



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – BACHARELADO

NICOLAS MOORE ORTIZ

**MINERADORES DOS RECIFES: INFLUÊNCIA DO TAMANHO CORPORAL
NA REMOÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO RECIFAL PELO BUDIÃO AZUL
*SCARUS TRISPINOSUS***

NATAL
2023

NICOLAS MOORE ORTIZ

MINERADORES DOS RECIFES: INFLUÊNCIA DO TAMANHO CORPORAL
NA REMOÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO RECIFAL PELO BUDIÃO AZUL
SCARUS TRISPINOSUS

Monografia apresentada ao curso de graduação em Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Ortigara Longo
Coorientadora: Dra. Natália Carvalho Roos

NATAL

2023



Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho, mesmo comercialmente, desde que creditem a você pela criação original. Link dessa licença: creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Leopoldo Nelson - -Centro de Biociências
- CB

Ortiz, Nicolas Moore.

Mineradores dos recifes: influência do tamanho corporal na remoção de carbonato de cálcio recifal pelo budião azul *Scarus trispinosus* / Nicolas Moore Ortiz. - Natal, 2023.
34 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Graduação em Ciências Biológicas. Natal, RN, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Guilherme Ortigara Longo.

Coorientação: Dra. Natalia Carvalho Roos.

1. *Scarus trispinosus* - Monografia. 2. Bioerosão - Monografia. 3. Rio Grande do Norte - Monografia. 4. Carbonato de cálcio - Monografia. 5. Recife de coral - Monografia. I. Longo, Guilherme Ortigara. II. Roos, Natalia Carvalho. III. Título.

RN/UF/BSCB

CDU 597.556.331.5

NICOLAS MOORE ORTIZ

MINERADORES DOS RECIFES: INFLUÊNCIA DO TAMANHO CORPORAL
NA REMOÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO RECIFAL PELO BUDIÃO AZUL
SCARUS TRISPINOSUS

Monografia apresentada ao curso de graduação em Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 08/12/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Guilherme Ortigara Longo

Orientador

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Dra. Natália Carvalho Roos

Coorientadora

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA

Profa. Dra. Cybelle Menolli Longhini

Membro interno

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Mea. Kelly Yumi Inagaki

Membro externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

AGRADECIMENTOS

Dedico meus mais profundos agradecimentos a todos que me permitiram alcançar essa etapa da vida, e mesmo que não podendo citá-los por completo, sempre estiveram aqui, me acompanhando e fortalecendo a cada momento, dos quais em muitos imaginei que eu não seria capaz.

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Guilherme Longo, por me permitir fazer parte de seu incrível laboratório, o LECOM, o qual tanto almejei ingressar. Sem dúvidas, foi um dos pontos altos da minha graduação e uma das oportunidades mais importantes da minha vida. Agradeço ao Projeto Budiões, apoiado pela PETROBRÁS pela concessão da bolsa de pesquisa durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à minha coorientadora, Natália Roos, e a toda a grande família do LECOM, que estando próximos ou distantes, sempre fizeram eu me sentir muito bem acolhido, amparado e, principalmente, incentivado. Devo a todos vocês este trabalho, e grande parte dos inúmeros aprendizados como futuro profissional, obrigado por toda a ajuda que sempre recebi. Guardarei para sempre todas as nossas experiências juntos em meu coração. Agradeço a todos os meus amigos da graduação, principalmente a Esther e Damila, por segurarem a minha mão e nunca mais soltá-la, vocês estiveram em todos os momentos comigo, construindo uma rede de apoio que pensei ser improvável no começo, mas logo percebi que não viveria mais sem, obrigado por serem a cola que juntou meus cacos tantas vezes, vocês se tornaram minha família, e moram agora no meu coração. Agradeço também a todos os meus amigos de longa data, principalmente Sabrina, Sarah, Maria Antônia, Laura, Brígida e Vitória, que participaram de cada etapa, desde quando sonhava em entrar no curso até o momento em que o finalizo. Mesmo muitas vezes distante no dia a dia, sempre estiveram torcendo por mim, e me fortalecendo em todos os passos que dei, a companhia de vocês é uma das coisas mais valiosas que eu poderia ter nessa curta passagem ao mundo.

Por fim, agradeço a toda a minha família, especialmente a minha mãe, Annie, que mesmo distante, sempre segura a minha mão, ao meu pai, Guilherme, que me sustenta sempre a cada passo da jornada, aos meus avós, Robinson, Creusa, Denise e João, que durante toda a minha vida foram minhas maiores fortalezas, e aos meus irmãozinhos de penas, os quais alguns mesmo já me deixando, estarão sempre comigo, até o infinito. Amo todos vocês.

RESUMO

Os bioerodidores são organismos que desempenham um papel ecológico vital nos recifes, contribuindo para a formação de um sedimento rico em carbonato de cálcio (CaCO_3) ao consumirem ou desgastarem organismos e substratos calcificados. Os principais bioerodidores nos recifes de coral são peixes do grupo Labridae:Scarinae, popularmente conhecidos como “peixes-papagaio” por possuírem um aparato bucal em forma de “bico”. No Brasil, a espécie que atinge o maior tamanho corporal é endêmica e a mais ameaçada, *Scarus trispinosus*, desempenha um papel ecológico chave como maior bioerodidor dos recifes. Indivíduos maiores (> 400 mm) são considerados “escavadores”, sendo capazes de remover maiores quantidades de substrato ao se alimentarem. No presente estudo, quantificamos a quantidade de carbonato de cálcio contida no estômago de 69 indivíduos desta espécie, de tamanhos variados (231-590 mm), coletados entre três recifes com diferentes composições bentônicas do Rio Grande do Norte (Urcas, Rio do Fogo e Baía Formosa). A partir dessas amostras, visamos elucidar a influência do tamanho corporal e da localidade de origem dos espécimes na quantidade de carbonato ingerido. O conteúdo estomacal foi removido e processado para dissolver o carbonato de cálcio, quantificando-o pela diferença entre o peso da amostra antes e depois do processo de descalcificação. Observamos que indivíduos de maior tamanho (> 400 mm) obtiveram o maior peso de carbonato de cálcio em seus estômagos. Porém, indivíduos de menor tamanho (< 400 mm) e de localidades com maior quantidade de organismos calcificados no substrato (Rio do Fogo e Urcas) também apresentaram quantidades significativas em relação a indivíduos maiores da localidade com menos organismos calcificados no substrato (Baía Formosa). Isto indica que a disponibilidade dos organismos calcificados como recurso alimentar também pode ser um fator determinante na quantidade de carbonato de cálcio ciclado entre indivíduos de diferentes tamanhos. Os resultados apontam que a bioerosão e contribuição para formação de sedimentos ricos em carbonato de cálcio ocorre durante toda a vida do budião-azul e que a espécie pode ser seletiva em locais com menor abundância de organismos calcificados, ressaltando assim sua importância ecológica.

Palavras-chave: *Scarus trispinosus*; Bioerosão; Rio Grande do Norte; Carbonato de cálcio; Recife de coral.

ABSTRACT

Bioeroders are organisms that play a vital ecological role in coral reefs, contributing to the formation of a sediment rich in calcium carbonate (CaCO_3) by consuming or eroding calcified organisms and substrates. The main bioeroders on coral reefs are fish from the Labridae:Scarinae group, popularly known as "parrotfish" because they have a beak-shaped mouth apparatus. In Brazil, the species that reaches the largest body size is endemic and the most endangered, *Scarus trispinosus*, plays a key ecological role as the largest bioeroder of the reefs. Larger individuals (> 400 mm) are considered "excavators" and are able to remove larger amounts of substrate when feeding. This study quantified the amount of calcium carbonate contained in the stomachs of 69 individuals of this species in different sizes (231-590 mm), collected from three reefs with different benthic compositions in Rio Grande do Norte (Urcas, Rio do Fogo and Baía Formosa). From these samples, we aimed to elucidate the influence of body size and locality of origin on the amount of carbonate ingested. The stomach contents were removed and processed to dissolve the calcium carbonate, quantifying it by the difference between the weight of the sample before and after the decalcification process. However, individuals of smaller size (< 400 mm) and from locations with a greater quantity of calcified organisms in the substrate (Rio do Fogo and Urcas) also presented significant quantities in relation to larger individuals from the location with fewer calcified organisms in the substrate (Baía Formosa). This indicates that the availability of calcified organisms as a food resource may also be a determining driver in the amount of calcium carbonate cycled between individuals of different sizes. The results indicate that bioerosion and the contribution to the formation of sediments rich in calcium carbonate occur throughout the life of the greenback parrotfish and that the species may be selective in places with a lower abundance of calcified organisms, thus highlighting its ecological importance.

