



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU**

VINÍCIUS MELLONI ZÚCULO

**NOTAS SOBRE A BIODIVERSIDADE DE CRUSTÁCEOS (BRACHYURA E
ANOMURA) ASSOCIADOS AO CORAL INVASOR *Tubastraea* spp. COM
AVALIAÇÕES ECOLÓGICAS DO CARANGUEJO ARANHA *Mithraculus forceps*
(BRACHYURA, MITHRACIDAE) NO ARQUIPÉLAGO DE ALCATRAZES**

**BOTUCATU - SP
2025**

VINÍCIUS MELLONI ZÚCULO

NOTAS SOBRE A BIODIVERSIDADE DE CRUSTÁCEOS (BRACHYURA E ANOMURA) ASSOCIADOS AO CORAL INVASOR *Tubastraea* spp. COM AVALIAÇÕES ECOLÓGICAS DO CARANGUEJO ARANHA *Mithraculus forceps* (BRACHYURA, MITHRACIDAE) NO ARQUIPÉLAGO DE ALCATRAZES

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Estadual Paulista, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel, do curso de Graduação em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Leão Castilho

Coorientadora: Dra. Isabela Ribeiro Rocha de Moraes

Botucatu – SP
2025

Z94n

Zúculo, Vinícius Melloni

Notas sobre a biodiversidade de crustáceos (Brachyura e Anomura) associados ao coral invasor *Tubastraea* spp. com avaliações ecológicas do caranguejo aranha *Mithraculus forceps* (Brachyura, Mithracidae) no Arquipélago de Alcatrazes / Vinícius Melloni Zúculo. -- Botucatu, 2025
30 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu
Orientador: Antonio Leão Castilho
Coorientadora: Isabela Ribeiro Rocha de Moraes

1. Ecologia. 2. Simbiose. 3. Decapoda (Crustacea). I. Título.

VINÍCIUS MELLONI ZÚCULO

NOTAS SOBRE A BIODIVERSIDADE DE CRUSTÁCEOS (BRACHYURA E ANOMURA) ASSOCIADOS AO CORAL INVASOR *Tubastraea* spp. COM AVALIAÇÕES ECOLÓGICAS DO CARANGUEJO ARANHA *Mithraculus forceps* (BRACHYURA, MITHRACIDAE) NO ARQUIPÉLAGO DE ALCATRAZES

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Estadual
Paulista, como parte das exigências para a
obtenção do título de Bacharel, do curso
de Graduação em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Leão
Castilho

Coorientadora: Dra. Isabela Ribeiro Rocha
de Moraes

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO LEAO CASTILHO**
Data: 07/07/2025 21:51:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antonio Leão Castilho
Instituto de Biociências, IBB, UNESP, Botucatu, SP

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL DE CARVALHO SANTOS**
Data: 04/07/2025 18:12:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rafael de Carvalho Santos
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV, UNESP, Jaboticabal, SP

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais César e Eliana, que sempre lutaram incansavelmente para meu acesso a uma educação de qualidade. Sem vocês, não estaria onde estou hoje e sempre serei muito grato a tudo que fizeram e fazem por mim.

Também gostaria de agradecer a minha irmã Gabriela, meus avós Aristides, Maria do Carmo e Inez, e a todos os amigos que fizeram parte da minha trajetória, desde a educação básica até a graduação. Em especial, aos meus grandes amigos Gabriel e Mattias: a motivação e apoio de vocês foi essencial.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Antonio Leão Castilho, por todo apoio durante meu estágio de iniciação científica. Um agradecimento especial à minha coorientadora Dra. Isabela Ribeiro Rocha de Moraes, que sempre esteve presente para me auxiliar com seu vasto conhecimento. Seu amor pela ciência é cativante e inspirador, espero algum dia ser um pesquisador incrível assim como ela.

Um agradecimento também aos meus colegas de laboratório, em especial, Gabriel, Mateus, Renan e Larissa, que sempre estiveram presentes para me auxiliar quando necessário e tornaram a rotina laboratorial mais leve.

Agradeço também a UNESP e ao Instituto de Biociências de Botucatu, por toda infraestrutura fornecida para realização deste trabalho, assim como aos funcionários e técnicos, sempre solícitos a qualquer auxílio.

Por fim, agradeço ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento que possibilitou a execução deste trabalho.

