventral posterior de golfinhos, sugerindo que muitos ataques ocorrem de forma surpresa, com aproximação do predador por baixo da presa. Por outro lado, a menor frequência de lesões dorsais observada neste estudo também encontra suporte na literatura. Heithaus (2001) sugere que mordidas nessa região estão menos associadas a eventos letais, uma vez que indivíduos atacados dorsalmente apresentam maior probabilidade de sobreviver quando comparados àqueles atingidos em regiões mais vulneráveis do corpo.

Dessa forma, os resultados obtidos corroboram a hipótese de que regiões anatomicamente mais vulneráveis concentram maior frequência de marcas de mordidas, reforçando a importância da localização das lesões como indicativo do comportamento predatório e das estratégias de ataque empregadas pelos tubarões.

6. 6. INFLUÊNCIA DO HABITAT PREFERENCIAL DE CETÁCEOS NAS INTERAÇÕES COM TUBARÕES

Os resultados indicaram diferenças no número de eventos por carcaças entre cetáceos associados a ambientes costeiro-estuarinos e marinho-oceânicos. Contrariamente à hipótese inicial, os cetáceos costeiro-estuarinos não apresentaram maior frequência de interações com tubarões.

Os resultados sugerem que a distribuição espacial dos cetáceos pode influenciar a probabilidade de suas carcaças serem encontradas ou exploradas por tubarões. Assim, a utilização de ambientes costeiros e oceânicos afeta a probabilidade de sobreposição espacial entre esses organismos. O gradiente ecológico das três espécies de tubarão foco desta pesquisa reforça essa indicação. *Carcharhinus leucas* apresenta forte associação com ambientes costeiros e estuarinos, enquanto *G. cuvier* apresenta maior plasticidade no uso do habitat, podendo utilizar tanto ambientes costeiros quanto oceânicos (Carlson *et al.*, 2010; Estupinan-Montaña *et al.*, 2017).

No caso de *I. brasiliensis*, o maior número de mordidas atribuídas correspondeu a carcaças de cetáceos marinho-oceânicos sendo significativamente causadas por predação. Isto está de acordo com a ecologia da espécie, cuja distribuição e hábitos são predominantemente oceânicos e de migração vertical entre águas profundas e superficiais, favorecendo encontros mais frequentes com cetáceos que utilizam esse ambiente (Papastamatiou *et al.*, 2010; Flach, 2022; Santos *et al.*, 2024). Além disso, por se tratar de uma espécie reconhecidamente ectoparasita, *I. brasiliensis* tende a produzir lesões predominantemente não letais, o que aumenta a probabilidade de acúmulo dessas marcas em cetáceos ao longo da vida dos indivíduos.

Uma outra possível explicação para o padrão observado está relacionada à composição das espécies de cetáceos presentes em cada ambiente e quanto de recurso disponível representam suas carcaças para seus consumidores. As espécies costeiro-estuarinas registradas (*P. blainvillei* e *S. guianensis*) apresentam menor tamanho corporal quando comparadas às espécies marinho-oceânicas registradas, como *T. truncatus* e *M. novaeangliae*.

Cetáceos de maior tamanho oferecem maior área superficial disponível para a ocorrência de mordidas e podem permanecer mais tempo expostos a interações predatórias ao longo da vida. Esse padrão já foi descrito para diversas espécies de mamíferos marinhos, especialmente em relação às marcas produzidas por *I. brasiliensis*, que tendem a se acumular ao longo do tempo em indivíduos de maior porte (Wenzel e López-Suárez, 2012; Feunteun *et al.*, 2018).

Além disso, carcaças maiores e provenientes de regiões mais afastadas da plataforma continental representam, até o momento do encalhe, um recurso alimentar disponível por mais tempo, com o qual podem interagir necrófagos facultativos associados a diferentes habitats. Essa interpretação é reforçada pelas análises de comprimento corporal realizadas posteriormente, que demonstraram aumento significativo no número de mordidas à medida que o comprimento total das carcaças aumenta. Dessa forma, a maior frequência de mordidas observada em cetáceos marinho-oceânicos pode estar associada não apenas ao habitat ocupado, mas também ao maior porte corporal dos indivíduos presentes nesses ambientes.

6. 7. INFLUÊNCIA DO TAMANHO CORPORAL DAS CARÇAÇAS SOBRE O NÚMERO DE MORDIDAS

Embora não tenham sido detectadas diferenças significativas entre os comprimentos corporais de cetáceos classificados nas interações de predação e necrofagia, observou-se em *T. truncatus* uma ligeira tendência visual de indivíduos classificados como necrofagia apresentarem comprimentos sutilmente maiores. No entanto, o expressivo porte corporal dos indivíduos dessa espécie em ambas as categorias reflete a elevada disponibilidade energética que suas carcaças proporcionam ao ambiente. Sendo assim, mesmo diante da ausência de significância estatística, o grande volume de biomassa disponível em animais desse porte justifica por que essas carcaças se tornam recursos altamente atrativos para tubarões, favorecendo múltiplos eventos de alimentação ao longo do tempo.

O tamanho corporal das carcaças influenciou significativamente o número de mordidas registradas nos odontocetos analisados, indicando que indivíduos maiores tendem a apresentar maior frequência de lesões atribuídas a tubarões. Esse resultado corrobora a hipótese inicialmente proposta de que cetáceos de maior porte estariam mais suscetíveis ao acúmulo de marcas de mordidas, seja em decorrência de eventos predatórios, necrofágicos ou de interações sucessivas ao longo da vida. A relação positiva observada entre o comprimento total das carcaças e o número de mordidas sugere que o tamanho corporal representa um fator importante na dinâmica dessas interações.

Em ambientes marinhos, o tamanho da presa frequentemente está associado à quantidade de energia disponível para os consumidores. De maneira geral, indivíduos maiores oferecem maior volume de biomassa, aumentando o potencial retorno energético obtido pelos predadores e necrófagos (Cohen *et al.*, 1993; Costa, 2009; Cuthbert *et al.*, 2020). Além disso, carcaças de maior porte tendem a permanecer disponíveis por períodos mais prolongados no ambiente, aumentando a probabilidade de serem localizadas e exploradas por múltiplos consumidores ao longo do processo de decomposição (DeVault *et al.*, 2003; Wilson e Wolkovich, 2011).

Em cetáceos, esse padrão pode ser ainda mais pronunciado, uma vez que indivíduos de grande porte representam recursos energéticos excepcionalmente abundantes quando comparados à maioria dos organismos marinhos. Outro aspecto que pode contribuir para esse resultado é o aumento da área superficial disponível para interação. Cetáceos maiores apresentam maior extensão corporal, oferecendo

uma área potencialmente mais ampla para a ocorrência e registro de múltiplas mordidas. Dessa forma, além do maior retorno energético, o aumento da superfície corporal também pode elevar a probabilidade de ocorrência e detecção de lesões durante as análises realizadas a partir das fotografias dos indivíduos encalhados. A interpretação desse padrão torna-se mais evidente quando considerados os comprimentos corporais associados à maturidade sexual das espécies analisadas.