Keywords: *Scarus trispinosus*; Bioerosion; Rio Grande do Norte; Calcium carbonate; Coral reef.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-Localidades de amostragem de *Scarus trispinosus* em ecossistemas recifais do Rio Grande do Norte para a avaliação do teor de carbonato de cálcio no conteúdo estomacal 16
- Figura 2- Processamento das amostras de conteúdo estomacal de *S. trispinosus*: A) Materiais utilizados para a remoção do conteúdo estomacal; B) Secagem do conteúdo estomacal na estufa..... 18
- Figura 3- Maceração de amostra seca de conteúdo estomacal de *S. trispinosus* no pilão..... 19
- Figura 4- Relações entre o carbonato de cálcio estomacal e dimensões corporais de indivíduos de *S. trispinosus*: A) Relação do peso de carbonato estomacal (g) ao peso do estômago (g); B) Relação do peso de carbonato estomacal (g) ao peso do indivíduo (g); C) Relação do peso de carbonato estomacal (g) ao tamanho do indivíduo (mm); D) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) ao peso do estômago (g); E) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) ao peso do indivíduo (g); F) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) ao tamanho do indivíduo (mm)
.....26
- Figura 5- Relações entre as localidades de origem de indivíduos de *Scarus trispinosus* analisados: A) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) à localidade de origem; B) Relação da proporção de carbonato bentônico (%) à localidade de origem; C) Relação da abundância de indivíduos (ind./40m²) à localidade de origem27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS E HIPÓTESES	14
2.1	Objetivos gerais	14
2.2	Objetivos específicos	14
2.3	Hipóteses	14
3	METODOLOGIA	15
3.1	Área de estudo e coleta dos indivíduos	15
3.2	Remoção e processamento do conteúdo estomacal	16
3.3	Pesagem das amostras e adição de HCl (1,0 M)	19
3.4	Secagem das amostras e pesagem final	20
3.5	Determinação da quantidade de carbonato de cálcio	20
3.6	Análises estatísticas	21
4	RESULTADOS	23
5	DISCUSSÃO	28
6	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Nos recifes de coral, há uma grande diversidade de organismos, os quais contam com as mais variadas funções ecológicas para a manutenção deste rico ecossistema (Bellwood *et al.*, 2003, 2004). A dinâmica de formação destes recifes biogênicos envolve uma constante relação entre o crescimento de organismos bioconstrutores que se depõe no substrato, os quais contêm esqueletos calcificados, e sua erosão, havendo um fluxo energético entre diferentes níveis tróficos no ecossistema a partir do sedimento gerado, o qual é rico em carbonato de cálcio (CaCO_3) (Glynn, 1997; Bellwood *et al.*, 2003; Bonaldo *et al.*, 2014). As algas calcárias incrustantes e corais pétreos constituem a principal fonte de carbonato de cálcio nos recifes, pois o secretam como constituinte de sua estrutura corporal (Goreau, 1963; Glynn, 1997). A erosão de substratos calcificados, quando realizada por espécies que habitam os recifes, é denominada de bioerosão, já os organismos que a realizam são denominados de bioerodidores, e constituem taxas diversos, que realizam o processo de forma interna ou externa aos organismos calcificados (Glynn, 1997).

A tribo Scarinae, contida na família Labridae, constitui um abundante grupo de peixes recifais herbívoro-detritívoros, denominados popularmente de “peixes-papagaio”, pois possuem um característico aparato bucal, onde as mandíbulas são constituídas por placas de dentes fusionados em forma de “bico”, sendo especializado para morder substratos de diversas naturezas (Bellwood e Choat, 1990; Bonaldo *et al.*, 2014; Clements *et al.*, 2017). Essa habilidade lhes confere grande relevância na dinâmica dos recifes, pois são capazes de moldar a estrutura bentônica ao se alimentarem de produtores primários e realizarem a bioerosão do substrato calcificado enquanto se alimentam (Bonaldo *et al.*, 2014). Ao removerem o substrato com seu aparato bucal, o conteúdo orgânico e inorgânico ingerido é triturado por um aparato faringeal especializado, o qual transforma componentes alimentares macro e microscópicos em sedimento (Gobalet, 1989; Clements *et al.*, 2017).

Uma vez processado pelos peixes-papagaio, o sedimento alimentar contendo carbonato de cálcio é liberado pelas fezes dos indivíduos no substrato em largas proporções anuais dentro e fora dos recifes, que chegam a toneladas do mineral. Os eventos de despejo pela defecação variam entre as espécies, podendo ser associados à sua movimentação entre os locais de alimentação, se dar no próprio local de alimentação, ou até mesmo em áreas específicas de preferência dos indivíduos. Ao

ser defecado, o material carbonático ciclado pelo peixe-papagaio retorna ao ecossistema, se tornando um recurso novamente disponível no ambiente (Bellwood, 1995; Bruggeman *et al.*, 1996; Bonaldo *et al.*, 2014).

Por constituírem um grupo abundante capaz de explorar substratos e habitats muito diversos, peixes-papagaio não são classificados de forma uniforme quanto a influência que exercem no substrato bentônico recifal, sendo divididos em três grupos funcionais ecológicos com base na capacidade e quantidade de substrato removido: Os “podadores”, que impedem o crescimento excessivo de macroalgas ao cortá-las, não removendo o substrato associado; Os “raspadores”, que retiram algas associadas ao sedimento ao mordê-las em sua base de inserção no substrato, removendo também parte do mesmo e permitindo o assentamento de novos organismos no local; E os “escavadores”, que removem parte do substrato ao morderem organismos calcificados e constituem os principais bioerodidores dos recifes (Bellwood e Choat, 1990; Bonaldo *et al.*, 2014).

Há diversas variações nos padrões de alimentação e papel ecológico desempenhado pelos indivíduos, as quais são espécie-específicas e intra-específicas, as quais não se dão de forma redundante, ou seja, há variações entre as espécies e durante a vida de indivíduos da mesma espécie (Bonaldo e Bellwood, 2008; Lokrantz *et al.*, 2008; Roos *et al.*, 2019). As diferenças intra-específicas se dão ao longo das fases ontogenéticas dos indivíduos, sendo o tamanho corporal um fator-chave para o desempenho significativo do papel ecológico de “escavador” (Bellwood e Choat, 1990; Bonaldo e Bellwood, 2008; Lokrantz *et al.*, 2008), pois o maior tamanho da cabeça, juntamente do aparato bucal mais desenvolvido dos indivíduos maiores, confere mais força para a remoção de substratos ao se alimentarem. Esse desenvolvimento das estruturas ao crescer permite que haja uma troca de papel ecológico entre esses indivíduos, os quais deixam de desempenhar a função de “podadores” ou “raspadores”, que retiram quantidades mais superficiais dos substratos em razão do seu aparato mandibular mais frágil, e passam a se apresentar como “escavadores”, os quais retiram maior volume de componentes do substrato de maior dureza, como algas calcárias, corais duros e algas endolíticas, por possuírem um aparato mandibular mais forte (Bellwood e Choat, 1990; Bruggeman *et al.*, 1996; Lokrantz *et al.*, 2008).

Sendo uma espécie-chave em seu papel ecológico desempenhado nos recifes do Brasil (Lellys *et al.*, 2019; Roos *et al.*, 2019), *Scarus trispinosus*, popularmente

denominado de “budião-azul”, é uma espécie endêmica do Brasil que apresenta a mudança de papel ecológico ao longo de sua vida. Quando mais jovem, é considerado como “raspador”, pois seu aparato mandibular é menos robusto e desenvolvido em suas fases de menor tamanho (< 300 mm), não possuindo as dimensões e a força nas superfícies cortante para a remoção de um volume de substrato significativo (Francini-Filho *et al.*, 2008, 2010; Lellys *et al.*, 2019). Já quando em tamanhos corporais maiores (\geq 400 mm), conta com o aparato mandibular mais forte e robusto, sendo capaz de remover substratos mais rígidos e em maiores volumes, tanto em relação aos indivíduos menores da mesma espécie, quanto a outros peixes-papagaio do Brasil, como *Sparisoma amplum*, o qual é o principal escavador dos recifes até os 400 mm de comprimento, porém é superado pela maior abundância, longevidade e tamanho máximo atingidos por *S. trispinosus*, que já obteve registros de indivíduos atingindo até 900 mm de comprimento, sendo o maior peixe-papagaio do Brasil (Francini-Filho e Moura, 2008; Francini-Filho *et al.*, 2010; Lellys *et al.*, 2019; Roos *et al.*, 2019).

Indivíduos de *S. trispinosus* com cerca de 300 mm já são capazes de deixar marcas significativas no substrato, porém o papel ecológico de escavador é desempenhado de forma significativa unicamente por indivíduos de maior tamanho (\geq 400 mm), os quais apresentam as maiores taxas de bioerosão por unidade de biomassa, se dando de forma desproporcionalmente mais significativa conforme continuam a crescer, especialmente indivíduos entre 500 e 600 mm, que são capazes de remover volumes de substrato até cinco vezes maiores em relação aos indivíduos entre 300 e 400 mm (Francini-Filho *et al.*, 2008, 2010; Lellys *et al.*, 2019; Roos *et al.*, 2019).

O mesmo padrão de aumento das taxas de bioerosão associada ao aumento do tamanho dos indivíduos é descrito por autores para diversos peixes-papagaio pelo mundo (Bonaldo *et al.*, 2014), como nos recifes do Caribe (Bruggeman *et al.*, 1996), Oceano Índico (Lokrantz *et al.*, 2008), Oceano Pacífico (Bonaldo e Bellwood, 2008), Oceano Indo-Pacífico (Bellwood *et al.*, 2003) e para a espécie na costa brasileira (Francini-Filho *et al.*, 2008, 2010; Lellys *et al.*, 2019; Roos *et al.*, 2019), demonstrando a importância de *S. trispinosus* para a bioerosão dos recifes brasileiros.

