

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.



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

Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra

Discente: Heitor Rodrigues Silva

**Orientador(a): Prof^a Dra Rosângela
Paula Teixeira Lessa**

Coorientador(a): Dr. Rafael Menezes

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Recursos
Pesqueiros e Aquicultura da
Universidade Federal Rural de
Pernambuco.

Recife, julho/2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S586u Silva, Heitor Rodrigues.
Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens*
(*Rhinobatidae:Rhinopristiformes*), no Nordeste do Brasil, com o uso
de microquímica de vértebra / Heitor Rodrigues Silva. – Recife, 2025.
62 f.: il.

Orientador(a): Rosângela Paula Teixeira Lessa.

Coorientador(a): Rafael Menezes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa
de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Ecologia 2. Anoxemia 3. Águas salinas 4. Extinção 5. Migração I. Lessa,
Rosângela Paula Teixeira, orient. II. Menezes, Rafael, coorient. III. Título.

CDD 639.3

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**USO DE HABITATS ESSENCIAIS DA RAIA-VIOLA, *Pseudobatos percellens*
(RHINOBATIDAE: RHINOPRISTIFORMES), NO NORDESTE DO BRASIL, COM
O USO DE MICROQUÍMICA DE VÉRTEBRA**

Heitor Rodrigues Silva

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em 28/07/2025 pela seguinte Banca Examinadora.

Prof. Dra. ROSANGELA PAULA TEIXEIRA LESSA, UFRPE

Orientador(a)

Prof. Dr. FRANCISCO MARCANTE SANTANA DA SILVA, UFRPE

Examinador Externo ao Programa

Prof. Dra. MARIA RAQUEL MOURA COIMBRA, UFRPE

Examinadora Interna

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

Sumário

DEDICATÓRIA	4
AGRADECIMENTOS.....	5
INTRODUÇÃO GERAL.....	6
OBJETIVO GERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
ECOLOGIA E TAXONOMIA.....	10
PESCA E ESTRUTURA POPULACIONAL	12
REFERÊNCIAS.....	18
ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO (ESTUARINE, COASTAL AND SHELF SCIENCE).....	25
ANÁLISE DE USO DE HABITATS ESSENCIAIS ATRAVÉS DA QUÍMICA DE VÉRTEBRAS DE UMA ESPÉCIE EM PERIGO DE EXTINÇÃO, RAIA-VIOLA (<i>PSEUDOBATOS PERCELLENS</i>) NO NORDESTE DO BRASIL	25
ABSTRACT	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAIS E MÉTODOS	27
ÁREA DE AMOSTRAGEM.....	27
AMOSTRAGEM.....	29
PROCESSAMENTO DAS VÉRTEBRAS	29
ANÁLISE DE DADOS	31
RESULTADOS	32
DISCUSSÃO	42
ESTRÔNCIO (⁸⁶ SR) E BÁRIO (¹³⁸ BA).....	43
ZINCO (⁶⁶ ZN)	44
MANGANÊS (⁵⁵ MN).....	46
RECOMENDAÇÕES	46
CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS.....	49

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

4

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, que sempre deu todo o suporte educacional e material para que eu, enquanto filho da classe trabalhadora, vislumbrasse um dia ingressar em uma universidade pública para fazer da educação um meio de transformação socioeconômica, realização profissional e pessoal. Também sou grato Muito obrigado mesmo, pai, mãe e minhas irmãs. Segundamente, dedico aos amigos e colegas que fiz no departamento de pesca, em especial no laboratório de Dinâmica de Populações Marinhas (DIMAR), que tanto me incentivam e me convencem do quanto eu sou capaz de realizar um bom trabalho relativo ao que é demandado e estabelecido como meta.

Agradecimentos

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais (Jucélio e Edivania), que sempre se fizeram alicerce em tudo o que precisei ao longo da minha vida e torcem tanto pelo meu sucesso como das minhas irmãs incondicionalmente. Vocês são inspiração e a expressão do mais doce amor que um filho pode receber. Amo muito loucamente! Também agradeço muito ao meu aperedo e amoroso companheiro de cada dia, Geraldo. Sou muito feliz e honrado por compartilhar a vida contigo nestes últimos 2 anos, assim como desejo compartilhar por toda a vida.

Sou muito grato às minhas irmãs Júlia e Thais, a quem tanto amo e torço para que consigam alcançar suas merecidas metas em busca de uma vida com dignidade para si. Também dedico este trabalho ao meu cabuloso e tão amado sobrinho, Matheus Rafael e muito desejo que, tal como para mim, a educação seja instrumento de transformação socioeconômica para ele.

Além dos já mencionados, agradeço muito à minha vó Léo (guemannn!), mamãe, papai, tia Vânia, Faela, Rafa, Natilda, Anitcha e Juninho pelas felicitações e demonstração de alegria a cada vez que um dado objetivo é alcançado. A torcida genuína que obtenho de vocês significa muito para mim. Também dedico este trabalho à minha vó Leonir. Em breve a senhora ouvirá que seu neto se tornou mestre e em breve cursará o doutorado.

Agradeço a cada um dos meus amigos que contribuíram direta e indiretamente. Também sou grato à minha orientadora de longa data, professora Rosângela Lessa por me acompanhar e orientar tanto na projeção quanto execução do projeto de mestrado. O mesmo digo a respeito do meu coorientador (Rafael Menezes), que se disponibilizou em aceitar fazer parte da análise e norteamto dos resultados e discussões deste trabalho e muito tem contribuído desde então. Também sou muito grato a cada integrante do DIMAR, com quem permaneço tendo o prazer de compartilhar um ambiente de trabalho gostoso, sobretudo agora que temos ares-condicionados funcionais. Por último, sou muito honrado em ter conhecido pescadores, como Kaio, Misinho, Neném, que forneceram as amostras utilizadas no presente trabalho, bem como a quem desenvolveu parte do mesmo (Damares, Lucas e Philippe Queiroz), quando eu nem mesmo fazia idéia que trabalharia com a raia-viola.

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

6

Introdução geral

Os Elasmobranchii possuem cerca de 32% de suas espécies inseridas em alguma categoria de ameaça, sendo ~15% vulneráveis (VU), ~10% em perigo de extinção (EN) e ~7% criticamente em perigo de extinção (CR) (DULVY *et al.*, 2021). Entre os táxons que se encontram ameaçados, a família Rhinobatidae está representada no Brasil por 2 espécies: *Pseudobatos percellens* (WALBAUM, 1792) e *P. horkelii* (MULLER e HENLE, 1841), as quais juntamente à família Pristidae constituem o grupo de elasmobrânquios mais ameaçados do mundo (KOTAS *et al.*, 2023).

Endêmica do Oceano Atlântico Sudoeste (LESSA *et al.*, 1986, LAST *et al.*, 2016), *P. percellens* distribui-se irregularmente desde a Quintana Roo, México até o Paraná, Brasil (SCHMITTER-SOTO *et al.* 2000; LAST *et al.* 2016). As profundidades onde *P. percellens* pode ocorrer variam entre 5 e 180 metros (MENNI & STEHMANN, 2000), compreendendo zonas bênticas de substratos lamosos e arenosos (CERVIGÓN, 1992; LAST *et al.*, 2016). Mesopredadora, *P. percellens* se alimenta majoritariamente de crustáceos das subordens Dendobranchiata e Pleocyemata (BORNATOWSKI *et al.*, 2010; FREITAS, 2015; CARMO *et al.*, 2015; CHELLOTI & GADIG, 2023).

Como k estrategista, *P. percellens* possui características que podem agravar seu estado de ameaça, uma vez que no passado a espécie era comumente capturada (especialmente os jovens) no arrasto de praia dirigido ao camarão (LESSA *et al.*, 2008), como em Caiçara do Norte. Atualmente, a espécie está classificada como em perigo de extinção globalmente (IUCN, 2020) e vulnerável nacionalmente (ICMBio, 2018) e há suspeitas de que suas populações estejam ainda mais vulnerabilizadas, uma vez que estudos recentes indicam que *P. percellens* apresenta baixa diversidade genética e baixo fluxo gênico (CRUZ *et al.*, 2023).

Ao se tratar de uma espécie que já experimenta tendências de declínio populacional (POLLOM *et al.*, 2020) no mundo, é recomendável que ferramentas não letais (como telemetria) ou que exijam baixo número amostral, a exemplo da química de vértebras sejam aplicadas para descrever padrões de movimentação em áreas reconhecidas como possíveis habitats essenciais e áreas de conservação (FEITOSA *et al.*, 2020; LEWIS *et al.*, 2016; MOHAN *et al.*, 2018; TILLET *et al.*, 2011) para suas populações.

Por permitir a amostragem de um pequeno número de indivíduos e ser menos custosa do que as demais técnicas de identificação de movimentos migratórios e descrição de uso de habitats, a química de vértebras tem sido amplamente utilizada em abordagens

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

ecológicas de teleósteos (PONTUAL; GEFFEN, 2002; ELSDON *et al.*, 2008; PAILLON *et al.*, 2014) e elasmobrânquios (RAOULT *et al.*, 2018, FEITOSA *et al.*, 2020, FEITOSA *et al.*, 2021, QUEIROZ *et al.*, 2024). Essa abordagem consiste em estimar razões elementares relativas ao cálcio (Ca), as quais são lidas como representações ambientais dos ecossistemas utilizados pelas espécies ao longo da vida. Por exemplo, maiores concentrações de bário (Ba) e estrôncio (Sr) sugerem uso de habitats dulcícolas e marinhos, respectivamente (MCMILLAN *et al.*, 2017; SMITH *et al.*, 2013, 2016). O magnésio (Mg) e manganês (Mn) estão correlacionados, respectivamente, a baixas temperaturas e oxigênio dissolvido (LIMBURG *et al.*, 2015; LIMBURG; CASINI, 2018; SMITH *et al.*, 2013), embora também apresentem relações com processos fisiológicos (HUSSY *et al.*, 2020).

Apesar de existir um conjunto de abordagens abundantes na literatura sobre *P. percellens*, parâmetros de dinâmica populacional (crescimento, biologia reprodutiva, uso de habitats essenciais e demografia) ainda são incipientes no Nordeste do Brasil, o que dificulta o uso de ferramentas auxiliares em avaliações mais robustas acerca do seu estado de ameaça no Brasil como um todo. Portanto, entender o modo de uso dos ecossistemas ocupados por *P. percellens* ao longo da sua faixa de distribuição é crucial para eleger áreas prioritárias à conservação dessa espécie.

Objetivo geral

O presente trabalho se propõe analisar o uso do habitat de *P. percellens* através de análises de microquímica em vértebras.

Objetivos específicos

- Descrever a conectividade entre diferentes ambientes (estuarino e marinho) utilizados por *P. percellens* no Nordeste;
- Verificar possíveis diferenças no uso do habitat por *P. percellens* entre os estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte;
- Identificar possíveis áreas de berçários essenciais no ciclo de vida da espécie através de análises multielementares.

Resumo

Distribuída pelo Oceano Atlântico Oeste Central e Sudeste, de Quintana Roo (México) ao Paraná, no Sul do Brasil, *Pseudobatos percellens* é uma Rhinobatidae categorizada globalmente como em perigo de extinção de acordo com a IUCN e nacionalmente como vulnerável, segundo o ICMBio. O objetivo do presente trabalho é descrever o uso de habitats essenciais de *P. percellens* no Nordeste do Brasil através da análise de química de vértebras (^{25}Mg , ^{55}Mn , ^{66}Zn , ^{138}Ba e ^{86}Sr). Um conjunto de 20 exemplares foi amostrado em Baía Formosa (Rio Grande do Norte), onde *P. percellens* é capturada como *bycatch* no emalhe de fundo com pesca dirigida a *Panulirus argus* (lagosta-vermelha). A análise química revelou diferenças significativas nas concentrações de ^{66}Zn para estágios de vida (embrião, neonato, jovem e maduro) e sexo, ao passo que ^{86}Sr exibiu diferença significativa apenas entre os estágios de vida. Os demais elementos não apresentaram variação estatisticamente significativa. As concentrações de ^{55}Mn indicaram possível ativação dos hormônios sexuais e migração para zonas hipóxicas (águas mais profundas) na fase adulta. As concentrações de ^{86}Sr denotam o uso de áreas com relevante variação de salinidade por machos e fêmeas agregados. As variações significativas de ^{66}Zn se deram possivelmente a processos fisiológicos maternos e mudanças ontogenéticas na dieta. Contudo, a ausência de uma relação direta entre dieta e acúmulo de Zn nas vértebras sugere que fatores fisiológicos podem desempenhar papel determinante na incorporação desse elemento. A ausência de exemplares mais velhos impede inferências definitivas sobre o uso de habitats profundos ou estuarinos, destacando a necessidade de amostragens futuras que englobam maiores classes de tamanho e idade, sobretudo em regiões sob maior influência fluvial e sedimentos terrígenos. Esses resultados ressaltam a importância de considerar características regionais oceanográficas e ecológicas na avaliação do uso de habitat por *P. percellens*, uma vez que as populações do Nordeste brasileiro demonstram padrões distintos em comparação às do Sul e Sudeste do país, sobretudo no que tange sua estrutura genética populacional. Os resultados ampliam o conhecimento sobre a ecologia dessa espécie ameaçada de extinção e enfatizam a necessidade de se criar planos de ação mais adequados voltados à conservação de seus habitats essenciais.

Palavras-chave: ecologia; zonas hipóxicas; águas salinas; extinção; migração.

Abstract

Distributed throughout the Western Central and Southeastern Atlantic Ocean, from Quintana Roo (Mexico) to Paraná, in Southern Brazil, *Pseudobatos percellens* is a Rhinobatidae categorized globally as endangered (EN) according to the IUCN and as vulnerable (VU) in Brazilian waters, according to ICMBio. The aim of this study is to describe the use of essential habitats by *P. percellens* in Northeastern Brazil through the chemical analysis of vertebrae (^{25}Mg , ^{55}Mn , ^{66}Zn , ^{138}Ba and ^{86}Sr). A set of 20 specimens was sampled in Baía Formosa (Rio Grande do Norte), where *P. percellens* is a bycatch in bottom gillnets targeting *Panulirus argus* (red lobster). Chemical analysis revealed significant differences in ^{66}Zn reads for life stages (embryo, neonate, juvenile and mature) and sex, whereas ^{86}Sr exhibited significant difference only between life stages. The other elements did not show statistically significant variation. Manganese concentrations indicated possible sexual activation and migration to hypoxic (deeper areas) zones in adulthood. Strontium concentrations indicate use of areas with significant salinity ranges by both males and females. Zinc significant variations occurred possibly due to maternal physiological processes and ontogenetic changes in diet. However, the absence of a conclusive direct relationship between diet and Zn accumulation in the vertebrae suggests that physiological factors may play a determining role in the incorporation of this element. The lack of older specimens unables definitive inferences about the use of deep or estuarine habitats in regards to Mn concentrations, highlighting the need for future sampling that encompasses larger size and age classes, especially in regions under greater fluvial influence and terrigenous sediments. These results underscore the importance of considering regional oceanographic and ecological characteristics when assessing habitat use by *P. percellens*, since populations in the Brazilian Northeast demonstrate distinct patterns compared to those in the South and Southeast of the country, especially regarding their population genetic structure. The results expand knowledge about the ecology of this endangered species and emphasize the need to create more appropriate action plans aimed at preserving its essential habitats.

Keywords: ecology; hypoxic zones; saline waters; extinction; migration.

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

10

Referencial teórico

Ecologia e taxonomia

A subclasse dos Elasmobranchii contém os vertebrados com o maior número de espécies ameaçadas, perfazendo 32.6% de suas espécies inseridas em alguma categoria de ameaça, sendo 15% vulneráveis (VU), 10.1% em perigo de extinção (EN) e 7.5% criticamente em perigo de extinção (CR) (DULVY *et al.*, 2021). Esses números são justificados pela perda e degradação de habitats, mudanças climáticas, poluição dos ecossistemas aquáticos e, sobretudo, sobrexploração pesqueira. Registros oficiais indicam que os tubarões e raias são comumente capturados e encontram-se altamente ameaçados em regiões tropicais e subtropicais (DULVY *et al.*, 2021).

Região tropical localizada no Atlântico Sudoeste, o Brasil é um dos países onde se distribuem batóides (raias) com os mais elevados graus de ameaça entre os elasmobrânquios, como espécies da ordem Rhinopristiformes (DULVY *et al.*, 2021, BARRETO, 2023). Os Rhinopristiformes são compostos pelas famílias: Trygonorhinidae, representada no Brasil por *Zapterix brevirostris* (Müller & Henle, 1841); Pristidae, representada por *Pristis pristis* e *Pristis pectinata*; e Rhinobatidae, representada por *Pseudobatos percellens* (WALBAUM, 1792) e *P. Horkelii* (MULLER e HENLE, 1841).