Em *T. truncatus*, cuja maturidade sexual é alcançada em comprimentos superiores a aproximadamente 220 cm (Cockcroft; Ross, 1990; Connor *et al.*, 2000; Perrin; Reilly, 1984; Read *et al.*, 1993; Wells; Scott, 1999), todos os indivíduos que apresentavam marcas de mordidas encontravam-se acima desse limiar, indicando uma amostragem composta exclusivamente por animais sexualmente maduros. Nessa espécie, o efeito do comprimento sobre o número de marcas foi mais pronunciado entre todas as analisadas. Como a maioria dos registros correspondeu a eventos de necrofagia, as carcaças desses indivíduos maduros constituem um exemplo representativo da superabundância energética discutida anteriormente. Por serem maiores e permanecerem disponíveis por mais tempo, oferecem um recurso alimentar persistente, capaz de sustentar múltiplos eventos de alimentação por tubarões, o que explica o elevado número de marcas registrado nesses indivíduos.

Em *S. guianensis*, cuja maturidade sexual é atingida entre aproximadamente 164 e 175 cm de comprimento (Rosas e Monteiro-Filho, 2002), os indivíduos analisados incluíram tanto juvenis em estágios avançados de desenvolvimento quanto adultos. Esse padrão pode explicar a tendência de aumento no número de mordidas com o crescimento corporal, a qual se torna mais evidente quando se considera a progressão dos estágios ontogenéticos. Assim, embora o modelo matemático geral não discrimine essas categorias de forma isolada, os resultados sugerem que o avanço ontogenético está associado a um aumento na frequência de interações registradas.

Por outro lado, em *P. blainvillei*, a maioria dos indivíduos com marcas de mordidas apresentou comprimentos compatíveis com filhotes e juvenis, considerando que a maturidade sexual é alcançada entre aproximadamente 114 e 150 cm de comprimento (Danilewicz *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2020). Assim, os indivíduos analisados concentraram-se predominantemente abaixo desse intervalo, indicando que a maior parte das interações registradas envolveu animais ainda imaturos. Além disso, as diferenças de tamanho entre jovens e adultos são relativamente menos

acentuadas do que aquelas observadas em *T. truncatus*. Consequentemente, o efeito do comprimento corporal sobre o número de mordidas tende a ser menos pronunciado dentro dessa faixa mais restrita de tamanhos, o que pode explicar a ausência de uma tendência marcante de aumento no número de marcas quando essa espécie é analisada isoladamente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS

Algumas limitações metodológicas devem ser consideradas na interpretação dos resultados obtidos. As análises foram realizadas a partir de fotografias de cetáceos encalhados, impossibilitando a observação direta das interações entre tubarões e cetáceos. Dessa forma, a classificação dos eventos como predação ou necrofagia, bem como a atribuição das lesões às espécies de tubarões, foi baseada em características morfológicas das marcas de mordida descritas na literatura, podendo existir certo grau de incerteza inerente a esse tipo de abordagem.

Além disso, embora tenha sido possível quantificar as marcas de mordidas observadas em cada indivíduo, não foi possível determinar quantos tubarões participaram de cada interação, nem se as marcas foram produzidas em um único momento ou em eventos sucessivos ao longo do tempo. Assim, os eventos considerados nas análises representam uma aproximação baseada nas evidências disponíveis nas carcaças.

Os resultados obtidos fornecem informações relevantes sobre os padrões de interação entre tubarões e cetáceos na costa do norte do estado do Rio de Janeiro. A predominância de eventos de necrofagia evidencia a importância das carcaças de cetáceos como recursos alimentares para predadores e necrófagos marinhos, sugerindo que a mortalidade desses mamíferos pode contribuir para a disponibilização de matéria orgânica e energia para diferentes componentes da comunidade marinha.

As diferenças observadas entre as espécies de tubarões indicam que a utilização das carcaças não ocorre de maneira homogênea, podendo estar relacionada às características ecológicas, comportamentais e morfológicas de cada espécie. Espécies com diferentes estratégias alimentares e preferências de habitat podem explorar esses recursos de maneiras distintas, resultando em padrões diferenciados de interação. Nesse contexto, a presença de marcas associadas tanto à predação quanto à necrofagia evidencia que uma mesma carcaça pode ser utilizada

por diferentes espécies e em diferentes momentos, contribuindo para a complexidade das relações tróficas associadas à decomposição de grandes vertebrados marinhos.

A relação observada entre o comprimento corporal dos cetáceos e o número de eventos registrados também sugere que o tamanho das carcaças pode influenciar sua utilização como recurso alimentar. Carcaças de maior porte podem disponibilizar maior quantidade de biomassa e permanecer disponíveis por períodos mais prolongados, aumentando potencialmente as oportunidades de exploração por diferentes consumidores. Da mesma forma, as diferenças associadas ao habitat preferencial dos cetáceos indicam que a sobreposição espacial entre predadores e recursos pode contribuir para a frequência e intensidade das interações observadas.

Em conjunto, esses resultados reforçam a importância das carcaças de cetáceos como componentes da dinâmica trófica dos ecossistemas marinhos. Além de representarem fontes temporárias de alimento, essas carcaças podem atuar como recursos compartilhados por diferentes espécies e favorecer a transferência de energia entre níveis tróficos distintos. A identificação desses processos é particularmente relevante para a compreensão das interações envolvendo grandes vertebrados marinhos e predadores de topo.

Por fim, destaca-se a necessidade de ampliar os estudos sobre a ecologia alimentar e o papel trófico dos elasmobrânquios, especialmente de espécies predadoras de topo. Investigações futuras que integrem observações de campo, monitoramento de indivíduos vivos, análises mais detalhadas das marcas de mordidas e estudos sobre a decomposição de carcaças poderão contribuir para uma compreensão mais abrangente da dinâmica dessas interações.

Esse conhecimento pode subsidiar estudos sobre o funcionamento dos ecossistemas marinhos e contribuir para estratégias de conservação e manejo de espécies de tubarões, muitas das quais encontram-se sob crescente pressão antrópica em diferentes regiões do mundo.

8. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que as interações entre tubarões e cetáceos encalhados constituem um componente relevante das relações tróficas observadas no litoral do estado do Rio de Janeiro. A análise das marcas de mordidas permitiu caracterizar diferentes padrões de interação, evidenciando a ocorrência tanto de

predação quanto de necrofagia e a participação de diferentes espécies de tubarões na exploração das carcaças de cetáceos.

Os resultados indicam que a utilização desses recursos não ocorre de forma homogênea entre as espécies de tubarões, sendo influenciada por características ecológicas dos predadores e por atributos das presas. O habitat preferencial dos cetáceos e o comprimento corporal das carcaças estiveram associados à variação no número de eventos registrados, indicando que a disponibilidade espacial e as características dos recursos podem influenciar a intensidade dessas interações.

