

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS BACHARELADO

LETYCIA MANUELLA DE MELO ACIOLI

**AVALIAÇÃO DO NICHOS ISOTÓPICO DE PEIXES MESOPREDADORES EM
RECIFES DE CORAIS ALAGOANOS**

Maceió

2025

LETYCIA MANUELLA DE MELO ACIOLI

**AVALIAÇÃO DO NICHOS ISOTÓPICO DE PEIXES MESOPREDADORES EM
RECIFES DE CORAIS ALAGOANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Ciências Biológicas da
Universidade Federal de Alagoas, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Robson Guimarães dos
Santos.

Maceió
2025

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

A181a Acioli, Letycia Manuella de Melo.

Avaliação do nicho isotópico de peixes mesopredadores em recifes de corais alagoanos / Letycia Manuella de Melo Acioli. – 2025.
58 f. : il. color.

Orientador: Robson Guimarães dos Santos.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Biológicas: Bacharelado) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 49-58.

1. Nicho isotópico. 2. Peixes mesopredadores. 3. Recifes de corais – Alagoas. I. Título.

CDU: 597 (813.5)

Folha de Aprovação

LETYCIA MANUELLA DE MELO ACIOLI

Avaliação do Nicho Isotópico de Peixes Mesopredadores em Recifes de Corais Alagoanos

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Ciências Biológicas Bacharelado da Universidade Federal de Alagoas e aprovado em 07 de maio de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **ROBSON GUIMARAES DOS SANTOS**
Data: 29/05/2025 20:23:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Orientador(a) - Prof. Dr. Robson Guimarães dos Santos, Universidade Federal de Alagoas)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **IRAN CAMPELLO NORMANDE**
Data: 29/05/2025 14:32:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador(a) Externo(a) – Mestre Iran Campello Normande, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade)

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS VINICIUS CARNEIRO VITAL**
Data: 29/05/2025 13:14:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador(a) Interno(a) - Prof. Dr. Marcos Vinícius Carneiro Vital, Universidade Federal de Alagoas)

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi uma jornada de muito aprendizado, desafios, superações e, principalmente, companhias que fizeram tudo ser um pouco mais leve. Por isso, é impossível encerrar este ciclo sem expressar minha imensa gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse concluído com sucesso.

Primeiramente, aos meus pais e à minha irmã, que sempre estiveram ao meu lado, torcendo silenciosamente (e às vezes nem tanto) pelo meu sucesso. Obrigada por cada palavra de incentivo, por cada gesto de carinho, por cada sacrifício feito sem hesitar. Obrigada por acreditarem em mim mesmo quando eu não conseguia fazê-lo, e por nunca deixarem que eu esquecesse de onde vim ou do quanto sou capaz. Por comemorarem comigo cada pequena conquista como se fosse um grande feito, e por se interessarem pela área que escolhi seguir, mesmo quando a ciência parecia uma possibilidade distante. Vocês são minha base.

À minha família, no sentido mais amplo da palavra – avós, tia e primos –, que sempre estiveram presentes em espírito e, tantas vezes, em presença física, seja com mensagens, visitas ou pensamentos positivos. Vocês são pilares fundamentais nesta conquista. Cada gesto de afeto e cada demonstração de orgulho me impulsionaram a chegar até aqui.

Àquelas que me acompanham desde o início, dos corredores da escola aos intervalos cheios de risadas e brincadeiras, quando ainda não sabíamos ao certo o que o futuro nos reservava: Mayra, Danylle, Malu e Eduarda. Obrigada por permanecerem mesmo quando a vida nos levou a caminhos distintos. E, à Eduarda, por uma frase que carrego com carinho até hoje: “Letycia é sinônimo de Biologia.” Palavras simples que plantaram uma semente e, agora, posso ver onde me levou. Taylor estava certa quando disse que é bom ter um amigo — e eu tive a sorte de ter vocês.

Às melhores amigas que eu poderia ter: Mikaella, Beatriz e Eloísa. Eu juro solenemente que a distância física que nos separa não se compara à gratidão e amor que sinto por vocês. Obrigada por ouvirem pacientemente minhas inúmeras reclamações, por vibrarem com minhas vitórias como se fossem de vocês, por me lembrarem constantemente do meu valor, e por me abraçarem mesmo de longe, nos momentos em que tudo parecia perdido. Vocês têm um lugar eterno no meu coração. Agradeço pelas mensagens fora de hora, pelos inúmeros áudios, filmes e pelas conversas que me acalentaram mais vezes do que posso contar.

Aos amigos que a graduação me deu, que tornaram os dias na UFAL mais leves e as aulas mais suportáveis, e que ajudaram a moldar, com generosidade e empatia, a profissional

e a pessoa que quero me tornar. Sarah, Dhandara, Rebeca, Fernanda, Ester, Jimena e Alef. Cada um de vocês me marcou de uma forma única. Obrigada por compartilharem suas experiências, por me ouvirem, por dividirem seus conhecimentos comigo e, principalmente, por permitirem que eu fizesse parte da trajetória de vocês também. Vocês foram um dos melhores presentes que a universidade me ofereceu e, independente do caminho que seguiremos daqui em diante, saibam que sempre terá um espaço reservado a vocês em meu coração. A dedicação e empenho de vocês é um exemplo a ser seguido.

Não posso deixar de agradecer aos meus melhores amigos de quatro patas: Cukye, Natasha e Niki – os biólogos honorários mais fiéis e pacientes que acompanhei. Vocês estiveram ao meu lado em mais manhãs de estudo do que posso contar e noites de cansaço, oferecendo companhia silenciosa, carinho incondicional e uma presença que, por si só, tornava tudo mais suportável. Mesmo sem saber, vocês foram fundamentais nos momentos em que precisei de ânimo para continuar.

Aos amigos e colegas de laboratório, que dividiram comigo não só bancadas, relatórios, seminários e campos, mas também dúvidas, alegrias e conquistas. Obrigada por todo apoio, pela paciência, pelos diversos instrumentos compartilhados e pelas conversas. Vocês tornaram o ambiente científico mais humano e, muitas vezes, acolhedor, fazendo manhãs e tardes cansativas momentos de risadas inesperadas. Em especial, deixo meu agradecimento ao Gabriel, por toda a ajuda dedicada nas últimas semanas de desenvolvimento deste trabalho, sua generosidade e disposição fizeram toda a diferença.

Ao professor Robson, minha eterna gratidão. Obrigada por me permitir ver a ciência por outro ângulo, por vezes mais crítico e humano. Pelos inúmeros ensinamentos que foram além do conteúdo formal de sala de aula, pelos conselhos que levarei além da graduação, e pela orientação constante durante todos esses anos.

Ao ECOA LAB que, para os mais antigos, para sempre será LAMARC, meu agradecimento especial. Mais que um espaço físico, esse laboratório se tornou um espaço de crescimento e amadurecimento. Obrigada por me proporcionar a estrutura para o desenvolvimento desta pesquisa e pelo acolhimento como parte de uma equipe.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, mesmo não mencionadas por nome, fizeram parte dessa jornada. Cada amigo, parente, professor e colega que, com palavras de apoio, gesto de cuidado, incentivo e tanto mais, tornou-se fundamental. Que este trabalho seja uma forma de honrar tudo que recebi ao longo do caminho.

Por fim, agradeço a mim. Foram dias repletos de ansiedade, noites mal dormidas e mais xícaras de café do que posso contar. Mesmo sabendo que seria uma jornada árdua e,

muitas vezes, frustrante, não desisti e continuei – e continuo – tentando melhorar, aprender, e, provando que a ciência está presente em minha vida, evoluir. Agradeço por ter tido a coragem de pedir ajuda, de saber lidar com o desconhecido e continuar persistindo.

Muito obrigada.

“Mesmo a força às vezes tem de se curvar à sabedoria.” (RICK RIORDAN, 2005, p. 238).

RESUMO

À luz das atuais ameaças antropogênicas às distintas comunidades de peixes, é preciso avaliar a função mediada por esses indivíduos nos recifes de corais. Há uma relação positiva entre a complexidade dos recifes de corais e as espécies que fazem seu uso. A estrutura complexa dos recifes de corais é capaz de criar um ecossistema diverso que oferece recursos variados. Além de sua importância socioeconômica para humanos, é fonte de habitat, refúgio, e proteção para peixes, invertebrados e outros organismos. O objetivo geral deste trabalho é a avaliação do nicho isotópico de peixes mesopredadores *Cephalopholis fulva* e *Epinephelus adscensionis* coletados nos diferentes recifes de corais selecionados do Atlântico Sudoeste, nos municípios de Maceió (Jatiúca e Ponta Verde) e Maragogi (Antunes, Galés e Pedra do meio). Como objetivos específicos, há a determinação da amplitude dos nichos isotópicos utilizados pelos mesopredadores estudados e a comparação dos nichos avaliados nos diferentes tipos de manejo. Foram coletados 52 peixes da espécie *E. adscensionis* e 40 peixes da espécie *C. fulva*. Os espécimes foram levados para o laboratório, onde foram armazenados para análises posteriores. Os indivíduos tiveram seu peso e comprimento medidos e uma porção do seu músculo removida para análises de nicho isotópico. A amplitude de nicho isotópico das espécies *E. adscensionis* e *C. fulva* apresentaram resultados relativamente divergentes entre os recifes analisados. O nicho mais amplo para a espécie *E. adscensionis* foi em Maceió ($1,57\text{‰}^2$), enquanto o nicho mais restrito foi o de Galés ($0,24\text{‰}^2$). Para *C. fulva*, o nicho mais amplo, no entanto, foi o de Galés ($1,37\text{‰}^2$) e o mais restrito foi o da Ponta Verde ($0,65\text{‰}^2$). Os resultados de *E. adscensionis* indicam que os indivíduos que fazem uso dos recifes da APACC apresentaram maior sobreposição do que aqueles de Maceió, o que pode sugerir que esses peixes estão tendo uma dieta mais semelhante entre esses recifes. Os resultados da Jatiúca, no entanto, implicam que as presas de níveis tróficos inferiores podem estar tendo diferença na proporção de $\delta^{15}\text{N}$ devido à maior disponibilidade de matéria orgânica. Já *C. fulva* se sobrepôs em todos os recifes, o que indica uma dieta similar em cada nicho analisado. A análise de isótopos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ revelou diferenças entre os mesopredadores recifais estudados, sugerindo variações nas fontes alimentares das espécies nos diferentes nichos utilizados. Esses resultados indicam que os peixes podem estar ocupando e explorando uma gama mais ampla de fontes alimentares. Aliado a isso, as assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para as áreas protegidas sugerem que uma menor pressão antrópica, considerando os resultados avaliados de amplitude de nicho, permite que a cadeia alimentar dos diferentes nichos ocupados seja mais funcional. Os dados avaliados reforçam a importância do estudo de mesopredadores para que haja o entendimento de sua dinâmica trófica e como ela poderia influenciar nas ações de conservação.

Palavras-chave: nicho isotópico; mesopredadores; recife de coral; área de proteção ambiental.

ABSTRACT

In light of current anthropogenic threats to different fish communities, it is necessary to evaluate the role played by these individuals in coral reefs. There is a positive relationship between the complexity of coral reefs and the species that use them. The complex structure of coral reefs can create a diverse ecosystem that offers varied resources. In addition to its socioeconomic importance for humans, it is a source of habitat, refuge, and protection for fish, invertebrates, and other organisms. The general objective of this study is to evaluate the isotopic niche of mesopredator fishes *Cephalopholis fulva* and *Epinephelus adscensionis* collected in different selected coral reefs in the Southwest Atlantic, in the municipalities of Maceió (Jatiúca and Ponta Verde) and Maragogi (Antunes, Galés, and Pedra do Meio). The specific objectives are to determine the amplitude of the isotopic niches used by the mesopredators studied and to compare the niches evaluated in the different types of management. 52 fish of the species *E. adscensionis* and 40 fish of the species *C. fulva* were collected. The specimens were taken to the laboratory, where they were stored for later analysis. The individuals had their weight and length measured and a portion of their muscle removed for isotopic niche analysis. The isotopic niche breadth of the species *E. adscensionis* and *C. fulva* showed relatively divergent results among the reefs analyzed. The broadest niche for the species *E. adscensionis* was in Maceió (1.57‰^2), while the narrowest niche was in Galés (0.24‰^2). For *C. fulva*, the broadest niche, however, was in Galés (1.37‰^2) and the narrowest was in Ponta Verde (0.65‰^2). The results for *E. adscensionis* indicate that the individuals that use the APACC reefs showed greater overlap than those from Maceió, which may suggest that these fish have a more similar diet among these reefs. The results from Jatiúca, however, imply that prey from lower trophic levels may have a difference in the proportion of $\delta^{15}\text{N}$ due to the greater availability of organic matter. *C. fulva*, on the other hand, overlapped in all reefs, which indicates a similar diet in each niche analyzed. Isotope analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values revealed differences among the reef mesopredators studied, suggesting variations in the food sources of the species in the different niches used. These results indicate that the fish may be occupying and exploiting a wider range of food sources. In addition, the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ signatures for the protected areas suggest that lower anthropogenic pressure, considering the results evaluated for niche breadth, allows the food chain of the different niches occupied to be more functional. The data evaluated reinforce the importance of studying mesopredators to understand their trophic dynamics and how they could influence conservation actions.

Keywords: isotopic niche; mesopredators; coral reef; environmental protection area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Delimitação espacial da APA Costa dos Corais, incluindo os estados e municípios que englobam a área de proteção.....	20
Figura 2	- Relação entre os níveis tróficos de recifes de corais e teia trófica..	21
Figura 3	- Mesopredador recifal <i>Cephalopholis fulva</i>	22
Figura 4	- Local de ocorrência da espécie <i>Cephalopholis fulva</i> no Atlântico Ocidental.....	23
Figura 5	- Mesopredador recifal <i>Epinephelus adscensionis</i>	24
Figura 6	- Local de ocorrência da espécie <i>Epinephelus adscensionis</i> no Atlântico Ocidental e Oriental.....	24
Figura 7	- Zoneamento da APA Costa dos Corais. Local de estudo. A. Recifes de Maragogi (Galés, Pedra do Meio e Antunes). B. Recife da Jatiúca. C. Recife da Ponta Verde.....	28
Figura 8	- Medição do comprimento total do peixe <i>Cephalopholis fulva</i> em centímetros.....	30
Figura 9	- Pesagem do peixe <i>Epinephelus adscensionis</i> em gramas na balança de precisão Marte AD5002.....	30
Figura 10	- Placas de Petri com os códigos designados para alguns dos espécimes analisados. Os códigos foram utilizados para identificar cada uma das amostras individualmente.....	31
Figura 11	- Placas de Petri com pedaços do tecido muscular dos peixes estudados na estufa. As amostras foram processadas imediatamente após 24 horas a 60° celsius constante.....	32
Figura 12	- Materiais utilizados para o encapsulamento do pó resultante dos tecidos musculares dos peixes estudados. Foram utilizadas pinças no tamanho 2.0, placas de Petri em tamanhos variados, cápsulas de estanho, colher espátula e balança analítica AUW220D.....	33
Figura 13	- Preenchimento de cápsula de estanho com o pó resultante dos tecidos musculares dos peixes estudados.....	33
Figura 14	- <i>Boxplot</i> mostrando a distribuição do comprimento (em centímetros) de <i>Cephalopholis fulva</i> (laranja) e <i>Epinephelus adscensionis</i> (cinza) em diferentes recifes da costa de Alagoas (Galés, Antunes, Pedra do Meio, Jatiúca e Ponta Verde). As caixas representam o intervalo interquartil (25%–75%), a linha horizontal dentro das caixas indica a mediana, e os pontos fora das extremidades representam valores atípicos.....	36
Figura 15	- <i>Boxplot</i> mostrando a distribuição do peso (em gramas) de <i>Cephalopholis fulva</i> (laranja) e <i>Epinephelus adscensionis</i> (cinza) em diferentes recifes da costa de Alagoas (Galés, Antunes, Pedra do Meio, Jatiúca e Ponta Verde). As caixas representam o intervalo interquartil (25%–75%), a linha horizontal dentro das caixas indica a mediana, e os pontos fora das extremidades representam valores atípicos.....	36
Figura 16	- <i>Boxplot</i> da área padrão de elipse corrigida (SEAc; em % ²), representando o nicho isotópico de <i>Epinephelus adscensionis</i> amostrado em cinco recifes: Antunes, Galés, Jatiúca, Pedra do	39