Assim, como a maioria dos elasmobrânquios, *P. percellens* é k estrategista, exibindo maturação tardia, alta longevidade e baixa taxa de fecundidade (HOLDEN, 1974; NUNES, 2012), com ressalva para o crescimento, que é relativamente rápido nessa espécie (CALTABELLOTTA *et al.*, 2019). Tais características, em associação à sua participação como fauna acompanhante nas capturas de arrasto, além de distribuição geográfica restrita ao Oceano Atlântico Leste (LESSA *et al.*, 1986, YOKOTA e LESSA, 2006) podem agravar seu estado de ameaça. Atualmente, *P. percellens* está classificada como em perigo de extinção (IUCN, 2020) e vulnerável (VU) de acordo com o livro vermelho (ICMBio, 2018). Suspeita-se, contudo, que seu estado de ameaça esteja ainda mais crítico, uma vez que estudos recentes indicam *P. percellens* como uma espécie com baixa diversidade genética (CRUZ *et al.*, 2023). Ademais, taxas de mortalidade bastante imprecisas que variam de 10 a 90%, com maior elevação no verão (WOSNICK *et al.*, em preparação) e associadas à ausência de monitoramento e estatística pesqueira sobre a espécie, podem esconder um cenário ainda mais

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

11

crítico.

A raia-viola, *P. percellens*, é uma espécie de médio porte, cuja distribuição geográfica está restrita à plataforma continental da costa Leste do Oceano Atlântico, desde o Panamá até o Brasil (LAST *et al.*, 2016a). Pode chegar a 100 cm de comprimento total e habita zonas bênticas de substratos lamosos e arenosos, com profundidades que chegam até 110 metros (CERVIGÓN, 1992; LAST *et al.*, 2016a). Suas principais características morfológicas compreendem: 1) rostro longo e triangular, usado possivelmente para levantar o sedimento à procura de presas; 2) olhos grandes e abas nasais anteriores moderadamente desenvolvidas com uma margem interna que se estende dentro do espaço internasal (ao nível da margem interna da narina); 3) superfície dorsal com padrão de manchas brancas e escuras turvas; 4) sua região dorsal é inteiramente coberta por dentículos delgados com espinhos ao redor das órbitas, acima dos espiráculos, e em uma fileira mediana no dorso; 5) e cauda que compreende de 1.2 a 1.3 vezes o tamanho do disco, além de nadadeiras dorsais largamente espaçadas entre si, com ápices pontiagudos (LAST *et al.*, 2016b).

No que diz respeito à ecologia alimentar, estudos mostram que *P. percellens* possui uma dieta especializada em crustáceos da ordem Decapoda, como *Leptochela serratorbita* (SPENCE BATE, 1888) e *Acetes americanus* (ORTMANN, 1893), espécies conhecidas por serem os principais itens alimentares em todas as suas fases ontogenéticas (BORNATOWSKI *et al.*, 2010; CARMOET *al.*, 2015; CHELLOTI e GADIG, 2023). CHELLOTI e GADIG (2023) realizaram um estudo comparativo sobre a ecologia trófica de *P. percellens* e *P. horkelii* no qual foi evidenciada a sobreposição de nicho entre ambas as espécies (0.85) através do índice de Schoener (S). A amplitude de nicho calculada (0.24) corrobora uma dieta especializada em crustáceos, como reportado por CARMOET *al.* (2015). Com níveis tróficos de 3.7 e 3.71 estimados, respectivamente, para o Sul e Sudeste brasileiro, *P. percellens* é posicionada como uma espécie mesopredadora (BORNATOWSKI *et al.*, 2010; CHELLOTI e GADIG, 2023). No entanto, ainda não se sabe o quanto desses itens alimentares é assimilado isotopicamente nos seus diferentes tecidos, sobretudo no tecido muscular, que é o mais comumente utilizado em análises de isótopos estáveis.

Assim como a maioria dos Chondrichthyes (HAMLETT *et al.*, 2005), a raia-viola é uma espécie vivípara lecitotrófica, com fecundidade uterina média de 1 a 5 embriões (NUNES, 2012; GADIG, 2013), em que fêmeas de grande tamanho desenvolvem embriões tanto maiores

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

12

em tamanho como em quantidade (ROCHA; GADIG, 2013) no Sudeste do Brasil. Segundo CALTABELLOTTA *et al.* (2019) (comunicação pessoal, 2019), as fêmeas amadurecem com 8.5 anos de idade e sua longevidade é estimada em 11 anos, resultando em um tempo geracional de 9.75 anos (POLLUM *et al.*, 2020). Os tamanhos de primeira maturação reportados para fêmeas e machos da população do Sudeste são de 58.3 cm e 54.8 cm, respectivamente (ROCHA e GADIG, 2013), ao passo que os tamanhos registrados para a população do Nordeste são de 43.2 cm para machos e 44.3 cm para as fêmeas, com 2.8 e 2.9 anos, respectivamente (NUNES, 2012). Apesar de serem oriundos de regiões com fatores abióticos significativamente distintos dos exemplares analisados em NUNES (2012), os dados de idade de primeira maturação e longevidade descritos na ficha de avaliação da IUCN (2020) parecem estar superestimados.

No que diz respeito aos parâmetros de crescimento, foi estimado para *P. percellens* coeficiente de crescimento relativo do modelo de Von Bertalanffy $k = 0.13$ para fêmeas e $k = 0.2$ para machos (CALTABELLOTTA *et al.*, 2019) ligeiramente abaixo da média constatada para os demais batóides cujas médias de crescimento estimadas variam entre $k = 0.2$ e $k = 0.5$ (CAILLIET e GOLDMAN, 2004), ao passo que os parâmetros estimados para *P. percellens* do Nordeste do Brasil (NUNES, 2012) são: $k = 0.24$; $L_{\infty} = 69.45$; e $t_0 = -1.23$.

De acordo com Branstetter (1990), espécies com k acima de 0.1 apresentam crescimento rápido, ao passo que k abaixo desse valor representa crescimento lento. Portanto, é intuitivo imaginar que espécies com crescimento rápido não são consideradas suscetíveis ao declínio populacional (MUSICK, 1999). Entretanto, causado pela pesca excessiva e possivelmente outras pressões antropogênicas já mencionadas, *P. percellens* experimenta uma redução populacional de 50 a 79% em três nas últimas 3 gerações (30 anos), motivo pelo qual a espécie se encontra em perigo de extinção (POLLUM *et al.*, 2020).

Pesca e estrutura populacional

Embora dados de estatística pesqueira e dinâmica populacional sobre *P. percellens* sejam escassos no Norte da América do Sul e na América Central, pescarias ocorrem intensamente nesses locais e nunca foram submetidas a qualquer política de manejo (POLLUM *et al.*, 2020). Na porção Caribenha da Colômbia, a pesca com arrasto de camarão na qual os estoques têm colapsado carece de quantificações robustas sobre o esforço

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

13

(POLLOM *et al.*, 2020). MENDOZA (2015) afirma que a Venezuela, embora possua intensa atividade pesqueira de pequena e grande escala que passaram por picos seguidos de declínios, nunca foi submetida a qualquer política de manejo. No Norte do Brasil, a pesca artesanal levou cerca de 44% dos estoques de elasmobrânquios à sobreexploração até o fim do ano 2000 (VASCONCELLOS *et al.* 2011). Nessa região, a pesca de arrasto e emalhe resultaram em declínios e consequentes extinções locais de inúmeras espécies de elasmobrânquios, como *Pristis pristis*, *Pristis pectinata*, *Isogomphodon oxyrinchus* (CHARVET e FARIA 2014, LESSA *et al.*, 2016; FEITOSA *et al.*, 2017; SANTANA *et al.*, 2020).

Até a primeira década dos anos 2000, *P. percellens* era frequentemente capturada como *bycatch* na pesca artesanal da costa Potiguar (Guamaré, Galinhos, Macau e Caiçara do Norte) (LIMA, 2007; NUNES, 2012; GARCIA *et al.*, 2015). Em Guamaré, Galinhos e Macau *P. percellens* era tipicamente capturada como *bycatch* na rede de arrasto com portas, apetrecho cujas dimensões tinham até 8 metros de abertura e 12 metros de comprimento e atuam em profundidades de 3 a 30 metros, em fundos de areia ou cascalho, relativamente planos e livres de obstáculos. A pesca de arrasto com portas é direcionada a camarões, podendo capturar mais esporadicamente algumas espécies de peixes que habitam o fundo, geralmente jovens de pequeno porte (GARCIA *et al.*, 2015).

Em Caiçara do Norte (NUNES, 2012), onde os principais aparelhos de pesca utilizados são o arrasto simples, arrasto duplo e redes de emalhar (LESSA *et al.*, 1986; GARSTIN *et al.*, 2018; NUNES, 2012), *P. percellens* vem se tornando cada vez mais incomum, efeito potencialmente ocasionado pela captura excessiva de indivíduos imaturos capturados como *bycatch* pela pesca de arrasto de praia direcionada ao camarão, atividade que ocorre até os dias atuais em áreas estabelecidas como berçário tanto para essa espécie como outros batóides (*Hypanus guttatus*, *Aetobatos narinari*, *Gyminura micrura* e *Narcine brasiliensis*) e tubarões (*Carcharhinus porosus*, *Rhizoprionodon porosus*) (YOKOTA e LESSA, 2006). LESSA *et al.* (2008) registraram capturas de *P. percellens* na pesca de arrasto de camarão e arrasto de praia (vulgarmente chamado de tresmalho) entre janeiro e junho de 2008. Dos 215 exemplares capturados 137 eram machos e 78 fêmeas, sendo 49 imaturos e 47 maduros capturados no arrasto de camarão (44.7%) e 73 imaturos e 43 maduros registrados no arrasto de praia (55.3% dos indivíduos). O tamanho de nascimento de *P. percellens* registrado em Caiçara do Norte está entre 14.8 e 16.7 cm de comprimento total e a

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

14

maturação sexual alcançada entre 39.6 e 45 cm de comprimento total (YOKOTA e LESSA, 2006). Adicionalmente, neonatos e jovens costumavam ser capturados majoritariamente pelo arrasto de camarão durante o ano inteiro, com jovens perfazendo 67.4% das capturas e o recrutamento pesqueiro que incidiu em indivíduos com cerca de 35 cm CT (LESSA *et al.*, 2008). A possibilidade de tamanho esforço pesqueiro atribuído predominantemente a neonatos e jovens ter ocorrido anualmente desde 2003 (NUNES, 2012) até os anos seguintes pôde ter resultado em declínio das capturas de *P. percellens* pelo arrasto de praia de camarão (LESSA *et al.*, 2008).

SOARES e FARIAS (2024) descrevem que a pesca de *Panulirus argus* (lagosta-vermelha) em Baía Formosa (RN) com covo ocorre entre maio e outubro de 0.5 a 140 m de profundidade, e a pesca de mergulho em profundidades menores.

Na costa de Pernambuco, *P. percellens* também era mais comumente capturada (comunicação pessoal), entretanto, capturas acidentais com rede de emalhe (tainheira) em Catuama, distrito de Goiana localizado nas dependências da APA de Santa Cruz, e em Itamaracá com rede de caçoeira são esporádicos.

Como constatado para *P. horkelii*, espécie endêmica do Atlântico Sudoeste (IUCN, 2020) que sofreu redução populacional em mais de 80% entre 1986 e 2001 resultante da sobrepesca, é suspeitado que *P. percellens* esteja passando por processo similar (POLLUM *et al.*, 2020). Com base na associação entre degradação das áreas costeiras e o baixo número de registros de indivíduos, foi estimado que a população de *P. percellens* foi reduzida de 50 a 79% nos últimos três tempos geracionais (cerca de 30 anos).

Tendo em vista os *drivers* de ameaça e sua associação aos atributos biológicos de *P. percellens*, estudos sobre genética de populações tanto da espécie supracitada quanto de *P. horkelii* foram desenvolvidos para fornecer informações acerca da diversidade genética através da análise de DNA mitocondrial e *single nucleotide polymorphisms* (SNPs) (CRUZ *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2023). Tais estudos sugerem que as populações de *P. percellens* analisadas das regiões Sul (Santa Catarina e Paraná) e Sudeste (três localidades do estado de São Paulo) do Brasil podem estar sofrendo um processo de expansão da sua área de distribuição motivada por altas taxas migratórias entre populações adjacentes (ROGERS e HARPENDING, 1992). Esse evento pode ser reflexo de uma estratégia evolutiva da espécie em manter, mesmo que fraca, a conectividade entre diferentes populações ao longo da sua

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

15

área de distribuição como uma resposta adaptativa à exploração excedente e redução da variabilidade genética (CRUZ *et al.*, 2023).

Em razão disso, CRUZ *et al.* (2023) investigaram a composição genética e estrutura populacional de *P. percellens* amostrados nas regiões Norte, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil através do uso de sequenciamento de DNA associado ao sítio de restrição de dupla digestão (ddRAD) como marcador genético. O estudo avaliou os níveis de variação genotípica entre os espécimes das regiões mencionadas; como a variação genética está estruturada nas populações tanto em escala local quanto global; se as populações do Norte, Nordeste, Sul e Sudeste ainda mantêm fluxo gênico; e como barreiras biogeográficas da costa brasileira influenciam a distribuição de *P. percellens*. Altos níveis de diferenciação genotípica a nível populacional entre regiões da costa brasileira revelaram que *P. percellens* está dividida em duas grandes linhagens, uma que compreende as regiões Norte e Nordeste, nas quais existe fraco fluxo gênico (Amapá, Pará e Pernambuco) e a outra que se distribui no Sudeste e Sul (entre São Paulo e Paraná), nas quais há alto fluxo gênico.

Embora *P. lentiginosus* seja conhecida como uma espécie que se distribui ao longo do Leste Atlântico, de Carolina do Norte (EUA) ao Norte do Golfo do México e Yucatan (México), LIMA (2007) já questionava a possível ocorrência dessa espécie na costa brasileira, uma vez que seu registro foi realizado apenas uma única vez por LESSA e YOKOTA (1998). Por essa razão, LIMA (2007) investigou diferenças morfométricas entre *P. percellens* e *P. lentiginosus* para testar a hipótese que questiona a ocorrência desta última em mares brasileiros. O estudo exibiu padrões que indicam a existência de dois grupos taxonômicos, dos quais um é compatível com as descrições de *P. lentiginosus*. Esses diagnósticos reforçaram, portanto, o registro de LESSA e YOKOTA (1998). Contudo, os estudos mais recentes sobre o gênero *Pseudobatos* questionam a ocorrência de *P. lentiginosus* na costa do Brasil, e suspeita-se que o grupo com o qual *P. percellens* foi comparada talvez seja uma nova espécie. Hoje, assume-se que tal registro foi, na verdade, de *P. percellens* (BARRETO, 2023). CRUZ *et al.* (2023) mostraram que *P. percellens* e *P. lentiginosus* exibem uma distância gênica de 1.3%, percentual que corrobora dados morfométricos e morfológicos de que existem dois grupos distintos (LIMA, 2007) e torna *P. percellens* um complexo de espécies crípticas a ser elucidado.

Ecosistemas marinhos exibem diferentes características abióticas devido a fatores

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

16

oceanográficos, biogeográficos e ecológicos ao longo dos quase 9000 km de extensão por onde *P. percellens* se distribui irregularmente (ROCHA e GADIG, 2013; HIRSCHFELD *et al.*, 2021). Entre as inúmeras barreiras ecológicas, a descarga de pluma do rio Amazonas (SULLIVAN-SEALY e BUSTAMANTE, 1999; GIACHINI-TOSETTO *et al.*, 2022) e temperatura da água (MENNIET *et al.*, 2010) são as mais notórias, uma vez que ambas alteram componentes físico-químicos da região continental do Norte do Brasil e podem atuar como barreiras para espécies irmãs, resultando no processo de especiação (ROCHA, 2003). Tal processo pode ser ocasionado por uma série de comportamentos migratórios de curta distância, que varia desde a presença de variações contínuas intergrupais sem isolamento reprodutivo, mesmo que com baixo fluxo gênico, até o completo e irreversível isolamento reprodutivo entre grupos (HENDRY *et al.*, 2009). Entretanto, a extensão de tais efeitos associados aos movimentos sazonais em um tempo evolutivo de longa escala permanece incerta (HENDRY *et al.*, 2009).

O processo evolutivo que envolve a especiação, seja peripátrica, parapátrica ou simpátrica, já foi reportado para algumas espécies de elasmobrânquios, a exemplo de *Sphyrna tiburo* (FIELDS *et al.*, 2016) e *Aetobatus narinari* (VICENT *et al.*, 2009), consideradas táxons complexos de espécies crípticas. Os elasmobrânquios exibem forte diversificação de linhagens e a especiação no grupo pode ocorrer em populações continuamente distribuídas (FIELDS *et al.*, 2016). Tais circunstâncias podem ser atribuídas à aparente não elucidação taxonômica presente nas populações descritas como *P. percellens*, sobretudo nas faixas de distribuição correspondentes ao Norte e Nordeste do Brasil, onde se constatou baixo fluxo gênico entre os espécimes.