A predominância de eventos de necrofagia reforça a importância das carcaças de cetáceos como fontes de alimento para a fauna marinha e evidencia seu potencial papel na transferência de energia entre diferentes níveis tróficos. Nesse contexto, as interações observadas representam não apenas registros de consumo, mas também evidências da participação dos tubarões na utilização e no aproveitamento de recursos provenientes da mortalidade de grandes vertebrados marinhos.

De forma geral, este estudo amplia o conhecimento sobre as relações tróficas entre tubarões e cetáceos na costa do estado do Rio de Janeiro, contribuindo para a compreensão de processos ecológicos ainda pouco documentados na região. Os resultados também reforçam a importância de abordagens que integrem informações sobre comportamento alimentar, uso do habitat e disponibilidade de recursos para compreender a dinâmica das interações entre predadores e grandes vertebrados marinhos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, A. S.; Hazin, F. H. (2015). Vertical movement patterns and ontogenetic niche expansion in the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*. PLoS one, 10(1), e0116720.

Aguiar, A. A.; Valentin, J. L. (2010). Biologia e ecologia alimentar de elasmobrânquios (Chondrichthyes: Elasmobranchii): uma revisão dos métodos e do estado da arte no Brasil. Oecologia Australis, 14(2), 464-489.

Alvares, C. A. *et al.* (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 711–728.

Alves, M. I. M. (1977) Algumas considerações sobre a reprodução do cação jaguara, *Galeocerdo cuvier* (LeSueur, 1822) (Selachii, Carcharhinidae). Arq. Ciên. Mar, v. 13, n. 2, p. 121-125.

Andersen, M. S. *et al.* (2008). Differentiating serious and non-serious injury of marine mammals: Report of the serious injury technical workshop. NOAA Tech. Memo. NMFS-OPR, 39, 94.

Auerbach, P. S.; Burgess, G. H. (2007). Injuries from nonvenomous aquatic animals. In: Auerbach PS (ed) Wilderness medicine, 5th edn. Elsevier, New York, pp 1654–1691.

Bagstad, K. J. *et al.* 2013. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. Ecosystem services, v. 5, p. 27-39.

Barbosa Filho, V. *et al.* (2021). Ethnotaxonomy of sharks by expert fishers from South Bahia, Brazil: implications for fisheries management and conservation. Ethnobiology & Conservation, 10.

Bartoń, K. (2022). MuMIn: multi-model inference. R package version.

Barton, P. S. *et al.* (2013). The role of carrion in maintaining biodiversity and ecological processes in terrestrial ecosystems. Oecologia 171, 761–772.

Barton, P. S.; Ripple, W. J.; Wirsing, A. J. (2023). Scavenging with invasive species. Biological Reviews 99, 562–581.

Bates, D. *et al.* (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software, v. 67, n. 1, p. 1–48.

Beasley, J. C. *et al.* (2019). Ecological functions of vertebrate scavenging. In Carrion Ecology and Management, pp. 125–157. Springer, Cham.

Bertilsson-Friedman, P. (2006). Distribution and frequencies of shark-inflicted injuries to the endangered Hawaiian monk seal (*Monachus schauinslandi*). *Journal of Zoology* 268:361-368.

Blasiola, G. C.; Kacev, D.; Gallagher, A. J. (2021). Natural ocean nutrient enrichment drives scavenger aggregation and stable isotope variation in shark and ray species. *Marine Ecology Progress Series*, v. 662, p. 117-131.

Bornatowski, H. *et al.* (2012). Shark scavenging and predation on cetaceans at Abrolhos Bank, eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(08), 1767-1772.

Bossart, G. D. (2011). Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Veterinary pathology*, 48(3), 676-690.

Boulhosa, R. L. P.; Azevedo, F. C. C. (2014). Perceptions of Ranchers towards Livestock Predation by Large Felids in the Brazilian Pantanal. *Wildl Res* 41(4):356–365.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 148, de 7 de junho de 2022. *Diário Oficial da União*: 108(1), p. 74, Brasília, DF, 8 jun. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/aves-silvestres/arquivos/portaria-148-2022.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2026.

Brooks, J. W.; Sutton, L. (2018). Post-mortem changes and estimating the post-mortem interval. In *Veterinary Forensic Pathology* (Vol. 1, pp. 43-63). Academic Press.

Buchholz, R. (2007). Behavioral biology: an effective and relevant conservation tool. *Trends in Ecology and Evolution*, 22: 401-407.

Bump, J. K.; Peterson, R. O.; Vucetich, J. A. (2009). Wolves modulate soil nutrient heterogeneity and foliar nitrogen by configuring the distribution of ungulate carcasses. *Ecology* 90, 3159–3167.

Byard, R. W.; Gilbert, J. D.; Brown, K. (2000). Pathologic features of fatal shark attacks. *Am J Foren Med Path* 21:225–229.

Caillet, G. *et al.* (2005). Ecology and Life History Characteristics of Chondrichthyan Fish. In: HAMLETT, W. C. (Ed.) *Sharks, Skates, and Rays. The Biology of Elasmobranch Fishes*. pp. 12-18.

Camhi, M. (1998). *Sharks and their relatives: ecology and conservation* (No. 20). IUCN.

Campana, S. E.; Joyce, W. N. (2004). Temperature and depth associations of porbeagle shark (*Lamna nasus*) in the northwest Atlantic. *Fish Oceanogr* 13:52–64.

Cappetta, H. (2012). *Handbook of Paleoichthyology, Vol. 3E: Chondrichthyes Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii: Teeth*. Munich: Verlag Dr Friedrich Pfeil.

Carlson, J. K. *et al.* (2010). Habitat use and movement patterns of bull sharks *Carcharhinus leucas* determined using pop-up satellite archival tags. *Journal of fish biology*, 77(3), 661-675.

Carter, D. O.; Yellowlees, D.; Tibbett, M. (2007). Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften* 94,12–24.

Carter, D. O.; Yellowlees, D.; Tibbett, M. (2008). Temperature affects microbial decomposition of cadavers (*Rattus rattus*) in contrasting soils. *Applied Soil Ecology* 40, 129–137.

Casagrande, K. C.; Gandin, J. C.; Massuda, T. Y. (2018). Estimativa de tempo de deposição de manchas de sangue em local de crime por espectrofotometria UV-Vis. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 7, n. 3, p. 7-11, 2018.

Ciena, A. P., *et al.* (2016). Morphological aspects of oral denticles in the sharpnose shark *Rhizoprionodon lalandii*. *Anatomia, histologia, embryologia*, 45(2), 109-114.

Ćirović, D., Penezić, A., Krofe, M. (2016). Jackals as cleaners: ecosystem services provided by a mesocarnivore in human-dominated land scapes. *Biol Conserv* 199:51–55.