	Meio e Ponta Verde. As caixas sombreadas representam intervalos de confiança de 50, 75 e 95%, de cinza escuro a cinza claro, respectivamente. O "X" vermelho indica o valor médio e o ponto preto a mediana.....	
Figura 17	- <i>Boxplot</i> da área padrão de elipse corrigida (SEAc; em % ²), representando o nicho isotópico de <i>Cephalopholis fulva</i> amostrado em quatro recifes: Antunes, Galés, Pedra do Meio e Ponta Verde. As caixas sombreadas representam intervalos de confiança de 50, 75 e 95%, de cinza escuro a cinza claro, respectivamente. O "X" vermelho indica o valor médio e o ponto preto a mediana.....	39
Figura 18	- Variação do nicho isotópico da espécie <i>Epinephelus adscensionis</i> nos recifes de corais de diferentes tipos de categoria de manejo estudados. As diferentes formas geométricas representam as amostras, as elipses representam a área da elipse corrigida (SEAc) e os polígonos em linhas tracejadas representam a área total do nicho isotópico.....	40
Figura 19	- Variação do nicho isotópico da espécie <i>Cephalopholis fulva</i> nos recifes de corais de diferentes tipos de categoria de manejo estudados. As diferentes formas geométricas representam as amostras, as elipses representam a área da elipse corrigida (SEAc) e os polígonos em linhas tracejadas representam a área total do nicho isotópico.....	41
Figura 20	- Comparação do nicho isotópico das espécies <i>Cephalopholis fulva</i> e <i>Epinephelus adscensionis</i> . As diferentes formas geométricas representam as amostras, as elipses representam a área da elipse corrigida (SEAc) e os polígonos em linhas tracejadas representam a área total do nicho isotópico.....	42
Figura 21	- Comparação de sobreposição entre os nichos isotópicos dos diferentes recifes avaliados. Os recifes mencionados aqui são apenas quatro, excluindo o recife da Jatiúca que não apresentou espécimes da espécie <i>Cephalopholis fulva</i> . A figura apresenta a comparação entre as amplitudes de nicho das espécies avaliadas, onde as elipses cinza representam o nicho isotópico de <i>E. adscensionis</i> e as elipses laranjas representam o nicho isotópico de <i>C. fulva</i>	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Valores de nicho isotópico para as espécies <i>Cephalopholis fulva</i> e <i>Epinephelus adscensionis</i> em cada Categoria de Manejo, localidade (Maceió e Maragogi) e recife amostrado. N = Número de amostras, TA = Área Total, SEAc = Área de Elipse Padrão Corrigida, DP = Desvio Padrão.....	38
----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMP	Áreas Marinhas Protegidas
APA	Área de Proteção Ambiental
APACC	Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais
CIA-FURG	Centro Integrado de Análises da Universidade Federal do Rio Grande
ECOALAB	Laboratório de Ecologia e Conservação no Antropoceno
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
MMA	Ministério do Meio Ambiente e de Mudanças Climáticas
SIA	Análise de Isótopos Estáveis
SIBER	<i>Stable Isotope Bayesian Ellipses in R</i>
ZEE	Zona Econômica Exclusiva
ZPRE	Zona de Preservação
ZPRO	Zona de Produção

LISTA DE SÍMBOLOS

δ	Delta
C	Carbono
N	Nitrogênio
‰	Porcentagem por mil
‰ ²	Porcentagem por mil ao quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Ecossistemas recifais.....	18
2.2	Áreas Marinhas Protegidas.....	19
2.2.1	Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais.....	19
2.3	Peixes mesopredadores recifais.....	21
2.3.1	<i>Cephalopholis fulva</i>	22
2.3.2	<i>Epinephelus adscensionis</i>	23
2.4	Nicho trófico e carnivoria	25
2.5	Nicho isotópico.....	26
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Área de estudo.....	28
3.2	Espécies estudadas.....	29
3.3	Coleta de amostras.....	29
3.4	Processamento de amostras.....	30
3.5	Análise de dados.....	34
4	RESULTADOS.....	36
4.1	Dados morfométricos.....	36
4.2	Nicho isotópico.....	37
5	DISCUSSÃO.....	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
7	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Os recifes de corais são ecossistemas tropicais complexos que produzem seu próprio substrato, consequência da abundância e atividades calcificantes de animais metazoários chamados de corais, (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007). Rico em espécies e altamente produtivo, esse ecossistema favorece as relações entre inúmeros organismos marinhos como moluscos, gastrópodes, algas calcárias, crustáceos e peixes (Delgado; Sharp, 2020; Kramer *et al.*, 2015). Além da sua importância ecológica, servindo como abrigo para outras diversas espécies, os recifes agem na proteção da costa, e possuem grande relevância social e econômica, seja por meio da pesca, do turismo ou como fonte de lazer e estética, o tornando insubstituível para a natureza e o homem (Brander; Beukering; Cesar; 2007).

Embora seja um dos principais ecossistemas marinhos, capaz de oferecer bens e serviços ecossistêmicos variados, os recifes de corais, seguem sendo degradados a partir da pesca excessiva, poluição e alterações climáticas (De'ath *et al.*, 2012; Hughes *et al.*, 2017). Ao redor do mundo, as mudanças climáticas estão impactando ecossistemas e comunidades, alterando padrões de clima, intensificando o aquecimento global e diminuindo a biodiversidade (Kakaki, 2013). Recifes de corais são um dos inúmeros ecossistemas ameaçados pelas mudanças climáticas. Estas podem gerar mudanças significativas no ambiente marinho, desde o impacto aos processos recifais, ao branqueamento de corais, acidificação do oceano, alteração de interações competitivas e reposição populacional de espécies (Anthony, 2016).

Assim, diversos são os fatores que podem influenciar na diminuição de espécies marinhas, dentre elas, os predadores de topo. Eles, por sua vez, influenciam a estrutura trófica de um ecossistema por atuar diretamente na manutenção da diversidade de espécies e ao influenciar no comportamento de presas (Hammerschlag *et al.*, 2022).

À luz das atuais ameaças antropogênicas às comunidades de peixes, é preciso avaliar a função mediada por esses indivíduos nos recifes de corais. Diante disso, há uma relação positiva entre a complexidade estrutural de recifes de corais e a densidade e biomassa de peixes que fazem seu uso, possivelmente mediada pela competição dependente da densidade e pelo refúgio da predação (Graham; Nash, 2013). A competição é um aspecto chave na definição do nicho ecológico de uma espécie, o conceito de nicho ecológico descreve o papel e a função de uma espécie, incluindo suas interações com outros organismos e com o ambiente (Gibson-Reinemer, 2015). Assim, quando duas ou mais espécies possuem nichos sobrepostos, ou seja, competem pelos mesmos recursos, esta competição pode influenciar diretamente na distribuição e abundância das espécies (Pianka, 1974). Dessa forma, o nicho

ecológico abrange tanto as exigências ambientais de uma espécie quanto a forma como ela se ajusta às condições ambientais de um determinado ecossistema.

O nicho ecológico tem como uma de suas dimensões o nicho trófico. A transferência de energia nas teias alimentares é mediada por um número de interações tróficas entre os indivíduos que compõem um ecossistema agindo de modo a impulsionar sua estrutura, composição e função. Portanto, os consumidores adaptam sua estratégia alimentar de modo a satisfazer sua procura metabólica (McCann *et al.*, 1998; Menge *et al.*, 2004). Assim, o nicho trófico deve descrever como um organismo adquire energia em uma rede alimentar, utilizando recursos disponíveis, respondendo a competição e sendo influenciado por fatores externos a ele, como fatores ecológicos e ambientais.

Independente do táxon, animais incorporam assinaturas bioquímicas através do consumo (Deniro; Epstein, 1981), da assimilação de nutrientes e da síntese de tecidos. Dessa forma, os isótopos estáveis são úteis porque muitos dos processos químicos são sensíveis às diferenças nas energias de dissociação da molécula, então as composições de tecidos orgânicos podem apresentar informações acerca do que os criou, refletindo a dieta de um organismo e o papel que desempenha no fluxo de energia de um ecossistema (Newsome *et al.*, 2007). Ecologistas descrevem o nicho isotópico como uma área no espaço que utiliza valores isotópicos como coordenadas.

Na Análise de Isótopos Estáveis (SIA, sigla em inglês para *Stable Isotope Analysis*), são comumente utilizados isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) de produtores, consumidores e predadores para identificar o nicho isotópico das espécies estudadas. As proporções isotópicas de carbono são utilizadas para identificar as diferentes fontes de energia consumidas em uma relação trófica, enquanto as proporções isotópicas de nitrogênio são utilizadas para estimar o nível trófico do consumidor (Post, 2002; Hussey *et al.*, 2013). Desta forma, através do estudo do nicho isotópico é possível identificar a posição trófica dos indivíduos, entender as relações entre as diferentes espécies e avaliar os impactos ambientais.

Mesopredadores são definidos como predadores intermediários, que aparecem ou têm maior influência quando um determinado ecossistema passa por uma redução no número de predadores de topo (Prugh *et al.*, 2009). Eles fornecem informações valiosas sobre um ecossistema e sua cascata trófica visto que criam links entre produtores e consumidores de níveis tróficos superiores, assim tendo importância vital para o entendimento das interações existentes (Kroetz *et al.*, 2017).

No contexto do declínio de espécies de topo de cadeia, é fundamental compreender o papel dos peixes mesopredadores na dinâmica trófica de um ecossistema, visto que podem

alterar interações tróficas, afetar a estrutura de comunidades e mudar fluxos de energia. Por isso, torna-se necessário investigar como os diferentes tipos de manejo dos recifes de corais podem influenciar a dinâmica trófica dos peixes considerando a distribuição de recursos alimentares, o nível trófico ocupado pela espécie e possíveis cenários de competição com outras espécies.

As Unidades de Conservação, em especial as Áreas Marinhas Protegidas, são fundamentais para a conservação dos recifes de corais, oferecendo uma gestão baseada em diferentes graus de ações protetivas. Elas desempenham um papel essencial na proteção dos ecossistemas recifais e promovem a recuperação da biodiversidade local frente a ameaças como a sobrepesca, poluição e mudanças climáticas (Topor *et al.*, 2019). Áreas Marinhas Protegidas ajudam a restaurar a estrutura e a função dos recifes de corais, assim como auxiliam na proteção das espécies que fazem seu uso, nos serviços oferecidos pelos recifes e no aumento da resiliência das comunidades marinhas por meio da cascata trófica (Mellin *et al.*, 2016).

Neste trabalho, vamos avaliar o nicho isotópico de duas espécies de mesopredadores recifais: a Caraúna *Cephalopholis fulva*, e a Garoupa-gato *Epinephelus adscensionis*, espécies consideradas bons modelos para estudos de habitat devido à sua diversidade, longa duração de vida, ampla distribuição e complexidade de comportamento (Anderson *et al.*, 2023).

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o nicho isotópico dos peixes mesopredadores *Cephalopholis fulva* e *Epinephelus adscensionis* coletados nos diferentes recifes de corais selecionados do estado de Alagoas, nos municípios de Maceió (Jatiúca e Ponta Verde) e Maragogi (Antunes, Galés e Pedra do meio), visando compreender como se dá a sobreposição de nicho entre estas espécies nas diferentes áreas, considerando a amplitude do nicho isotópico, e como isto pode estar relacionado com as diferentes estratégias de manejo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ecossistemas recifais

Recife de coral é um ecossistema rico em espécies e altamente produtivo, apresenta uma abundante biodiversidade e fornece serviços ecossistêmicos para milhões de pessoas. Os recifes de corais são um dos ecossistemas mais biodiversos do mundo, considerando que muitas espécies marinhas ainda não foram descobertas, há uma estimativa de que mais de 830 mil espécies conhecidas e multicelulares, com exceção de fungi, fazem seu uso (Fisher *et al.*, 2015). Nesse sentido, dentre as espécies conhecidas, o ambiente abriga peixes (Tribot *et al.*, 2019), gastrópodes (Delgado; Sharp, 2020), crustáceos (Araújo-silva; Sarmiento; Santos, 2022), predadores de topo (Bradley *et al.*, 2017) e demais organismos. Quanto à proteção da costa, os recifes de corais auxiliam na dissipação da energia de ondas por meio da quebra delas ou da redução de seu impacto por meio do atrito com as estruturas do recife, assim fazendo com que as ondas cheguem à costa sem causar danos ou inundações (Zanten; Beukering; Wagtendonk, 2014).

O Brasil abriga um dos maiores sistemas de recifes de corais do mundo, com 4 mil quilômetros que vai da costa da Amazônia, passa pelos estados do Pará, Amapá e Maranhão, conecta-se aos recifes da costa semiárida, incluindo o Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Bahia, chegando até o sul do país (Carneiro *et al.*, 2022).

Entre os serviços oferecidos, oportunidades de subsistência, sequestro de carbono, proteção da costa, turismo e pesca fazem parte desse escopo (Eddy *et al.*, 2021). Visitado não só por brasileiros, os recifes de corais servem como atração também para o público estrangeiro, assim como é uma fonte de subsistência para comunidades locais, seja por meio do turismo ou da pesca. Ainda que o turismo nos recifes de corais, como a realização de atividades como o mergulho livre e autônomo ou passeio de barco, e atividades adjacentes como valorização de atração estética sejam valiosas socioeconomicamente falando, impactos negativos podem estar associados, como a degradação da vida marinha em áreas visitadas e aumento da poluição (Spalding *et al.*, 2017).

A pesca é um dos principais serviços oferecidos por ofertar segurança alimentar e garantia de comércio para comunidades locais. Em países em desenvolvimento, a pesca pode surgir de maneira artesanal, onde diversos equipamentos podem ser utilizados para o mesmo propósito e inúmeras espécies surgem como foco da pescaria, mesmo aquelas que não possuem dados o suficiente para garantir uma pesca segura para aquele ecossistema (Nash;

Graham, 2016). Entretanto, estudos reportam um declínio nos recifes de corais ao redor do mundo causado por múltiplos estressores, sendo a sobrepesca um deles (Massei *et al.*, 2023).

Os recifes de corais sofrem ameaças antropogênicas há séculos, sendo que os estressores mais comuns associados às diferenças morfológicas e estruturais desses ambientes são as mudanças climáticas, acidificação do oceano, poluição e pesca excessiva (Ban; Graham; Connolly; 2014; Rahman *et al.*, 2023). Essa pressão ocasionada pela pesca nos recifes de corais é frequentemente ligada à redução da abundância e da biomassa dos peixes nos recifes (Robinson *et al.*, 2016). A sobrepesca é responsável pela perda da diversidade taxonômica, filogenética e funcional ao redor do mundo (Naeem; Duffy; Zavaleta, 2012).

2.2 Áreas Marinhas Protegidas

Os oceanos abrangem mais de 70% da superfície terrestre e os ecossistemas que os compõem oferecem bens e serviços ecossistêmicos variados. As Áreas Marinhas Protegidas (AMPs) são áreas delimitadas no oceano que tem como objetivo principal a conservação da biodiversidade local e dos recursos naturais presentes nela. De acordo com o ICMBio (*s.d.*), as AMPs apresentam relação direta com a proibição e/ou Acordos de Gestão que regulam as atividades de pesca nessas regiões, considerando aspectos intrínsecos dos ecossistemas, como áreas de berçário, troca de matéria e proteção da diversidade de organismos.