A temperatura atua como um importante limitador biogeográfico para os Elasmobranchii, visto que a diversidade biológica desse grupo e suas diferenças nas zonas tropicais e temperadas estão diretamente condicionadas por essa variável (CARRILLO *et al.*, 2020). Ademais, no que diz respeito a variações latitudinais e verticais de temperatura, espécies com larga distribuição espacial exibem maior plasticidade fisiológica e, portanto, são mais resistentes a barreiras térmicas, ao passo que espécies cuja distribuição espacial é mais limitada, como *P. percellens*, desempenham baixa adaptabilidade frente a tais variações (DENNIZ; HELLBERG, 2010; HIRSCHFELD *et al.*, 2021).

O fato de *P. percellens* apresentar baixa similaridade genotípica entre espécimes das

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

17

regiões Norte e Nordeste e haver a existência de um grupo que se distingue morfometricamente dela (LIMA, 2007) sugere a existência de um complexo de espécies crípticas (ROCHA; GADIG, 2014). Dados do genoma completo através dos polimorfismos de um único nucleotídeo (da sigla em inglês SNPs) de *P. percellens* indicaram um alto grau de diferenciação genética entre espécimes das regiões norte e nordeste, em comparação com espécimes do sudeste/sul do Brasil. Tais diferenças genotípicas podem surgir a partir de determinados comportamentos de *P. percellens*, uma vez que esta espécie é conhecida por realizar movimentos de curta duração através de migrações sazonais (CRUZ *et al.*, 2023).

É fundamental salientar que as informações sobre diferenciação genética e estrutura populacional podem ter implicações importantes para os esforços de conservação, sobretudo, devido à possibilidade das populações encontradas entre as regiões Norte/Nordeste e Sul/Sudeste constituem um complexo de espécies crípticas (CRUZ *et al.*, 2023). A identificação de populações geneticamente distintas pode auxiliar na priorização de estratégias de manejo para proteger áreas com alta diversidade e manter a conectividade entre populações a fim de evitar perda de variabilidade genética. Entretanto, regiões onde *P. percellens* exibe baixa variabilidade genética e baixo fluxo gênico também devem ser submetidas a planos de ação conservacionistas, uma vez que constituem importantes áreas de berçário não apenas para *P. percellens*, mas também para outras espécies de elasmobrânquios que possuem importância comercial, como *Rhizoprionodon porosus*, *Carcharhinus acronotus*, *Carcharhinus limbatus*, *Hypanus marianae*, *Rhinoptera bonasus*, *Aetobatos narinari*, *Gymnura micrura*, entre outras (YOKOTA e LESSA, 2006).

Baseado nas informações precedentes, compreender os fatores que podem impulsionar a diferenciação genética mediante análise de elementos traços em vértebras e isótopos estáveis (técnicas de química analítica), a exemplo dos movimentos sazonais que implicam no modo como o habitat é utilizado por *Pseudobatos percellens*, pode contribuir para decisões de conservação mais bem direcionadas para essa espécie e outros táxons submetidos a pressões antrópicas semelhantes.

Além dos métodos clássicos de dinâmica de populações aplicados aos elasmobrânquios, como: estudos sobre idade, crescimento; biologia reprodutiva; CPUE (captura por unidade de esforço); mortalidade e demografia, estudos sobre o modo com o qual esses organismos utilizam os ecossistemas onde exercem sua função ecológica têm se

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

18

mostrado cada vez mais frequentes, a exemplo da química de vértebras. A química de vértebras, ou análise de elementos traços em vértebras, tem como objetivo estimar razões elementares relativas ao cálcio (Ca) entendidas como representações dos habitats utilizados pelas espécies ao longo da vida. Por exemplo: elevadas concentrações de estrôncio (Sr) podem apontar uso de ambientes de água salgada (alta salinidade), ao passo que o bário (Ba) pode indicar uso de habitats de água doce (baixa salinidade) com alta turbidez (COFFEY *et al.*, 1997) e sedimento terrígeno lamoso, características predominantemente encontradas nos estuários (MCMILLAN *et al.*, 2017; SMITH *et al.*, 2013, 2016). Em ecossistemas de baixa salinidade e alta concentração de matéria orgânica, como os manguezais, geralmente possuem altas concentrações de manganês (Mn), que pode sugerir hipóxia do meio (LIMBURG *et al.*, 2015; LIMBURG; CASINI, 2018; SMITH *et al.*, 2013). O magnésio (Mg) tem sido fortemente relacionado a ambientes de baixas temperaturas, bem como ao crescimento dos peixes e mudanças ontogenéticas (LIMBURG *et al.*, 2015; LIMBURG *al.*, 2018; HUSSY *et al.*, 2020).

Referências

LAST, P., White, W., de Carvalho, M., Séret, B., Stehmann, M. and Naylor, G. 2016. *Rays of the World*. CSIRO Publishing, Clayton.

LAST, P.R.; Seret, B.; Naylor, G.J. A new species of guitarfish, *Rhinobatos borneensis* sp. nov. with a redefinition of the family-level classification in the order Rhinopristiformes (Chondrichthyes: Batoidea). *Zootaxa* 2016, 4117, 451–475. [CrossRef] [PubMed].

BARRETO, Rodrigo. Primeiro Ciclo da Plano de Ação Nacional para a Conservação de Tubarões e Raias Marinho Ameaçados de Extinção. 2023.

BORNATOWSKI, H., Robert, M. D. C., & Costa, L. (2010). Feeding of guitarfish *Rhinobatos percellens* (Walbaum, 1972) (Elasmobranchii, Rhinobatidae), the target of artisanal fishery in southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 45-52.

CALTABELLOTTA, Fabio P. et al. Age and growth of three endemic threatened guitarfishes *Pseudobatos horkelii*, *P. percellens* and *Zapteryx brevirostris* in the western South Atlantic

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

19

Ocean. Journal of Fish Biology, v. 95, n. 5, p. 1236-1248, 2019.

CARMO, W. P. D., BORNATOWSKI, H., Oliveira, E. C., & Fávaro, L. L. (2015). Diet of the chola guitarfish, *Rhinobatospercellens* (Rhinobatidae), in the Paranaguá Estuarine complex. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2), 721–731.

CARRILLO-BRICEÑO, J.D.; Villafaña, J.A.; De Gracia, C.; Flores-Alcívar, F.F.; Kindlimann, R.; Abella, J. Diversity and paleoenvironmental implications of an elasmobranch assemblage from the Oligocene–Miocene boundary of Ecuador. *PeerJ*. 2020, 8, e 9051.

CERVIGÓN, Fernando. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América. 1992.

CHARVET, P. and FARIA, V. 2014. Southwest Atlantic Ocean. In: Harrison, L.R. and Dulvy, N.K. (eds), *Sawfish: A Global Strategy for Conservation*, pp. 48–49. International Union for the Conservation of Nature Species Survival Commission's Shark Specialist Group, Vancouver, Canada.

CHELOTTI, L. D. D., & Gadig, O. B. F. (2023). Comparative trophic ecology of two sympatric guitarfishes *Pseudobatos* (Chondrichthyes, Rhinobatidae) from Southeast Brazil, southwestern Atlantic. *Journal of Fish Biology*, 102(1), 248-257.

CRUZ VP, Adachi AMCL, Oliveira PH, Ribeiro GS, Paim FG, Souza BC, Rodrigues ASF, Vianna M, Delpiani SM, Díaz de Astarloa JM, Rotundo MM, Mendonça FF, Oliveira C, Lessa RP, Foresti F. Genetic diversity in two threatened species of guitarfish (Elasmobranchii: Rhinobatidae) from the Brazilian and Argentinian coasts: an alert for conservation. *Neotrop Ichthyol*. 2021; 19(2):e210012. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0012>

CRUZ, V. P., Rotundo, M. M., Charvet, P., Boza, B. R., Souza, B. C., Cerqueira, N. N., ... & Foresti, F. (2023). Investigating an unknown biodiversity: evidence of distinct lineages of the

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

20

endemic chola guitarfish *Pseudobatos percellens* Walbaum, 1792 in the Western Atlantic Ocean. **Diversity**, 15(3), 344.

DE, A.B.; Hellberg, M.E. Ecological partitioning among parapatric cryptic species. *Mol. Ecol.* 2010, 19, 3206–3225.

FEITOSA, L. M., Martins, A. P. B., & Nunes, J. L. S. (2017). Sawfish (Pristidae) records along the Eastern Amazon coast. *Endangered Species Research*, 34, 229-234.

FIELDS, A. T., Feldheim, K. A., Gelsleichter, J., Pfoertner, C., & Chapman, D. D. (2016). Population structure and cryptic speciation in bonnethead sharks *Sphyrna tiburo* in the south-eastern USA and Caribbean. *Journal of Fish Biology*, 89(5), 2219-2233.

GARCIA Jr J, Mendes LF, Sampaio CLS, Lins JE. Biodiversidade da Bacia Potiguar. Peixes da Plataforma Continental. Rio de Janeiro: Museu Nacional; 2015.

GARSTIN A, Oxenford HA. Reducing Elasmobranch bycatch in the Atlantic Sea bob (*Xiphopenaeuskroyeri*) trawl fishery of Guyana. *Gulf Caribb Rese.* 2018; 29(1): GCFI10–GCFI20. <https://doi.org/10.18785/gcr.2901.04>

GIACHINI-Tosetto, E.; Bertrand, A.; Neumann-Leitão, S.; Nogueira Júnior, M. The Amazon River plume, a barrier to animal dispersal in the Western Tropical Atlantic. *Sci. Rep.* 2022, 12, 537.

HAMLETT, William C. et al. Chondrichthyan parity, lecithotrophy and matrotrophy. In: *Reproductive biology and phylogeny of Chondrichthyes*. CRC Press, 2011. p. 405-421.

HENDRY, A.P.; Bolnick, D.I.; Berner, D.; Peichel, C.L. Along the speciation continuum in sticklebacks. *J. Fish Biol.* 2009, 75, 2000–2036. Hirschfeld, M.; Dudgeon, C.; Sheaves, M.;

BARNETT, A. Barriers in a sea of elasmobranchs: From fishing for populations to testing hypotheses in population genetics. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2021, 30, 2147–2163. Lessa, R. P.,

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

Nóbrega, M. D., Bezerra Jr, J. L., Santana, F., Duarte Neto, P., Hazin, F.,...& Monteiro, A. (2004). Dinâmica de populações e avaliação de estoques dos recursos pesqueiros da região nordeste. *Ministério do Meio Ambiente, Recife*.

LESSA, R.; Vooren, C. M.; Lahaye, J. Desenvolvimento e ciclo sexual das fêmeas, migrações e fecundidade da viola, *Rhinobatos horkelli* (Müller & Henle, 1841) do Sul do Brasil. *Atlântica*, Rio Grande. v. 8, p. 5-34, 1986.

LESSA, R. P., Barreto, R. R., Quaggio, A. L. C., Valença, L. R., Santana, F., Yokota, L., & Gianetti, M. D. (2008). Levantamento das espécies de elasmobrânquios capturados por aparelhos-de-pesca que atuam no berçário de Caiçara do Norte (RN).

LESSA, Rosangela; Batista, Vandick S.; Santana, Francisco M. Close to extinction? The collapse of the endemic daggnose shark (*Isogomphodon oxyrinchus*) off Brazil. **Global ecology and conservation**, v. 7, p. 70-81, 2016.

LIMA, Cristiane Rocha Albuquerque. Utilização de técnicas multivariadas e de morfometria geométrica na discriminação de espécies do gênero *Rhinobatos* (Família Rhinobatidae) do Nordeste do Brasil. 2007. 80 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MENDOZA, J.J. 2015. Rise and fall of Venezuelan industrial and artisanal marine fisheries: 1950-2010. In: #2015 - 27 (ed.), Working Paper Series. The University of British Columbia Fisheries Centre, Vancouver, Canada.

MENNI, Roberto; Stehmann, Matthias. Distribution, environment and biology of batoid fishes off Argentina, Uruguay and Brazil. A review. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Nueva Serie**, v. 2, n. 1, p. 69-109, 2000.

MIRANDA LV, Vooren CM. Captura e esforço da pesca de elasmobrânquios demersais no Sul do Brasil nos anos de 1975 a 1997. *Frente Marítimo*. 2003; 19(B):217–31.

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

22

MUSICK, J. A. (1999). Criteria to define extinction risk in marine fishes. *Fisheries*, 24(12), 6 – 14.

POLLOM, R., Charvet, P., Avalos, C., Blanco-Parra, MP, Derrick, D., Espinoza, E., Faria, V., Herman, K., Mejía-Falla, P.A., Motta, F., Nunes, J., Rincon, G. & Dulvy, N.K. 2020. *Pseudobatospercellens*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T161373A887217. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20203.RLTS.T161373A887217.en>

PONTUAL, H. (2002). Otolith microchemistry. In: *Manual of Fish Sclerochronology* (pp. 245– 307).

RAO, V.B.; Lima, M.C.D.; Franchito, S.H. Sesasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, 1993.

ROCHA, F.; Gadig, O.B.F. Reproductive biology of the guitarfish *Rhinobatos percellens* (Chondrichthyes, Rhinobatidae) from the São Paulo Coast, Brazil, western South Atlantic Ocean. *J. Fish Biol.* 2013, 82, 306–317.

RODRIGUES, D.T.; Gonçalves, W.A.; Spyrides, M.H.C.; Santos e Silva, C.M. Spatial and temporal assessment of the extreme and daily precipitation of the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite in Northeast Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, v. 41, n. 2, p. 549-572, 2019.

ROCHA, L.A. Patterns of distribution and processes of speciation in Brazilian reef fishes. *J. Biogeogr.* 2003, 30, 1161–1171.

ROGERS AR, Harpending H. Population growth makes waves in the distribution of pairwise genetic differences. *Mol Biol Evol.* 1992; 9(3):552–69. <https://doi.org/10.1093/journals.molbev.a040727>.

ROSA, R.S.; Gadig, O.B.F. Conhecimento da diversidade dos Chondrichthyes marinhos no

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

23

Brasil: A contribuição de José Lima de Figueiredo. Arq. Zool. 2014, 45, 89–104.

SANTANA, F. M., Feitosa, L. M., & Lessa, R. P. (2020). From plentiful to critically endangered: Demographic evidence of the artisanal fisheries impact on the smalltail shark (*Carcharhinus porosus*) from Northern Brazil. *PLos one*, 15(8), e0236146.

SULLIVAN-Sealy, K.; Bustamante, G. Setting Geographic Priorities for Marine Conservation in Latin America and the Caribbean; The Nature Conservancy: Arlington, VA, USA, 1999; p. 125.

VASCONCELLOS, M., Diegues, A.C. and Kalikoski, D.C. 2011. Coastal Fisheries of Brazil. In: Salas, R. Chuenpagdee, A. Charles and J.C. Seijo (eds), Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean, pp. 73-116. FAO, Rome.

VIANA, D. D. L., Lins-Oliveira, L. E., Antonio, M., & Carvalho de Souza, C. (2021). Ciências do Mar: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil.

WILLIS, J., Sunda, W.G., 1984. Relative contributions of food and water in the accumulation of zinc by two species of marine fish. *Mar. Biol.* 80, 273–279.

XU, Y., Wang, W.-X., 2002. Exposure and potential food chain transfer factor of Cd, Se and Zn in marine fish *Lutjanus argentimaculatus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 173, 173–186.

YOKOTA, Leandro; Lessa, Rosângela Paula. A nursery area for sharks and rays in Northeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, v. 75, p. 349-360, 2006.

ZHANG, L., Wang, W.-X., 2007a. Size-dependence of the potential for metal biomagnifications in early life stages of marine fish. *Environ. Toxicol. Chem.* 26, 787–794.

ZHANG, L., Wang, W.-X., 2005. Effects of Zn pre-exposure on Cd and Zn bioaccumulation and metallothionein levels in two species of marine fish. *Aquat. Toxicol.* 73, 353–369.

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

24

ZHANG, L., Wang, W.-X., 2007b. Gastrointestinal uptake of cadmium and zinc by amarine teleost *Acanthopagrus schlegeli*. *Aquat. Toxicol.* 85, 43–153.