Cliff, G.; Dudley, S. F. J. (1991). Sharks caught in the protective gill nets off Natal, South Africa. 4. The bull shark *Carcharhinus leucas* Valenciennes. *South African Journal of Marine Science*, 10(1), 253-270.

Clua, E.; Séret, B. (2016). Species identification of the shark involved in the 2007 Lifou fatal attack on a swimmer: A reply to Tirard et al. (2015). *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 40, 58-60.

Clua, E.; Reid, D. (2018). Contribution of forensic analysis to shark profiling following fatal attacks on humans. *Post Mortem Examination and Autopsy—Current Issues from Death to Laboratory Analysis*. InTech Open Science, 57-75.

Cockcroft, V. G.; Cliff, G.; Ross, G. J. B. (1989). Shark predation on Indian Ocean bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* off Natal, South Africa. *African Zoology*, 24(4), 305-310.

Cockcroft, V. G.; Ross, G. J. B. (1990). Age, growth, and reproduction of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the east coast of southern Africa. *Fishery Bulletin* 88 (2): 289-302.

Cohen, J. E. *et al.* (1993). Body sizes of animal predators and animal prey in food webs. *Journal of animal ecology*, 67-78.

Committee on Taxonomy. (2006). List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy, 2026. Disponível em: <https://marinemammalscience.org/science-and-publications/list-marine-mammal-species-subspecies/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

Compagno, L. J. V. (1984). Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1. Hexanchiformes to Lamniformes. FAO Fish Synop, 4, 1-249.

Compagno, L. J. V. (1984). FAO species catalogue. Sharks of the world, an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes. FAO Fisheries synopsis 125 Vol. 4.

Compagno, L. J. V. (1999). Checklist of Living Elasmobranchs. In: Hamlett, W. C. (ed.) Sharks, Skates, and Rays. The Biology of Elasmobranch Fishes. p. 471-498.

Cook, S. F. *et al.* (1987). Sharks: an inquiry into biology, behavior, fisheries, and use. Portland, Oregon USA.

Compagno, L. J. V. (2001). Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Food & Agriculture Org., v. 1.

Connor, R. *et al.* (2000). The bottlenose dolphin. Social relationship in a fission-fusion society. Cetaceans Societies. Field Studies of Dolphins and Whales. J. Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack and H. Whitehead. Chicago, The University of Chicago Press: 91-126.

Corn, K. A. *et al.* (2016). Modelling tooth–prey interactions in sharks: the importance of dynamic testing. Royal Society Open Science, v. 3, n. 8.

Cortés, E. (1999). Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. ICES Journal of marine science, v. 56, n. 5, p. 707-717.

Costa, G. C. (2009). Predator size, prey size, and dietary niche breadth relationships in marine predators. Ecology, 90(7), 2014-2019.

Costa, V. P. (2016). Identificação dos fatores que propiciam os acidentes com *Carcharhinus leucas* na praia de Boa Viagem em Recife PE. In: Simpósio de Saúde Ambiental, 4, 2015, Anais, v. 3 n. 2, 138-143. Atas de Saúde Ambiental-ASA: FMU.

Cunha, C. M.; Gonzalez, M. B. M. (2000). Differentiation of the mutilation of *Isistius brasiliensis* and *Squaliolus laticaudus*. *Publicações Avulsas do Instituto Pau Brasil*, 3: 31-39.

Curtis, T. H. *et al.* (2006). Observations on the behavior of white sharks scavenging from a whale carcass at Point Reyes, California. *California Fish and Game*, 92(3), 113.

Cuthbert, R. N. *et al.* (2020). Influence of intra and interspecific variation in predator–prey body size ratios on trophic interaction strengths. *Ecology and evolution*, 10(12), 5946-5962.

Da Cunha Ramos, H. G.; de Oliveira, C. R. C.; Carvalho, G. (2024). Post-mortem interval applied to cetacean carcasses: Observations from laboratory and field studies with the Abrolhos Bank Region, Brazil. *Forensic Science International: Animals and Environments*, 5, 100082.

Danilewicz, D. *et al.* (2004). Reproductive biology of male franciscanas (*Pontoporia blainvillei*) (Mammalia: Cetacea) from Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Fishery Bulletin*, 102(4), 581-593.

DeVault, T. L.; Rhodes, Jr. O. E.; Shivik, J. A. (2003). Scavenging by vertebrates: behavioral, ecological, and evolutionary perspectives on an important energy transfer pathway in terrestrial ecosystems. *Oikos*, 102(2), 225-234.

Di Benedetto, A. P. *et al.* (2010). Cetáceos: introdução a biologia e a metodologia básica para o desenvolvimento de estudos. Escola Nacional de Saúde Pública/Fiocruz.

Di Benedetto, A. P. M.; Ramos, R. M. A. (2004). Biology of the marine tucuxi dolphin (*Sotalia fluviatilis*) in south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 84(6), 1245-1250.

Dicken, M. L. (2008). First observations of young of the year and juvenile great white sharks (*Carcharodon carcharias*) scavenging from a whale carcass. *Marine and Freshwater Research*, 59(7), 596-602.

DiMaio, J. M.; Dana, S. E. (2007). *Handbook of Forensic Pathology* (2nd ed.). CRC Press.

Dos Santos, A. E. (2018). As principais linhas da biologia forense e como auxiliam na resolução de crimes. *Revista brasileira de criminalística*, v. 7, n. 3, p. 12-20.

Dunlop, K. M. *et al.* (2021). Terrestrial and semi-aquatic scavengers on invasive Pacific pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) carcasses in a riparian ecosystem in northern Norway. *Biological Invasions* 23, 973–979.

Dwyer, S. L.; Visser, I. N. (2011). Cookie Cutter Shark (*Isistius sp.*) Bites on Cetaceans, with Particular Reference to Killer Whales (Orca) (*Orcinus orca*). *Aquatic Mammals*, 37(2), 111–138.

Estupinan-Montano, C. *et al.* (2017). Diet of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, and the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, in the eastern Pacific Ocean. *Turkish journal of Zoology*, 41(6), 1111-1117.

Fallows, C.; Gallagher, A. J.; Hammerschlag, N. (2013). White Sharks (*Carcharodon carcharias*) Scavenging on Whales and Its Potential Role in Further Shaping the Ecology of an Apex Predator. *PLoS ONE*, 8, e60797.

Farah, M. *et al.* (2019). Baleia à vista: Baleias do Brasil. *Revista Biologia Marinha-Projeto Biologia Marinha Bióicos*, v. 2, n. 1, p. 51-58.

Ferretti, F. *et al.* (2010). Patterns and ecosystem consequences of shark declines. *Ecology Letters*, 13(8), 1055-1071.