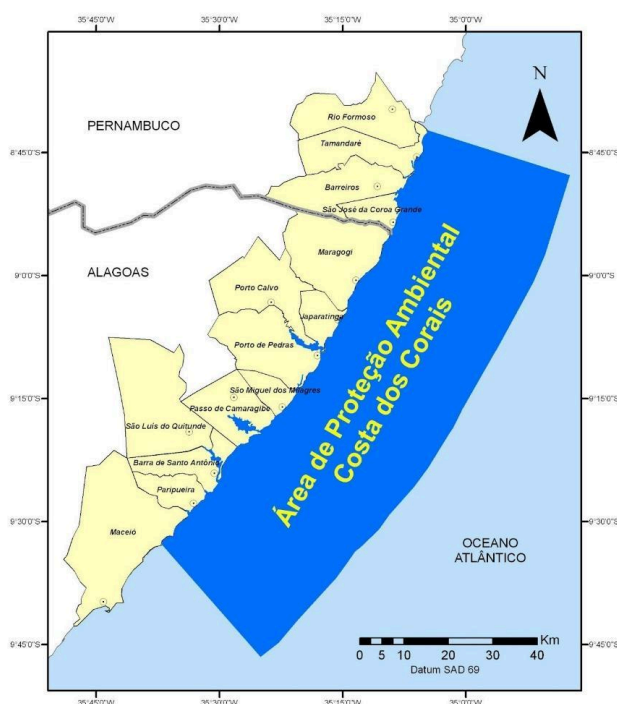
As AMPs seguem sendo uma das principais estratégias para a conservação dos ambientes recifais visto que protegem essas áreas de ameaças antropogênicas, desde a pesca excessiva à poluição e destruição de sua estrutura, e auxilia na reconstrução de comunidades, bem como promove o uso sustentável dos recursos oferecidos e preserva a diversidade local (Gronrud-Colvert *et al.*, 2021).

A Zona Costeira é uma unidade territorial de transição entre a costa e o oceano e suas delimitações estão presentes em documentos oficiais. No Brasil, segundo o Ministério do Meio Ambiente e de Mudança Climática (MMA, 2021), a zona marinha abarca o início da região costeira, o mar territorial, a plataforma continental marinha e a Zona Econômica Exclusiva (ZEE), alongando-se por até 200 milhas (370 km) da costa. Além disso, inclui as áreas do Atol das Rocas, dos arquipélagos de Fernando de Noronha e de São Pedro e de São Paulo e das ilhas de Trindade e Martin Vaz. Em 2021 a área marinha e costeira nacional contava com 27,8% de sua área protegida por 739 unidades de conservação, sendo que a Área Marinha contava com 190 unidades de conservação (MMA, 2021).

2.2.1 APA Costa dos Corais

A Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC; Figura 1) é uma Unidade de Conservação de uso sustentável, situada na costa nordestina do Brasil, que busca combinar a conservação e o uso dos recursos de suas áreas de maneira sustentável. De acordo com o Plano de Manejo da APACC (2021), esta é a maior unidade de conservação federal marinha costeira do país, possui mais de 400 mil hectares e 120 quilômetros de praia e estuários cobertos por manguezais e abriga uma das maiores barreiras de recifes de coral do mundo. A APACC foi criada em outubro de 1997, em um evento internacional sobre recifes de corais em Tamandaré, no estado de Pernambuco. A delimitação da unidade de conservação abrange municípios do estado de Alagoas e Pernambuco, sendo eles: Maceió, Paripueira, Barra de Santo Antônio, Passo de Camaragibe, São Miguel dos Milagres, Porto de Pedras, Porto Calvo, Japaratinga e Maragogi em Alagoas e São José da Coroa Grande, Barreiros e Tamandaré em Pernambuco, totalizando 12 municípios.

Figura 1 – Delimitação espacial da APA Costa dos Corais, incluindo os estados e municípios que englobam a área de proteção.



Fonte: ICMBio (s.d.).

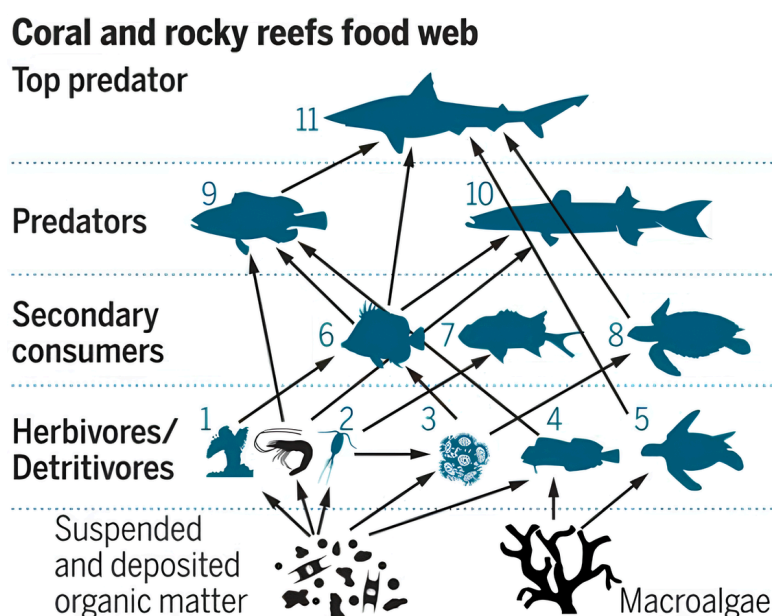
Áreas marinhas protegidas, como a APA Costa dos Corais, podem ser consideradas instrumentos efetivos para a conservação de uma área no que se refere à mitigação de impactos humanos ao limitar o uso de seus recursos em prol da resiliência ecossistêmica (Xuereb *et al.*, 2019). Assim, Steiner *et al.* (2015) fala que a zonação de ambientes recifais

permite avaliar possíveis impactos antropogênicos e metodologias que envolvam o monitoramento de fatores múltiplos nessas regiões podem contribuir para avaliar o impacto decorrente de atividades antropogênicas.

2.3 Peixes Mesopredadores Recifais

Cada cadeia alimentar comporta uma série de organismos em níveis tróficos distintos, que transferem energia por meio da alimentação de outros organismos. Considerando a existência de produtores primários, consumidores e predadores de topo em um ecossistema, é possível definir um “mesopredador” como um predador de nível intermediário (Figura 2), ecologicamente distinto de um predador de topo pois predadores de topo possuem fatores que podem auxiliar sua posição em um ecossistema, como tamanho maior, reprodução mais lenta e habilidades de caça que fazem com que sua predação seja importante para equilibrar um ambiente, diferente de mesopredadores que podem desestabilizar populações caso sua predação sobre ela seja excessiva (Prugh *et al.*, 2009; Ritchie; Johnson, 2009).

Figura 2 – Relação entre os níveis tróficos de recifes de corais e teia trófica.



Fonte: Santos *et al.* (2021).

Predadores de topo são conhecidos por regular o ecossistema e assegurar sua biodiversidade. Ao redor do mundo, predadores de topo (ex.: tubarões) vem sofrendo um declínio ocasionado por múltiplos fatores, entre eles a sobrepesca, mudanças climáticas e perda de seu habitat (Heithaus *et al.*, 2008; Pacoureau *et al.*, 2021). A retirada desses

predadores pode modificar a interação entre os demais organismos de uma comunidade e ocasionar a liberação de mesopredadores, gerando o aumento na predação de presas menores (Ritchie; Johnson, 2009).

Os mesopredadores, por sua vez, desempenham um papel fundamental nos ecossistemas de recifes de corais pois, além de possuir importância econômica, assumem potencial influenciador da dinâmica trófica das comunidades (Hempson, 2017). Predadores dentro de uma cadeia agem não somente sob a forma como o fluxo de energia se dá em uma teia trófica, mas também criam links entre os organismos que podem alterar a densidade de uma população e a produtividade de um ecossistema (Elmhagen *et al.*, 2010).

2.3.1 *Cephalopholis fulva*

O peixe *Cephalopholis fulva* Linnaeus, 1758 (Figura 3), também conhecido como Garoupa-vermelha, Piraúna, Catuá e Peixe-manteiga, é um peixe carnívoro presente nos recifes tropicais do oceano Atlântico.

Figura 3 – Mesopredador recifal *Cephalopholis fulva*.



Fonte: Gabriel Cardozo-Ferreira (2022).

Cephalopholis fulva distribui-se desde a Carolina do Sul, nos Estados Unidos, até a região Sul

do Brasil (Fishbase, *s.d.*; Figura 4). Esta espécie hermafrodita atinge sua maturidade sexual com cerca de 16-24,5 centímetros, podendo chegar ao comprimento máximo de 41-44 centímetros e pode viver, no Brasil, até os 25 anos (Araújo; Martins, 2006). Os adultos preferem águas claras e recifais, mas são comumente encontrados em profundidades de 35 a 45 metros (Fishbase, *s.d.*).

Figura 4 – Local de ocorrência da espécie *Cephalopholis fulva* no Atlântico Ocidental.



Fonte: IUCN (2018).

Quanto à dieta, *C. fulva* se alimenta majoritariamente de peixes e crustáceos (Gathaz *et al.*, 2013).

O *C. fulva* possui um papel importante nos habitats recifais e áreas adjacentes por influenciar as comunidades de presas (Coelho *et al.*, 2013). Atualmente é uma espécie categorizada como “Pouco preocupante” de acordo com a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da União Internacional Para a Conservação da Natureza (IUCN, 2018), ou seja, uma espécie que não é foco de planos de conservação, mesmo que por vezes apareça como alvo de pesca e comércio.

2.3.2 *Epinephelus adscensionis*

Epinephelus adscensionis Osbeck 1765 (Figura 5), é conhecido como garoupa-pintada ou peixe-gato, é um peixe carnívoro encontrado no oceano Atlântico ocidental, dos Estados

Unidos ao Brasil, e em parte do Atlântico oriental (Figura 6).

Figura 5 – Mesopredador recifal *Epinephelus adscensionis*.



Fonte: Gabriel Cardozo-Ferreira (2022).

E. adscensionis distribui-se, na região ocidental do Atlântico, pelos Estados Unidos, Golfo do México e no Brasil, enquanto, na região oriental, é encontrado na Ilha de Ascensão, na Ilha de Santa Helena, nas Ilhas Canárias, Cabo Verde, na África do Sul, em São Tomé e em Portugal (Fishbase, *s.d.*).

Figura 6 – Local de ocorrência da espécie *Epinephelus adscensionis* no Atlântico Ocidental e Oriental.



Fonte: IUCN, 2018.

Epinephelus adscensionis possui uma dieta similar à de *C. fulva*, se alimentando principalmente de peixes e crustáceos (Marques; Ferreira, 2017). *E. adscensionis*, no Brasil, atinge a maturidade sexual com 20 centímetros de comprimento total e 4 anos de idade, podendo chegar a 61 centímetros e a uma idade aproximada de 33 anos (Burton; Potts; Carr, 2012). Também, *E. adscensionis* é uma espécie hermafrodita, com as fêmeas se tornando machos ao atingir determinado tamanho (Kline; Khan; Holt, 2011; Marques; Ferreira, 2017).

Estudos recentes apontam que a família Epinephelidae é altamente valorizada na pesca por conter indivíduos com alto valor comercial (Mahé *et al.*, 2022). Embora seja uma espécie de grande importância no ambiente onde residem e pelos serviços oferecidos aos recifes, essa espécie está vulnerável à sobre pesca, o que resultou em uma diminuição de sua densidade populacional nas últimas décadas (Ribeiro; Damasio; Silvano, 2021). Não obstante, na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas a espécie está listada como “Pouco Preocupante” (IUCN, 2018).

2.4 Nicho trófico e carnivorismo

A dinâmica trófica, sob a perspectiva ecológica, considera tanto os fluxos de produção e dissipação de energia quanto o nicho funcional, destacando o papel e a posição de cada organismo (Lindeman, 1942). O conceito de níveis tróficos pode ser visto como

categorias funcionais dentro de um ecossistema, quando relacionado a um fluxo de energia entre as diferentes posições tróficas (Lindeman, 1942). Assumindo a definição de nicho trófico com base no papel funcional de determinada espécie e na sua relação de dinamismo energético, Lindeman (1942) e Charles Elton (1927 *apud* Pedruski; Fussman; Gonzalez, 2016), conceituam nicho trófico como o papel ecológico das espécies dentro de uma cadeia alimentar e como a posição ocupada por um organismo indica como a energia é transferida entre os níveis tróficos.

Os níveis tróficos dentro de um ecossistema podem ser divididos em uma cascata linear onde há produtores, consumidores e predadores de topo. Na cadeia alimentar, sabe-se que essa divisão corresponde a diferentes estratégias alimentares e, entre elas, estão os organismos autótrofos, os herbívoros, onívoros e carnívoros (Kercher; Shugart, 1975). Os carnívoros possuem um papel fundamental no ecossistema, visto que a relação entre eles e os demais organismos o coloca como regulador de níveis tróficos inferiores (Miller *et al.*, 2001). Os efeitos dos carnívoros (ou falta deles) no tamanho da população de presas pode influenciar o papel delas na estrutura e sua função nos ecossistemas, podendo ser algo sem consequências significativas ou gerar impactos imprevisíveis (Winnie; Creel, 2017).

A redução na abundância de espécies de níveis superiores, reflete no aumento no número de indivíduos de espécies reguladas por estes, dessa forma, resultando no aumento da pressão de predação em níveis inferiores e em competição por demais recursos (Soler *et al.*, 2015).

2.5 Nicho isotópico

O nicho isotópico permite a visualização do nicho trófico com base em dados bioquímicos, e pode ser definido como o espaço utilizado por uma espécie definido por meio de proporções de isótopos estáveis (nesse caso, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) (Newsome *et al.*, 2007).

Isótopo estável é a forma de um elemento químico que existe na natureza com o mesmo número de elétrons e prótons, mas que difere no número de nêutrons em seu núcleo (Coward, 2005). A análise de isótopos estáveis (SIA, sigla em inglês para *Stable Isotope Analyses*) surgiu como uma das principais formas de análise da estrutura de cadeias alimentares, considerando dois dos elementos mais comuns dentro de uma cadeia: o nitrogênio (N) e o carbono (C), e pode ser utilizada para desenvolver modelos de uma estrutura trófica (Layman *et al.*, 2011). Os isótopos são úteis em estudos ecossistêmicos pois reações físicas e enzimáticas causam diferença reproduzível entre os isótopos e, por sua vez, essa diferenciação gera variação na composição do material biológico de um organismo,

fazendo com que os elementos estáveis de carbono e nitrogênio possam ser utilizados para rastrear relações de teias alimentares em ambientes marinhos (Lehman, 2013).

Para mapear o fluxo de energia em teias alimentares, relacionando sua posição trófica com a assimilação de energia ou fluxo de massa que levam a um organismo, a razão entre os isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) pode ser utilizada para avaliar as diferentes fontes alimentares de um organismo, enquanto os isótopos de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) são utilizados para estimar a posição trófica do predador avaliado, já que ele é enriquecido com base na sua dieta (Post, 2002).