Artigo para publicação (Estuarine, coastal and shelf science)

Análise de uso de habitats essenciais através da química de vértebras de uma espécie em perigo de extinção, raia-viola (*Pseudobatos percellens*) no Nordeste do Brasil

Abstract

Distributed throughout the Western Central and Southeastern Atlantic Ocean, from Quintana Roo (Mexico) to Paraná, in Southern Brazil, *Pseudobatos percellens* is a Rhinobatidae categorized globally as endangered according to the IUCN and as vulnerable in Brazilian waters, according to ICMBio. The aim of this study is to describe the use of essential habitats by *P. percellens* in Northeastern Brazil through the chemical analysis of vertebrae (^{25}Mg , ^{55}Mn , ^{66}Zn , ^{138}Ba and ^{86}Sr). A set of 20 specimens was sampled in Baía Formosa (Rio Grande do Norte), where *P. percellens* is a bycatch in bottom gillnets with targeted fishing for *Panulirus argus* (red lobster). Chemical analysis revealed significant differences in ^{66}Zn concentrations for life stages (embryo, neonate, juvenile and mature) and sex, whereas ^{86}Sr exhibited significant difference only between life stages. The other elements did not show statistically significant variation. ^{55}Mn concentrations indicated possible sexual activation and migration to hypoxic (deeper areas) zones in adulthood. ^{86}Sr concentrations indicate exclusive use of zones with significant variation between exclusively saline zones by aggregated males and females. ^{66}Zn variations were possibly due to maternal physiological processes and ontogenetic changes in diet. However, the absence of a conclusive direct relationship between diet and Zn accumulation in the vertebrae suggests that physiological factors may play a determining role in the incorporation of this element. The lack of older specimens unables definitive inferences about the use of deep or estuarine habitats in regards to Mn concentrations, highlighting the need for future sampling that encompasses larger size and age classes, especially in regions under greater fluvial influence and terrigenous sediments. These results underscore the importance of considering regional oceanographic and ecological characteristics when assessing habitat use by *P. percellens*, since populations in the Brazilian Northeast demonstrate distinct patterns compared to those in the South and Southeast of the country, especially regarding their population genetic structure. The results expand knowledge about the ecology of this endangered species and emphasize the need to create more appropriate action plans aimed at preserving its essential habitats.

Keywords: ecology; hypoxic zones; saline waters; extinction; migration.

Introdução

O conhecimento da biologia dos elasmobrânquios é fator determinante para conhecer os níveis de exploração pesqueira aos quais o grupo está submetido, levando em conta tanto sua estratégia biológica quanto características que limitam a reação dos estoques à mortalidade excedente, decorrente da estreita relação entre estoque e recrutamento (Holden, 1974). Assim como a maioria dos elasmobrânquios, *Pseudobatos percellens* é k estrategista, pois possui crescimento relativamente lento, maturação sexual tardia, alta longevidade e baixa taxa de fecundidade (Holden, 1974; Nunes, 2012). Tais características intrínsecas associadas à sobrepesca de indivíduos imaturos como *bycatch* no arrasto de praia e arrasto de camarão desde 2003 (Lessa *et al.*, 2008; Nunes, 2012) até seus últimos registros oficiais em 2011 (Nunes, 2012) em Caiçara do Norte (RN) (05°04'S e 36°03'W) podem ter agravado seu estado de ameaça.

Por se tratar de uma técnica que não exige um grande número amostral, a análise química de vértebras consiste em um método apropriado para avaliar táxons que experimentam processos de extinção atualmente, como *P. percellens*. Essa técnica tem sido amplamente utilizada para descrever o uso de possíveis áreas reconhecidas como habitats essenciais e prioritárias à conservação (Feitosa *et al.*, 2020; Lewis *et al.*, 2016; Mohan *et al.*, 2018; Tillett *et al.*, 2011). Ademais, a química de vértebras pode fornecer reconstruções ambientais do passado, como tem sido realizado pela composição isotópica de dentes fossilizados de elasmobrânquios (Fischer *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2014).

A química de vértebras possibilita estimar razões elementares relativas ao cálcio (Ca) entendidas como “proxies” para os habitats que as espécies usam ao longo da vida. Por exemplo, maiores concentrações de bário (Ba) indicam maior uso de habitats dulcícolas, ao passo que concentrações mais elevadas de estrôncio (Sr) sugerem uso de habitats marinhos (McMillan *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2013, 2016). O magnésio (Mg) e manganês (Mn) têm sido fortemente correlacionados, respectivamente, a baixas temperaturas e oxigênio dissolvido (Limburg *et al.*, 2015; Limburg e Casini, 2018; Smith *et al.*, 2013), embora estes também apresentem relações com processos fisiológicos (Hussy *et al.*, 2020) associados ao crescimento, ontogenia e salinidade (Hussy *et al.*, 2020).

Globalmente *P. percellens* está classificada como em perigo de extinção (EN) (Pollom *et*

al., 2020) e regionalmente como vulnerável (VU) (ICMBio, 2018). Suspeita-se que seu estado de ameaça esteja ainda mais crítico, uma vez que estudos recentes apontam que *P. percellens* é uma espécie com baixa diversidade genética e baixo fluxo gênico (Cruz *et al.*, 2023). Além do preocupante estado de conservação das suas populações, o fato de indivíduos imaturos terem sido comumente capturados acidentalmente no arrasto de praia e de camarão na costa do Rio Grande do Norte (Lessa *et al.*, 2008, Nunes, 2012, Garcia *et al.*, 2015) reforça a necessidade de obterem-se informações que abordem aspectos da história de vida da espécie, como o uso de ecossistemas ocupados ao longo da sua faixa de distribuição.

Desse modo, informações básicas a respeito da história natural e formas com a qual as populações se estruturam são cruciais para o estabelecimento de planos de ação conservacionistas efetivos. Para tanto, é de suma importância que lacunas de conhecimento quanto aos padrões de movimentação de *P. percellens* sejam preenchidas, uma vez que existe a suspeita da sua ocorrência se limitar a ecossistemas com características bastante definidas. Tais fatores podem resultar em baixa plasticidade adaptativa, o que somado à baixa diversidade genética (Cruz *et al.*, 2023), potencializam a vulnerabilidade da espécie à extinção. Desse modo, o presente trabalho objetivou identificar e descrever o uso de habitats essenciais de *P. percellens* através da química de vértebras na costa oriental do Rio Grande do Norte.

Materiais e métodos

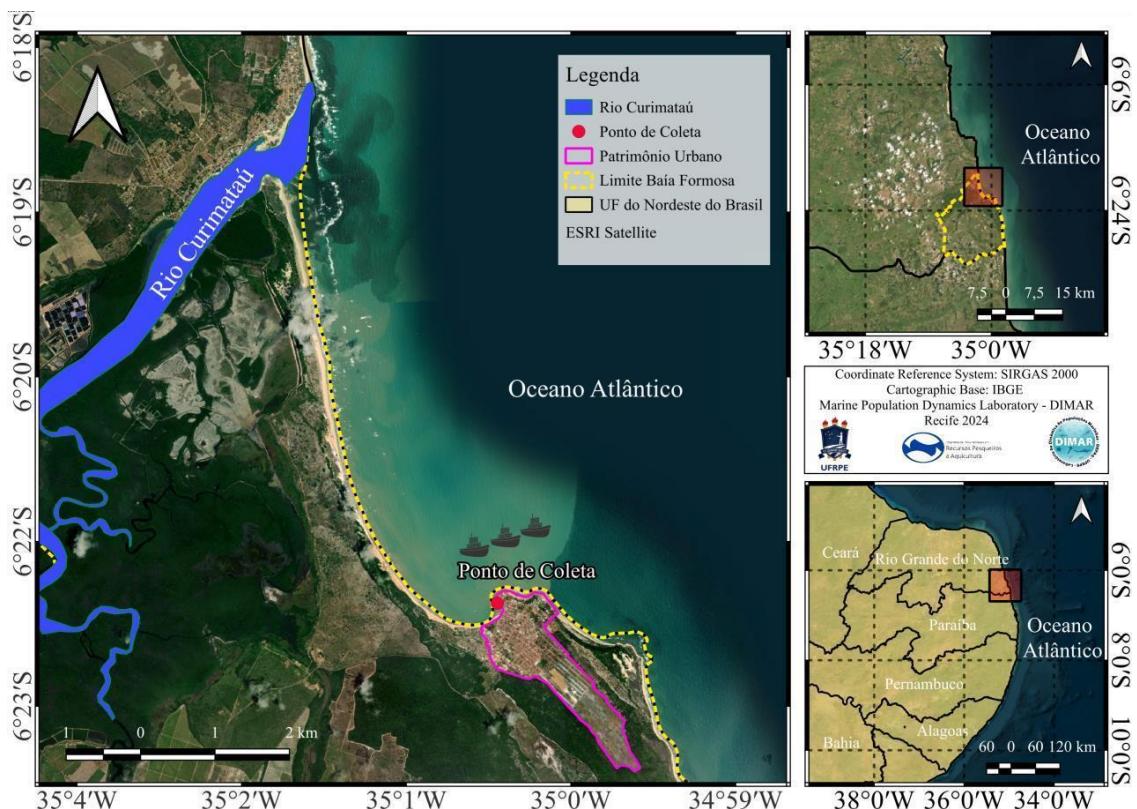
Área de amostragem

Os espécimes de *P. percellens* foram obtidos por meio de amostragens de desembarques da pesca artesanal que utiliza rede de emalhe de fundo em Baía Formosa, Rio Grande do Norte (Fig. 1), onde são comumente capturados como *bycatch*. Os exemplares embarcados vivos são frequentemente devolvidos ao mar, e os mortos são descartados ou consumidos pela comunidade pesqueira.

Localizado no litoral Oriental do estado do Rio Grande do Norte, o município de Baía Formosa (06°22'08,4" S e 35°00'28,8" O) faz limites ao Sul com o Estado da Paraíba, a Leste com o Oceano Atlântico, e Norte e Oeste com o município de Canguaretama. Baía Formosa, assim como maior parte da costa do Nordeste brasileiro, exhibe clima litorâneo úmido, recebendo grande influência da massa de ar tropical atlântica (Viana *et al.*, 2021). A estação

chuvosa ocorre no inverno, entre os meses de março e junho, ao passo que a estação seca ocorre no verão, entre agosto e outubro (Rao *et al.* 1993; Rodrigues *et al.*, 2019).

A rede de emalhe de fundo, também conhecida como rede de espera, consiste de uma arte de pesca passiva, na qual os peixes ficam retidos na malha e pode ter tamanhos variados a depender da espécie alvo da pescaria (Lessa *et al.*, 2009). Segundo Lessa *et al.* (2009), as redes de emalhe de fundo são constituídas de nylon com monofilamento, cujas dimensões variam entre 0.8 e 3.6 km, com malhas de 3.5 a 13 cm entre nós opostos e altura de 2 metros, contudo, tais informações podem estar desatualizadas, uma vez que a última caracterização do emalhe de fundo foi realizado até 2004. Essa atividade pesqueira incide em distâncias que variam de 2 a 3 km da costa, com profundidades que abrangem de 15 a 19.5 m (comunicação pessoal) e tem como espécie alvo a lagosta vermelha (*Panulirus argus*). Ademais, as redes apresentam comprimento e a altura média, respectivamente, de 55.5 e 3 m, com as malhas (entrenós) medindo em torno de 65 mm (comunicação pessoal). Os barcos utilizados na pesca são do tipo jangada.



Amostragem

Depois de desembarcados, os exemplares de *P.percellens* foram identificados, sexados, pesados e algumas medidas biométricas foram registradas, como comprimento total (CT), comprimento zoológico (CZ), largura da boca, comprimento interdorsal (ID), peso total (PT) e peso eviscerado (PE) em gramas, bem como estágios de vida (neonato, jovem e adulto), segundo as descrições de Nunes (2012).

Processamento das vértebras

A preparação das amostras seguiu procedimentos padrões típicos aos realizados para estudos de idade e crescimento de elasmobrânquios (Fig. 2). Baseado em McMillan *et al.* (2017), vértebras armazenadas em solução de etanol e subsequentemente limpas foram congeladas a uma temperatura de -20°C . Devido à sua concavidade, as vértebras foram embebidas em resina poliéster e, depois de etiquetadas, cortadas com ajuda de serra metalográfica de baixa velocidade e disco de corte diamantado.

Os anéis de crescimento foram observados e contados em cada corte com o uso de um microscópio estereoscópico para determinar as idades dos exemplares baseado em Nunes (2012), cuja formação dos anéis de crescimento segue um padrão anual (Fig. 2). Posteriormente, as secções vertebrais foram submetidas ao peróxido de hidrogênio 30% num intervalo de 10 minutos e posteriormente lavadas em água deionizada por 40 minutos com o uso de uma lavadora ultrassônica, secas em temperatura ambiente e armazenadas em sacos plásticos até a análise dos elementos químicos. As análises elementares foram realizadas pelo grupo MARBEC com o auxílio de um espectrômetro de massa com ablação a laser (Sistema de Ablação a Laser em combinação com a espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado – LA-ICPMS), localizado no laboratório OREME, da Universidade de Montpellier, na França (MARBEC/IRD).

As ablações a laser foram realizadas linearmente em transectos do centro à borda das vértebras ao longo do *corpus calcareum* (Feitosa *et al.*, 2021) a partir das quais as concentrações elementares foram mensuradas. A pré-ablação (taxa de pulso de 4 Hz, energia 7 J cm^{-2} , velocidade de $20\text{ }\mu\text{m s}^{-1}$, e diâmetro do laser de $110\text{ }\mu\text{m}$) foi utilizado para limpar a superfície das vértebras ao longo do transecto antes de cada mensuração (Labonne *et al.*, 2024). Posteriormente, transectos de ablação foram realizados ao longo do mesmo raster da

pré-ablação, porém com parâmetros diferentes, a saber: taxa de pulso 7 Hz, energia de 4 J.cm⁻², velocidade de 15 μm.s⁻¹ e diâmetro do laser de 85 μm. Para calibração externa e correção da conversão de cps em ppm, uma referência de material de vidro (NIST 612 — National Institute of Standard and Technology, Gaithersburg, MD, EUA) foi analisado no início e no final de cada sessão (duas réplicas) e após cada 5 amostras. Outro material de referência (MACS 3, United States Geological Survey, Lakewood, CO, EUA) foi analisado no início e no fim de cada sessão para avaliar a precisão da máquina e o controle de qualidade (Labonne *et al.*, 2024). Para remover o gás residual da amostra que poderia interferir na análise, a câmara do laser foi purificada por 1 minuto antes de cada análise de transecto. Para cada análise, foram aplicados 40 segundos de medição em branco com o laser desligado, e um tempo máximo de ablação de 2.09 minutos dependendo do tamanho da vértebra (Labonne *et al.*, 2024). Todos os dados brutos foram processados com o uso do pacote *elementR* (Sirot *et al.*, 2017) para converter leituras de elementos de CPS (contagem por segundo) em ppm (partes por milhão) utilizando uma concentração de 35% de cálcio como padrão interno para todas as vértebras analisadas (Feitosa *et al.*, 2021). Tal procedimento permite cálculos simultâneos de concentração (ppm) para todos os elementos químicos, correção para possível desvio da máquina e realinhamento (Sirot *et al.*, 2017).

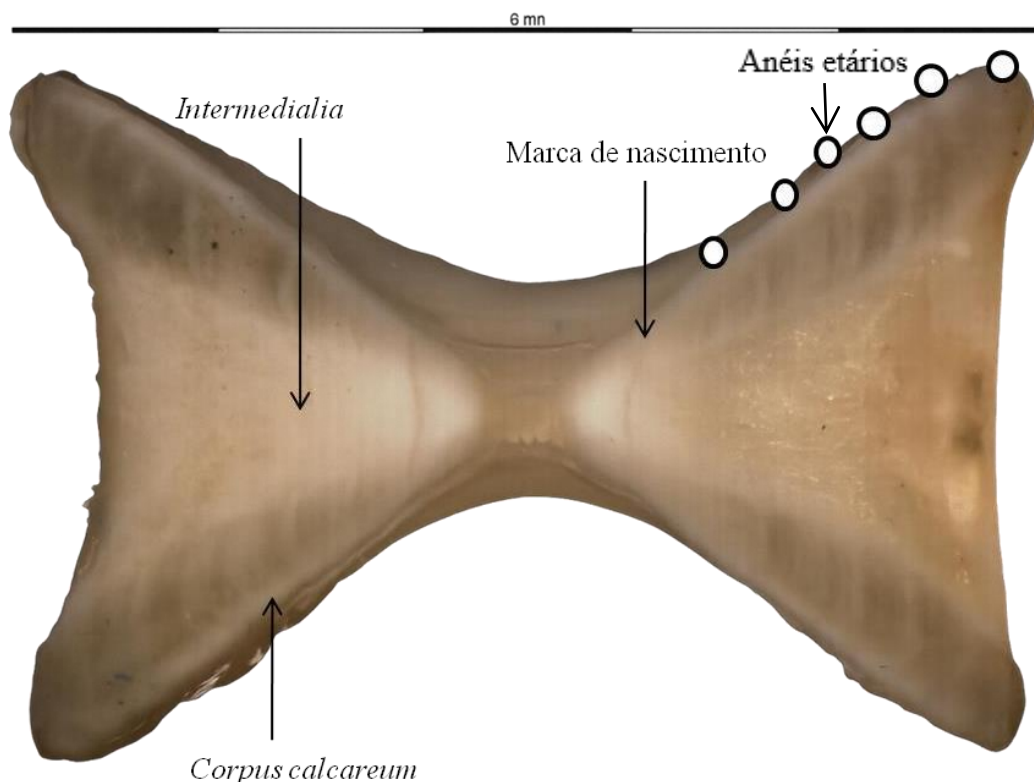


Fig. 2. Vértebra de uma fêmea de *P. percellens* de 66.5 cm capturada em Baía Formosa. Destacados pelas setas pretas são a marca de nascimento, *corpus calcarium* e *intermedialia*. Os anéis etários estão destacados por círculos brancos.