Feunteun, A. *et al.* (2018). First evaluation of the cookie-cutter sharks (*Isistius sp.*) predation pattern on different cetacean species in Martinique. *Environmental Biology of Fishes*, 101(5), 749-759.

Flach, L. K. (2022). Padrão de ocorrência e prevalência de lesões de Tubarão-charuto (*Isistius spp.*) em cetáceos da Bacia de Santos, Brasil. *Zoomorphology*, 108(2), 93-107.

Frazzetta, T. H. (1988) The mechanics of cutting and the form of shark teeth (Chondrichthyes, Elasmobranchii). *Zoomorphology*, v. 108, n. 2, p. 93-107.

Gadig, O. B. F. (2001). Tubarões da costa brasileira. Tese (Doutorado) — UNESP Rio Claro.

Gadig, O. B. F.; Rosa, R. S. (2023). Diversidade de Peixes Cartilaginosos do Brasil. In: Kotas, J. E., et al. ICMBio/CEPSUL.

Gadig, O. B. F. *et al.* (2023). Biologia e Modo de Vida dos Elasmobrânquios. In: Kotas, J. E., et al. ICMBio/CEPSUL.

Garrick, J. A. F. (1982). Sharks of the genus *Carcharhinus*. NOAA Tech. Rep. NMFS, v. 445, p. 1-194.

Gasparini, J. L.; Sazima, I. (1996). A stranded melon-headed whale, *Peponocephala electra*, in Southeastern Brazil, with comments on wounds from the cookiecutter shark, *Isistius brasiliensis*. *Marine Mammal Science*, 12(2), 308-312.

Geraci, J. R.; Lounsbury, V. J. (2005). Marine mammals ashore: A field guide for strandings. National Aquarium in Baltimore.

Gois, M. C. P. (2025). Identificação Das Espécies De Tubarões Que Consomem Carcaças De Cetáceos Na Costa De São Paulo, Brasil. 79 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Ecologia Marinha e Costeira) - Universidade Federal de São Paulo, Santos.

Gonçalves, M. I. C. *et al.* (2018). Padrões de movimento das baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) reocupando uma área reprodutiva brasileira. *Biota Neotropica*, 18, e20180567.

Goodman, K. *et al.* (2022). Ontogenetic changes in the tooth morphology of bull sharks (*Carcharhinus leucas*). *Journal of Fish Biology*, 101(4), 1033-1046.

Grace, M. A. (2001) Field guide to requiem sharks (Elasmobranchiomorphi: Carcharhinidae) of the Western North Atlantic. Seattle: Scientific Publications Office, National Marine Fisheries Service, NOAA. 32 p. (NOAA Technical Report NMFS 153).

Grace, M. A. *et al.* (2018). Cookiecutter Shark Bite Wounds on Cetaceans of the Gulf of Mexico. *Aquatic Mammals*, 43(5), 491–499.

Grace, M. A. *et al.* (2023). Simulating cookiecutter shark bites with a 3D-printed jaw-dental model. *Zoomorphology*, 142(2), 253-264.

Gruber, S. H.; Myrberg, A. A. (1977). Approaches to the study of the behavior of sharks. *American Zoology*, 17: 471-486.

Gruber, S. (1988). Why do sharks attack people. *Nav. Res. Rev.* 40, 2–19.

Guerra, G. D. S. (2020). Análise multivariada da forma de mandíbulas e dentes como ferramenta para identificação de espécies de tubarões. Tese (Doutorado) — Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Hadley, B.; Robbins, L.; Beffa, D. (1999). Estimating time of death of deer in Missouri: A comparison of three indicators. *Journal of Forensic Sciences*, 44(6), 1124-1130.

Hadley, W. (2016). *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer.

Hamlett, W. C. (Ed.). (1999). *Sharks, skates, and rays: the biology of elasmobranch fishes*. JHU Press.

Hare, M. P.; Mead, J. G. (1987). *Handbook for determination of adverse human-marine mammal interactions from necropsies*. NOAA Tech. Memo. NMFS-OPR.

Hartig, F. (2016). DHARMA: residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models. CRAN: contributed packages.

Heithaus, M. R. (2001). Predator–prey and competitive interactions between sharks and dolphins: A review. *Journal of Zoology*, 253(1), 53-68.

Heithaus, M. R. (2001). Shark attacks on bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) in Shark Bay, Western Australia: Attack rate, bite scar frequencies and attack seasonality. *Mar Mamm Sci* 17: 526–539.

Heithaus, M. R. (2001). The biology of tiger sharks, *Galeocerdo cuvier*, in Shark Bay, Western Australia: Sex ratio, size distribution, diet, and seasonal changes in catch rates. *Environm. Biol. Fishes*, v. 61, p. 25-36.

Heithaus, M. R.; Dill, L. M. (2002). Food availability and tiger shark predation risk influence dolphin distribution. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 52(3), 262-270.

Heithaus, M. *et al.* (2002). Habitat use and foraging behavior of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) in a seagrass ecosystem. *Marine Biology*, 140(2), 237-248.

Henry, L.; Wickham, H. (2024). tidyselect: Select from a Set of Strings.

Heupel, M. R.; Simpfendorfer, C. A. (2014). Importance of environmental and biological drivers in the presence and space use of a reef-associated shark. *Marine Ecology Progress Series*, 496, 47-57.

Hoarau, F. *et al.* (2021). Age and growth of the bull shark (*Carcharhinus leucas*) around Reunion Island, South West Indian Ocean. *Journal of Fish Biology*, 99(3), 1087-1099.

Hocking, M. D.; Reimchen, T. E. (2006). Consumption and distribution of salmon (*Oncorhynchus spp.*) nutrients and energy by terrestrial flies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63, 2076–2086.

Hoenig, J. M., Gruber, S. H. (1990). Life-history patterns in elasmobranchs: implications for fisheries management. NOAA Tech Rep. v. 90, p. 1-16.

Holden, M. J. (1974). Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations. In Sea Fisheries Research. p. 117-137.

Hopkins, T. E.; Cech, J. J. (2003). The influence of environmental variables on the distribution and abundance of three elasmobranchs in Tomales Bay, California. Env Biol Fishes 66:279–291.

Huber D. R. *et al.* (2009) Is extreme bite performance associated with extreme morphologies in sharks? Physiological and Biochemical Zoology 82, 20–28.

Hyndes, G. A. *et al.* (2022). The role of inputs of marine wrack and carrion in sandy-beach ecosystems: a global review.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=clima+estado+do+rio>. Acesso em: 15 jun. 2026.

Ijsseldijk, L. L. *et al.* (2018). Spatiotemporal trends in white-beaked dolphin strandings along the North Sea coast from 1991–2017. Lutra, v. 61, n. 1, p. 25-41.

IUCN. *Carcharhinus leucas*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2020. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/39372/2910670>. Acesso em: 4 ago. 2026.

IUCN. *Galeocerdo cuvier*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2018. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/39378/2913541>. Acesso em: 4 ago. 2026.