Apesar de sua grande importância ecológica, *S. trispinosus* se encontra na lista vermelha internacional da IUCN (Padovani-Ferreira *et al.*, 2012) e na lista vermelha brasileira (MMA, 2014) de espécies ameaçadas. Houve um declínio populacional de

cerca de 50% nos últimos 30 anos (Padovani-Ferreira *et al.*, 2012), em virtude da sobrepesca. A redução dos peixe-papagaio é um efeito do declínio das populações de espécies de peixes de interesse comercial, como grandes predadores. Isto vem tornando as espécies de peixes-papagaio um alvo alternativo, passando a ser mundialmente comercializadas e até mesmo exportadas nas últimas décadas para suprir as demandas pesqueiras, afetando os papéis ecológicos desempenhados nos recifes (Bellwood *et al.*, 2004, 2012).

No Brasil, o mesmo padrão global de redução das populações vêm sendo observado entre outros peixe-papagaio nativos (Bender *et al.*, 2014), sendo *S. trispinosus* a espécie mais vulnerável à pressão pesqueira devido ao seu maior tamanho atingido em relação às demais, onde a diminuição corporal dos indivíduos também vêm sendo observados pela redução de grandes indivíduos nas populações, causando a diminuição do tamanho corporal médio atingido e a abundância das populações (Bender *et al.*, 2014; Roos *et al.*, 2016, 2020ab).

A redução da abundância de indivíduos de maior tamanho nas populações causa um efeito negativo desproporcional no papel ecológico desempenhado, pois mesmo que a biomassa total da população se mantenha a partir da abundância de pequenos indivíduos, a redução das taxas de bioerosão será significativamente afetada, visto que apenas indivíduos maiores a desempenham de forma mais representativa (Bruggeman *et al.*, 1996; Bonaldo e Bellwood, 2008).

No sudeste do país, a espécie já foi considerada ecologicamente extinta, onde costumava ser encontrada em abundância (Bender *et al.*, 2014), e as duas maiores populações remanescentes se encontram na região nordeste, sendo a primeira localizada no arquipélago de Abrolhos, no estado Bahia, representando até 76% da biomassa total de peixes-papagaio, e a segunda na costa do estado do Rio Grande do Norte. Mesmo quando ocorrem em áreas de proteção marinha regulamentadas, continuam a sofrer impactos com a pesca artesanal e a pesca recreativa (Francini-Filho e Moura, 2008; Roos *et al.*, 2016).

No Rio Grande do Norte, as capturas anuais de *S. trispinosus* chegam a cerca de 9.4 toneladas, com diferentes pressões pesqueiras. Em regiões recifais mais rasas e próximas da costa (Rio do Fogo, RN), a pressão da pesca artesanal é maior, afetando principalmente indivíduos de tamanho menor nessas localidades, pois as capturas compõem majoritariamente indivíduos entre 220 e 360 mm. Os indivíduos menores se localizam nessa região por haver recursos alimentares de mais fácil

acesso. Estes são constituídos principalmente por fêmeas imaturas, pois *S. trispinosus* é hermafrodita possivelmente do tipo protogínico, iniciando a vida como fêmeas, e os recifes rasos são utilizados como berçários pela espécie. A pesca desses indivíduos impede que atinjam a maturidade (Roos *et al.*, 2016, 2019).

Já em recifes profundos e distantes da costa (Urcas e Baía Formosa, RN) a pesca recreativa de arpão exerce maior pressão, tendo como alvo principal os indivíduos de maior tamanho. Estes indivíduos são mais abundantes nestas regiões, pois *S. trispinosus* tende a migrar para os recifes mais profundos e distantes da costa ao atingir maturidade sexual, pois adquirem a capacidade de acessar recursos alimentares dessas localidades. A maturidade se dá em cerca de 390 mm e 4,2 anos de idade (Roos *et al.*, 2016, 2019). Esse aspecto de migração e uso de hábitat ao longo de sua ontogenia torna os impactos da pesca ainda agravados, pois o fluxo de indivíduos é interrompido ao haver intensa captura antes de atingirem a maturação sexual e crescimento. Ao impedir que atinjam as dimensões corporais de escavadores e, por consequência, bioerodam substratos de forma significativa, a pesca representa uma ameaça ao papel ecológico de bioerodidor da espécie (Roos *et al.*, 2020a).

Em virtude da importância ecológica *S. trispinosus* nos recifes brasileiros, e da influência do tamanho corporal dos indivíduos nas taxas de bioerosão de substratos bentônicos calcificados, o presente estudo visou quantificar o teor de carbonato de cálcio ingerido por essa espécie ao analisar o conteúdo estomacal de 69 indivíduos de diferentes tamanhos corporais (entre 231-590 mm), coletados em três regiões recifais substratos distintos do Rio Grande do Norte, Rio do Fogo (no município de Rio do Fogo), Baía Formosa e Urcas (entre os municípios de Caiçara do Norte e Diogo Lopes). Buscamos elucidar a importância do tamanho e da influência dos componentes bentônicos na quantidade de carbonato de cálcio ciclado, as quais não possuem estudos para a espécie. Com base nos resultados, esperamos elucidar o papel ecológico de *S. trispinosus* nos ecossistemas recifais no Rio Grande do Norte e potencialmente contribuir para o fortalecimento de esforços de conservação.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 Objetivos gerais

Nosso trabalho visou avaliar o teor o carbonato de cálcio (CaCO_3) ingerido por indivíduos de *Scarus trispinosus* de diferentes tamanhos corporais e localidades do estado do Rio Grande do Norte.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar o teor carbonato de cálcio ingerido por indivíduos de *S. trispinosus*.
- Relacionar a quantidade de carbonato de cálcio ao tamanho corporal dos indivíduos.
- Comparar a quantidade de carbonato de cálcio ingerido entre as diferentes localidades.

2.3 Hipóteses

(1) Indivíduos de maior tamanho ingerem maiores quantidades de carbonato de cálcio (CaCO_3) em relação aos indivíduos de menor tamanho. (2) As diferenças entre a quantidade de carbonato de cálcio (CaCO_3) ingerida entre indivíduos de diferentes localidades podem ser explicadas por variações nas coberturas bentônicas destes locais.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo e coleta dos indivíduos

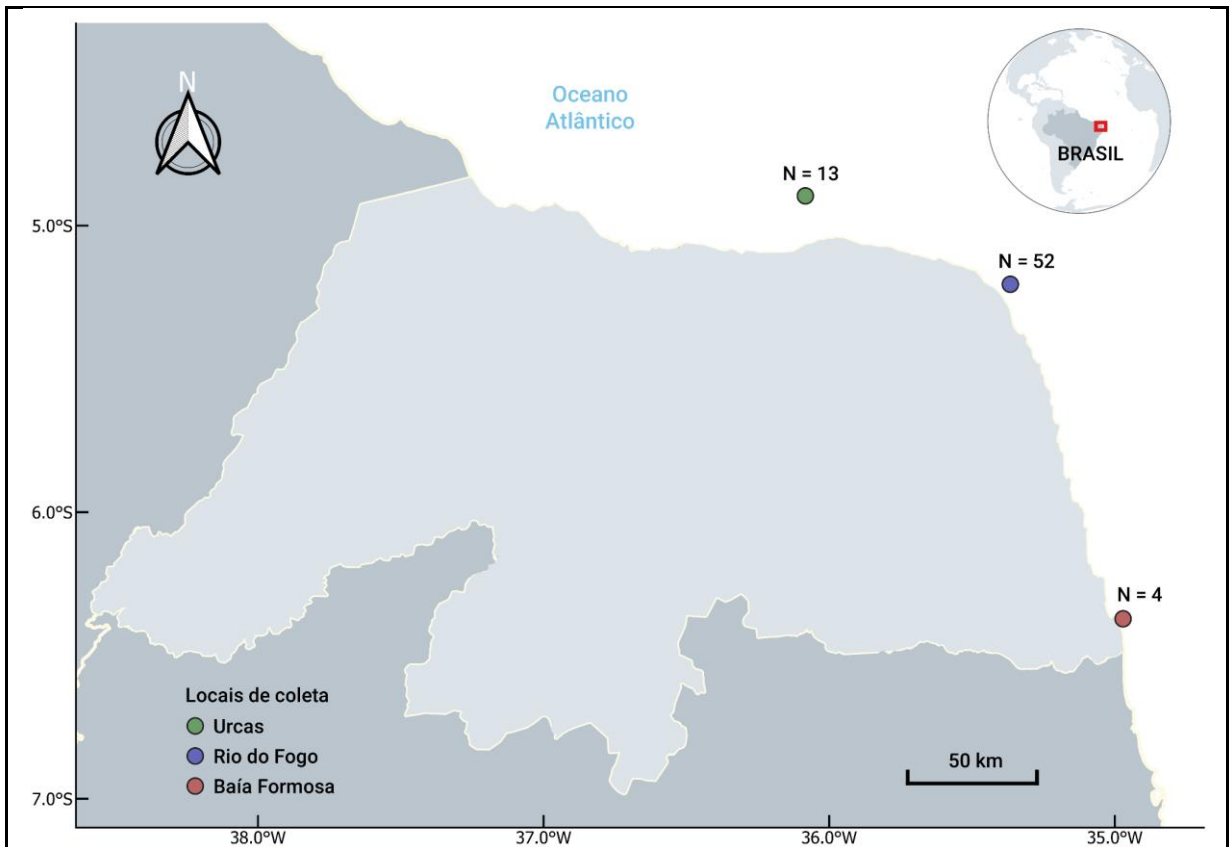
Os indivíduos utilizados foram coletados por Roos *et al.* (2020a) em recifes do estado do Rio Grande do Norte, entre 4°00' S, 37°00' W e 7°00' S, 34°00' W (Roos *et al.*, 2019). Os recifes próximos da costa estão localizados a cerca de sete quilômetros de distância da praia, contendo águas rasas que variam de um a seis metros de profundidade (Rio do Fogo), e os recifes mais distantes estão localizados a cerca de 22 km de distância da costa e contendo águas mais profundas, que variam entre seis e 60 metros de profundidade (Urcas e Baía Formosa) (Figura 1). A profundidade de coleta utilizada entre as áreas variou de oito a 12 metros. Os recifes estão divididos entre o território de quatro municípios do estado, sendo eles Rio do Fogo (RF), Caiçara do Norte (CN), Diogo Lopes (DL) e Baía Formosa (BF). A região abrange a segunda maior população remanescente de *S. trispinosus* no Brasil.