Análise de dados

Um total de onze elementos (^{86}Sr , ^{138}Ba , ^{55}Mn , ^{66}Zn , ^{25}Mg , $^{\text{Li}}7$, ^{65}Cu , ^{208}Pb , ^{59}Co , ^{60}Ni , ^{52}Cr e ^{53}Cr) foram detectados e submetidos a análises uni e multielementares para identificar movimentações espaciais e uso de habitat (Tillett *et al.*, 2011; McMillan *et al.*, 2018; Doubleday *et al.*, 2018, Raoult *et al.*, 2018) entre estágios de vida (embrião, neonato, jovem e adulto) e sexos. O uso do habitat por fases de vida é mais significativo do que por base anual. Portanto, as análises foram atribuídas a: embriões, neonatos, jovens e adultos.

Dada a normalidade da distribuição dos dados através de Shapiro-Willk e sua homocedacidade mediante teste de Levene, análises de variância (ANOVAs) unielementares foram usadas para avaliar eventuais diferenças entre as médias das concentrações das razões elemento:Ca entre grupos. Os níveis da variável categórica estágio de vida foram: embrião, neonato, jovem e maduro, enquanto para sexo foram macho e fêmea, bem como a interação

entre ambos. Valores de significância estatística foram baseados em $p < 0.05$ (significativo) e $p > 0.05$ (não significativo).

Razões elementares que apresentaram $p < 0.05$ foram submetidas a testes *post hoc* de interação de Tukey entre os níveis pertencentes a cada grupo. Gráficos de perfil unielementar e análises de componentes principais (PCAs) foram realizados para ilustrar possíveis agrupamentos entre sexos e estágios de vida. A primeira PCA considerou as onze razões elementares: Mg:Ca; Mn:Ca; Zn:Ca, Sr:Ca; Ba:Ca; Li:Ca; Ni:Ca; Pb:Ca; Cr:Ca; Cu:Ca e Co:Ca, ao passo que a segunda e a terceira perfizeram estritamente as cinco primeiras razões elementares supracitadas. A segunda e terceira PCAs foram separadas pela presença e ausência da fase embrionária, respectivamente. Subsequentemente, gráficos de caixa foram gerados para demonstrar variações das concentrações elementares em função do sexo/estágio para cada um dos cinco principais elementos analisados. Gráfico de perfis com médias das concentrações foram construídos, sendo as leituras de Sr:Ca, Ba:Ca, Mn:Ca e Mg:Ca utilizadas para comparar estágios de vida, e as leituras de Zn:Ca para comparar ambos os fatores mencionados. Todo o procedimento analítico foi realizado em rotinas no programa R (R Core Development Team, 2024), adotando nível de significância < 0.05 .

Resultados

Todos os elementos utilizados na análise química exibiram valores acima do limite de detecção (LOD = *limits of detection*) para todos os exemplares. As concentrações de Ba:Ca e Sr:Ca variaram de 0.000145 a 0.000907 ppm (média= 0.00635 ± 0.000635) e 0.00309 ppm a 0.00852 ppm (média= 0.000326 ± 0.000101), respectivamente, ao passo que as razões de Mg:Ca variaram entre 0.0057 ppm e 0.0200 ppm (0.0115 ± 0.002467), com variância de 0,000218. Por último, concentrações de Zn:Ca variaram de 0.000048 a 0.000066 (0.000168 ± 0.000089) e de Mn:Ca variaram entre 0.0000150 e 0.000309 ppm (0.009366 ± 0.005203).

As razões multielementares de Mg:Ca, Mn:Ca, Zn:Ca, Ba:Ca, Sr:Ca, Co:Ca, Ni:Ca, Li:Ca, Pb:Ca, Cu:Ca e Cr:Ca apresentaram baixa variação entre estágios de vida (embrião, neonato, jovem e maduro) e sexo (fêmea). Tal fato foi confirmado pela PCA, na qual os primeiros componentes somaram apenas 43.5% da variação dos dados (Fig. 3).

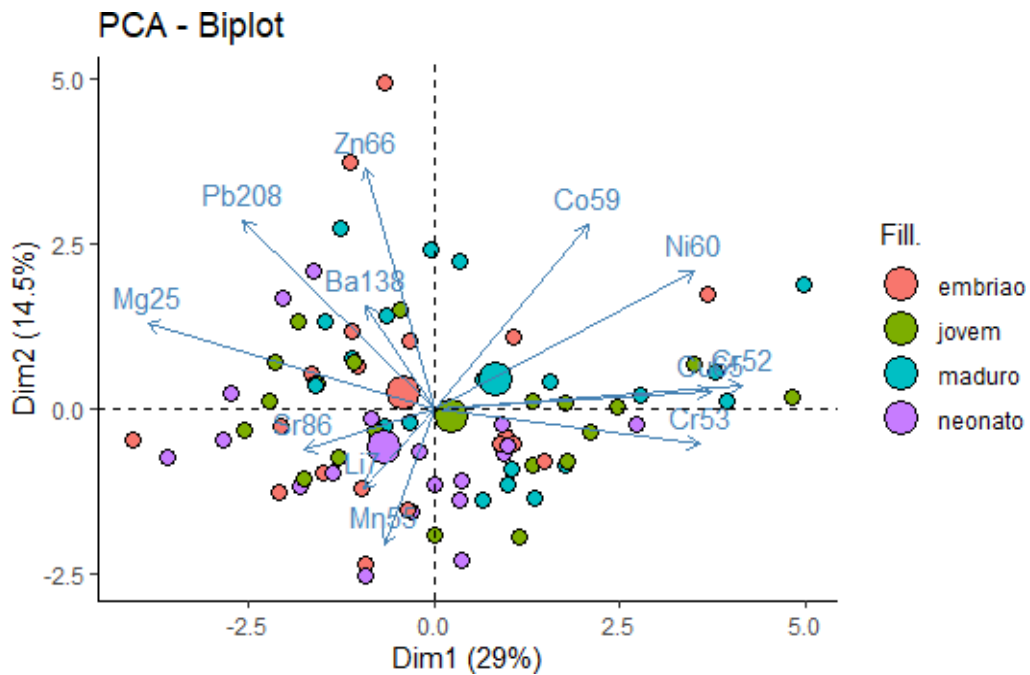


Fig. 3. Análise de componentes principais multielementar (^{86}Sr , ^{138}Ba , ^{55}Mn , ^{66}Zn , ^{25}Mg , ^7Li , ^{65}Cu , ^{208}Pb , ^{59}Co , ^{60}Ni , ^{52}Cr e ^{53}Cr) por estágio (embrião, neonato, jovem e maduro) e sexo combinado (macho e fêmea).

Quando considerados exclusivamente os elementos que mais explicaram a variabilidade dos dados na PCA anterior (manganês, bário, estrôncio, zinco e magnésio), os centróides correspondentes aos embriões, neonatos, jovens e maduros também evidenciaram uma alta sobreposição na composição multi-elementar entre tais estágios de vida (Fig. 4).

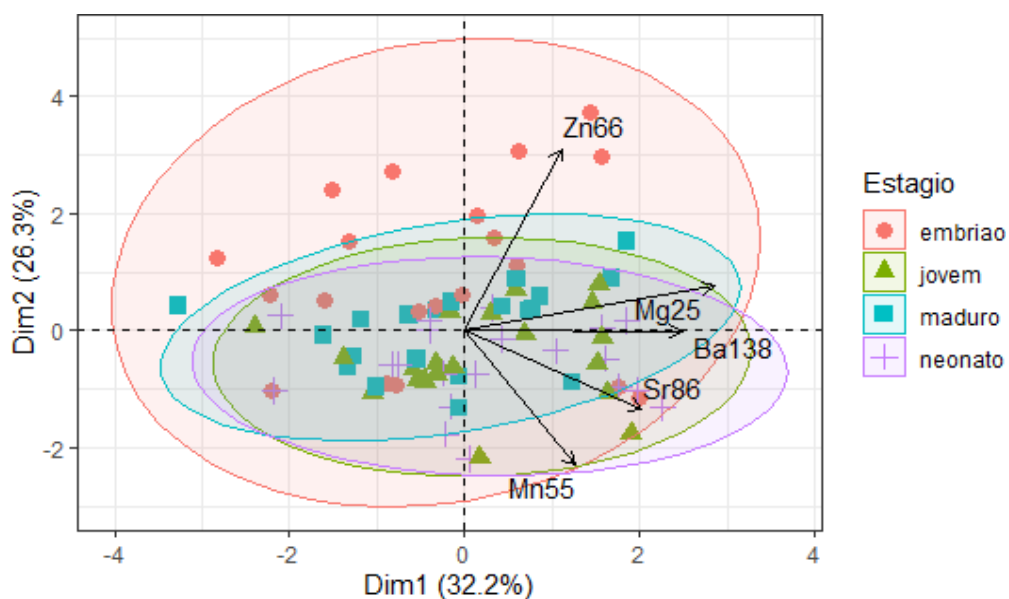


Fig. 4. Representação do agrupamento das concentrações médias das cinco razões elementares mais utilizadas em análise química em vértebras de elasmobrânquios por cada estágio de vida (embrião, neonato, jovem e maduro) e sexo combinado através da análise de componentes principais (PCA).

As ANOVAs que contemplam o estágio embrionário exibiram diferenças significativas para estágio de vida e sexo em ^{66}Zn e apenas para o último fator mencionado em ^{86}Sr . As ANOVAs testadas com a interação entre estágio e sexo configuraram valores estatisticamente insignificantes (tabela 1).

Tabela 1. ANOVAs testadas com sexo e estágio de vida (embrião, neonato, jovem e maduro) como fatores e a interação entre ambos com seus respectivos valores de significância estatística (p) e estatística F. Diferenças significativas estão destacadas em negrito.

Elemento	ANOVA (com embrião)					
	Estágio		Sexo		Interação estágio: sexo	
	Estatística F	P valor	Estatística F	P valor	Estatística F	P valor
^{66}Zn	8.393	0.0000739	7.205	0.00902	0.249	0.86185
^{86}Sr	11.620	0.00000269	1.143	0.289	0.385	0.764
^{55}Mn	1.389	0.253	0.680	0.412	1.744	0.166
^{25}Mg	0.024	0.995	0.451	0.504	0.008	0.999
^{138}Ba	1.136	0.3403	3.552	0.0635	0.014	0.9978

As variações de concentrações ilustradas através de gráficos de caixa para cada estágio de vida e sexo (Fig. 5 e Fig. 7) e perfis gerais de concentrações elementares de bário, estrôncio, manganês e zinco (Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11) foram corroboradas pelos resultados estatísticos até então obtidos.

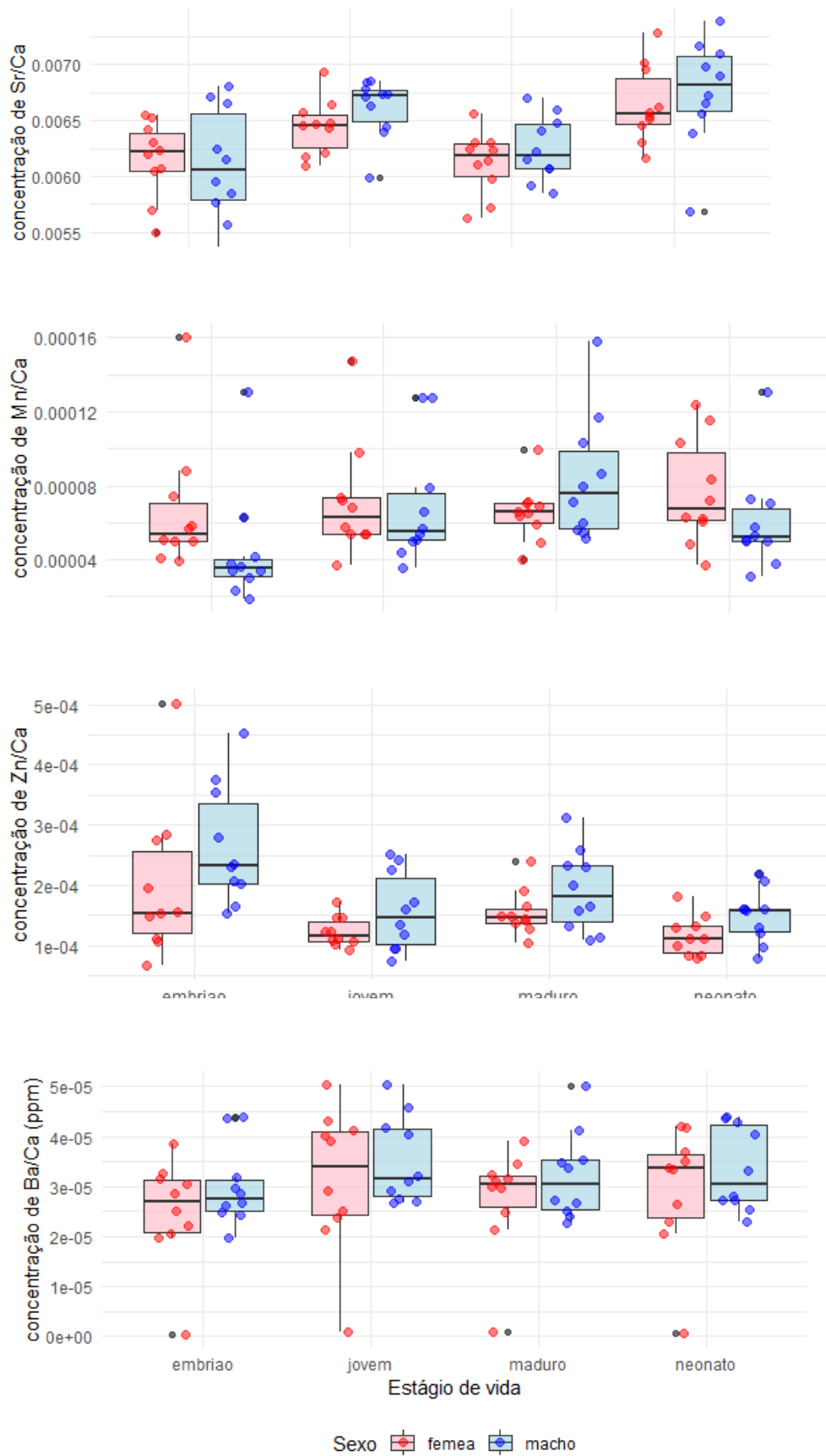


Fig. 5. Variação e distribuição de razões elemento:Ca para ^{86}Sr , ^{55}Mn , ^{66}Zn e ^{138}Ba por estágio de vida e sexo em gráficos de caixa. Pontos em vermelho representam as fêmeas e pontos em azul representam machos. Estágio embrionário foi considerado nesta análise.

Visto que diferenças significativas atribuídas ao sexo e estágio de vida foram registradas pela ANOVA para Zn:Ca e apenas em estágio para Sr:Ca, interações par-a-par de Tukey foram empregados para revelar quais grupos mais diferem entre si. Concentrações de ^{66}Zn detectadas nas fêmeas neonatas registraram as maiores diferenças comparado aos machos maduros ($p= 0.0109$), seguido pelas fêmeas jovens ($p= 0.0282$). Em contrapartida, os estágios de vida que mais se diferiram entre si para a razão Sr:Ca foram: jovem e embrião ($p= 0.0033$); neonato e embrião ($p<0.0001$); maduro e jovem ($p= 0.0169124$); e por último, neonato e maduro ($p= 0.0001159$).