Jacobina, A. M. S. (2000). Os cetáceos. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Brasília.

Jahn, A. E.; Haedrich, R. L. (1987). Notes on the pelagic squaloid shark *Isistius brasiliensis*. Biological Oceanography, 5(4), 297-309.

Jefferson, T. A.; Webber, M. A.; Pitman, R. L. (2008). Marine mammals of the world: A comprehensive guide to their identification. Elsevier.

Jones, E. C. (1971). *Isistius brasiliensis*, a squaloid shark: The probable cause of crater wounds on fishes and cetaceans. Fishery Bulletin, 69(4), 791-798.

Kassambara, A. (2026). ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. R package version 0.6.3 .

Kasuya, T.; Brownell, R. L. (1979). Age determination, reproduction, and growth of the franciscana dolphin, *Pontoporia blainvillei*. Scientific Reports of the Whales Research Institute, 31, 45-67.

Katona, S.; Whitehead, H. (1988). Are cetacea ecologically important. Oceanogr Mar Biol Annu Rev, 26, 553-568.

Kelly J. T, Klimley A. P. (2003). The occurrence of the white shark, *Carcharodon carcharias*, at the Point Reyes headlands, California. Calif Fish Game. 89:187–196.

Kemp, N. E. (1999) Integumentary system and teeth. In: Sharks, Skates and Rays. The Biology of Elasmobranch Fishes (ed. Hamlett W.), pp. 43–68. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.

Kirkwood, R.; Dickie, J. (2005). Mobbing of a great white shark (*Carcharodon carcharias*) by adult male Australian fur seals (*Arctocephalus pusillus doriferus*). Mar Mammal Sci 21:336–339.

Klimley, A. P.; Pyle, P.; Anderson, S. D. (1996). The behavior of white sharks and their pinniped prey during predatory attacks. In: Klimley AP, Ainley DG (eds) Great white sharks: the biology of *Carcharodon carcharias*. Academic Press, New York, pp 175–192.

Klimley, A. P. *et al.* (2001). The hunting strategy of white sharks (*Carcharodon carcharias*) near a seal colony. *Mar Biol* 138:617–636.

Le Boeuf, B. J. *et al.* (1987). Crater wounds on northern elephant seals: The Cookiecutter Shark strikes again. *Fish. Bull.* 85:387–392.

Leal, M. L. de S. B. (2022). Shark species identification from bite marks on a Short-finned Pilot Whale, *Globicephala macrorhynchus*. *Ocean and Coastal Research*, 70.

Lodi, L. *et al.* (2008). Movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 8, 206-209.

Long, D. J.; Jones, R. (1996). White shark predation and scavenging on cetaceans in the eastern North Pacific Ocean. In *Great White Sharks: The biology of Carcharodon carcharias* (pp. 293-307).

Lowe, C. G. *et al.* (1996). Ontogenetic dietary shifts and feeding behavior of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, in Hawaiian waters. *Environmental Biology of Fishes*, 47(2), 203-211.

Lowry, D. *et al.* (2009). Determining shark size from forensic analysis of bite damage. *Marine Biology*, 156(12), 2483-2492.

Lucas, Z.; Stobo, W. T. (2000). Shark-inflicted mortality on a population of harbor seals (*Phoca vitulina*) at Sable Island, Nova Scotia. *Journal of Zoology* 252:405–414.

Lucifora, L. O.; García, V. B.; Worm, B. (2011). Global Diversity Hotspots and Conservation Priorities for Sharks. *PLoS ONE* 6(5):e19356.

Marangoni, M. B. *et al.* (2013). Arcabouço estratigráfico e ciclicidade deposicional dos sistemas sedimentares do pleistoceno médio-holoceno da plataforma sul da Bacia de Campos, Brasil. *Brazilian Journal Of Geology*, V. 43, N. 2, P. 285-300.

Mateo-Tomas *et al.* (2015). From regional to global patterns in vertebrate scavenger communities subsidized by big game hunting. *Diversity and Distributions* 21, 913–924.

McCosker, J. E. (1985). White shark attack behavior: observations of and speculations about predator and prey strategies. *Memoirs of the Southern California Academy of Sciences*, 9, 123-135.

Menezes, R. *et al.* (2022). Cookiecutter shark (*Isistius spp.*) bite patterns on pelagic fishes in aggregated schools in the western equatorial Atlantic Ocean. *Environmental Biology of Fishes*, 105(4), 519-530.

Midway, S. R.; Wagner, T.; Burgess, G. H. (2019). Trends in global shark attacks. *PloS one*, 14(2), e0211049.

Miyazaki, N.; Perrin, W. F. (1995). Rought-toothed dolphin *Steno bredanensis*. In: *Handbook of Marine Mammals*, v. 5. p. 1-21.

Moleón, M. (2015). Carcass size shapes the structure and functioning of an African scavenging assemblage. *Oikos*, 124(10), 1391-1403.

Montoya, R. V.; Thorson, T. B. (1982). The bull shark (*Carcharhinus leucas*) and largetooth sash (*Pristis perotteti*) in Lake Bayano, a tropical man-made impoundment in Panama. *Environmental Biology of Fishes*, 7(4), 341-347.

Moore, S. E. (2008). Marine mammals as ecosystem sentinels. *Journal of Mammalogy*, 89(3), 534-540.

Nelson, D. R. (1977). On the Field Study of Sharks Behavior. *American Zoology*, 17: 501-507.

Newsome, T. *et al.* (2023). Scavenging with invasive species. *Biological Reviews* 99, 562–581.

Northridge, S. (2009). Bycatch of marine mammals in US fisheries. *Marine Mammal Science*, 25(2), 344-353.

O'Bryan, C. J. *et al.* (2018). The contribution of predators and scavengers to human well-being. *Nat Ecol Evol* 2:229–236.

O'Bryhim, J. R.; Parsons, E. C. M.; Lance, S. L. (2021). Forensic species identification of elasmobranchs landed in Costa Rican artisanal fisheries. *Fisheries research*, 233, 105755.

Ogada, D. L.; Keesing, F.; Virani, M. Z. (2012). Dropping dead: causes and consequences of vulture population declines worldwide. *Ann NY Acad Sci* 1249:57–71.

Olea, P.; Mateo-Tomas, P.; Sanchez-Zapata, J. A. (2019). *Carrion Ecology and Management*. Springer, Cham, Switzerland.

Ostrovski, R. L. *et al.* (2021). The media paradox: Influence on human shark perceptions and potential conservation impacts. *Ethnobiol Conserv* 10.

Panebianco, M. V. *et al.* (2016). Reproductive biology of female franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*) from Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(4), 831-840.

Papastamatiou, Y. P. *et al.* (2010). Foraging ecology of cookiecutter sharks (*Isistius brasiliensis*) on pelagic fishes in Hawaii, inferred from prey bite wounds. *Environmental Biology of Fishes*, 88(4), 361-368.