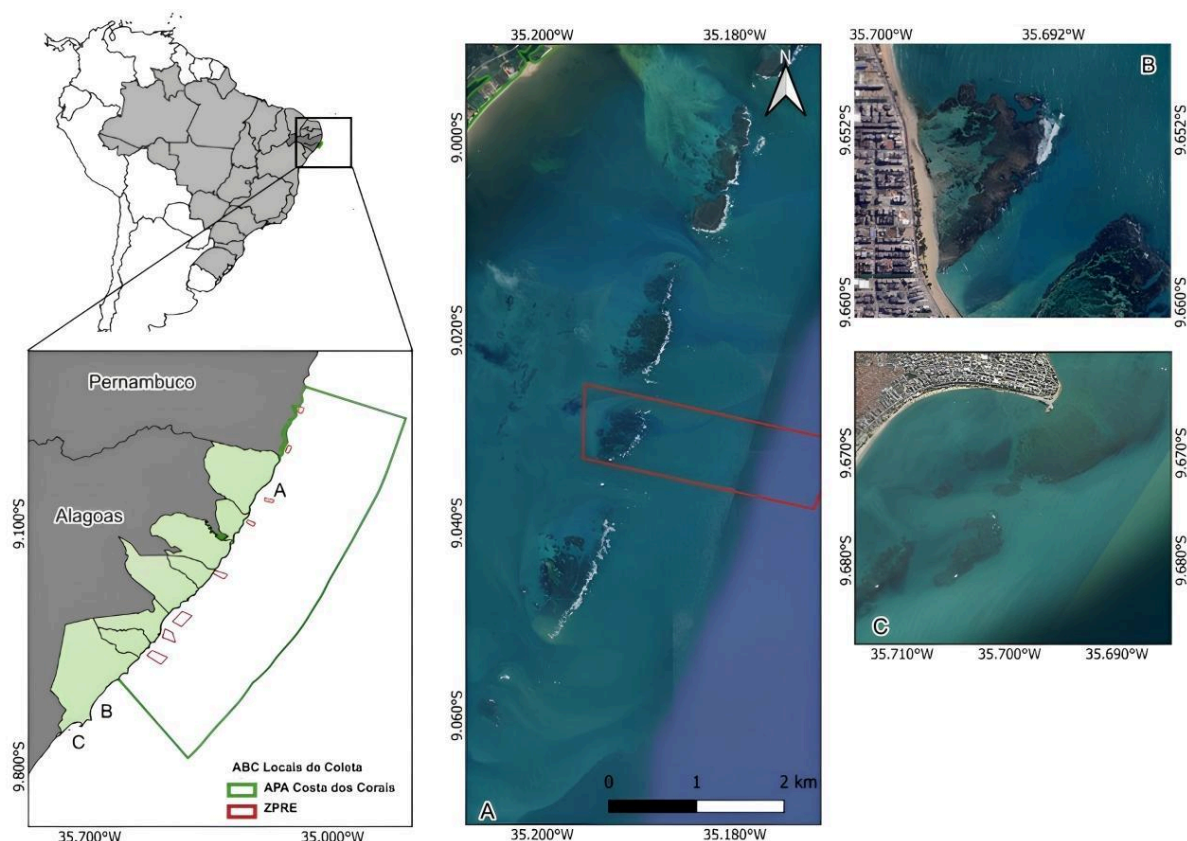
Considerando os isótopos estáveis, é possível utilizar modelos Bayesianos para quantificar o uso de recursos por consumidores, gerar hiper volumes da cadeia alimentar de um habitat e quantificar a similaridade entre os diferentes sistemas avaliados (James *et al.*, 2020). Dessa forma, SIA se provou uma ferramenta valiosa para estudos de ecologia trófica visto que elucida variados problemas ecológicos, como a reconstrução de dieta, caracterização de relações tróficas, elucidando padrões de alocação de recursos e construindo teias alimentares (Newton, 2016; Boecklen *et al.*, 2011).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC), considerada a maior unidade de conservação marinho-costeira do Brasil e na região metropolitana de Maceió. O Plano de Manejo da APACC definido pelo ICMBio (2021) apresenta um zoneamento espacial, por meio da criação de “zonas”, cujo regulamento prevê quais atividades serão permitidas, incentivadas ou restringidas e proibidas em cada uma das áreas. As zonas da APACC (Figura 7) alvos deste estudo foram: Zonas de Preservação (ZPRE), também conhecida como *no-take zone*, que constitui a área fechada onde nenhuma ação antropológica é permitida, com exceção de pesquisas científicas autorizadas, e as Zonas de Produção (ZPRO), que compreende uma zona de suporte à produção com incentivo a boas práticas de conservação dos recursos hídricos e uso sustentável dos recursos naturais (ICMBio, 2021). Os recifes estudados estão localizados em Maceió (Jatiúca e Ponta Verde) e Maragogi na APACC (Pedra do Meio, Antunes e Galés).

Figura 7 – Zoneamento da APA Costa dos Corais. Local de estudo. **A.** Recifes de Maragogi (Galés, Pedra do Meio e Antunes). **B.** Recife da Jatiúca. **C.** Recife da Ponta Verde.



Fonte: Thaila Myrella (2024).

3.2 Espécies estudadas

Para esse estudo duas espécies de peixes mesopredadores foram selecionadas: *Cephalopholis fulva* e *Epinephelus adscensionis*. Com o declínio de grandes predadores como tubarões, meros e demais garoupas associadas à pesca (Heithaus *et al.*, 2008), mesopredadores têm assumido uma importante função nas relações entre produtores e consumidores. Assim, essas espécies foram escolhidas levando em consideração sua importância e representatividade trófica como mesopredador nas cadeias tróficas da região estudada. Em conformidade com as normas éticas para experimentação animal, o estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais sob o nº 25/2022.

3.3 Coleta de amostras

A coleta e a análise das amostras foram realizadas entre os anos de 2023 e 2024. Dos peixes, foram coletados 40 espécimes de *C. fulva* e 52 de *E. adscensionis*. A diferença nos valores se deu pela falta da espécie *C. fulva* no recife da Jatiúca. As espécies foram coletadas usando arpão de mão e arbalète em mergulhos livres em apneia durante as marés baixas nas

regiões recifais, com profundidade média variando entre 0,3 metros e 5 metros de profundidade, e ocorreram entre março e dezembro de 2023. Após as coletas, os exemplares foram armazenados no gelo em caixas térmicas durante o transporte e levados ao Laboratório de Ecologia e Conservação no Antropoceno (ECOALAB) da Universidade Federal de Alagoas, onde foram conservados congelados em um freezer até o momento de serem processados.

3.4 Processamento das amostras

O processamento das amostras foi realizado no ECOALAB, seguindo três etapas distintas. Antes delas, um código foi criado e designado para cada espécime, com informações acerca de sua espécie, do recife onde foi coletada, o número do indivíduo e o número da amostra que estava sendo realizada.

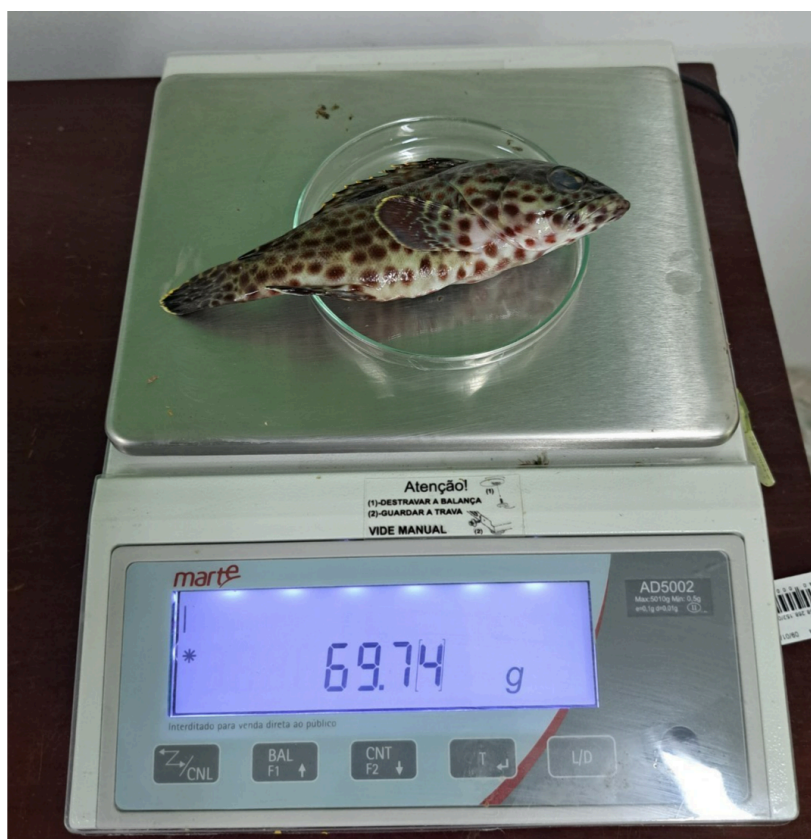
A primeira etapa do processamento consistiu na extração do tecido muscular dos peixes estudados. Esse processo teve início com o descongelamento dos indivíduos previamente armazenados no freezer, onde posteriormente houve a coleta de dados morfométricos, sendo fotografados e aferidos o comprimento total (Figura 8) e peso (Figura 9) de cada espécime.

Figura 8 – Medição do comprimento total do peixe *Cephalopholis fulva* em centímetros.



Fonte: Autoral.

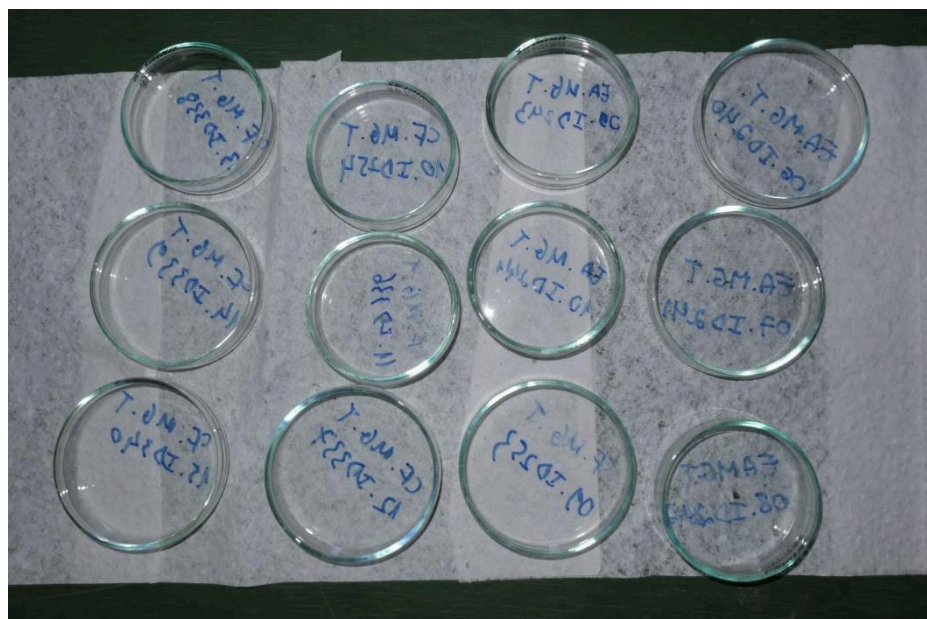
Figura 9 – Pesagem do peixe *Epinephelus adscensionis* em gramas na balança de precisão Marte AD5002.



Fonte: Autoral.

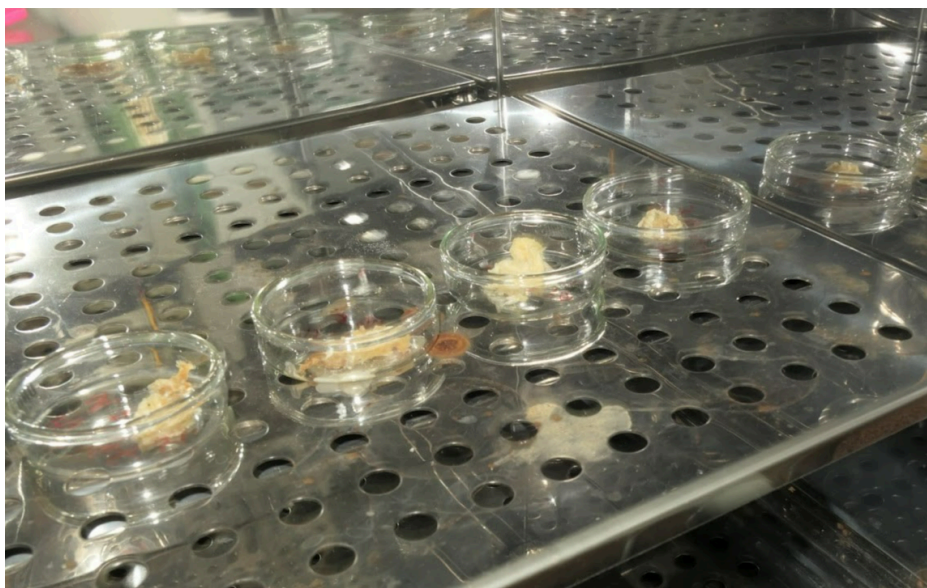
A continuação dessa etapa ocorreu por meio do corte do tecido muscular do peixe com o auxílio de um bisturi ou tesoura e pinças, todos esterilizados com acetona antes de cada processamento. A amostra é então higienizada com água destilada e posicionada em uma placa de Petri já identificada com o código atribuído àquele indivíduo (Figura 10). Depois, a placa com o conteúdo é armazenada em uma estufa a 60° Celsius constante por 24 horas (Figura 11) para a secagem.

Figura 10 – Placas de Petri com os códigos designados para alguns dos espécimes analisados. Os códigos foram utilizados para identificar cada uma das amostras individualmente.



Fonte: Autoral.

Figura 11 – Placas de Petri com pedaços do tecido muscular dos peixes estudados na estufa. As amostras foram processadas imediatamente após 24 horas a 60° celsius constante.



Fonte: Autoral.

A segunda etapa ocorreu imediatamente após a retirada do material da estufa e consistiu na transformação do tecido muscular ressecado em pó. Nesse processamento foram utilizados dois instrumentos de porcelana, o gral e o pistilo. Ao fim da etapa, o pó resultante da maceração foi armazenado em um tubo criogênico previamente identificado com o código da amostra referente para posterior armazenamento.

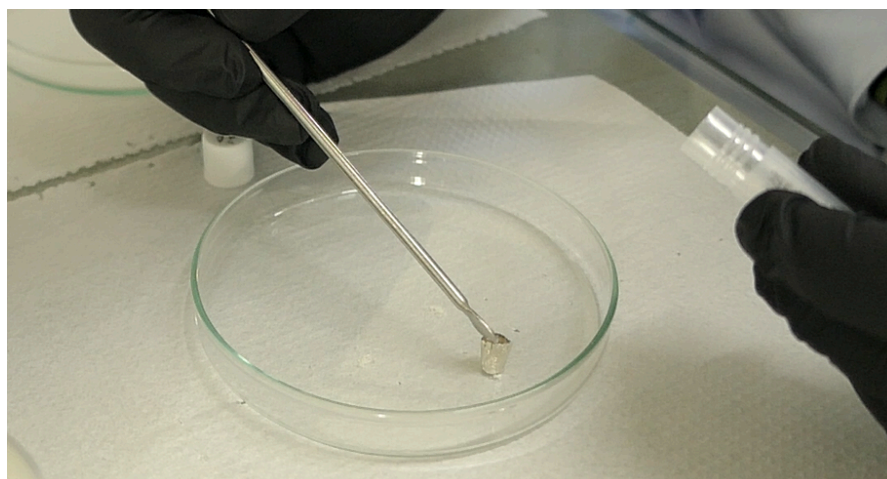
A terceira e última etapa do processamento consistiu no encapsulamento das amostras. Para que houvesse o encapsulamento das amostras (Figura 12), primeiro a balança analítica AUW220D, com precisão de 0,01mg, era ligada e calibrada a fim de que suas medidas fossem estabilizadas. No procedimento, a cápsula de estanho foi posicionada na balança para que seu peso fosse aferido e logo depois descartado. Em seguida, o pó do tecido foi retirado do tubo para preencher a cápsula (Figura 13). Todo o material utilizado para o processamento das amostras foi devidamente esterilizado com acetona P.A.

Figura 12 – Materiais utilizados para o encapsulamento do pó resultante dos tecidos musculares dos peixes estudados. Foram utilizadas pinças no tamanho 2.0, placas de Petri em tamanhos variados, cápsulas de estanho, colher espátula e balança analítica AUW220D.



Fonte: Autoral.

Figura 13 – Preenchimento de cápsula de estanho com o pó resultante dos tecidos musculares dos peixes estudados.



Fonte: Autoral.