Os recifes de coleta estão presentes em três áreas distintas: Rio do Fogo, Urcas e Baía Formosa. Os recifes próximos da costa estão contidos em Rio do Fogo (RF), e possuem principalmente turfs de algas, corais pétreos (*Siderastrea stellata*, *Porites astreoides* e *Agaricia agaricites*), zoantídeos, algas calcárias incrustantes e *Dyctiota spp* em sua cobertura bentônica. Já os recifes de coleta distantes da costa, estão subdivididos em duas áreas, Urcas e Baía Formosa. A área denominada Urcas engloba os municípios de Caiçara do Norte e Diogo Lopes (CN e DL) e possui cobertura bentônica com predominância de algas calcárias incrustantes e *Dyctiota spp*. Tanto a área de Rio do Fogo quanto das Urcas contém valores predominantes de carbonato de cálcio bentônico em relação a Baía Formosa, sem diferença significativa entre si. Já a área de Baía Formosa (BF) conta com a predominância de *Dictyopteris spp* e *Dyctiota spp* em sua cobertura bentônica, possuindo menores quantidades de carbonato de cálcio em relação às demais áreas. A abundância de indivíduos de *S. trispinosus* nos recifes de coleta é mais representativa em Rio do Fogo e Urcas em relação a Baía Formosa (Roos *et al.*, 2019, 2020a).

Um total de 69 espécimes de *S. trispinosus* foram coletados por Roos *et al.* (2020a), entre julho de 2016 e março de 2018. A coleta foi feita por meio de pesca de arpão científica nos recifes próximos e distantes da costa, entre profundidades de oito a 12 metros, e pela obtenção em peixarias das localidades costeiras, onde os

indivíduos são pescados artesanalmente apenas em recifes próximos da costa por pescadores locais. Todos os indivíduos foram utilizados para a análise da quantidade de carbonato estomacal.

Figura 1- Localidades de amostragem de *Scarus trispinosus* em ecossistemas recifais do Rio Grande do Norte para a avaliação do teor de carbonato de cálcio no conteúdo estomacal



Fonte: Elaborado por Albuquerque (2023).

3.2 Remoção e processamento do conteúdo estomacal

Analisamos amostras estomacais de um total de 69 indivíduos oriundos das diferentes localidades, sendo 52 de Rio do Fogo (RF), 13 de Urcas e quatro de Baía Formosa (BF).

As amostras de estômago utilizadas estavam previamente fixadas em solução de formalina 10%, armazenadas em recipientes plásticos, onde foram devidamente etiquetadas com a abreviação de seus respectivos locais de coleta e numerações dos indivíduos. O processamento das amostras foi conduzido no Departamento de

Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DOL-UFRN), sendo a remoção do conteúdo estomacal realizada no Laboratório de Experimentos Aquáticos (LEXA), onde o estômago era colocado em uma placa de Petri para o devido manuseio, com o auxílio de uma pinça anatômica, e em seguida esvaziado delicadamente com a utilização de uma espátula, empurrando o conteúdo digestório para fora do tecido do órgão, como representado na Figura 2-A. Quando o tecido se apresentava com rigidez excessiva, dificultando o manejo, era cortado com uma tesoura cirúrgica para aperfeiçoar a remoção do conteúdo e, se necessário, umedecido com água destilada. Todos os itens utilizados foram higienizados com água e detergente após cada amostra manuseada, com o intuito de não misturar o conteúdo de diferentes amostras. O tecido do órgão retornava ao recipiente plástico de origem após a remoção de seu conteúdo, sendo novamente armazenado.

Ao fim da remoção do conteúdo, foram confeccionadas manualmente pequenas formas de papel alumínio para a armazenagem das amostras. As formas eram identificadas, com o auxílio de uma caneta permanente, constando o nome da amostra a qual se destinavam, e em seguida foram pesadas individualmente em uma balança analítica, tendo seu peso anotado antes e depois de receberem a amostra era feita para o controle de dados. Após a identificação e pesagem prévias das formas, o conteúdo estomacal de cada amostra era transferido para a sua respectiva forma, sendo pesadas individualmente novamente e tendo o peso contendo a amostra anotado para controle.

As formas com as amostras foram alocadas em um recipiente de metal apropriado para serem encaminhadas à uma estufa, como ilustrado na Figura 2-B, a fim de remover toda a umidade presente nas mesmas. A secagem foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica Marinha (BGQMar), onde permaneceram na estufa por 48 horas à temperatura de 50°C.

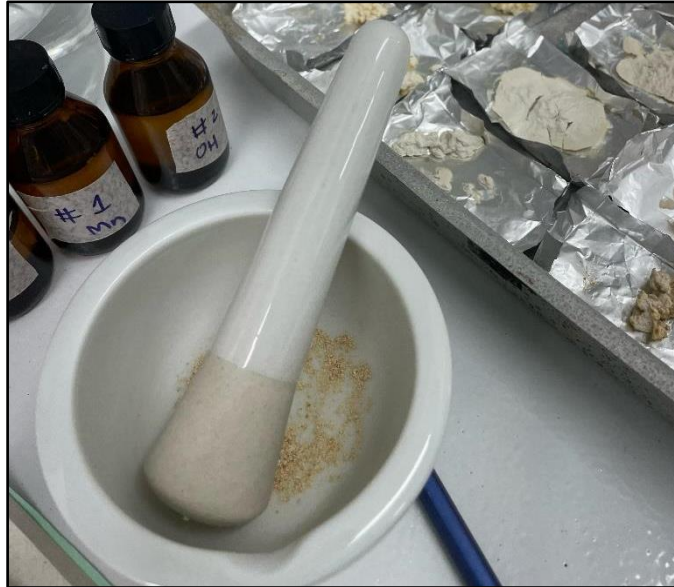
Figura 2- Processamento das amostras: A) Materiais utilizados para a remoção do conteúdo estomacal; B) Secagem do conteúdo estomacal na estufa



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Após o período de 48h, as formas contendo as amostras já suficientemente secas eram removidas da estufa e, após o resfriamento, pesadas novamente em uma balança analítica, tendo o peso total do conteúdo estomacal seco anotado para o controle de dados. O sedimento seco agregado contido no interior de cada forma era transferido a um pilão, sendo macerado manualmente, desagregando a amostra até que se apresentasse em partículas finas de aspecto arenoso, como ilustrado na Figura 3, e retornando à sua respectiva forma de alumínio. O pilão era higienizado com o auxílio de um papel-toalha após a maceração de cada amostra, para que não houvesse contaminação entre as amostras. Ao fim do processo, todas as formas eram novamente realocadas no recipiente de metal, retornando à estufa para garantir que a umidade fosse removida, permanecendo por 24 horas à temperatura de 50°C.

Figura 3- Maceração de amostra seca de conteúdo estomacal de *S. trispinosus* no pilão



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

3.3 Pesagem das amostras e adição de HCl (1,0 M)

Após a secagem, as formas contendo as amostras maceradas eram removidas da estufa para serem adicionadas em tubos de Falcon 15 mL. Os tubos eram previamente pesados em uma balança analítica, tendo o seu peso anotado, e sendo identificados na tampa e no comprimento com o uso de uma caneta permanente, constando o número e a localidade da amostra.