Perrin, W. F.; Leatherwood, S.; Collet, A. (1994). Fraser's dolphin *Lagenodelphis hosei*. In: *Handbook of Marine Mammals*, v. 5. p. 225-240.

Perrin, W. F.; Reilly, S. B. (1984). Reproductive parameters of dolphins and small whales of the family Delphinidae. *Reports of the international whaling commission*, 6(6), 97-133.

Perrin, W. F.; Würsig, B.; Thewissen, J. G. M. (2018). (Eds.). Encyclopedia of Marine Mammals. 3. ed. London: Academic Press, 1160 p.

Petean, F.; Carvalho, M. (2018). Comparative morphology and systematics of the cookiecutter sharks, genus *Isistius* Gill (1864)(Chondrichthyes: Squaliformes: Dalatiidae). PLoS One, 13(8), e0201913.

PETROBRAS. Projeto de Monitoramento de Praias (PMP). Disponível em: <https://comunicaespiritosanto.petrobras.com.br/projeto-de-monitoramento-de-praias-das-bacias-de-campos-e-espirito-santo-pmp-bc-es>. Acesso em: 15 jun. 2026.

PETROBRAS. SIMBA – Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática. Disponível em: <https://simba.petrobras.com.br/simba/web/>. Acesso em: 15 jun. 2026.

Phillips, M. *et al.* (2020). Evidence of chitin in the ampullae of Lorenzini of chondrichthyan fishes. *Current Biology*, 30(20), R1254-R1255.

Pillans, R. D.; Franklin, C. E. (2004). Plasma osmolyte concentrations and rectal gland mass of bull sharks *Carcharhinus leucas*, captured along a salinity gradient. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 138(3), 363-371.

Prado, J. H. F. D. (2016). Padrões temporais no encalhe de mamíferos marinhos e identificação de áreas de risco de capturas incidentais de Toninha, *Pontoporia blainvillei*, no sul do Brasil.

Pugliares, K. R. (2007). Marine mammal necropsy: an introductory guide for stranding responders and field biologists.

QGIS Development Team. (2026). QGIS Geographic Information System (Version 4.0) [Software]. Open Source Geospatial Foundation.

R Core Team. (2026). RstudioVienna, Austria.

- Randall, J. E. (1992). Review of the biology of the tiger shark (*Galeocerdo cuvier*). Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 43(1), 21-31.
- Read, A. J. *et al.* (1993). Patterns of growth in wild bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. Journal of Zoology, 231(1), 107-123.
- Read, A. J.; Murray, K. T. (2000). Mitigation strategies for reducing bycatch of small cetaceans in US fisheries. Marine Mammal Science, 16(4), 941-964.
- Ritter, E.; Levine, M. (2004). Use of forensic analysis to better understand shark attack behaviour. J Forensic Odontostomatol 22:40–46.
- Rosa, R. S.; Gadig, O. B. F. (2014). Conhecimento da diversidade dos Chondrichthyes marinhos no Brasil: a contribuição de José Lima de Figueiredo. Arquivos De Zoologia 45:89–104.
- Rosas, F. W. *et al.* (1992). *Hydrurga leptonyx* recovered from the stomach of a tiger shark captured off the Rio de Janeiro coast, Brazil. Mammalia (Paris), 56(1), 153-155.
- Rosas, F. C. W.; Monteiro-Filho, E. L. (2002). Reproduction of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*) on the coast of Paraná, southern Brazil. Journal of Mammalogy, 83(2), 507-515.
- Pyle, P. *et al.* (1996). Environmental factors affecting the occurrence and behavior of white sharks at the Farallon Islands, California. In: Klimley AP, Ainley DG (eds) Great white sharks: the biology of *Carcharodon carcharias*. Academic Press, Inc., San Diego, pp 281–291.
- Quaggiotto, M. M. *et al.* (2016). First Investigation Of The Consumption Of Seal Carcasses By Terrestrial And Marine Scavengers. Glasgow Naturalist (online 2016), v. 26, n. 3.
- Sadowsky, V. (1971). Notes on the bull shark (*Carcharhinus leucas*) in the lagoon region of Cananéia, Brazil. Boletim do Instituto Oceanográfico, v. 20, n. 2, p. 71-78.

Santos, L. *et al.* (2024). An equatorial mid-Atlantic Ocean archipelago as nursery area for the cookiecutter shark: Investigating foraging strategies of neonates through bite mark inferences. *Journal of Fish Biology*, 104(5), 1290-1298.

Santos, M. C. O. *et al.* (2010). Cetacean records along São Paulo state coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 123–42.

Santos, M. C. O.; Gadig, O. B. F. (2009). Evidence of a failed predation attempt on a Guiana dolphin by a bull shark. *Arquivos de Ciências do Mar*, 93.

Schneider, C. A.; Rasband, W. S.; Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–675.

Secchi, E. R. *et al.* (2021). A synthesis of the ecology, human-related threats and conservation perspectives for the endangered franciscana dolphin. *Frontiers in Marine Science*, 8, 617956.

Selva, N.; Fortuna, M. (2007). The nested structure of a scavenger community. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 274, n. 1613, p. 1101-1108.

Sheng, V. L. (2020). A world without sharks: forensic methods, trade networks, and impacts of predator removal. *HKU Theses Online (HKUTO)*.

Shevchenko, V. I. (1970). Puzzling white scars on whale body. *Priroda*, 6, 72-73.

Shirai, S.; Nakaya, K. (1992). Functional morphology of feeding apparatus of the cookie-cutter shark, *Isistius brasiliensis* (Elasmobranchii, Dalatiinae). *Zoological Science*, 9(4), 811-821.

Siciliano, S.; Di Benedetto, A. P. M.; Ramos, R. M. A. A. (2002). A toninha *Pontoporia blainvillei* nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, costa sudeste do Brasil:

caracterização dos habitats e fatores de isolamento das populações. Boletim do Museu Nacional, 476, 1-15.

Sidous, M. *et al.* (2024). Insights on the effect of mega-carcass abundance on the population dynamics of a facultative scavenger predator and its prey. Peer Community Journal, 4.

Silva, D. F. *et al.* (2020). Reproductive parameters of franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*) of Southeastern Brazil. Marine Mammal Science, 36(4), 1291-1308.

Silva, R. P. *et al.* (2024). Necrophagy and marine megafauna predation by sharks in a hotspot in the Southwest Atlantic Ocean. Thalassas: An International Journal of Marine Sciences, v. 40, n. 1, p. 399-410.

Simpfendorfer, C. (1992). Biology of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) caught by the Queensland shark meshing program off Townsville, Australia. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 43(1), 33-43.

Simpfendorfer, C. A. *et al.* (2005). Distribution and habitat partitioning of immature bull sharks (*Carcharhinus leucas*) in a southwest Florida estuary. Estuaries, 28(1), 78-85.