Concluída a pesagem, a cápsula foi retirada da balança e posicionada na placa de Petri, posteriormente sendo comprimida em uma esfera com o uso das pinças. A cápsula, após segura nas pinças, foi isolada de qualquer tipo de contato ou dano, assim evitando perdas ou contaminação do material utilizado. Ao fim de cada encapsulamento, as cápsulas de amostras foram armazenadas em placas de identificação alfanumérica. As placas receberam códigos de identificação contendo informações acerca do local, zona e numeração da remessa e foram enviadas para o Centro Integrado de Análises na Universidade Federal do Rio Grande (CIA - FURG) para que as amostras fossem analisadas com um espectrômetro de massa de razão isotópica.

3.5 Análise de dados

A análise isotópica é realizada por meio da análise de um espectrômetro de massa que mede as razões de elementos específicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) (Lozano-Pena *et al.*, 2023). As razões isotópicas são calculadas e expressas em delta (δ) em partes por mil (‰), onde a fórmula utilizada é: $X = [(R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1] \times 1000$, sendo X o elemento isotópico (C ou N) e R a razão entre o isótopo pesado e o isótopo leve (ou seja, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) da amostra e dos padrões internacionais (V-PDB e AIR para carbono e nitrogênio, respectivamente).

Após o recebimento das análises das proporções de isótopos estáveis realizadas pelo CIA-FURG, as assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram analisadas no software R. A leitura das assinaturas, o cálculo dos valores de amplitude e a sobreposição dos nichos isotópicos foram estimados por meio do pacote SIBER (*Stable Isotope Bayesian Ellipses in R*) (Jackson *et al.*, 2011), com intervalo de confiança de 60% para as elipses. As assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ são

utilizadas como “coordenadas” para a reprodução dos nichos isotópicos e definição das elipses bayesianas padrão.

A Análise de Variância (ANOVA) foi utilizada para comparar as médias de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ entre as comunidades avaliadas e definir se a média entre os grupos foi significativa ou ao acaso. Criada por R.A. Fisher, ANOVA é um teste estatístico usado para comparar conjuntos de dados assumindo que cada grupo é amostrado a partir de uma distribuição normal, cada dado é amostrado aleatoriamente e a variância deve ser semelhante entre os grupos (Smalheiser, 2017). A ANOVA testa a hipótese nula de que não há diferença entre os grupos comparados, considerando que a estatística F avalia se a variação entre as médias do grupo é maior que a variação interna de cada grupo, e que P inferior a 0,05 indica que a hipótese nula pode ser rejeitada, indicando uma diferença significativa em pelo menos uma das comunidades (Kim, 2017). Para identificar a variância entre grupos que apresentam diferenças significativas, é utilizado o teste post-hoc Tukey (Speed, 2002).

4 RESULTADOS

4.1 Dados morfométricos

Considerando os múltiplos campos realizados para coleta dos espécimes e aqueles selecionados, o número total de peixes mesopredadores coletados foi de 92, sendo 52 *Epinephelus adscensionis* e 40 *Cephalopholis fulva*.

Figura 14 – *Boxplot* mostrando a distribuição do comprimento (em centímetros) de *Cephalopholis fulva* (laranja) e *Epinephelus adscensionis* (cinza) em diferentes recifes da costa de Alagoas (Galés, Antunes, Pedra do Meio, Jatiúca e Ponta Verde). As caixas representam o intervalo interquartil (25%–75%), a linha horizontal dentro das caixas indica a mediana, e os pontos fora das extremidades representam valores atípicos.

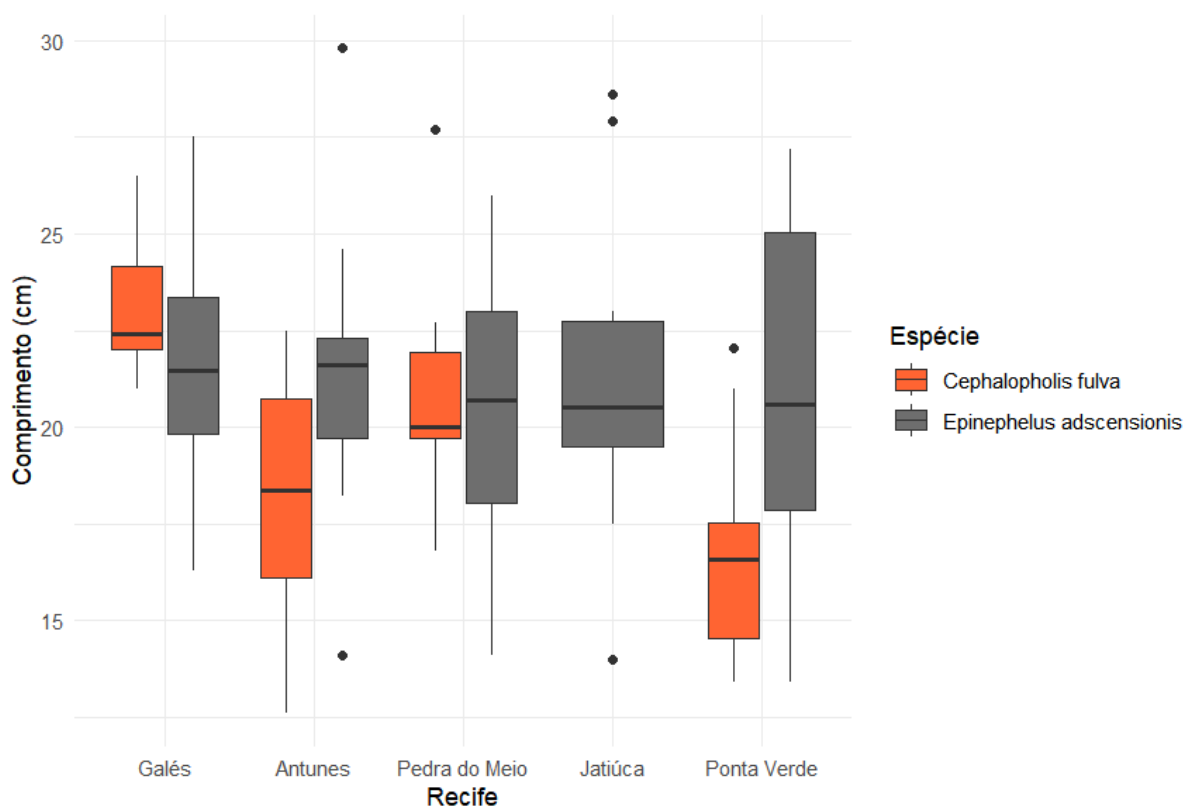
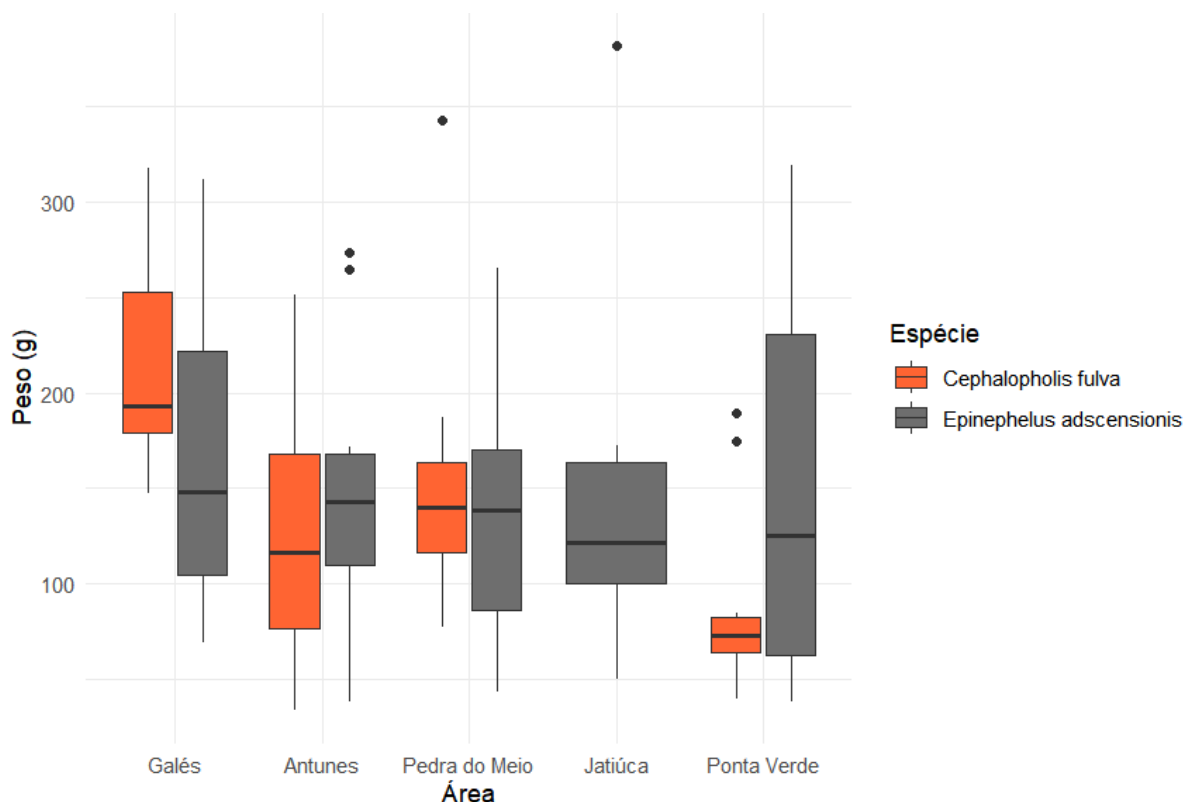


Figura 15 – *Boxplot* mostrando a distribuição do peso (em gramas) de *Cephalopholis fulva* (laranja) e *Epinephelus adscensionis* (cinza) em diferentes recifes da costa de Alagoas (Galés, Antunes, Pedra do Meio, Jatiúca e Ponta Verde). As caixas representam o intervalo interquartil (25%–75%), a linha horizontal dentro das caixas indica a mediana, e os pontos fora das extremidades representam valores atípicos.



Quanto ao comprimento e peso da espécie *E. adscensionis*, os peixes de Galés apresentaram os maiores valores médios com 21,7 centímetros de comprimento e 165,7 gramas de peso. Já os peixes de Pedra do Meio apresentaram as menores médias com 20,5 centímetros de comprimento (Figura 14) e 141,8 gramas de peso (Figura 15).

Quanto à espécie *C. fulva*, as maiores médias de comprimento e peso foram do recife de Galés com 23,09 centímetros (Figura 14) e 213,3 gramas (Figura 15), respectivamente. Já as menores médias foram do recife de Maceió, que não faz parte da APACC, da Ponta Verde, onde apresentaram 16,78 centímetros de comprimento e 155,7 gramas de peso.

4.2 Nicho isotópico

A espécie que ocupou a posição isotópica com a menor média de $\delta^{13}\text{C}$ foi a *C. fulva* ($-14,92 \pm 0,79 \text{ ‰}$) no recife de Pedra do Meio, em Maragogi. Enquanto a espécie *E. adscensionis* teve a maior assinatura média de $\delta^{13}\text{C}$ no recife de Jatiúca, em Maceió ($-13,51 \pm 0,42 \text{ ‰}$). De forma semelhante, a espécie *E. adscensionis*, também no recife de Jatiúca, foi a que teve maior assinatura média de $\delta^{15}\text{N}$ ($13,13 \pm 0,38 \text{ ‰}$), enquanto os indivíduos de Antunes (Maragogi) de *E. adscensionis*, apresentaram a menor média de $\delta^{15}\text{N}$ ($10,06 \pm 0,40 \text{ ‰}$).

A amplitude de nicho isotópico (SEAc) das espécies *Epinephelus adscensionis* e *Cephalopholis fulva* variou entre os recifes analisados (tabela 1).

Para *E. adscensionis*, o nicho isotópico de maior amplitude SEAc foi o de Antunes (1,57 ‰²) e o de menor amplitude foi o de Galés (0,24 ‰²) (Figura 16). Já para *C. fulva*, o recife de maior amplitude SEAc foi o de Galés (1,37 ‰²) e o de menor amplitude foi o da Ponta Verde (0,65 ‰²) (Figura 17).

Tabela 1 – Valores de nicho isotópico para as espécies *Cephalopholis fulva* e *Epinephelus adscensionis* em cada Categoria de Manejo, localidade (Maceió e Maragogi) e recife amostrado. N = Número de amostras, TA = Área Total, SEAc = Área de Elipse Padrão Corrigida, DP = Desvio Padrão.

Mesopredador	Categoria de Manejo	Recife	N	TA	SEAc (‰ ²)	δ ¹³ C	δ ¹⁵ N
						(‰) Média (DP)	(‰) Média (DP)
<i>Epinephelus adscensionis</i>	ZPRO	Antunes	10	2,600	1,570	-13,89 (1,00)	10,06 (0,40)
	ZPRO	Galés	10	0,409	0,244	-14,05 (0,25)	10,21 (0,27)
	ZPRE	Pedra do Meio	10	1,105	0,585	-14,79 (0,66)	10,32 (0,22)
	Múltiplo-Uso	Jatiúca	11	0,946	0,482	-13,51 (0,42)	13,13 (0,38)
	Múltiplo-Uso	Ponta Verde	11	0,840	0,476	-14,83 (0,35)	10,98 (0,45)
<i>Cephalopholis fulva</i>	ZPRO	Antunes	10	1,451	0,849	-14,47 (0,95)	10,46 (0,26)
	ZPRO	Galés	10	2,759	1,373	-14,82 (0,85)	10,77 (0,43)
	ZPRE	Pedra do Meio	10	1,375	0,847	-14,92 (0,79)	10,46 (0,56)
	Múltiplo-Uso	Ponta Verde	10	1,242	0,650	-14,88 (0,39)	10,99 (0,57)

Fonte: Autoral.

Figura 16 – *Boxplot* da área padrão de elipse corrigida (SEAc; em $\%^2$), representando o nicho isotópico de *Epinephelus adscensionis* amostrado em cinco recifes: Antunes, Galés, Jatiúca, Pedra do Meio e Ponta Verde. As caixas sombreadas representam intervalos de confiança de 50, 75 e 95%, de cinza escuro a cinza claro, respectivamente. O "X" vermelho indica o valor médio e o ponto preto a mediana.