Foram adicionadas alíquotas de aproximadamente 0,5 g do conteúdo seco de cada amostra em seu tubo respectivo, sendo o conteúdo pesado previamente em uma balança analítica, e tendo o peso exato adicionado anotado. Amostras que possuíam sua totalidade de sedimento seco inferior a 0,5 g eram adicionadas ao tubo por completo, e amostras que contavam com mais sedimento seco do que o valor estabelecido tinham suas sobras armazenadas em Eppendorfs, os quais eram identificados com os dados da amostra recebida utilizando uma caneta permanente.

A digestão do carbonato de cálcio presente no conteúdo estomacal dos peixes avaliados foi realizada utilizando 10 mL de HCl (1,0 M). Os tubos Falcon foram preenchidos com o ácido, tampados e agitados de forma manual periodicamente durante 24 horas, para que o sedimento fosse satisfatoriamente misturado à solução, garantindo a degradação pelo ácido de todo o carbonato de cálcio presente. Após o tempo de espera, os tubos eram transportados a uma centrífuga do Laboratório de

Limnologia, sendo centrifugados a 3.000 rpm por 5 minutos, tendo em seguida o sobrenadante cuidadosamente descartado de cada amostra.

O procedimento de adição de 10 mL de HCl (1,0 M), agitação do sedimento periodicamente por 24 horas, seguida da centrifugação a 3.000 rpm por 5 minutos e remoção do sobrenadante foi repetido por três vezes, a fim de certificar a remoção de todo o teor de carbonato de cálcio contido nas amostras.

Após esse procedimento, foi feita a lavagem das amostras para a retirada de resquícios do ácido utilizado, onde foram adicionados 10 mL de água destilada em cada tubo, agitando-os até que o conteúdo ficasse homogêneo na solução. Posteriormente, os tubos foram centrifugados a 3.000 rpm por 5 minutos, e o sobrenadante foi descartado.

3.4 Secagem das amostras e pesagem final

As amostras lavadas foram levadas à estufa para secagem, permanecendo por 24 horas a 50 °C. Ao fim do processo, cada tubo contendo a amostra seca era pesado novamente em uma balança analítica, tendo o peso final anotado, para que fosse feita a diferença de valores do peso inicial e final ao tratamento de ácido, sendo possível quantificar o teor de carbonato de cálcio constituinte em cada amostra, representado pelo valor de redução do peso final em relação ao peso inicial. Após a pesagem final, o sedimento seco de cada amostra era removido do tubo Falcon e armazenado em um Eppendorf identificado com os dados da amostra.

3.5 Determinação da quantidade de carbonato de cálcio

Os cálculos para a determinação do teor de carbonato de cálcio em cada amostra triada foram realizados a partir dos dados de pesagem das mesmas, antes e depois do tratamento realizado com HCl, inseridos na planilha de controle. Inicialmente, foi estabelecido o peso inicial ($P_{inicial}$) de cada amostra pela soma do peso do respectivo tubo de Falcon (P_{tubo}) com o conteúdo estomacal macerado adicionado ($P_{adicionado}$), como demonstrado na equação 01.

$$P_{inicial} = P_{tubo} + P_{adicionado} \quad (01)$$

Em seguida, o peso final do tubo (P final) após o tratamento com ácido foi subtraído do peso inicial (P inicial), resultando no peso de carbonato de cálcio (P carbonato) apresentado pela amostra, de acordo com a equação 02.

$$P \text{ carbonato} = P \text{ inicial} - P \text{ final} \quad (02)$$

A percentagem de carbonato de cálcio (Prop carbonato) representante em cada amostra foi calculada a partir da divisão do peso de carbonato de cálcio (P carbonato) pelo peso da alíquota do conteúdo estomacal macerado adicionado (P adicionado) inicialmente ao tubo, multiplicando o valor da divisão por 100 para chegar ao resultado final, como demonstrado pela equação 03.

$$Prop \text{ carbonato} (\%) = \frac{P \text{ carbonato}}{P \text{ adicionado}} \times 100 \quad (03)$$

A média de carbonato de cálcio (M carbonato) ingerida foi calculada para indivíduos de com tamanho corporal maior e menor que 400mm pela soma do peso de carbonato de cálcio ingerido por cada indivíduo (S carbonato) e divisão pelo número de indivíduos (Nº indivíduos) utilizados na soma, como demonstrado na equação 04. A média de carbonato ingerido entre indivíduos de cada localidade analisada também foi calculada.

$$M \text{ carbonato} = \frac{S \text{ carbonato}}{N^{\circ} \text{ de indivíduos}} \quad (04)$$

3.6 Análises estatísticas

Os valores obtidos para o peso (g) e para a percentagem de carbonato de cálcio (variáveis resposta) contida nas amostras estomacais de cada localidade (Urcas, Rio do Fogo e Baía Formosa) foram relacionados com diferentes variáveis dos seus respectivos indivíduos (variáveis preditoras), sendo elas o tamanho corporal (mm), peso total (g) e o peso estomacal (g), utilizando método estatístico de regressão linear,

estimando o valor-p (probabilidade de ocorrência dos resultados ao acaso) para testar a hipótese nula (não há relação entre as variáveis) a partir ($p < 0,05$), o qual quanto mais inferior a 0,05, mais significativa é a relação entre as variáveis.

A diferença de proporção do carbonato (Prop carbonato) contido no estômago, a abundância de indivíduos (ind/40m²), e a quantidade de organismos calcificados na cobertura bentônica (variáveis resposta), fornecidos por Roos *et al.* (2019; 2020a), foram comparados entre as localidades através de análise de variância (ANOVA) e teste a posteriori permutacional pareado para indicar, respectivamente, se há diferenças entre os grupos (Urcas, Rio do Fogo e Baía Formosa) e onde elas ocorrem, dividindo os grupos em subgrupos de acordo com a significância da variação dessas diferenças.

4 RESULTADOS

Os 69 indivíduos analisados foram oriundos de diferentes localidades, apresentando também dimensões morfológicas variadas. Dentre as três áreas de coleta, o maior número amostral foi proveniente dos recifes de Rio do Fogo, totalizando 52 indivíduos, enquanto Urcas obteve 13 e Baía Formosa quatro indivíduos. Rio do Fogo contou com o maior número amostral em razão da maior abundância de indivíduos e influência da pesca artesanal, que resultou em mais indivíduos coletados em peixarias. Urcas também possui alta abundância de indivíduos, os quais foram exclusivamente coletados pela pesca científica de arpão. Já Baía Formosa possui o menor número amostral pela baixa abundância de indivíduos, os quais foram coletados exclusivamente pela pesca científica de arpão (Roos *et al.*, 2020a)

Os espécimes apresentaram comprimento corporal variando entre 231 e 590 mm, havendo também variações entre as áreas de origem, sendo a média em Rio do Fogo de 354 mm, em Baía Formosa de 407 mm e nas Urcas de 513 mm. Urcas obteve os indivíduos de maior tamanho médio, enquanto Rio do Fogo obteve os indivíduos de menor tamanho médio. O peso total dos indivíduos variou entre 260 e 4.955 g, sendo a média entre as localidades de 795 g em Rio do Fogo, 1.312 g em Baía Formosa e 2.870 g em Urcas, onde esta última localidade apresentou também o maior peso médio entre os indivíduos.

Os estômagos frescos analisados de cada indivíduo também apresentaram diferentes pesos, que variaram de 1,55 a 21,32 g aproximadamente, com médias entre as localidades de 5,21 g em Rio do Fogo, de 4,82 g em Baía Formosa, e 14,21 g nas Urcas, aproximadamente. Somente 68 indivíduos foram utilizados para estabelecer a relação entre o peso estomacal e os valores de carbonato de cálcio contido, pois uma das amostras das Urcas não possuía dados sobre o peso total do órgão.

A variação do peso de carbonato de cálcio contido se deu entre indivíduos no geral em cerca de 0,02 a 0,43 g, e dentre as localidades, o valor médio foi de 0,13 g em Rio do Fogo, de 0,05 g em Baía Formosa, e de 0,24 g em Urcas. A porcentagem de carbonato de cálcio em relação à totalidade do conteúdo estomacal, no geral, atingiu em seu valor mínimo 19% e em seu valor máximo 96%. A média observada entre as localidades foi de 43% em Rio do Fogo, de 27% em Baía Formosa, e de 46% em Urcas.

A quantidade de carbonato de cálcio contido nas amostras em relação ao comprimento dos indivíduos foi variada, onde indivíduos de comprimento inferior a 400 mm apresentaram para a porcentagem de representatividade no conteúdo estomacal total valores entre 19% e 96%, sendo em média 41%, e, para o peso do mineral, variações entre 0,02 e 0,43 g, com média geral de 0,12g. Já indivíduos de comprimento maior que 400 mm obtiveram valores para a porcentagem entre 27% e 84%, sendo em média 46%, e para o peso entre 0,05 e 0,40 g, com média de 0,24 g.

A variação entre o peso do carbonato estomacal e o tamanho dos indivíduos, representada na Figura 4-C, apresentou resultados com alta significância para o valor-p ($p < 0.001$), indicando uma probabilidade menor que 0.01% de que o padrão de aumento da quantidade de carbonato ingerido em razão do aumento do tamanho do indivíduo ocorra ao acaso, confirmando a hipótese de que há o aumento de carbonato ciclado em espécimes maiores, porém, o valor encontrado para o coeficiente de determinação R-quadrado ($\text{Adj } R^2=0,19$) não foi muito expressivo, indicando que 19% dos indivíduos analisados se enquadraram no padrão, devido à variância na quantidade de carbonato ingerida entre indivíduos de diferentes tamanhos corporais.