Sternes, P. C.; Shimada, K. (2020). Body forms in sharks (Chondrichthyes: Elasmobranchii) and their functional, ecological, and evolutionary implications. Zoology, 140, 125799.

Stillwell, C. E; Kohler, N. E. (1982) Food, feeding habits, and estimates of daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the north west Atlantic. Can J Fish Aquatic Sci 39:407–414.

Stride, R. K.; Batista, V. S.; Raposo, L. A. B. (1992) Pesca Experimental de Tubarão com Redes de Emalhar no Litoral Maranhense. São Luis, Projeto Pesca Artesanal. CORSUP/EDUFMA, 160 p.

Strong, W. R. J. (1996). Shape discrimination and visual predatory tactics in white sharks. Pages 229–240 in A. P. Klimley and A. D. Ainley, eds. Great white sharks: The biology of *Carcharodon carcharias*. Academic Press, New York, NY.

Subalusky, A. L. *et al.* (2017). Annual mass drownings of the Serengeti wildebeest migration influence nutrient cycling and storage in the Mara River. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114, 7647–7652.

Szpilman, M. (2004). Tubarões no Brasil: guia prático de identificação. Mauad Editora Ltda — Rio de Janeiro.

Terio, K. A.; McAloose, D.; Leger, J. S. (Eds.). (2018). Pathology of wildlife and zoo animals. Academic Press.

Thomerson, J. E.; Thorson, T. B.; Hempel, R. L. (1977). The bull shark, *Carcharhinus leucas*, from the upper Mississippi River near Alton, Illinois. Copeia, 1977(1), 166.

Thorson, T. B. (1972). The status of the bull shark, (*Carcharhinus leucas*) in the Amazon River. Copeia, 1972(3), 601-605.

Thorson, T. B.; Cowan, C. M.; Watson, D. E. (1973). Body fluid solutes of juveniles and adults of the euryhaline bull shark *Carcharhinus leucas* from freshwater and saline environments. Physiological Zoology, 46(1), 29-42.

Tricas, T. C. (1985). Feeding ethology of the white shark, *Carcharodon carcharias*. Mem South Calif Acad Sci 9:81–91.

Tricas, T. C.; McCosker, J. E. (1984) Predatory behavior of the white shark (*Carcharodon carcharias*), with notes on its biology. Proc. Calif. Acad. Sci. 43, 221–238.

Tricas, T. C.; Taylor, L. R.; Naftel, G. (1981). Diel behavior of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, at French Frigate Shoals, Hawaiian Islands. Copeia, 1981(4), 904-908.

Truchon, M. H. *et al.* (2013). Marine Mammal Strandings and Environmental Changes: A 15-Year Study in the St. Lawrence Ecosystem. *PLOS ONE*, v. 8, n. 3, e59311,.

Tucker, J. P. *et al.* (2018). Whale carcass strandings on beaches: Management challenges, research needs, and examples from Australia. *Ocean & Coastal Management*, 163, 323–338.

Tucker, J. P. *et al.* (2019) Whale carcass scavenging by sharks. *Glob Ecol Conserv* 19:e00655.

Türtscher, J. *et al.* (2022). Heterodonty and ontogenetic shift dynamics in the dentition of the tiger shark *Galeocerdo cuvier* (Chondrichthyes, Galeoceridae). *Journal of Anatomy*, 241(2), 372-392.

Van Der Hoop. *et al.* (2013). Criteria and case definitions for serious injury and death of pinnipeds and cetaceans caused by anthropogenic trauma. *Diseases of aquatic organisms*, 103(3), 229-264.

Venables, W. N.; Ripley, B. D. (2013). *Modern applied statistics with S*. Springer Science & Business Media.

Viana, J. P. (2013). Recursos pesqueiros do Brasil: Situação dos estoques, da gestão, e sugestões para o futuro.

Viana, D. L. *et al.* (2021). *Ciências do mar: dos oceanos do mundo ao nordeste do Brasil: bioecologia, pesca e aquicultura*. Volume 2. 1. ed. Olinda, PE: Via Design Publicações.

Viner, T. C.; Kagan, R. A. (2018). *Forensic Wildlife Pathology*. In *Pathology of Wildlife and Zoo Animals* (pp. 21-40). Academic Press.

Walker, W. A.; Hanson, M. B. (1999). Biological observations on Stejneger's beaked whale, *Mesoplodon stejnegeri*, from strandings on Adak Island, Alaska. *Marine Mammal Science*, 15(4), 1314-1329.

Wells, R. S.; Scott, M. D. (1999). Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821). In "Handbook of Marine Mammals" (S. H. Ridgway, and R. Harrison, eds), pp. 137–182. Academic Press, San Diego, 6, the Second Book of Dolphins and Porpoises.

Wenzel, F. W.; Suárez, P. L. (2012). What is known about cookiecutter shark (*Isistius spp.*) interactions with cetaceans in Cape Verde seas. *Zoologia Caboverdiana*, 3(2), 57-66.

Werder, U.; Alhanati, C. E. (1981). Informe sobre um tubarão (*Carcharhinus leucas*) capturado no Amazonas com alguns detalhes de sua morfologia externa. *Acta Amazonica*, 11(1), 193-196.

Wetherbee, B. M.; Cortés, E. (2004). Food Consumption and Feeding Habits. Pp. 225–246. In: J. C. Carrier; J. A. Musick; M. R. Heithaus (eds.). *Biology of Sharks and Their Relatives*. CRC Press LLC, Boca Raton. 596p.

Wickham, H. *et al.* (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of open source software*, 4(43), 1686.

Wickham, H. *et al.* (2023). dplyr: A grammar of data manipulation.

Widder, E. A. (1998). A predatory use of counterillumination by the squaloid shark, *Isistius brasiliensis*. *Environmental Biology of Fishes*, 53(3), 267-273.

Williams, E. H.; Bunkley-Williams, L. (1996). *Parasites of Offshore Big Game Fishes of Puerto Rico and the Western Atlantic*. Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources — Puerto Rico.

Wilson, E. E.; Wolkovich, E. M. (2011). Scavenging: how carnivores and carrion structure communities. *Trends in ecology & evolution*, 26(3), 129-135.

Wintner, S. P. (2002). Age and growth estimates for the Zambezi shark, *Cacharhinus leucas*, from the east coast of South Africa. *Mar Freshw Res* 53:557–566.

Witzell, W. N. (1987). Selective predation on large cheloniid sea turtles by tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*). *Japanese Journal of Herpetology*, 12(1), 22-29.

Wood, S. N. (2025). Generalized additive models. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 12(1), 497-526.

Woolgar, J. D. *et al.* (2001). Shark attack: review of 86 consecutive cases. *Inj Infec Crit Care*, 50:887–891.

Zerbini, A. N. *et al.* (2017). *Pontoporia blainvillei*. The IUCN Red List of Threatened Species.