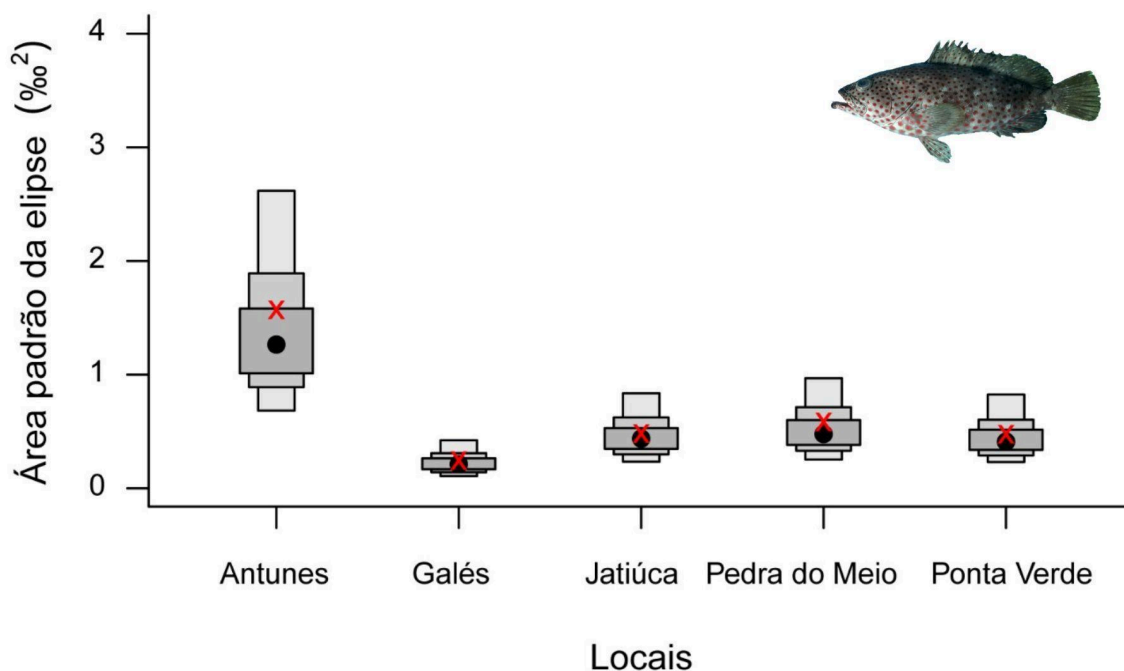
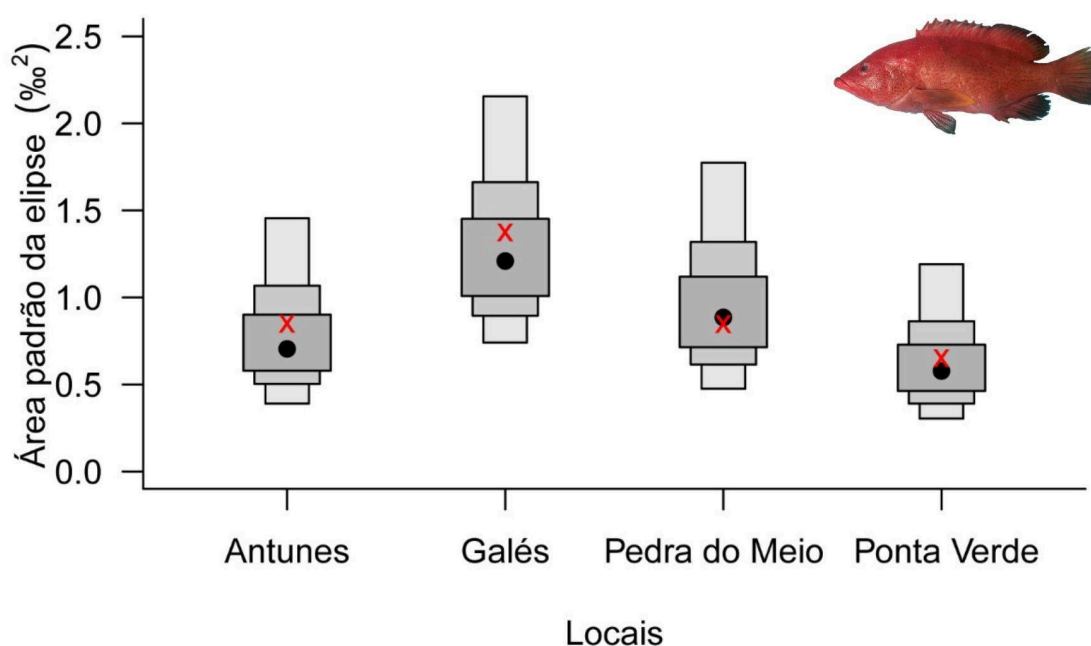
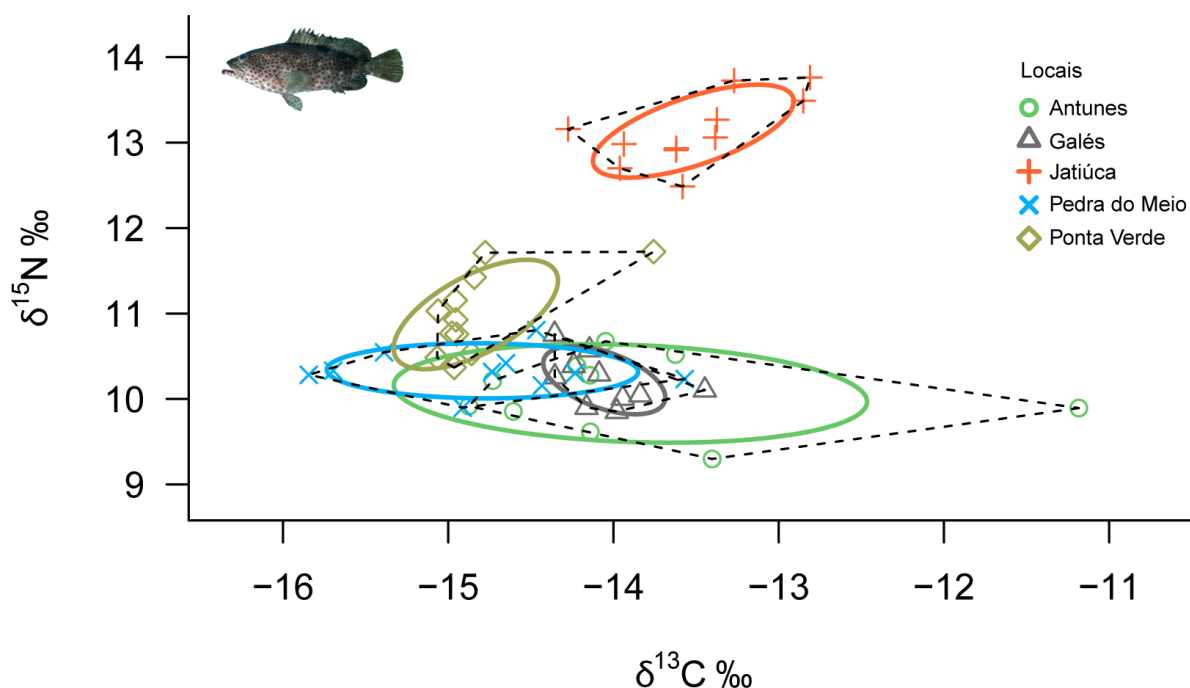


Figura 17 – *Boxplot* da área padrão de elipse corrigida (SEAc; em $\%^2$), representando o nicho isotópico de *Cephalopholis fulva* amostrado em quatro recifes: Antunes, Galés, Pedra do Meio e Ponta Verde. As caixas sombreadas representam intervalos de confiança de 50, 75 e 95%, de cinza escuro a cinza claro, respectivamente. O "X" vermelho indica o valor médio e o ponto preto a mediana.



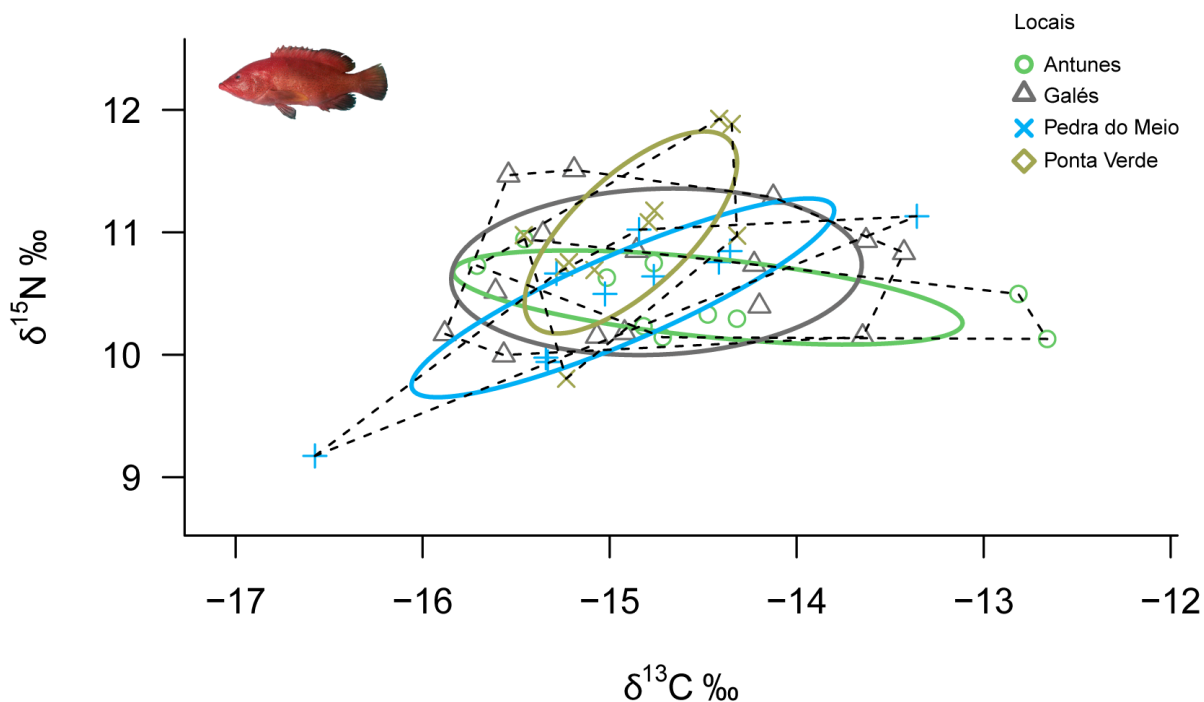
Os resultados para a espécie *E. adscensionis* indicam uma diferença na posição trófica dos peixes dentro e fora da Área de Proteção Costa dos Corais. Os recifes de corais que fazem parte da APACC (Antunes, Galés e Pedra do Meio) apresentaram uma maior sobreposição de nicho isotópico (Figura 18). Visto que a sobreposição de nicho indica o compartilhamento de itens alimentares, o comportamento aponta que aqueles animais que estão em sobreposição nos nichos isotópicos dos recifes da APACC podem estar apresentando uma alimentação mais semelhante que aqueles que não estão em sobreposição. O resultado inesperado do recife da Jatiúca para a espécie *E. adscensionis* pode também sugerir uma diferença na matéria orgânica disponível para os peixes que fazem seu uso.

Figura 18 – Variação do nicho isotópico da espécie *Epinephelus adscensionis* nos recifes de corais de diferentes tipos de categoria de manejo estudados. As diferentes formas geométricas representam as amostras, as elipses representam a área da elipse corrigida (SEAc) e os polígonos em linhas tracejadas representam a área total do nicho isotópico.



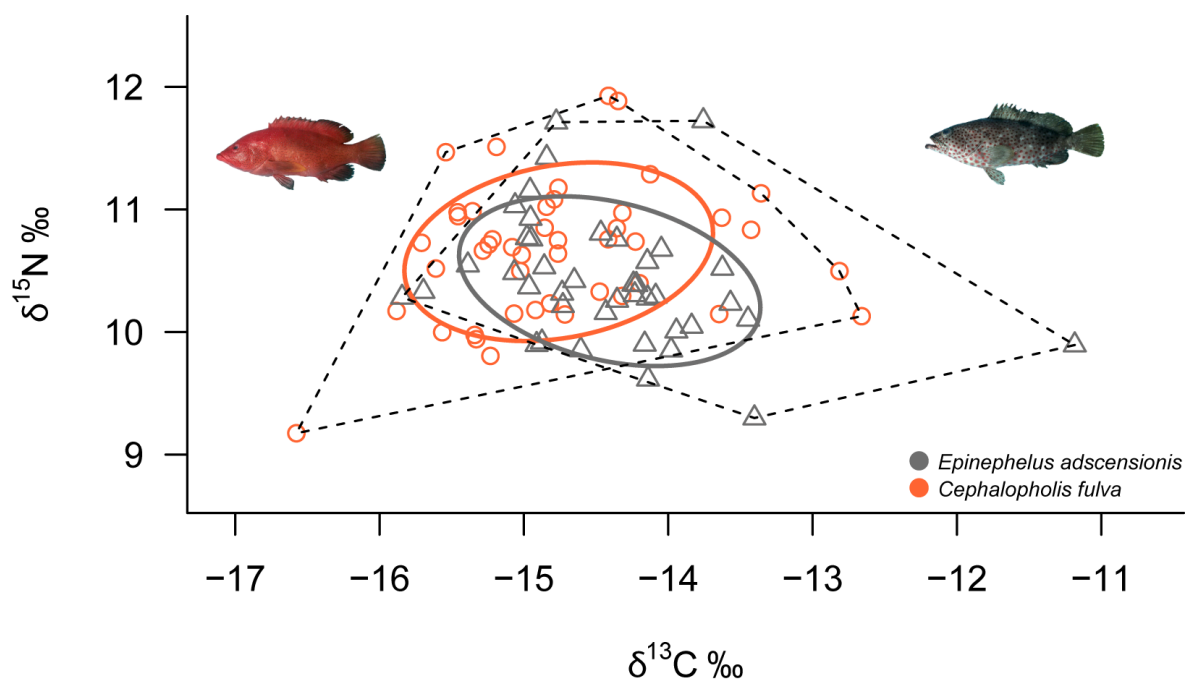
Considerando os resultados da SIA para a espécie *Cephalopholis fulva*, é possível notar que todos os recifes de corais, de dentro e fora da APACC, em algum momento se sobrepuseram (Figura 19). Ainda que haja certa sobreposição entre eles, é perceptível que os recifes de corais de Antunes e Pedra do Meio apresentaram nichos tróficos mais diversificados, ou seja, com maior variabilidade alimentar entre eles, enquanto os peixes de Galés, mesmo tendo uma distribuição menor, ainda compartilham dos mesmos recursos. Analisando o tamanho das elipses e suas posições (Figura 19), os animais presentes no recife de coral da Ponta Verde, contudo, parecem possuir maior plasticidade alimentar ao que seus resultados sugerem um nível trófico superior àqueles da APACC.

Figura 19 – Variação do nicho isotópico da espécie *Cephalopholis fulva* nos recifes de corais de diferentes tipos de categoria de manejo estudados. As diferentes formas geométricas representam as amostras, as elipses representam a área da elipse corrigida (SEAc) e os polígonos em linhas tracejadas representam a área total do nicho isotópico.



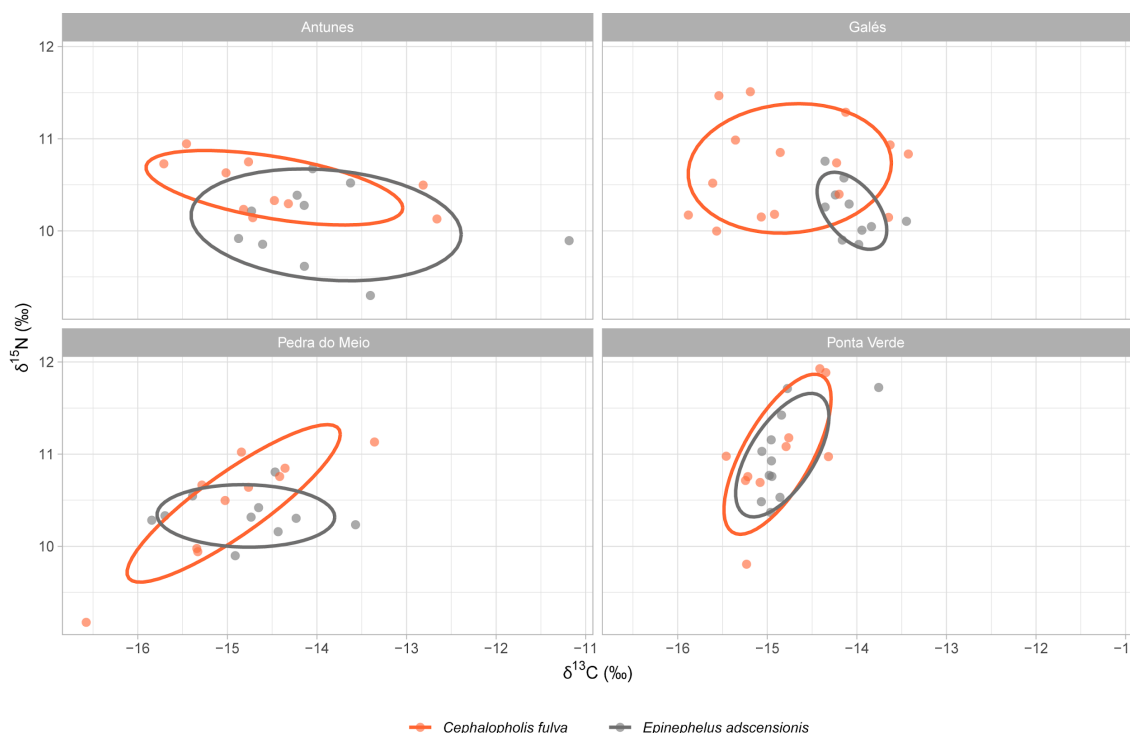
A comparação dos nichos isotópicos entre as duas espécies, considerando todos os indivíduos (exceto os *E. adscensionis* da Jatiúca, uma vez que não foram coletados indivíduos de *C. fulva* para comparação neste local), sem distinção de recife, é possível observar uma sobreposição parcial do nicho isotópico explorado por elas (Figura 20). Isto pode indicar uma similaridade nos itens alimentares entre as espécies. Ainda assim, há uma diferença no nível trófico de *C. fulva* quando observada a distinção de $\delta^{15}\text{N}$ entre eles (Figura 20), o que reflete uma possível posição trófica superior a *E. adscensionis*.