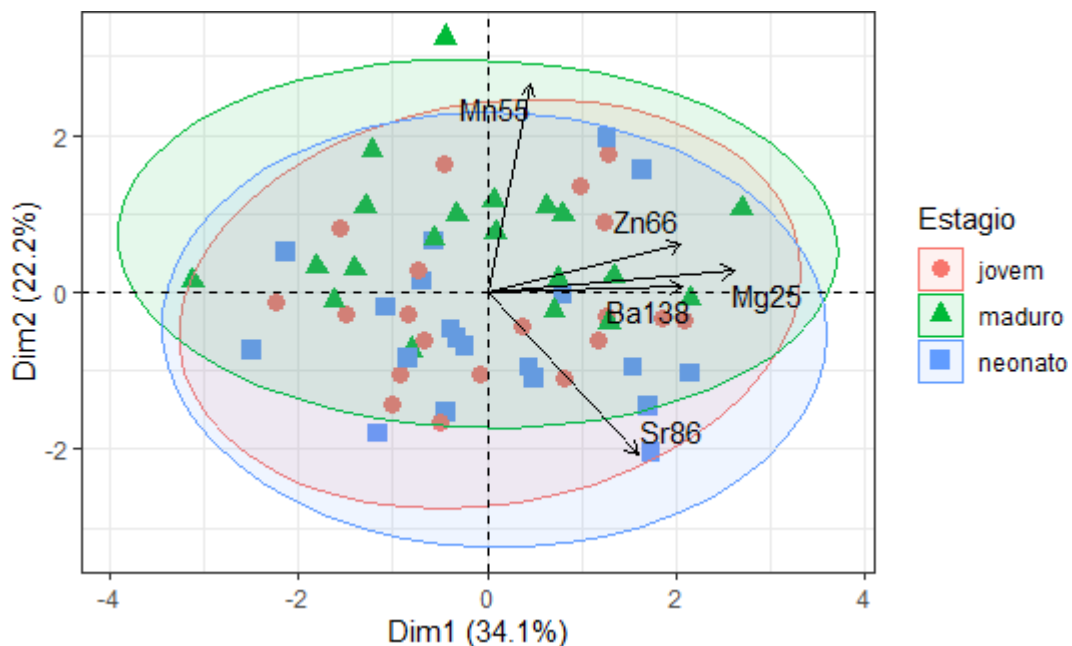


Fig. 6. Representação do agrupamento das concentrações médias das cinco razões elementares mais utilizadas na análise química com elasmobrânquios por cada estágio de vida (neonato, jovem e maduro) e sexos combinados.

Dada a ampla dispersão das médias de concentrações correspondentes à fase embrionária na PCA, outra análise com a mesma abordagem na qual os embriões foram subtraídos também exibiu uma sobreposição significativa entre neonatos, jovens e adultos (Fig. 6).

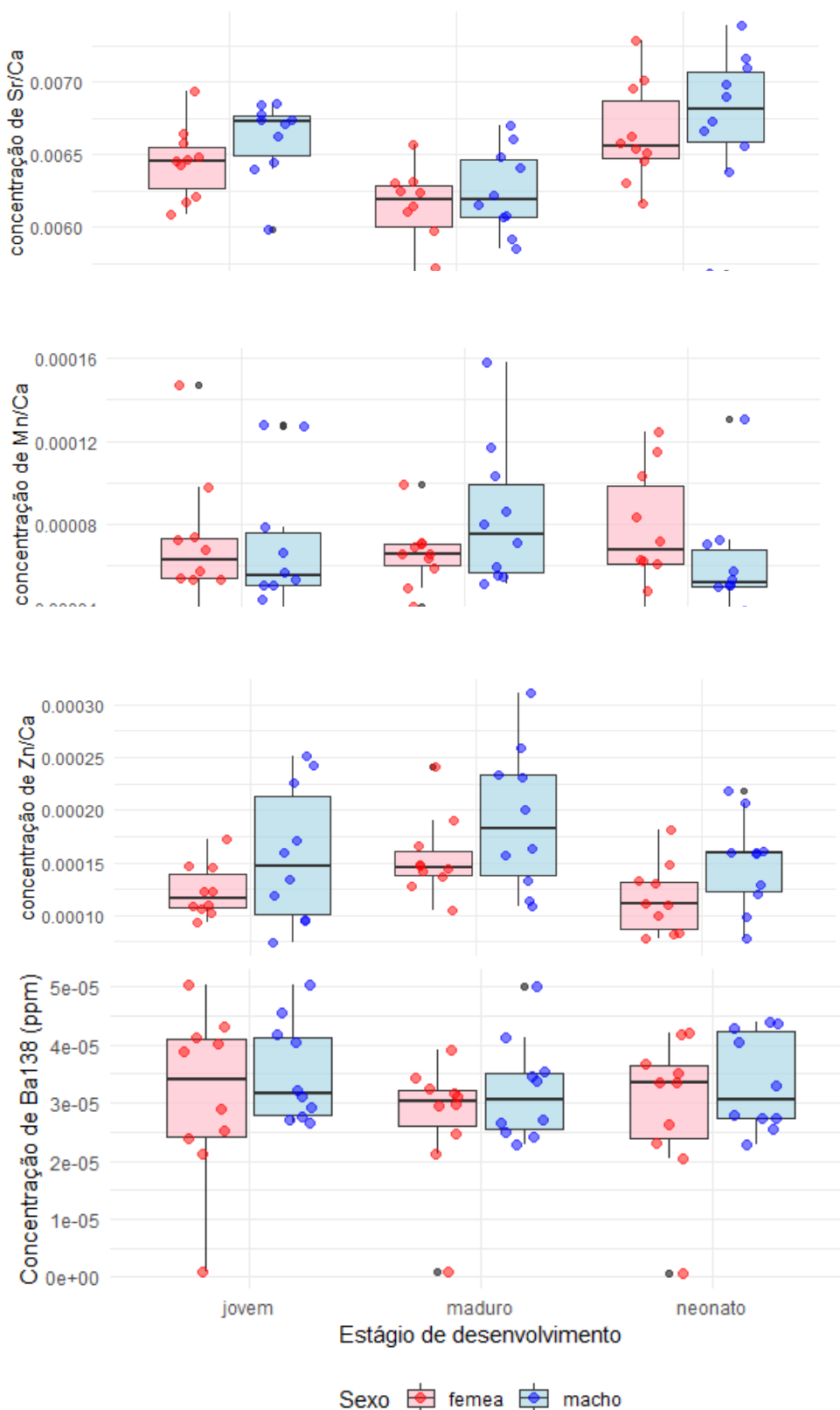


Fig. 7. Variação e distribuição de razões elemento:Ca para ^{86}Sr , ^{55}Mn , ^{66}Zn e ^{138}Ba por estágio de vida (neonato, jovem e maduro) e sexo em gráficos de caixa. Pontos em vermelho

representam as fêmeas e pontos em azul representam machos. Estágio embrionário foi desconsiderado nesta análise.

Assim como para as análises em que os embriões foram considerados, ANOVAs aplicadas ao conjunto de dados removendo o efeito desse estágio encontraram diferenças significativas para estágio de vida e sexo em ^{66}Zn e apenas para o último fator mencionado em ^{86}Sr . As ANOVAs testadas com a interação entre estágio e sexo resultaram valores estatisticamente insignificantes (tabela 2).

Tabela 2. ANOVAs testadas com sexo e estágio de vida (neonato, jovem e maduro) como fatores e a interação entre ambos com seus respectivos valores de significância estatística (p) e estatística F. Valores em negrito destacam testes de hipótese estatística com diferença significativa.

Elemento	ANOVA (sem embrião)					
	Estágio		Sexo		Estágio:sexo	
	Estatística F	P valor	Estatística F	P valor	Estatística F	P valor
^{66}Zn	4.057	0.0228	7.746	0.0074	0.007	0.9931
^{86}Sr	12.618	0.0000319	2.526	0.118	0.035	0.965
^{55}Mn	0.218	0.805	0.000	0.984	1.812	0.173
^{25}Mg	0.030	0.971	0.396	0.532	0.009	0.991
^{138}Ba	0.538	0.587	2.277	0.137	0.009	0.991

O perfil das concentrações médias de Sr/Ca (Fig. 8) indica que os exemplares desde a fase embrionária até a metade da fase jovem, isto é, de 0 a cerca de 2.5 anos partem de um ambiente com alta salinidade para outro ainda mais salino. Do início da fase adulta, com cerca de 3 anos de idade, até o momento de captura as concentrações médias de estrôncio reduzem gradualmente até atingirem os mesmos níveis marcados na fase embrionária.

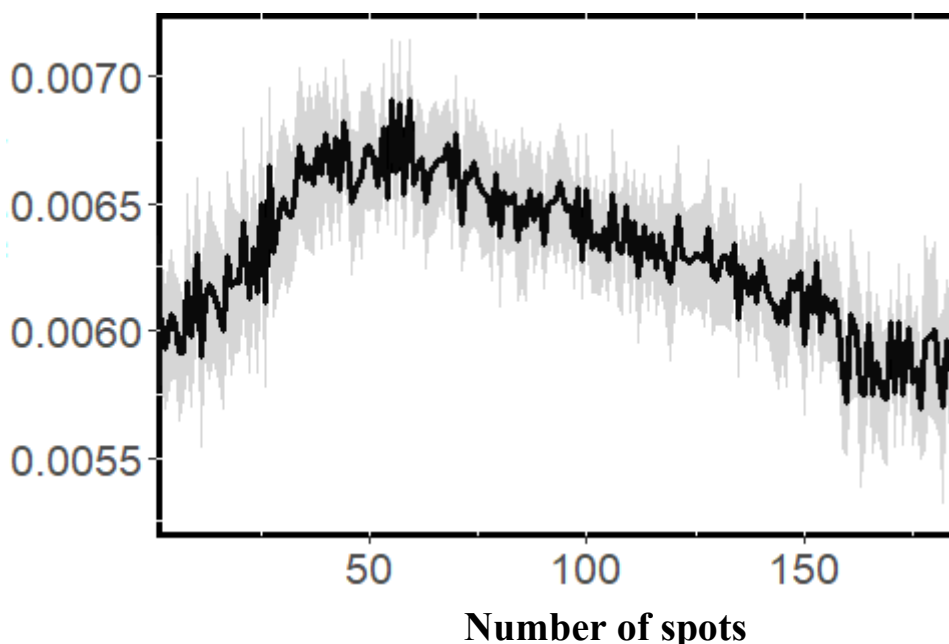


Fig. 8. Perfil geral das concentrações médias das razões de Sr:Ca para todos os indivíduos ($n = 20$), com sexos combinados. As linhas sólidas representam os valores médios desde o início da fase embrionária (distância = 0) até a captura dos indivíduos pela pesca. Áreas sombreadas de cinza representam intervalos de confiança de 95% em torno da média. A linha que se origina no eixo y e perpassa o eixo x representa o transecto produzido pelo LA-ICP-MS.

As leituras de Ba/Ca (Fig. 9) evidenciaram fase embrionária com concentração média de 0.0000297 ppm, seguido de um pequeno aumento na fase neonato (0.000033 ppm) e jovem (0.0000362 ppm) e gradual redução até a fase adulta (0.000033 ppm) com concentração igual à registrada na fase neonato. A posteriori, registrou-se decréscimo abrupto para uma concentração média inferior a 0.000025 ppm e curto aumento para níveis equivalentes ao início da fase embrionária.

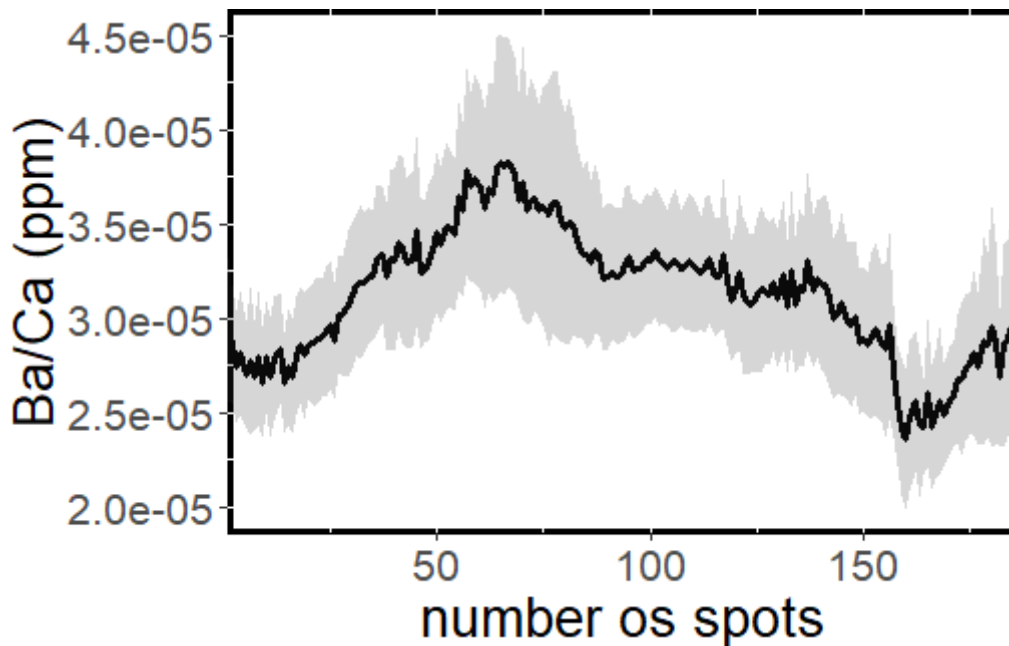


Fig. 9. Perfil geral das concentrações médias das razões de Ba:Ca para todos os indivíduos, com sexos combinados. As linhas sólidas representam os valores médios desde o início da fase embrionária (distância = 0) até a captura dos indivíduos pela pesca. Áreas sombreadas de cinza representam intervalos de confiança de 95% em torno da média. A linha que se origina no eixo y e perpassa o eixo x representa o transecto produzido pelo LA-ICP-MS.

Ademais, diferenças significativas nas variações de Zn:Ca entre níveis específicos de estágio de vida e sexo foram corroboradas pela distribuição das concentrações médias ao longo do transecto do núcleo da vértebra até a sua borda, representados, respectivamente, pelo início e fim do transecto (Fig. 10). A razão Zn:Ca exibiu um padrão no qual a fase embrionária de machos e fêmeas apresenta alta concentração de zinco, ao passo que no estágio neonatal tais concentrações reduzem consideravelmente para ambos os sexos e se mantêm pouco constantes até o início da vida adulta (~3 anos).

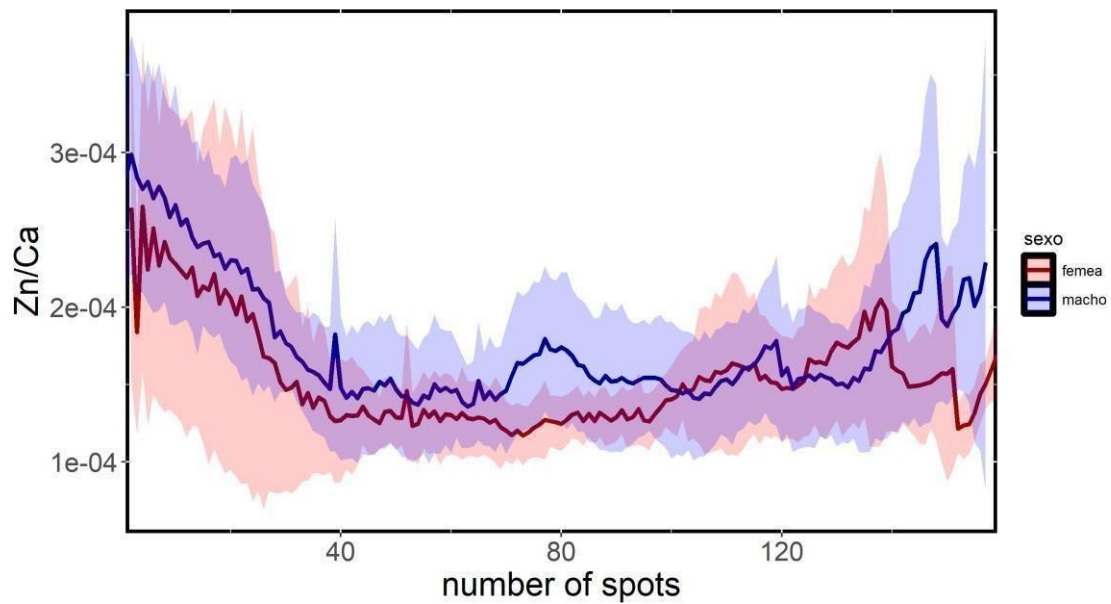


Figure 10. Perfil geral das concentrações médias de Zn:Ca, com todas as fêmeas representadas em vermelho e todos os machos representados em azul. As linhas sólidas representam os valores médios desde o início da fase embrionária (distância = 0) até a captura dos indivíduos pela pesca. Áreas sombreadas representam intervalos de confiança de 95% em torno da média. A linha que se origina no eixo y e perpassa o eixo x representa o transecto produzido pelo LA- ICP-MS.

O perfil elementar da razão Mn:Ca (Fig. 11) exhibe um padrão no qual os estágios embrião, neonato e jovem apresentam pouca variação entre si. Contudo, ao chegar à fase adulta, as concentrações médias de manganês aumentam substancialmente para até 0.000125.