Já a variação entre a proporção de carbonato estomacal (%) e o tamanho dos indivíduos, representada na Figura 4-F, não foi significativa, indicando que há influência de variações na dieta dos indivíduos.

O padrão observado para a relação entre o peso de carbonato estomacal e o peso dos indivíduos, indicado na Figura 4-B, foi o mesmo para a relação entre peso estomacal e o tamanho corporal, obtendo os mesmos valores para p ($p < 0.001$) e R-quadrado ($\text{Adj } R^2=0.19$), demonstrando que indivíduos de maior peso corporal apresentaram maior peso de carbonato de cálcio no estômago em relação aos menores, mesmo com variações do peso do mineral entre os diferentes pesos dos indivíduos, sendo esta uma relação positiva.

Já a relação entre a proporção de carbonato estomacal ao peso dos indivíduos, ilustrada na Figura 4-E, não apresentou resultados significativos, sendo a variação observada resultante de possíveis diferenças nos hábitos alimentares entre os indivíduos.

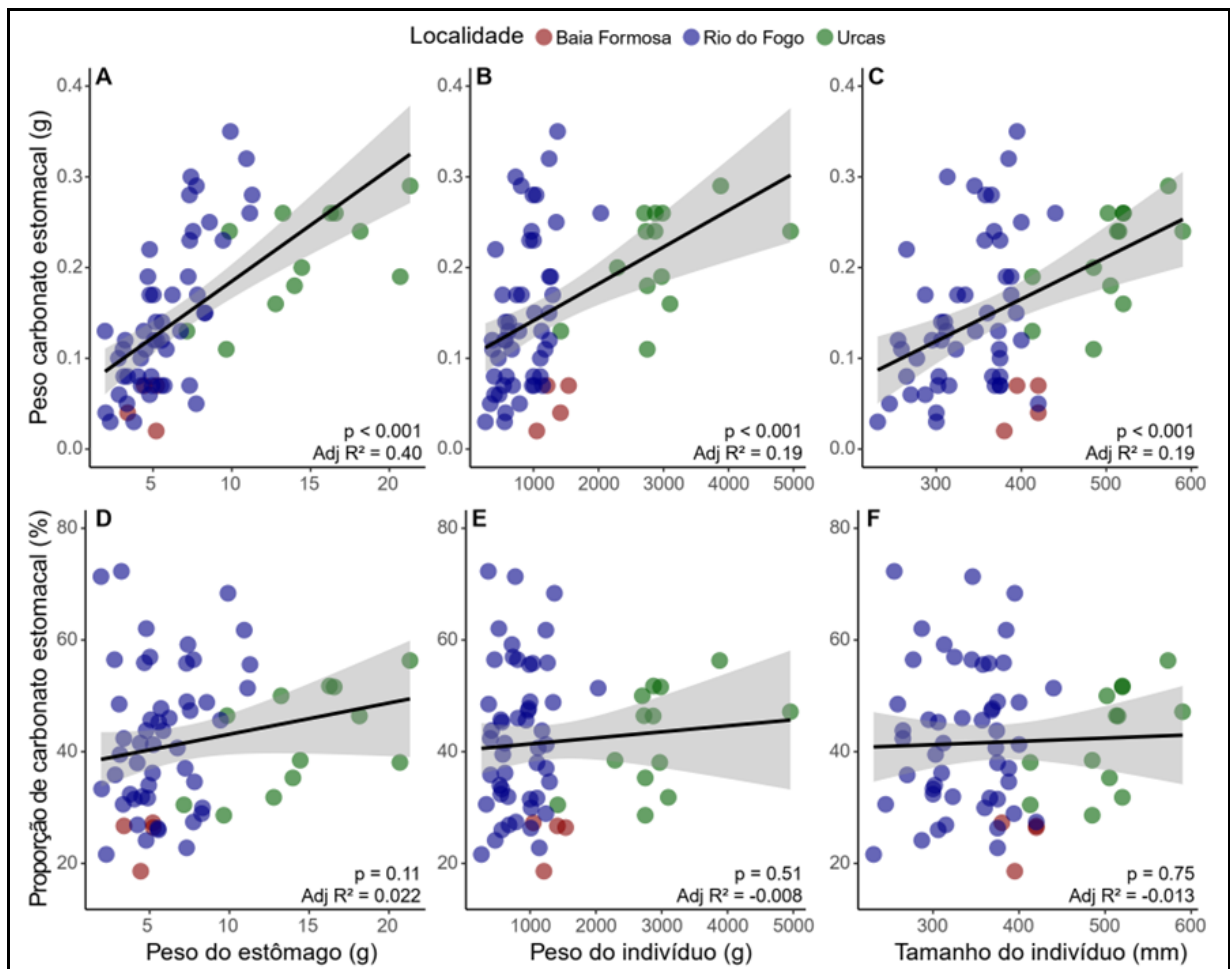
A relação entre o peso de carbonato estomacal e o peso do estômago dos indivíduos, ilustrada na Figura 4-A, obteve valores de alta significância e expressividade para o valor-p ($p < 0.001$) e para o valor de R-quadrado ($\text{Adj } R^2=0.40$), respectivamente, indicando que há forte relação positiva entre o aumento do peso do

estômago e do peso de carbonato contido em seu interior, contando com 40% das amostras se ajustando ao padrão, o que caracteriza o peso do estômago como a variável preditora mais relevante ao peso de carbonato ingerido.

A relação entre a porcentagem de carbonato estomacal e o peso do estômago dos indivíduos, indicados na Figura 4-D, não foi significativa, onde possivelmente outras variáveis atuam, como diferenças na quantidade de outros componentes da dieta dos indivíduos.

Dentre todas as relações observadas das variáveis resposta “peso de carbonato estomacal” e “proporção de carbonato estomacal” entre as variáveis preditoras utilizadas, os indivíduos de Rio do Fogo e Urcas são os que possuem maiores quantidades de carbonato de cálcio em seus estômagos em relação aos indivíduos de Baía Formosa, sendo os indivíduos de menores proporções corporais, mas de maiores quantidades de carbonato ingerida concentrados em Rio do Fogo.

Figura 4- Relações entre o carbonato de cálcio estomacal e dimensões corporais de indivíduos de *S. trispinosus*: A) Relação do peso de carbonato estomacal (g) ao peso do estômago (g); B) Relação do peso de carbonato estomacal (g) ao peso do indivíduo (g); C) Relação do peso de carbonato estomacal (g) ao tamanho do indivíduo (mm); D) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) ao peso do estômago (g); E) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) ao peso do indivíduo (g); F) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) ao tamanho do indivíduo (mm)



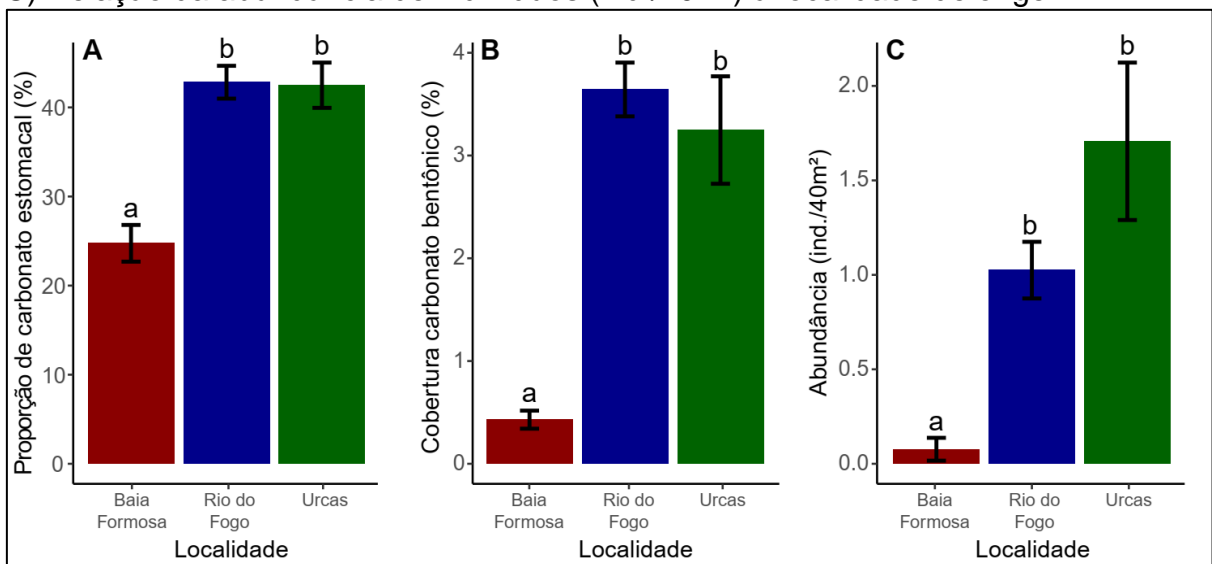
Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Dessa forma, os indivíduos de Baía Formosa apresentaram menor proporção de carbonato na dieta quando comparados a indivíduos de Rio do Fogo e Urcas, o que é demonstrado pela Anova (ANOVA de permutação; GL=2, SQ=1221.5, $p=0.014$) na Figura 5-A entre a variável resposta “proporção de carbonato estomacal” e a variável preditora “localidade”. De acordo com a análise, Baía Formosa obteve significativamente uma menor proporção de carbonato de cálcio entre as três localidades, sendo alocada pelas análises a posteriori no subgrupo “a”, já Rio do Fogo e Urcas, que possuíam maiores quantidades, porém sem diferenças significativas entre si, foram alocadas no subgrupo “b”.