Figura 20 – Comparação do nicho isotópico das espécies *Cephalopholis fulva* e *Epinephelus adscensionis*. As diferentes formas geométricas representam as amostras, as elipses representam a área da elipse corrigida (SEAc) e os polígonos em linhas tracejadas representam a área total do nicho isotópico.



É possível observar, ainda, a sobreposição entre os nichos isotópicos das duas espécies nos diferentes recifes analisados (Figura 21).

Figura 21 – Comparação de sobreposição entre os nichos isotópicos dos diferentes recifes avaliados. Os recifes mencionados aqui são apenas quatro, excluindo o recife da Jatiúca que não apresentou espécimes da espécie *Cephalopholis fulva*. A figura apresenta a comparação entre as amplitudes de nicho das espécies avaliadas, onde as elipses cinza representam o nicho isotópico de *E. adscensionis* e as elipses laranjas representam o nicho isotópico de *C. fulva*.



Para o recife de Antunes, há uma sobreposição parcial do nicho utilizado, com *E. adscensionis* explorando uma área maior que *C. fulva*, de acordo com o gráfico. Já para Galés, a área explorada por *E. adscensionis* é menor quando comparada à de *C. fulva*, que, como visto anteriormente, obteve a maior amplitude de SEAc nesse recife. Para Pedra do Meio, o nicho utilizado por *C. fulva* ($0,84\text{‰}^2$) é ligeiramente maior que aquele utilizado por *E. adscensionis* ($0,58\text{‰}^2$). E, quando analisada a amplitude do nicho da Ponta Verde para ambas as espécies, mesmo com uma sobreposição quase total entre os nichos, *C. fulva* ainda obteve amplitude superior à de *E. adscensionis*.

Visando a análise das diferenças entre os recifes, foram realizados testes de ANOVA e post-hoc Tukey. Para $\delta^{13}\text{C}$ em ANOVA, os resultados variaram entre as espécies. O valor de ANOVA para *E. adscensionis* indicou a falta de diferença significativa, considerando que $F = 0,659$ e $P = 0,582$. Esse resultado implica que, para essa espécie, a diversidade de dieta está sendo similar entre todas as áreas avaliadas. Já para *C. fulva*, a ANOVA sugeriu que há uma diferença significativa entre a dieta dos espécimes avaliados, com $F = 9,011$ e $P < 0,001$. Avaliando $\delta^{15}\text{N}$, a posição trófica de *E. adscensionis* não variou entre os recifes ($F = 2,397$ e $P = 0,081$), mas a de *C. fulva* sim ($F = 120,6$ e $P < 0,001$).

Em contrapartida, o teste de comparações múltiplas Tukey, que compara todas as possibilidades de recifes amostrados, para *C. fulva*, diferente dos resultados de ANOVA, não apresentou nenhuma diferença significativa entre os recifes.

5 DISCUSSÃO

Os resultados indicaram que os recifes da APACC apresentaram maior amplitude de nicho isotópico, com valores de SEAc superiores aos de Maceió. O recife com maior amplitude de nicho isotópico para *E. adscensionis* foi o de Antunes, enquanto o de *C. fulva* foi o de Galés. Para as assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$, *E. adscensionis* apresentou a maior diversidade de dieta no recife da Jatiúca, enquanto *C. fulva* apresentou maior diversidade dos recursos consumidos em Antunes. Já quanto aos resultados de $\delta^{15}\text{N}$, *E. adscensionis* apresentou maior posição trófica no recife da Jatiúca, enquanto *C. fulva* apresentou maior posição trófica no recife da Ponta Verde.

A análise de isótopos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ revelou diferenças significativas entre os mesopredadores recifais estudados, sugerindo variações nas fontes alimentares e nas diferentes amplitudes dos nichos utilizados.

Os indivíduos coletados dentro da APACC apresentaram nicho isotópico mais amplo do que aqueles de Maceió. Esses resultados indicam que os peixes dentro da APACC podem estar ocupando e explorando uma gama mais ampla de fontes alimentares. Também, a alta sobreposição dos nichos isotópicos para a espécie *Cephalopholis fulva* nos recifes da APACC pode indicar uma maior similaridade de presas para os indivíduos, visto que a procura por recursos parece mais similar entre os peixes avaliados. O recife da Ponta Verde para essa espécie, no entanto, apresentou valores mais altos de $\delta^{15}\text{N}$ que os espécimes da APACC, o que sinaliza uma possível procura por presas de níveis tróficos superiores àqueles da APACC.

Considerando as posições dos nichos isotópicos da Ponta Verde e da Jatiúca para a espécie *Epinephelus adscensionis* observa-se que houve a presença de diferença de posições tróficas nessas áreas, o que remete a uma dieta distinta entre os recifes. Há múltiplos fatores pelos quais isso poderia acontecer. Entre eles, a interferência humana por meio da pesca, poluição ou degradação do habitat podem ser destacadas. Considerando a diferença observada nas posições de $\delta^{15}\text{N}$ dos nichos isotópicos de Maceió e Maragogi, é possível notar que os peixes da Jatiúca, para *E. adscensionis*, estão se alimentando de organismos que provavelmente tem uma assinatura de nitrogênio maior que aqueles das demais regiões estudadas, o que pode acontecer, principalmente, em recifes poluídos.

Já *C. fulva* não apresentou diferenças significativas no teste de Tukey, o que indica dieta e posição trófica similares entre os recifes. Considerando esses resultados com os de ANOVA, essa espécie pode estar apresentando uma maior variação entre os indivíduos que entre as médias dos recifes analisados.

Considerando os tipos de zoneamento, espera-se que aqueles que fazem parte de uma área de proteção influenciem significativamente na resiliência dos recifes de corais e nas comunidades que fazem seu uso (Edgar *et al.*, 2014). Como observado nos resultados de *E. adscensionis*, os dados analisados indicam que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ estão sendo superiores nos recifes de Maceió, o que pode evidenciar uma pressão antrópica superior nessas áreas, provavelmente devido à poluição. Os resultados de ANOVA e Tukey para *Cephalopholis fulva*, no entanto, mostram que essa espécie pode ser mais generalista ou mais resistente a degradações.

Para que haja o devido entendimento das diferenças de assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$, é necessário avaliar os produtores primários dos recifes ocupados. Visto que algas compõe a base trófica de ecossistemas marinhos, se seus valores de nitrogênio estão enriquecidos, as assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$ dos animais de diferentes posições tróficas acima da sua (como os peixes carnívoros mesopredadores) também poderão estar elevados. Esse enriquecimento de nitrogênio por parte das algas pode estar ocorrendo principalmente nos recifes que não fazem parte da APACC (a exemplo da assinatura isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ da espécie *E. adscensionis* no recife da Jatiúca, com valor de 13,13‰) devido à maior influência antrópica na região.

A poluição por nutrientes derivado de atividades humanas segue sendo uma das principais causas da eutrofização de ecossistemas costeiros ao redor do mundo, e o excesso de nitrogênio nessas regiões contribui intensamente no aumento de floração de algas, o que pode afetar a diversidade de peixes e demais organismos (Kelly; Guijarro-Sabaniel; Zimmerman, 2021). Em recifes de corais de regiões tropicais, uma das principais atividades antropogênicas que alteram a disponibilidade de nitrogênio presente no ambiente é a deposição de esgoto no mar, o que pode comprometer a nutrição, crescimento e sobrevivência dos corais (Dailer *et al.*, 2012) e, dessa forma, impactar os organismos que fazem seu uso.

Em estudos sobre nicho trófico em recifes de corais de ambientes tropicais, os peixes *Cephalopholis fulva* e *Epinephelus adscensionis* são recorrentemente associados por apresentar habitats e dietas semelhantes (Anderson *et al.*, 2023). Sabendo que essas espécies possuem valor econômico e podem ser alvos de pesca, é importante considerar a pressão significativa que atividades pesqueiras podem gerar na abundância populacional dos indivíduos (Pinheiro *et al.*, 2011). Assim, reconhecendo a similaridade entre essas espécies e considerando as assinaturas isotópicas de *E. adscensionis* no recife de múltiplo-uso da Jatiúca, é evidente que a pesca pode ser um fator que influenciou a falta de *C. fulva* nesta região. Com o declínio de espécies de posições tróficas superiores e maiores em tamanho, que, por sua vez, tornam-se alvos da pesca, é possível que *C. fulva* seja procurada como alternativa para suprir

a falta desses consumidores (Trott; Luckhurst, 2007).

Além disso, estudos recentes mostram que *C. fulva* pode apresentar uma alta plasticidade alimentar e compartilha o habitat com *E. adscensionis* de modo que não necessariamente precisaria ser expulsa por outra espécie de um recife que apresenta recursos para ambos (Anderson *et al.*, 2023).

Também, quando consideradas ambas as espécies, sem a distinção de recifes analisados, é possível observar que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam variações nos níveis tróficos ocupados. O resultado de *C. fulva* mostra que essa espécie pode estar explorando espécies de níveis tróficos mais enriquecidos em N, o que a faz ficar em uma posição trófica superior. Nesse sentido, *E. adscensionis* pode estar tendo uma dieta com espécies de níveis tróficos inferior, o que fariam sua posição trófica ser inferior a *C. fulva*. Esses padrões podem surgir como estratégias para evitar ou reduzir a competição interespecífica, assim como pode refletir adaptações à disponibilidade de recursos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, houve a sobreposição dos nichos isotópicos das espécies analisadas, assim como observou-se que recifes de corais sem proteção legal ficam mais suscetíveis à influência humana.

Este estudo contribuiu para a compreensão da dinâmica trófica de mesopredadores recifais dentro e fora de áreas de proteção, considerando as diferenças reveladas pelos nichos isotópicos. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ indicaram que os indivíduos analisados apresentaram variações alimentares quando comparados os recifes de diferentes categorias de manejo, refletindo que esses animais podem estar explorando recursos tróficos distintos, refletindo possíveis variações na disponibilidade alimentar, estrutura da cadeia trófica e influências antropogênicas como poluição e pesca.

A presença de separação dos nichos isotópicos de Maragogi e Maceió para as duas espécies, em especial o recife da Jatiúca para a espécie *Epinephelus adscensionis*, sugere que as ações antropogênicas e a proteção legal podem estar influenciando diretamente no ecossistema dos recifes.

As diferenças de $\delta^{15}\text{N}$ entre as espécies estudadas pode, ainda, indicar que esses indivíduos desempenham papéis diferentes na regulação das populações de presas onde atuariam em níveis relativamente distintos de um ecossistema.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, A. B. *et al.* Habitat use of five sympatric predatory reef fishes at a remote island in the southern-western Atlantic. **Journal of Fish Biology**, v. 103, n. 2, p. 324-335, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfb.15433>. Acesso em: 9 jun. 2024.
- ANTHONY, K. R. N. Coral reefs under climate change and ocean acidification: Challenges and opportunities for management and policy. **Annual review of environment and resources**, v. 41, n. 1, p. 59–81, 2016b. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-110615-085610>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- ARAÚJO, J. N.; MARTINS, A. S. Age and growth of coney (*Cephalopholis fulva*), from the central coast of Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 86, n. 1, p. 187–191, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/231791120_Age_and_growth_of_coney_Cephalopholis_fulva_from_the_central_coast_of_Brazil. Acesso em: 20 fev. 2025.
- ARAÚJO, J. N.; MARTINS, A. S. Aspects of the population biology of *Cephalopholis fulva* from the central coast of Brazil. **Zeitschrift für angewandte Ichthyologie [Journal of applied ichthyology]**, v. 25, n. 3, p. 328–334, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0426.2008.01181.x>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- ARAÚJO-SILVA, C. L.; SARMENTO, V. C.; SANTOS, P. J. P. Climate change scenarios of increased CO₂ and temperature affect a coral reef peracarid (Crustacea) community. **Marine environmental research**, v. 173, p. 105518, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141113621002749>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- BAN, S. S.; GRAHAM, N. A. J.; CONNOLLY, S. R. Evidence for multiple stressor interactions and effects on coral reefs. **Global Change Biology**, v. 20, n. 3, p. 681–697, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24166756/>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- BOECKLEN, W. J. *et al.* On the use of stable isotopes in trophic ecology. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 42, n. 1, p. 411-440, 2011. Disponível em:

<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144726>

Acesso em: 20 fev. 2025.

BRANDER, L. M.; VAN BEUKERING, P.; CESAR, H. S. J. The recreational value of coral reefs: A meta-analysis. **Ecological economics: the journal of the International Society for Ecological Economics**, v. 63, n. 1, p. 209–218, 2007. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092180090600557X> Acesso em: 20 abr. 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Áreas protegidas**.

Brasil: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, s. d. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/areas-protegidas.html>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio. Sistema Nacional do Meio Ambiente. **Área de Proteção Ambiental APA Costa dos Corais**. Brasil: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, 2013. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/apacostadoscorais/>. Acesso em: 10 mai. 2024.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio. Sistema Nacional do Meio Ambiente. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Costas dos Corais**. Brasil: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, 2021. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/apacostadoscorais/planos-de-manejo.html/>. Acesso em: 14 de ago. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ecossistemas costeiros e marinhos**. Ministério do Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/ecosistemas-costeiros-e-marinhos>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BERTONCINI, A.A., FERREIRA, B., MARQUES, S. & SADOVY, Y. 2018. *Cephalopholis fulva*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132806A46917719**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T132806A46917719.en> Acesso em: 14 jan. 2025.

BURTON, M. L.; POTTS, J. C.; CARR, D. R. Age, growth, and natural mortality of rock hind, *Epinephelus adscensionis*, from the gulf of Mexico. **Bulletin of marine science**, v. 88, n. 4, p. 903–917, 2012. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2012/00000088/00000004/art00006;jsessionid=129e7q6gkhrli.x-ic-live-02> Acesso em: 20 abr. 2025.

COELHO, F. DO N. *et al.* Spatial distribution and diet of *Cephalopholis fulva* (Ephinephelidae) at Trindade Island, Brazil. **Neotropical ichthyology**, v. 10, n. 2, p. 383–388,

2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ni/a/SBSZWQHgYpj5fGvTSTVCwsB/?lang=en>
Acesso em: 24 fev. 2025.

COWARD, W. A. ENERGY EXPENDITURE | doubly labeled water. **Encyclopedia of Human Nutrition**. [s.l.] Elsevier, 2005. p. 145–154. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B0122266943023012> Acesso em: 17 jan. 2025.

DAILER, M. L. *et al.* Algal $\delta^{15}\text{N}$ values detect a wastewater effluent plume in nearshore and offshore surface waters and three-dimensionally model the plume across a coral reef on Maui, Hawai'i, USA. **Marine pollution bulletin**, v. 64, n. 2, p. 207–213, 2012. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X11006400?via%3Dihub>
Acesso em: 18 fev. 2025.

DE'ATH, G. *et al.* The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 44, p. 17995–17999, 2012.
Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23027961/> Acesso em: 10 nov. 2024.

DELGADO, G. A.; SHARP, W. C. Capitalizing on an ecological process to aid coral reef ecosystem restoration: Can gastropod trophodynamics enhance coral survival?. **Coral Reefs**, v. 39, p. 319–330, 2020. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-020-01893-y> Acesso em: 29 jan. 2024.

DENIRO, M.; EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 45, n. 3, p. 341–351, 1981. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0016703781902441>. Acesso em: 10 mai. 2024.