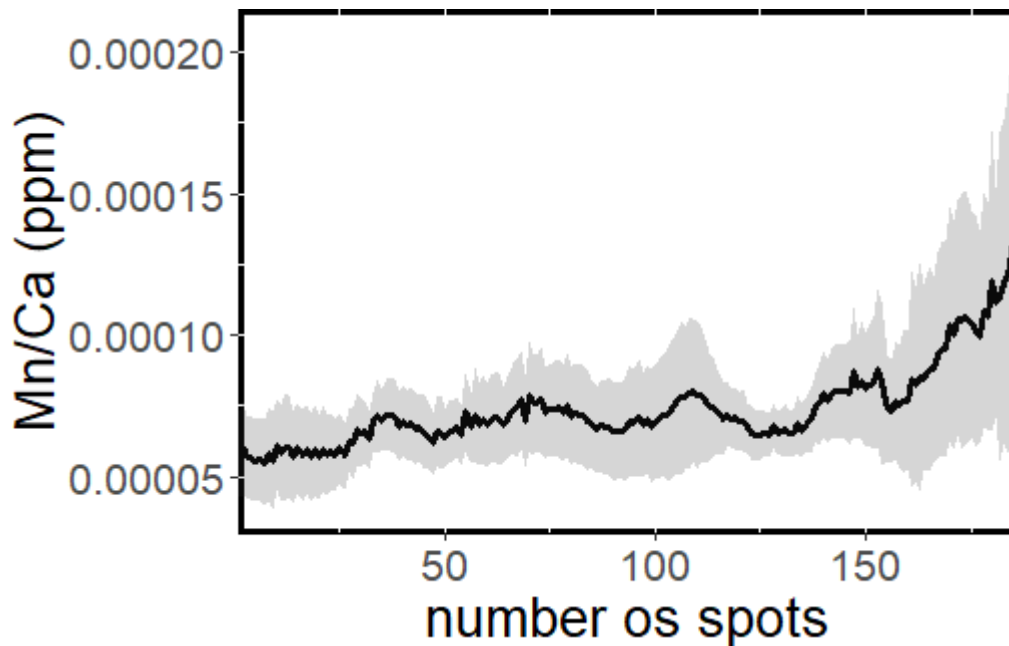


Fig. 11. Perfil geral das concentrações médias de Mn:Ca para todos os indivíduos analisados, com sexos combinados. As linhas sólidas representam os valores médios desde o início da fase embrionária (distância = 0) até a captura dos indivíduos pela pesca. Áreas sombreadas de cinza representam intervalos de confiança de 95% em torno da média. A linha que se origina no eixo y e perpassa o eixo x representa o transecto produzido pelo LA-ICP- MS.

Discussão

Os resultados obtidos por meio da análise química de vértebras de *Pseudobatos percellens* no intuito de identificar habitats essenciais na costa oriental do Rio Grande do Norte (Baía Formosa) indicam que a espécie realiza deslocamentos entre regiões com salinidades distintas. Essa conclusão é sustentada pelas variações significativas nas concentrações de estrôncio (Sr) ao longo dos estágios ontogenéticos, incluindo a análise comparativa entre indivíduos nas fases embrionária e pós-embrionária. Adicionalmente, tais abordagens fornecem uma melhor compreensão sobre a distribuição espacial de *P. percellens* em diferentes fases do ciclo de vida, contribuindo para a discussão sobre a ecologia dessa espécie, globalmente em perigo de extinção (IUCN, 2020) e regionalmente vulnerável (ICMBio, 2018).

Estrôncio (^{86}Sr) e bário (^{138}Ba)

Estudos apontam uma relação inversa entre ^{86}Sr e ^{138}Ba enquanto marcadores de ambientes salinos e dulcícolas, respectivamente (McMillan *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2013, 2016), no entanto, as concentrações médias gerais para todos os indivíduos e as significâncias estatísticas não exibiram diferenças entre estágios de vida e sexo para o bário. Isso provavelmente se deve à ausência de água doce na área de amostragem. Padrões semelhantes foram reportados para *Hypanus berthalutzae* e *H. marianae* (Queiroz *et al.*, 2024), em que machos e fêmeas, bem como seus respectivos estágios ontogenéticos não exibiram diferenças significativas, sugerindo o uso de áreas exclusivamente salinas.

Ademais, o bário (Fig. 9) enquanto indicador de alta turbidez (Coffey *et al.*, 1997) e sedimento terrígeno lamoso, características predominantemente encontradas nos estuários (McMillan *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2013, 2016), não exibiu padrões complementares aos de manganês. A ausência de padrão de Ba:Ca provavelmente se deve ao fato de Baía Formosa não apresentar forte influência de água doce na área de estudo. Enquanto isso, as concentrações de Sr:Ca sugerem padrões de movimento restritos a águas salinas, porém com grande variação entre os estágios: embrião e jovem; neonato e maduro; e por conseguinte, embrião e neonato.

O fato das leituras de Sr:Ca marcarem a presença de adultos em ambientes com salinidades muito próximas à salinidade das assinaturas químicas iniciais (Fig. 8) pode sugerir um comportamento de filopatria, constatação jamais reportada sobre a espécie. Lessa *et al.* (2008) apontaram as porções mais costeiras de Caiçara do Norte como importantes áreas de berçário para inúmeras espécies de elasmobrânquios, incluindo *P. Percellens*. Possivelmente, os mesmos padrões de deslocamento devem ter sido realizados pelos indivíduos amostrados em Baía Formosa, com os estágios iniciais (embriões e neonatos) de desenvolvimento ocupando áreas mais costeiras, estágios intermediários (jovens) áreas mais profundas e salinas, enquanto adultos migram gradualmente para águas mais rasas. Essa aproximação gradual dos adultos em águas menos salinas e mais costeiras em Baía Formosa talvez seja motivada pela reprodução e/ou parto, visto que uma fêmea grávida exibiu concentrações de ^{86}Sr na borda da vértebra que coincidem com as concentrações da fase embrionária (Fig. 12).

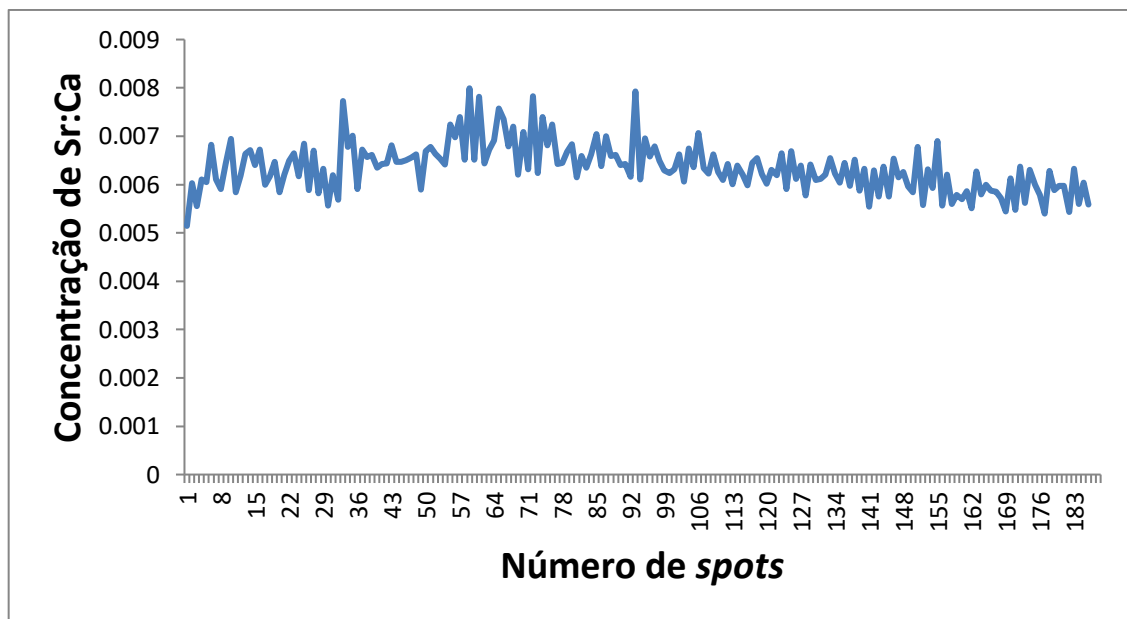


Fig. 12. Perfil das concentrações de Sr:Ca de uma fêmea de *P. percellens* grávida com 56.5 cm de CT.

Zinco (^{66}Zn)

Nas leituras das concentrações de zinco, comparações entre machos e fêmeas, bem como seus respectivos estágios ontogenéticos, indicaram que as fêmeas neonatas e jovens foram os grupos que mais diferiram dos machos maduros, sugerindo segregação sexual especificamente nos estágios de vida supracitados. As análises de componentes principais (Fig. 4) também demonstraram que a dispersão e maior concentração de zinco registradas na fase embrionária, pode estar intimamente ligada a cargas maternas desse metal via alimentação (Raoult *et al.*, 2018) no ambiente intrauterino e processos fisiológicos (McMillan *et al.*, 2017). Estudos sobre a incorporação e distribuição de Zn nas vértebras de algumas espécies de tubarões demersais têm demonstrado padrões similares aos encontrados no presente estudo, como o cação-anjo australiano (*Squatina australis*) e cação-anjo oriental (*Squatina albipunctata*) (Raoult *et al.*, 2018).

Segundo Chelotti e Gadig (2022), mudanças na dieta entre as fases jovem e adulta são comuns em *P. percellens*, e é sugerido que o zinco pode estar associado a tais mudanças (Willis e Sunda, 1984; Xu e Wang, 2002; Zhang e Wang, 2005; Zhang e Wang, 2007a). Mudanças significativas nas concentrações de Zn:Ca tanto em machos como em fêmeas

provavelmente ocorrem logo após sua chegada à fase adulta (Fig. 10). No entanto, Chelotti e Gadig (2022) evidenciam uma dieta composta majoritariamente por crustáceos até o fim da fase jovem e predominantemente constituída de teleósteos a partir da fase adulta. Os decápodes, táxons que perfazem importantes itens alimentares de *P. percellens*, são conhecidos por absorver zinco do ecossistema circundante em seu exoesqueleto (Mohanasrinivasan *et al.*, 2014). Pequenas elevações nas concentrações de zinco, sobretudo nos machos, desde a fase neonato ao fim da fase jovem podem ser explicadas por essa dieta, dada a relação negativa entre tais concentrações e o amadurecimento dos exemplares (Fig. 10).

Pristiophorus cirratus, elasmobrânquio que atua como predador de decápodes bentônicos demonstrou padrões inversos aos de *P. percellens*, com relação significativamente positiva entre concentrações de zinco e avanço dos estágios de desenvolvimento dos indivíduos (Raoult *et al.*, 2018). Em contrapartida, *P. nudipinnis*, predador piscívoro (Raoult e Williamson, 2015) exibiu padrões semelhantes aos de *P. percellens*. Raoult *et al.* (2018) sugerem que a dieta não implica em bioacumulação do zinco nas vértebras dessas espécies de tubarões bentônicos e que a deposição é primariamente controlada por processos fisiológicos.

Estudos que abordam tanto a composição de presas quanto mudanças sazonais na dieta de *P. percellens* (Bornatowski *et al.*, 2010; Carmo *et al.*, 2015; Chelotti e Gadig, 2022) fornecem informações complementares aos dados de uso de habitats, uma vez que a raia na condição de predadora ocupa precisamente as áreas onde suas presas também ocorrem. No entanto, esses registros são limitados à costa Sul e Sudeste do Brasil, fato esse que impede a comparação entre características do nicho ecológico aos dados sobre uso de mares costeiros por *P. percellens* no Nordeste brasileiro, região que carece de registros oficiais acerca da pesca, como: volume das capturas; descrição da área; bem como a profundidade e a distância da faixa de praia onde essas atividades ocorrem.

As regiões Norte/Nordeste e Sul/Sudeste são oceanograficamente e biogeograficamente distintas devido à influência das correntes Equatorial Norte e corrente do Brasil (barreiras ecológicas que definem e estruturam populações de estoques pesqueiros de formas particulares) como acontece com *Rhizoprionodon porosus* (Mendonça *et al.*, 2011). Similarmente, as populações de *P. percellens* também são genotipicamente estruturadas pela ação dessas correntes, resultando em baixo fluxo gênico entre dois grandes grupos, um composto pelas populações do Norte e Nordeste e o outro pelas populações do Sul e Sudeste

(Cruz *et al.*, 2023). Desse modo, é necessário avaliar quimicamente os estoques de *P. percellens* ao Sul e Sudeste do Brasil, uma vez que sua estrutura populacional, padrões de movimento e nicho ecológico podem apresentar atributos particulares.

Manganês (⁵⁵Mn)

Associado aos padrões de movimentação refletidos pelas razões Sr:Ca, as concentrações médias de manganês demonstraram que, apesar da ausência de significância estatística tanto entre fases ontogenéticas quanto sexo, os espécimes parecem se deslocar para áreas mais profundas à medida que amadurecem. A possibilidade de *P. percellens* migrar para áreas com baixos níveis de oxigênio dissolvido precisa de uma maior investigação, visto que a ausência de exemplares com idades acima de 6 anos pode ter sido a razão para o surgimento de intervalos de confiança muito distantes dos valores médios presentes nos perfis de manganês (Fig. 11) na fase adulta. Assim, a inserção de indivíduos mais velhos na amostra pode contribuir com maior compreensão sobre as movimentações de *P. percellens* em águas mais profundas (i.e., até 110 m) (Last *et al.*, 2016). É provável que esses exemplares apresentem maiores concentrações de manganês, fato que também pode indicar maior proximidade a áreas de manguezal, que são ecossistemas considerados hipóxicos (Hussy *et al.*, 2020; Limburg *et al.*, 2015; Limburg & Casini, 2018; Paillon *et al.*, 2014). Ademais, as concentrações de manganês podem ser influenciadas pela alimentação e ativação de hormônios sexuais (Elsdon e Gillanders, 2006; Smith *et al.*, 2013).

Fatores abióticos, como: temperatura e concentração de oxigênio dissolvido apresentam relação inversa com o aumento da profundidade (Limburg *et al.*, 2015; Limburg; Casini, 2018; Smith *et al.*, 2013). Tais fatores resultaram em pouca variação nas assinaturas químicas da maioria dos elementos de *P. Percellens* de um modo geral na área de estudo. Padrões com características de uso do habitat semelhantes foram descritos para *H. marianae* (Queiroz *et al.*, 2024), uma Dasyatidae que se distribui (Gomes *et al.* 2000; Costa *et al.* 2015) em áreas estritamente marinhas (Queiroz *et al.*, 2024).

O elevado intervalo de confiança na porção final da vida (borda da vértebra) pode indicar diferentes tempos de migração ou até mesmo a ausência de migração de alguns espécimes às zonas profundas. Tal fato é comumente chamado ‘migração parcial’ (Chapman *et al.*, 2012), onde uma parcela de indivíduos realiza migração, enquanto outra porção

permanece como residente. Trabalhos recentes usando química de otólitos em teleósteos já têm documentado tal fenômeno em ambientes costeiros do Brasil (e.g. Franco *et al.*, 2019; Menezes *et al.*, 2021).

Baía Formosa é uma região sujeita a impactos antrópicos crônicos mediante o despejo impróprio de efluentes, como esgoto doméstico, e provável contaminação decorrente do grande derramamento de petróleo ocorrido em 2019, onde o Nordeste foi a região mais impactada (Magalhães *et al.*, 2022, Mello *et al.*, 2023). A associação de tais eventos ao aumento da temperatura e maior exposição aos raios ultravioleta (de Souza e Lessa, 2025) podem resultar em desoxigenação e hipóxia (Waller *et al.*, 2024) nessas áreas costeiras.

Uma vez associado a ambientes pouco oxigenados, grandes concentrações de manganês nas vértebras também podem refletir ecossistemas já altamente impactados. De Souza e Lessa (2025) previram que tubarões costeiros, como *Isogomphodon oxyrinchus* e *Carcharhinus porosus*, estão mais vulneráveis às mudanças climáticas devido ao alto grau de especificidade de habitats e limitações latitudinais. Essas condições também podem acometer a *P. percellens*, uma vez que os resultados do presente estudo a apontam como uma espécie de distribuição restrita a áreas costeiras com curtas variações de parâmetros abióticos.

Além de existir uma tendência de regiões próximas à costa serem mais hipóxicas devido ao maior aporte de matéria orgânica, a cerca de 10 km da região praiana de Baía Formosa, localiza-se uma usina de cana-de-açúcar que ocupa uma vasta área do município. Ademais, pouco mais de 9.2 km ao Norte de Baía Formosa, encontra-se a Barra do Cunhaú, onde desemboca o rio Curimataú, que provavelmente tem pouca influência na salinidade de áreas ocupadas por *P. percellens*.

Ademais, *P. percellens* mostra ser uma espécie com plasticidade adaptativa limitada a mares e ecossistemas estuarinos com pouca ou nenhuma influência de água doce, a exemplo da Baía de Guanabara (Gonçalves-Silva e Vianna, 2018), onde apenas dois indivíduos da espécie foram registrados. Tais condições, associadas à baixa diversidade genética (Cruz *et al.*, 2023), potencializam a suscetibilidade de *P. percellens* à depleção populacional e consequente processo de extinção.