As diferenças na proporção média de carbonato de cálcio entre as localidades são condizentes com a proporção de organismos calcificados na cobertura bentônica, como algas calcárias e corais duros, indicada na Figura 5-B, demonstrando que Baía Formosa é a localidade com menor quantidade destes organismos, o que justifica a menor média do mineral presente na dieta de indivíduos provenientes dessa localidade, e o enquadramento da mesma no subgrupo “a”. Já Rio do Fogo e Urcas contam com as maiores proporções médias, não possuindo diferenças significativas entre si, o que as enquadra no subgrupo “b” e justifica a maior abundância de carbonato na dieta dos indivíduos dessas localidades, mesmo entre os de menores tamanhos ou pesos corporais.

Além da menor quantidade de organismos bentônicos calcários, Baía Formosa também conta com a menor abundância de indivíduos (ind./40m²) em relação as demais localidades, sendo novamente enquadrada em um subgrupo particular, representado por “a”, pois Urcas e Rio do Fogo possuem uma abundância consideravelmente maior de *S. trispinosus*, e com baixa diferença entre si, o que as reúne no mesmo subgrupo, representado por “b”.

Figura 5- Relações entre as localidades de origem de indivíduos de *Scarus trispinosus* analisados: A) Relação da proporção de carbonato estomacal (%) à localidade de origem; B) Relação da proporção de carbonato bentônico (%) à localidade de origem; C) Relação da abundância de indivíduos (ind./40m²) à localidade de origem



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

5 DISCUSSÃO

De acordo com as análises do conteúdo estomacal dos indivíduos de *Scarus trispinosus*, foi possível observar que a quantidade de carbonato ingerida foi variada entre os diferentes tamanhos corporais, bem como entre as diferentes localidades de origem, tanto para o peso (de 0,02 a 0,43 g), quanto para a proporção do mineral (de 22% a 96%) no conteúdo estomacal.

O peso de carbonato de cálcio no estômago aumentou conforme o tamanho corporal total aumentava, bem como outras dimensões corporais, como o peso corporal e o peso estomacal, apresentando forte relação positiva principalmente para este último, e sugerindo que indivíduos maiores removem mais peso de carbonato do substrato. Entretanto, a porcentagem de carbonato de cálcio ingerido não obteve uma relação positiva significativa em relação ao tamanho dos indivíduos amostrados, mas foi condizente com a abundância de organismos calcificados no substrato da região recifal de origem.

A relação de aumento do peso de carbonato de cálcio ingerido ao aumento das dimensões corporais dos indivíduos demonstra a influência do tamanho corporal como um fator-chave no desempenho do papel ecológico de “escavadores”, pois indica maiores taxas de bioerosão de substratos calcificados por indivíduos maiores. Este resultado é condizente com a relação positiva entre o aumento do tamanho do indivíduo e da bioerosão realizada, já observados para a espécie (Francini-Filho *et al.*, 2008, 2010; Lellys *et al.*, 2019) e em outras espécies de peixes-papagaio (Bruggeman *et al.*, 1996; Bellwood *et al.*, 2003; Bonaldo e Bellwood, 2008; Lokrantz *et al.*, 2008), pois os indivíduos desenvolvem um aparato bucal mais eficiente para a bioerosão de organismos calcificados e outros componentes do substrato bentônico, tendendo a ciclar mais carbonato de cálcio nos recifes ao realizarem maiores taxas de bioerosão.

Embora o peso de carbonato de cálcio ingerido tenha apresentado uma relação positiva com o aumento do tamanho corporal dos indivíduos, houve indivíduos de menor tamanho (≥ 400 mm) que não seguiram este padrão de aumento, o qual também não foi acompanhado pela porcentagem de representatividade do mineral no conteúdo estomacal. Juntamente de indivíduos de grande porte oriundos das Urcas (≥ 400 mm), há indivíduos de menor porte (≤ 400 mm) de Rio do Fogo com alta representatividade de carbonato de cálcio em seu conteúdo estomacal total, sendo

essa variação explicada pela maior quantidade de organismos calcificados na cobertura bentônica das respectivas localidades em comparação à Baía Formosa (Roos *et al.*, 2019). Nas Urcas, há uma alta predominância de algas calcárias incrustantes na região bentônica, já em Rio do Fogo, os organismos calcificados mais abundantes são corais duros das espécies *Siderastrea stellata*, *Porites astreoides* e *Agaricia agaricites* (Roos *et al.*, 2019), os quais são recursos alimentares com alta disponibilidade para os indivíduos dessas populações, sejam eles de maior ou menor tamanho corporal.

Em Baía Formosa, o mesmo efeito de influência bentônica pode ser observado na proporção de carbonato de cálcio do local, pois mesmo contando apenas com indivíduos de grande porte (≥ 400 mm), para os quais esperava-se encontrar proporções de carbonato estomacal similares a outros indivíduos de grande porte das demais localidades, o padrão não se deu da mesma maneira, sendo a menor proporção carbonática no conteúdo estomacal entre as localidades analisadas. Nessa região, os organismos mais representativos são as macroalgas *Dictyopteris spp* e *Dictyota spp* (Roos *et al.*, 2019), e a baixa abundância de organismos calcificados na região demonstra que este recurso alimentar não possui uma alta disponibilidade para os indivíduos da população, que possivelmente recorrem a outras fontes alimentares com maior oferta, resultando na sua menor média de carbonato em relação às demais localidades.

As relações observadas demonstram que a influência da composição bentônica dos recifes analisados foi um fator relevante para a quantidade de carbonato de cálcio ingerida na alimentação, que seguiu a tendência de ser mais representativa nas localidades com maior oferta de organismos calcificados, como algas calcárias incrustantes e corais duros, os quais constituem a principal fonte de produção de carbonato de cálcio nos recifes (Goreau, 1963; Glynn, 1997).

O conteúdo alimentar dos indivíduos pode ser influenciado por diversos fatores já descritos além do tamanho corporal, como as interações com outros herbívoros territoriais (Francini-Filho *et al.*, 2010), os quais delimitam áreas disponíveis para a alimentação; a preferência por locais relacionados a sua qualidade nutricional, que se dão desde microhabitats a substratos específicos, como corais vivos (Francini-Filho *et al.*, 2008), matrizes de algas epilíticas e endolíticas, e até mesmo microrganismos proteicos (Clements *et al.*, 2017). Outros pontos a serem considerados são a capacidade de acessar os recursos, tanto por sua disponibilidade (Bellwood *et al.*,

1995; Francini-Filho *et al.*, 2008, 2010) quanto pela capacidade de seu aparato bucal para removê-los, além do sedimento agregado ao alimento (Bruggeman *et al.*, 1996, Lokrantz *et al.*, 2008; Roos *et al.*, 2019). As preferências alimentares de *Scarus trispinosus*, no geral, se dão em organismos calcificados (Francini-Filho *et al.*, 2008, 2010; Lellys *et al.*, 2019), mas já foram observadas variações intra específicas relacionadas a disponibilidade do recurso alimentar, onde indivíduos menores (< 400 mm) exploram mais componentes de fácil acesso nos recifes rasos, como algas calcárias incrustantes e a matriz de algas epilíticas, já indivíduos maiores (> 400 mm) podem explorar outros componentes bentônicos de recifes distante e de maior rigidez, como algas endolíticas, demonstrando a variação alimentar de acordo com o uso do hábitat variado entre indivíduos diferentes da mesma espécie (Lellys *et al.*, 2019). Esses fatores terminam por alterar a composição dos constituintes estomacais com base nos hábitos alimentares entre indivíduos e a disponibilidade dos recursos alimentares, influenciando na proporção de carbonato de cálcio ingerido, como observado entre os indivíduos das três localidades.

A abundância dos indivíduos analisados entre as localidades também apresentou correlação com a cobertura bentônica, onde há maior abundância de indivíduos nas áreas das Urcas e de Rio do Fogo, e maior proporção de organismos calcificados (Roos *et al.*, 2019), provavelmente sendo relacionada à preferência desta espécie por este tipo de recurso alimentar. Indivíduos menores foram mais abundantes em Rio do Fogo, por conter recifes mais rasos e próximos da costa, que caracterizam a área como berçário da espécie (Roos *et al.*, 2019, 2020b). Já Urcas e Baía Formosa apresentaram maior abundância de indivíduos maiores, pois quando atingem a maturidade, estes migram para recifes mais profundos e distantes da costa (Roos *et al.*, 2019, 2020a). No entanto, a abundância de indivíduos em Urcas é significativamente maior que Baía Formosa, podendo ser relacionada também a suas preferências alimentares por organismos calcificados, os quais têm sua proporção no substrato bentônico mais representativa em Urcas.