EDDY, T. D. *et al.* Global decline in capacity of coral reefs to provide ecosystem services. **One Earth**, v. 4, n. 9, p. 1278–1285, 2021. Disponível em:
[https://www.cell.com/one-earth/fulltext/S2590-3322\(21\)00474-7?ref=nozdrenkov.com](https://www.cell.com/one-earth/fulltext/S2590-3322(21)00474-7?ref=nozdrenkov.com)
Acesso em: 20 nov. 2024.

EDGAR, G. J. *et al.* Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. **Nature**, v. 506, n. 7487, p. 216–220, 2014. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24499817/> Acesso em: 27 abr. 2025.

ELMHAGEN, B. *et al.* Top predators, mesopredators and their prey: interference ecosystems along bioclimatic productivity gradients. **The journal of animal ecology**, v. 79, n. 4, p. 785–794, 2010. Disponível em:
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2656.2010.01678.x> Acesso em: 20 abr. 2025.

- FERREIRA, B., BERTONCINI, A.A. & CHOAT, J.H. 2018. *Epinephelus adscensionis*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T132819A46918058**. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T132819A46918058.en> Acesso em: 14 jan. 2025.
- FISHBASE. *Cephalopholis fulva* summary page. Disponível em: <https://www.fishbase.se/summary/cephalopholis-fulva> Acesso em: 14 jan. 2025.
- FISHBASE. *Epinephelus adscensionis* summary page. Disponível em: <https://www.fishbase.se/summary/14> Acesso em: 14 jan. 2025.
- FISHER, R. *et al.* Species richness on coral reefs and the pursuit of convergent global estimates. **Current biology: CB**, v. 25, n. 4, p. 500–505, 2015. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982214016236#:~:text=Based%20on%20the%20knowledge%20elicited,and%20Amphipoda%20\(Figure%202\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982214016236#:~:text=Based%20on%20the%20knowledge%20elicited,and%20Amphipoda%20(Figure%202)) Acesso em: 27 abr. 2025.
- FLORIDA MUSEUM. Coney. Disponível em: <https://www.floridamuseum.ufl.edu/discover-fish/species-profiles/coney/#:~:text=The%20coney%20was%20originally%20described,and%20Serranus%20ouatalibi%20Valenciennes%201828> Acesso em: 17 jan. 2025.
- GATHAZ, R. *et al.* Natural diet of *Cephalopholis fulva* (Perciformes: Serranidae) in the Abrolhos Bank, Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 17, n. 1, p. 61–63, 2013. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/bjast/article/view/BJAST.2013.1701.08> Acesso em: 15 jan. 2025.
- GIBSON-REINEMER, D. A Vacant Niche: How a Central Ecological Concept Emerged in the 19th Century. **Bulletin of the Ecological Society of America**, v. 96, n. 2, p. 324–335, 2015. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/0012-9623-96.2.324> Acesso em: 10 nov. 2024.
- GRAHAM, N. A. J.; NASH, K. L. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. **Coral Reefs**, v. 32, n. 2, p. 315–326, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-012-0984-y> Acesso em: 10 nov. 2024.
- GRORUD-COLVERT, K. *et al.* The MPA Guide: A framework to achieve global goals for the ocean. **Science (New York, N.Y.)**, v. 373, n. 6560, p. eabf0861, 2021. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.abf0861> Acesso em: 27 abr. 2025.

- HAMMERSCHLAG, N. *et al.* Loss of an apex predator in the wild induces physiological and behavioural changes in prey. **Biology letters**, v. 18, n. 1, p. 20210476, 2022. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsbl.2021.0476> Acesso em: 27 abr. 2025.
- HEITHAUS, M. R. Predicting ecological consequences of marine top predator declines. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 23, n. 4, p. 202-210, abr. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534708000578> Acesso em: 10 mai. 2024.
- HEMPSON, T. N. Coral reef mesopredator trophodynamics in response to reef condition. **James Cook University**, v. 1, 2017. Disponível em: <https://researchonline.jcu.edu.au/53079/> Acesso em: 10 fev. 2025.
- HOEGH-GULDBERG, O. *et al.* Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. **Science**, v. 318, n. 5857, p. 1737-1742, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5769983_Coral_Reefs_Under_Rapid_Climate_Change_and_Ocean_Acidification. Acesso em: 9 jun. 2024.
- HUGHES, T. *et al.* Coral reefs in the Anthropocene. **Nature**, v. 546, n. 7656, p. 82-90, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature22901>. Acesso em: 9 jun. 2024.
- HUSSEY, N. E. *et al.* Rescaling the trophic structure of marine food webs. **Ecology Letters**, v. 17, n. 2, p. 239–250, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ele.12226#>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- JACKSON, A. L. *et al.* Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R: Bayesian isotopic niche metrics. **The journal of animal ecology**, v. 80, n. 3, p. 595–602, 2011. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x> Acesso em: 01 abr. 2025.
- JAMES, W. R. *et al.* Assessment of food web recovery following restoration using resource niche metrics. **The Science of the total environment**, v. 711, n. 134801, p. 134801, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719347928?via%3Dihub> Acesso em: 01 abr. 2025.
- KAKAKI, S. Climate change: Its causes, effects and control. **Journal of educational and social research**, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274129720_Climate_Change_Its_Causes_Effects_and_Control Acesso em: 27 abr. 2025.
- KELLY, N. E.; GUIJARRO-SABANIEL, J.; ZIMMERMAN, R. Anthropogenic nitrogen

loading and risk of eutrophication in the coastal zone of Atlantic Canada. **Estuarine, coastal and shelf science**, v. 263, n. 107630, p. 107630, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771421004790> Acesso em: 01 abr. 2025.

KERCHER, J. R.; SHUGART, H. H., Jr. Trophic structure, effective trophic position, and connectivity in food webs. **The American Naturalist**, v. 109, n. 966, p. 191–206, 1975.

Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/282986> Acesso em: 01 abr. 2025.

KIM, T. K. Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. **Korean journal of anesthesiology**, v. 70, n. 1, p. 22–26, 2017. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28184262/> Acesso em: 25 abr. 2025.

KLINE, R. J.; KHAN, I. A.; HOLT, G. J. Behavior, color change and time for sexual inversion in the protogynous grouper (*Epinephelus adscensionis*). **PloS one**, v. 6, n. 5, p. e19576, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/51197538_Behavior_Color_Change_and_Time_for_Sexual_Inversion_in_the_Protogynous_Grouper_Epinephelus_adscensionis Acesso em: 01 abr. 2025.

KRAMER, M. J. *et al.* Refining the invertivore: diversity and specialisation in fish predation on coral reef crustaceans. **Marine Biology**, v. 162, p. 1779–1786, 2015. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00227-015-2710-0#citeas>. Acesso em: 28 jan. 2025.

KROETZ, A. M.; DRYMON, J. M.; POWERS, S. P. Comparative Dietary Diversity and Trophic Ecology of Two Estuarine Mesopredators. **Estuaries and Coasts**, v. 40, n. 4, p. 1171–1182, 2017. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-016-0188-8>. Acesso em: 10 mai. 2024.

LAYMAN, C. A. *et al.* Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? **Ecology**, v. 88, n. 1, p. 42–48, 2007. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17489452/> Acesso em: 01 abr. 2025.

LEHMAN, J. T. Ecosystem function measurement, aquatic and marine communities.

Encyclopedia of Biodiversity. [s.l.] Elsevier, 2013. p. 64–71. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123847195001544?via%3Dihub> Acesso em: 01 abr. 2025.

LINDEMAN, R. L. The trophic-dynamic aspect of ecology. **Ecology**, v. 23, n. 4, p. 399–417, 1942. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1930126>

Acesso em: 01 abr. 2025.

LOZANO-PEÑA, J. P. *et al.* Isotopic niche partitioning between an invasive fish and two native mesopredators in the Colombian Caribbean. **Food webs**, v. 35, p. e00272, 2023.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352249623000010>

Acesso em: 01 abr. 2025.

MAHÉ, K. *et al.* Biology of exploited groupers (Epinephelidae family) around La Réunion Island (Indian Ocean). **Frontiers in marine science**, v. 9, 2022. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.935285/full>

Acesso em: 01 abr. 2025.

MARQUES, S.; FERREIRA, B. P. Sexual development and demography of the rock hind *Epinephelus adscensionis*, a protogynous grouper, in the south-west Atlantic. **Marine & freshwater research**, v. 69, n. 2, p. 300, 2017. Disponível em:

<https://www.publish.csiro.au/mf/mf17016> Acesso em: 21 abr. 2025.

MASSEI, K. *et al.* Analysis of marine diversity and anthropogenic pressures on Seixas coral reef ecosystem (northeastern Brazil). **The Science of the total environment**, v. 905, p. 166984, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723056097> Acesso em: 23 jan. 2025.

MCCANN, K.; HASTINGS, A.; HUXEL, G. Weak trophic interactions and the balance of nature. **Nature**, v. 395, n. 6704, p. 794–798, 1998. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/27427>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MELLIN, C. *et al.* Marine protected areas increase resilience among coral reef communities.

Ecology letters, v. 19, n. 6, p. 629–637, 2016. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ele.12598> Acesso em: 27 abr. 2025.

MENGE, B. A. *et al.* Species interaction strength: testing model predictions along an upwelling gradient. **Ecological Monographs**, v. 74, n. 4, p. 663–684, 2004. Disponível em:

<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/03-4060>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MILLER, B. *et al.* The Importance of Large Carnivores to Healthy Ecosystems. **Endangered species UPDATE**, v. 18, n. 5, 2001. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/241730352_The_Importance_of_Large_Carnivores_to_Healthy_Ecosystems Acesso em: 18 fev. 2025.

- NAEEM, S.; DUFFY, J. E.; ZAVALETA, E. The functions of biological diversity in an age of extinction. **Science**, v. 336, n. 6087, p. 1401–1406, 2012. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1215855>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- NASH, K. L.; GRAHAM, N. A. J. Ecological indicators for coral reef fisheries management. **Fish and fisheries**, v. 17, n. 4, p. 1029–1054, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/faf.12157> Acesso em: 23 jan. 2025.
- NEWSOME, S. D. *et al.* A niche for isotopic ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 8, p. 429–436, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250077713_A_niche_for_isotopic_ecology. Acesso em: 10 mai. 2024.
- NEWTON, J. Stable isotopes as tools in ecological research. **Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd**, p. 1-8, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470015902.a0021231.pub2> Acesso em: 16 dez. 2024.
- PACOUREAU, N. *et al.* Half a century of global decline in oceanic sharks and rays. **Nature**, v. 589, n. 7843, p. 567–571, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-03173-9> Acesso em 12 mar. 2025.
- PEDRUSKI, M. T.; FUSSMANN, G. F.; GONZALEZ, A. A network approach reveals surprises about the history of the niche. **Ecosphere (Washington, D.C)**, v. 7, n. 3, p. e01266, 2016. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ecs2.1266> Acesso em: 13 mar. 2025.
- PIANKA, E. R. Niche overlap and diffuse competition. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 71, n. 5, p. 2141–2145, 1974. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.71.5.2141> Acesso em: 27 abr. 2025.
- PINHEIRO, H. T. *et al.* Reef fish structure and distribution in a south-western Atlantic Ocean tropical island. **Journal of fish biology**, v. 79, n. 7, p. 1984–2006, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1095-8649.2011.03138.x> Acesso em: 13 mar. 2025.
- POST, D. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. **Ecology**, v. 83, n. 3, p. 703–718, 2002. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/0012-9658%282002%29083%5B0703%3AUsitet%5D2.0.Co%3B2>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- PRUGH, L. *et al.* The Rise of the Mesopredator. **BioScience**, v. 59, n. 9, p. 779, 791, 2009.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/40738157_The_Rise_of_the_Mesopredator. Acesso em: 9 jun. 2024.

RAHMAN, Md. N. *et al.* Microplastic as an invisible threat to the coral reefs: Sources, toxicity mechanisms, policy intervention, and the way forward. **Journal of Hazardous Materials**, v. 454, p. 131522, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389423008051>. Acesso em: 20 nov. 2024.

RIBEIRO, A. R.; DAMASIO, L. M. A.; SILVANO, R. A. M. Fishers' ecological knowledge to support conservation of reef fish (groupers) in the tropical Atlantic. **Ocean & coastal management**, v. 204, n. 105543, p. 105543, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569121000284> Acesso em: 13 mar. 2025.

RITCHIE, E. G.; JOHNSON, C. N. Predator interactions, mesopredator release and biodiversity conservation. **Ecology letters**, v. 12, n. 9, p. 982–998, 2009. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1461-0248.2009.01347.x> Acesso em: 14 mar. 2015.

ROBINSON, J. P. W. *et al.* Fishing degrades size structure of coral reef fish communities. **Global change biology**, v. 23, n. 3, p. 1009–1022, 2017. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.13482> Acesso em: 23 jan. 2025.

SANTOS, R. G.; MACHOVSKY-CAPUSKA, G. E.; ANDRADES, R. Plastic ingestion as an evolutionary trap: Toward a holistic understanding. **Science (New York, N.Y.)**, v. 373, n. 6550, p. 56–60, 2021. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abh0945> Acesso em: 27 abr. 2025.

SMALHEISER, N. R. ANOVA. **Data Literacy. [s.l.] Elsevier**, p. 149–155, 2017. Disponível em:

https://www-sciencedirect-com.translate.goog/science/article/abs/pii/B9780128113066000117?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge Acesso em: 25 abr. 2025.

SOLER, G. A. *et al.* Reef fishes at all trophic levels respond positively to effective marine Protected Areas. **PloS one**, v. 10, n. 10, p. e0140270, 2015. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0140270> Acesso em: 14 mar. 2025.

SPALDING, M. *et al.* Mapping the global value and distribution of coral reef tourism.

Marine policy, v. 82, p. 104–113, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X17300635> Acesso em: 23 jan. 2025.

SPEED, T. P. John W. Tukey's contributions to analysis of variance. **Annals of statistics**, v. 30, n. 6, p. 1649–1665, 2002. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/38348858_John_W_Tukey's_contributions_to_analysis_of_variance Acesso em: 25 abr. 2025.

STEINER, A. Q. *et al.* Zonação de recifes emersos da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, Nordeste do Brasil. Iheringia. **Serie zoologia**, v. 105, n. 2, p. 184–192, 2015.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/isz/a/zy4GkkhYJLfkMZ5CYj8vVns/> Acesso em: 21 jan. 2025.

TOPOR, Z. M. *et al.* Marine protected areas enhance coral reef functioning by promoting fish biodiversity. **Conservation letters**, v. 12, n. 4, p. e12638, 2019. Disponível em:

<https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/conl.12638> Acesso em: 27 abr. 2025.

TRIBOT, A. *et al.* Species diversity and composition drive the aesthetic value of coral reef fish assemblages. **Biology letters**, v. 15, n. 11, p. 20190703, 2019. Disponível em:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsbl.2019.0703> Acesso em: 20 jan. 2025.

TROTT, T.; LUCKHURST, B. An evaluation of the status of the coney, *Cephalopholis fulva*, population in Bermuda. **Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute**, p. 257-262, 2007. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/33719186.pdf> Acesso em: 23 abr. 2025.

WINNIE, J., Jr; CREEL, S. The many effects of carnivores on their prey and their implications for trophic cascades, and ecosystem structure and function. **Food webs**, v. 12, p. 88–94, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352249615300331> Acesso em: 15 mar. 2025.

XUEREB, A. *et al.* Marine Conservation and Marine Protected Areas. **Population Genomics. Springer International Publishing**, 2019. p. 423–446. Disponível em:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/13836_2018_63 Acesso em: 21 jan. 2025.

VAN ZANTEN, B. T.; VAN BEUKERING, P. J. H.; WAGTENDONK, A. J. Coastal protection by coral reefs: A framework for spatial assessment and economic valuation. **Ocean & coastal management**, v. 96, p. 94–103, 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569114001434> Acesso em: 20 jan. 2025.