Conclusões

Por fim, a análise elementar das vértebras de *Pseudobatos percellens* da costa oriental do Rio Grande do Norte revelou padrões químicos que refletem o uso restrito de habitats

marinhos com salinidade elevada e baixa influência fluvial, característica marcante da região de Baía Formosa. Os perfis de Sr:Ca indicaram movimentação ontogenética entre zonas marinhas com variações discretas ao comparar especificamente as fases embrionária e adulta, sugerindo possível comportamento de filopatria.

Embora as concentrações de Mn:Ca não tenham exibido variações estatisticamente significativas entre os diferentes estágios ontogenéticos e sexos, seus perfis apontam para prováveis eventos de ativação e deslocamentos verticais em direção a ambientes mais hipóxicos durante a maturação dos indivíduos e ativação de hormônios sexuais. No entanto, a ausência de exemplares mais velhos impede inferências definitivas sobre o uso de habitats profundos ou estuarinos, destacando a necessidade de amostragens futuras que englobem maiores classes de tamanho e idade, sobretudo em regiões sob maior influência de água doce e sedimentos terrígenos.

Por fim, recomenda-se a realização de investigações complementares em ecossistemas estuarinos e marinhos sob diferentes regimes de salinidade e aporte fluvial, como o complexo estuarino do canal de Santa Cruz, localizado no estado de Pernambuco, a fim de elucidar possíveis variações espaciais e fisiológicas nas assinaturas elementares detectáveis nas vértebras de *P. percellens*. Tais abordagens contribuem de forma decisiva para o estabelecimento de estratégias de manejo e conservação atribuídas à espécie no cenário brasileiro.

Recomendações

Visto que a presente pesquisa foi limitada por espécimes capturados em um ecossistema de baixo fluxo fluvial e predominantemente salino, é necessário investigar o uso de áreas de ocorrência de *P. percellens* com influência de regimes de água doce, como o complexo estuarino do canal de Santa Cruz, localizado entre os municípios de Itapissuma e Goiana, em Pernambuco. Diferentemente dos que foram capturados em Baía Formosa, é provável que a população habitante de algum trecho do canal de Santa Cruz apresente assinaturas marcantes para Ba:Ca ou Mn:Ca com destaque para possíveis diferenças entre machos e fêmeas e/ou fases ontogenéticas, uma vez que se trata de um ecossistema de sedimento terrígeno lamoso e de águas com algum grau de hipóxia e aporte de matéria orgânica (McMillan *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2013, 2016). Além disso, elementos traços, a

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

49

exemplo do mercúrio (Hg), que indicam poluição dessas áreas talvez sejam detectados em estruturas rígidas como as vértebras, uma vez que a contaminação crônica com esse metal pesado já foi reportada para tecido muscular de *H. guttatus* (Julio *et al.*, 2022), que assim como *P. percellens*, é uma mesopredadora de organismos bentônicos (Queiroz *et al.*, 2024).

Referências

Anderson, M.J. & Walsh, D.C.I. (2013). PERMANOVA, ANOSIM, and the mantel test in the face of heterogeneous dispersions: what null hypothesis are you testing? *Ecological Monographs*, 83(4), 557–574. <https://doi.org/10.1890/12-2010.1>

Anderson, M.J. (2017). Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA). *Wiley Stats Ref: Statistics Reference Online*, 1–15. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841>.

Avigliano, E., Callico-Fortunato, R., Buitrago, J. & Volpedo, A.V. (2015). Is the otolith microchemistry (Sr:Ca and Ba:Ca ratios) useful to identify *Mugil curema* populations in the southwestern Caribbean Sea? *Brazilian Journal of Biology*, 75(4), S41–S55. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.01014>.

Bornatowski, H., Robert, M.D.C. & Costa, L. (2010). Feeding of guitarfish *Rhinobatos percellens* (Walbaum, 1972) (Elasmobranchii, Rhinobatidae), the target of artisanal fishery in southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 45–52.

Costa, T.L.A., Thayer, J.A., Mendes, L.F., 2015. Population characteristics, habitat and diet of a recently discovered stingray *Dasyatis marianae*: implications for conservation. *J. Fish. Biol.* 86, 527–543. <https://doi.org/10.1111/jfb.12572>.

Cruz, V.P., Rotundo, M.M., Charvet, P., Boza, B.R., Souza, B.C., Cerqueira, N.N. & Foresti, F. (2023). Investigating an unknown biodiversity: evidence of distinct lineages of the endemic chola guitarfish *Pseudobatos percellens* Walbaum, 1792 in the Western Atlantic Ocean. *Diversity*, 15(3), 344.

de Souza Junior, L. A., & Teixeira Lessa, R. P. (2025). Vulnerability of Brazilian Sharks to Climate Change: An Integrated Risk Assessment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 35(3), e70064.

Dos Santos Chaves, M., Lima, Z.M.C. & Varella, G.A.V. (2023). Caracterização geoambiental do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, NE do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, 9(2), 170–182.

Doubleday, Z.A., Cliff, J., Izzo, C. & Gillanders, B.M. (2018). Untapping the potential of sulfur isotope analysis in biominerals. *Marine Ecology Progress Series*, 598, 159–166.

Dulvy, N.K., Pacoureau, N., Rigby, C.L., Pollom, R.A., Jabado, R.W., Ebert, D.A., Simpfendorfer, C.A. (2021). Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology*, 31(21), 4773–4787.

Elsdon, T.S., Gillanders, B.M., 2006. Temporal variability in strontium, calcium, barium, and manganese in estuaries: implications for reconstructing environmental histories of fish from chemicals in calcified structures. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 66, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.08.004>.

Elsdon, T.S., Wells, B.K., Campana, S.E., Gillanders, B.M., Jones, C.M., Limburg, K.E., Secor, D.H., Walther, B.D. (2008). Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 46(1), 297–330.

Feitosa, L.M., Dressler, V.L. & Lessa, R.P. (2020). Habitat use patterns and identification of essential habitat for an endangered coastal shark with vertebrae microchemistry: the case study of *Carcharhinus porosus*. *Frontiers in Marine Science*, 7, 125.

Feitosa, L.M., Queiroz, A.P., Labonne, M., Dressler, V.L. & Lessa, R.P. (2021). Habitat use and nursery evaluation for the longnose stingray *Hypanus guttatus* (Bloch & Schneider,

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

51

1801) using vertebral microchemistry. *Journal of Fish Biology*, 99(5), 1538–1549.

Fischer, J., Voigt, S., Franz, M., Schneider, J.W., Joachimski, M.M., Tichomirowa, M., Götze, J. & Furrer, H. (2012). Palaeoenvironments of the Late Triassic Rhaetian Sea: implications from oxygen and strontium isotopes of hybodont shark teeth. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 353–355, 60–72.

Freitas, D.J.D.V. (2015). Hábito alimentar de *Urotrygon microphthalmum* (Delsman, 1941) e de *Rhinobatos percellens* (Walbaum, 1792) capturadas na pesca de camarões no nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Gomes, U.L., Rosa, R.S., Gadig, O.B.F., 2000. *Dasyatis macrophthalmum* sp. n.: a new species of stingray (Chondrichthyes: dasyatidae) from the southwestern Atlantic. *Copeia* 510–515. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2000\)000\[0510:DMSNAN\] 2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2000)000[0510:DMSNAN] 2.0.CO;2).

Gonçalves-Silva, F. & Vianna, M. (2018). Use of a species-rich and degraded tropical estuary by Elasmobranchs. *Brazilian Journal of Oceanography*, 66(4), 339–346.

Hixon, M.A., Johnson, D.W. & Sogard, S.M. (2014). BOFFFFs: On the importance of conserving old-growth age structure in fishery populations. *ICES Journal of Marine Science*, 71(8), 2171–2185. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst200>.

Holden, M.J. (1974). Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. In: *Sea Fisheries Research*.

Hussy, K., Limburg, K.E., de Pontual, H., Thomas, O.R.B., Cook, P.K., Heimbrand, Y., Sturrock, A.M. (2020). Trace element patterns in otoliths: the role of biomineralization. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 1–33.

IBGE. (2022). Cidades - Baía Formosa/RN. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/baia-formosa/panorama> [Accessed 20 June 2024].

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

52

ICMBIO. (2018). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: volume III–Aves. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, 709p.

Kim, S.L., Eberle, J.J., Bell, D.M., Fox, D.A. & Padilla, A. (2014). Evidence from shark teeth for a brackish Arctic Ocean in the Eocene greenhouse. *Geology*, 42, 695–698.

Krebs, C.J. (1999). *Ecological methodology*. Menlo Park, CA: Addison Wesley.

Kotas, J.E., Barreto, R., Santos, R.A., Lessa, R., Rosa, R.S., Vizuet, E.P. & Gadig, O.B. (2023). Plano de ação nacional para conservação dos tubarões e raias marinhos ameaçados de extinção.

Last, P.R., Séret, B. & Naylor, G.J.P. (2016a). A new species of guitarfish, *Rhinobatos borneensis* sp. nov., with a redefinition of the family-level classification in the order Rhinopristiformes (Chondrichthyes: Batoidea). *Zootaxa*, 4117(4), 451–475.

Lessa, R.T., Vooren, C.M. & Lahaye, J. (1986). Desenvolvimento e ciclo sexual das fêmeas, migrações e fecundidade da viola *Rhinobatos horkelii* (Müller & Henle, 1841) Brasil, Atlântica, Rio Grande do Sul. [*periódico não especificado*], 8, 5–34.

Lewis, J.P., [et al.]. (2016). Do vertebral chemical signatures distinguish juvenile blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*) nursery regions in the northern Gulf of Mexico? *Marine and Freshwater Research*, 67(7), 1014–1022.

Labonne, M.; Darnaude, A.M.; Fily, T.; Petit, C.; Nikolic, N.; Parker, D.; Norman, S.J.; Clear, N.; Farley, J.; Eveson, J.P.; et al. New Insights in Lifetime Migrations of Albacore Tuna (*Thunnus alalunga*, Bonnaterre, 1788) between the Southwest Indian and the Southeast Atlantic Oceans Using Otolith Microchemistry. *Fishes* 2024, 9, 38. <https://doi.org/10.3390/fishes9010038>.

Limburg, K.E., [et al.]. (2015). In search of the dead zone: use of otoliths for tracking fish

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

53

exposure to hypoxia. *Journal of Marine Systems*, 141, 167–178.

Limburg, K.E. & Casini, M. (2018). Effect of marine hypoxia on Baltic Sea cod *Gadus morhua*: evidence from otolith chemical proxies. *Frontiers in Marine Science*, 5, 482.

Longerich, H.P., Jackson, S.E. & Günther, D. (1996). Inter laboratory note. Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometric transient signal data acquisition and analyte concentration calculation. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 11(9), 899–904.

Luiza C. Mello, Adriana P. Nascimento, Beatriz D. Lopes, Antônia D.F. Lima, Luís E.A. Bezerra, Liana de F. Mendes, Luciana M. Bastos, Arlene B.S. Nossol, Mário M. Martins, Laercio L. Martins, Rivelino M. Cavalcante, Tarballs on the Brazilian coast in late 2022. sustain *Lepas anatifera* Linnaeus, 1758 (Crustacea: Cirripedia): Occurrence and risk of petroleum hydrocarbon ingestion, *Science of The Total Environment*, Volume 896, 2023, 164981, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164981>.

Magalhães, K. M., Carreira, R. S., Rosa Filho, J. S., Rocha, P. P., Santana, F. M., & Yogui, G.T. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fishery resources affected by the 2019 oil spill in Brazil: Short-term environmental health and seafood safety. *Marine Pollution Bulletin*, 175, 113334.

McMillan, M.N., [et al.]. (2017). Elements and elasmobranchs: hypotheses, assumptions and limitations of elemental analysis. *Journal of Fish Biology*, 90(2), 559–594.

McMillan, M.N., [et al.]. (2018). Natural tags reveal populations of Conservation Dependent school shark use different pupping areas. *Marine Ecology Progress Series*, 599, 147–156

Mendonça, F.F., [et al.]. (2011). Phylogeography and genetic population structure of Caribbean sharpnose shark *Rhizoprionodon porosus*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21, 799–814.

Menni, R. & Stehmann, M. (2000). Distribution, environment and biology of batoid fishes

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

54

off Argentina, Uruguay and Brazil: a review. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Nueva Serie*, 2(1), 69–109.

Mohan, J.A., [et al.]. (2018). Elements of time and place: manganese and barium in shark vertebrae reflect age and upwelling histories. *Proceedings of the Royal Society B*, 285(1890), 20181760.

Mohanasrinivasan, V., Mishra, M., Paliwal, J.S., Singh, S.K., Selvarajan, E., Suganthi, V., et al. (2014). Studies on heavy metal removal efficiency and antibacterial activity of chitosan prepared from shrimp shell waste. *3 Biotech*, 4(2), 167–175. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0140-6>.

Muehe, Dieter (org.). Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Brasília/DF: MMA, 2006.
Nunes, R.I. (2012). Idade, crescimento e biologia reprodutiva da raia-viola *Rhinobatos percellens* (Walbaum, 1792) capturada pelo arrasto de praia em Caiçara do Norte/RN. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Paillon, C., Wantiez, L., Kulbicki, M., Labonne, M. & Vigliola, L. (2014). Extent of mangrove nursery habitats determines the geographic distribution of a coral reef fish in a South-Pacific archipelago. *PLoS ONE*, 9(8), e105158.

Raoult, V., Gaston, T.F. & Williamson, J.E. (2015). Not all saw sharks are equal: species of co-existing saw sharks show plasticity in trophic consumption both within and between species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72(11), 1769–1775.

Raoult, V., [et al.]. (2016). Strontium mineralization of shark vertebrae. *Scientific Reports*, 6(1), 1–10.

Schmitter-Soto, J.J., Vásquez-Yeomans, L., Aguilar Perera, A., Curiel-Mondragón, C. & Caballero-Vázquez, J.A. (2000). Lista de peces marinos do Caribe mexicano. In: *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología*, 71(2), 143–177.

Sirot, C.; Ferraton, F.; Panfil, I.J.; Childs, A.R.; Guilhaumon, F.; Darnaude, A.M. ElementR: An R package for reducing elemental data from LA-ICPMS analysis of biological calcified structures. *Methods Ecol. Evol.* 2017, 8, 1659–1667.

Smith, W.D., Miller, J.A. & Heppell, S.S. (2013). Elemental markers in elasmobranchs: effects of environmental history and growth on vertebral chemistry. *PLoS ONE*, 8(10), e62423.

Smith, W.D., Miller, J.A., Márquez-Farías, J.F. & Heppell, S.S. (2016). Elemental signatures reveal the geographic origins of a highly migratory shark: prospects for measuring population connectivity. *Marine Ecology Progress Series*, 556, 173–193.

Sturrock, A.M., Hunter, E., Milton, J.A. & Trueman, C.N. (2013). Analysis methods and reference concentrations of 12 minor and trace elements in fish blood plasma. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 27(4), 273–285. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2013.03.001>.

Sturrock, A.M., Trueman, C.N., Milton, J.A., Waring, C.P., Cooper, M.J. & Hunter, E. (2014). Physiological influences can outweigh environmental signals in otolith microchemistry research. *Marine Ecology Progress Series*, 500, 245–264. <https://doi.org/10.3354/meps10699>.

Sweeting, C.J., Polunin, N.V. & Jennings, S. (2004). Tissue and fixative dependent shifts of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in preserved ecological material. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 18(21), 2587–2592.

Thomas, O.R.B. & Swearer, S.E. (2019). Otolith biochemistry—a review. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(4), 458–489. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1627285>

Tillett, B.J., Meekan, M.G., Parry, D., Munksgaard, N., Field, I.C., Thorburn, D. &

SILVA, H.R. Uso de habitats essenciais da raia-viola, *Pseudobatos percellens* (Rhinobatidae: Rhinopristiformes), no Nordeste do Brasil, com o uso de microquímica de vértebra.

56

Bradshaw, C.J.A. (2011). Decoding fingerprints: elemental composition of vertebrae correlates to age- related habitat use in two morphologically similar sharks. *Marine Ecology Progress Series*, 434, 133–142

Vooren, C.M. & Klippel, S. (2005). Biologia e status de conservação da viola *Rhinobatos*. In: Vooren, C.M. & Klippel, S. (Eds.), *Ações para conservação de tubarões e raias no Sul do Brasil* (pp. 1–26). Porto Alegre: Igaré.

Waller, M. J., Humphries, N. E., Womersley, F. C., Loveridge, A., Jeffries, A. L., Watanabe, Y., ... & Sims, D. W. (2024). The vulnerability of sharks, skates, and rays to ocean deoxygenation: Physiological mechanisms, behavioral responses, and ecological impacts. *Journal of Fish Biology*, 105(2), 482-511.