Como as estimativas de pesca em 9,4 toneladas anuais de *S. trispinosus* retirados dos recifes do Rio Grande do Norte, constituindo principalmente fêmeas imaturas entre 220 e 360 mm (Roos *et al.*, 2016), ao considerar os indivíduos analisados com proporções similares para o tamanho corporal (entre 231 e 360 mm) e suas taxas de bioerosão encontradas, o peso médio corporal se dá em torno de 615 g, e média do peso de carbonato de cálcio ingerido em cerca de 0,12 g diários por

cada indivíduo com essas proporções. Com essas estimativas, é possível estimar que são pescados anualmente cerca de 15.285 budiões-azul. Considerando que grande parte desses indivíduos ainda tenha baixa capacidade de escavar o substrato, em razão de seu tamanho (< 400 mm), eles deveriam ser capazes de ciclar em torno de 669 kg de carbonato de cálcio anualmente nos recifes. Essa quantidade seria ainda maior quando atingissem a maturidade (≥ 400 mm), demonstrando a importância e os riscos da sobrepesca para o papel ecológico da espécie.

Se considerado esse mesmo número estimado de 15.285 budiões-azul pescados anualmente para os indivíduos de maior porte analisados (entre 400 e 590 mm), a média de carbonato ciclado diária seria 0,20 g, resultando em taxas anuais em cerca de 1115 kg de carbonato de cálcio ciclado, sendo quase o dobro do valor dos indivíduos menores, demonstrando a maior influência na bioerosão por indivíduos maiores (Francini-Filho *et al.*, 2008, 2010; Lellys *et al.*, 2019). Quando se comparam os indivíduos de grande porte analisados e com proporções corporais similares, oriundos de Urcas (dois indivíduos de 410 mm), que contém mais carbonato de cálcio em seu substrato, e Baía Formosa (dois indivíduos de 420 mm), que contém menos carbonato no substrato, as médias de carbonato ciclado seriam 0,16 g diários para Urcas e 0,05 g diários para Baía Formosa, demonstrando a importância da composição bentônica no carbonato de cálcio ciclado.

Por fim, a hipótese de que indivíduos maiores ciclam mais carbonato de cálcio em relação aos indivíduos menores pode ser confirmada pelos resultados observados, onde as taxas de carbonato de cálcio aumentaram de forma positiva com o aumento do tamanho corporal nas localidades analisadas, porém, a influência da disponibilidade de organismos calcificados no substrato recifal de cada localidade também se mostrou um fator tão relevante quanto o tamanho corporal para a quantidade de carbonato de cálcio ingerido, sendo significativamente mais alta para indivíduos de Urcas e Rio do Fogo, que continham as maiores proporções do mineral, explicando a variação entre indivíduos menores e maiores, e confirmando assim a segunda hipótese de que há uma relação positiva entre o tamanho e a ingestão de carbonato de cálcio .

6 CONCLUSÃO

Ao quantificar o carbonato de cálcio (CaCO_3) ingerido pelo budião-azul (*Scarus trispinosus*), o maior e mais ameaçado peixe-papagaio endêmico do Brasil, em três recifes heterogêneos do Rio Grande do Norte, região que compõe a segunda maior população remanescente da espécie no Brasil, foi possível observar que a quantidade de carbonato de cálcio ciclado sofre influência do tamanho corporal e do uso de habitat, aumentando conforme os indivíduos crescem, bem como quando estão localizados em recifes com maior disponibilidade de organismos calcificados como recurso alimentar. Para melhores estimativas na quantificação de carbonato de cálcio ciclado entre os indivíduos, estudos futuros associados a taxas de alimentação diárias podem refinar esta abordagem. A pesca desta espécie no litoral do Rio Grande do Norte está colocando em risco um importante processo ecossistêmico, a ciclagem de carbonato de cálcio, o que pode trazer consequências negativas ao ecossistema. Assim, a conservação do budião-azul pode contribuir não apenas com a manutenção de suas populações, mas para o funcionamento pleno dos recifes de maneira saudável.

REFERÊNCIAS

BELLWOOD, David R.; CHOAT, John H. A functional analysis of grazing in parrotfishes (family Scaridae): the ecological implications. **Alternative life-history styles of fishes**, p. 189-214, 1990.

BELLWOOD, David R. Carbonate transport and within-reef patterns of bioerosion and sediment release by parrotfishes (family Scaridae) on the Great Barrier Reef. **Marine Ecology Progress Series**, p. 127-136, 1995.

BELLWOOD, David R.; HOEY, Andrew S.; CHOAT, John H. Limited functional redundancy in high diversity systems: resilience and ecosystem function on coral reefs. **Ecology letters**, v. 6, n. 4, p. 281-285, 2003.

BELLWOOD, David R. *et al.* Confronting the coral reef crisis. **Nature**, v. 429, n. 6994, p. 827-833, 2004.

BELLWOOD, David R.; HOEY, Andrew S.; HUGHES, Terence P. Human activity selectively impacts the ecosystem roles of parrotfishes on coral reefs. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1733, p. 1621-1629, 2012.

BONALDO, Roberta M.; BELLWOOD, David R. Size-dependent variation in the functional role of the parrotfish *Scarus rivulatus* on the Great Barrier Reef, Australia. **Marine Ecology Progress Series**, v. 360, p. 237-244, 2008.

BONALDO, Roberta M.; HOEY, Andrew S.; BELLWOOD, David R. The ecosystem roles of parrotfishes on tropical reefs. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**, v. 52, p. 81-132, 2014.

BENDER, Mariana G. *et al.* Local ecological knowledge and scientific data reveal overexploitation by multigear artisanal fisheries in the Southwestern Atlantic. **PLoS One**, v. 9, n. 10, p. e110332, 2014.

BRUGGEMANN, Henrich J. *et al.* Bioerosion and sediment ingestion by the Caribbean parrotfish *Scarus vetula* and *Sparisoma viride*: implications of fish size, feeding mode and habitat use. **Marine Ecology Progress Series**, v. 134, p. 59-71, 1996.

CLEMENTS, Kendall D. *et al.* Integrating ecological roles and trophic diversification on coral reefs: multiple lines of evidence identify parrotfishes as microphages. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 120, n. 4, p. 729-751, 2017.

FRANCINI-FILHO, Ronaldo B.; MOURA, Rodrigo L. Dynamics of fish assemblages on coral reefs subjected to different management regimes in the Abrolhos Bank, eastern Brazil. 2008.

FRANCINI-FILHO, Ronaldo B. *et al.* Live coral predation by parrotfishes (Perciformes: Scaridae) in the Abrolhos Bank, eastern Brazil, with comments on the classification of species into functional groups. **Neotropical Ichthyology**, v. 6, p. 191-200, 2008.

FRANCINI-FILHO, Ronaldo B. *et al.* Foraging activity of roving herbivorous reef fish (Acanthuridae and Scaridae) in eastern Brazil: influence of resource availability and interference competition. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 90, n. 3, p. 481-492, 2010.

GLYNN, Peter W. Bioerosion and coral growth: a dynamic balance: 68–95. **Life and death of coral reefs. Chapman & Hall, New York**, 1997.

GOBALET, Kenneth W. Morphology of the parrotfish pharyngeal jaw apparatus. **American zoologist**, v. 29, n. 1, p. 319-331, 1989.

GOREAU, Thomas F. Calcium carbonate deposition by coralline algae and corals in relation to their roles as reef-builders. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 109, n. 1, p. 127-167, 1963.

LELLYS, Nicole T. *et al.* Parrotfish functional morphology and bioerosion on SW Atlantic reefs. **Marine Ecology Progress Series**, v. 629, p. 149-163, 2019.

LOKRANTZ, Jerker *et al.* The non-linear relationship between body size and function in parrotfishes. **Coral Reefs**, v. 27, p. 967-974, 2008.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção**. Portarias MMA nº 444/2014 e nº 445/2014, 2014.

PADOVANI-FERREIRA, Beatrice *et al.* *Scarus trispinosus*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2012**: e.T190748A17786694. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2012.RLTS.T190748A17786694.en>. Acesso em 18 nov. 2023.

ROOS, Natalia C. *et al.* Multiple management strategies to control selectivity on parrotfishes harvesting. **Ocean & Coastal Management**, v. 134, p. 20-29, 2016

ROOS, Natalia C. *et al.* Drivers of abundance and biomass of Brazilian parrotfishes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 623, p. 117-130, 2019.

ROOS, Natalia C. *et al.* Demography of the largest and most endangered Brazilian parrotfish, *Scarus trispinosus*, reveals overfishing. **Endangered Species Research**, v. 41, p. 319-327, 2020a.

ROOS, Natalia C. *et al.* Protecting nursery areas without fisheries management is not enough to conserve the most endangered parrotfish of the Atlantic Ocean. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 19143, 2020b.