RESUMO

Tubastraea spp., popularmente conhecido como coral sol, caracteriza um gênero de espécies invasoras de rápido crescimento, cada vez mais abundante na costa brasileira. Uma grande biodiversidade de crustáceos decápodes pode estabelecer interações simbióticas com tais colônias, como o braquiúro *Mithraculus forceps*. O objetivo deste estudo foi descrever características ecológicas da comunidade de Brachyura e Anomura em associação com *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes, assim como analisar aspectos populacionais e o crescimento relativo de *M. forceps*. A coleta foi realizada através de busca ativa em 2019, e as espécies foram identificadas e fotografadas. Calculou-se índices que estimam a diversidade biológica da amostra, assim como os espécimes de *M. forceps* foram categorizados em grupos demográficos e medidos em relação à carapaça, quelípodos, abdome e gonopódio. Propomos que a baixa complexidade e heterogeneidade de habitat promovida pela morfologia dos pólipos de coral sol pode contribuir para diminuição da diversidade de decápodes associados, além de atuar como um filtro de seleção à indivíduos de menores tamanhos corporais e adaptados às condições ambientais impostas pelo hospedeiro. Pesquisas em locais colonizados por *Tubastraea* spp. são fundamentais para a compreensão dos impactos que o estabelecimento do coral pode causar na fauna nativa, assim como para o estabelecimento de planos de manejo eficazes desta espécie invasora, sobretudo em uma área de preservação ambiental como o Arquipélago de Alcatrazes.

PALAVRAS-CHAVE: Ecologia, Simbiose, Decapoda (Crustacea)

ABSTRACT

Tubastraea spp., commonly known as sun coral, is a genus of fast-growing invasive species that is increasingly abundant along the Brazilian coast. A high diversity of decapod crustaceans can form symbiotic associations with these coral colonies, such as the brachyuran *Mithraculus forceps*. This study aimed to describe the ecological characteristics of the Brachyura and Anomura community associated with *Tubastraea* spp. in the Alcatrazes Archipelago and the population aspects and relative growth of *M. forceps*. Sampling was conducted through active searching in 2019, and the species were identified and photographed. Biodiversity indices were calculated to estimate the biological diversity of the sample, and *M. forceps* individuals were categorized into demographic groups and measured for carapace, chelipeds, abdomen, and gonopod dimensions. It is suggested that the low complexity and habitat heterogeneity provided by the morphology of sun coral polyps may contribute to a decrease in the diversity of associated decapods, in addition to acting as a selective filter for smaller-bodied individuals adapted to the environmental conditions imposed by the host. Research in areas colonized by *Tubastraea* spp. is essential for understanding the negative impacts of sun coral on native fauna and for developing effective management strategies for this invasive species, especially in a protected area such as the Alcatrazes Archipelago.

KEY WORDS: Ecology, Symbiosis, Decapoda (Crustacea)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	5
OBJETIVOS.....	6
METODOLOGIA.....	6
RESULTADOS.....	10
<i>Diversidade da comunidade.....</i>	<i>10</i>
<i>Aspectos Populacionais e Crescimento Relativo de Mithraculus forceps.....</i>	<i>12</i>
DISCUSSÃO.....	19
CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS	24

INTRODUÇÃO

Os crustáceos são animais que apresentam uma elevada diversidade taxonômica (MARTIN; DAVIS, 2001), especialmente observada na ordem Decapoda, que apresenta cerca de 15.000 espécies taxonomicamente válidas (WOLFE et al., 2019). Estes animais podem ocupar um amplo espectro de ambientes terrestres e marinhos, o que se configura como uma das principais razões do sucesso ecológico dos caranguejos da infraordem Brachyura (NG; DAVIE; GUINOT, 2008). A família Mithracidae caracteriza-se como uma das mais diversas pertencentes a esta infraordem (HENDRICKX, 1999), com espécies distribuídas em cerca de 14 gêneros (SANCHO-BLANCO et al., 2022), as quais podem ser encontradas em associações com diversos invertebrados marinhos, em profundidades da região intertidal a regiões mais profundas (WINDSOR; FELDER, 2014).

A partir desta grande diversidade taxonômica, o caranguejo aranha *Mithraculus forceps* A Milne-Edwards, 1875 destaca-se como uma espécie alvo de estudos ecológicos devido a sua variedade de hábitos e estratégias de vida, ampla distribuição geográfica, e relevância no estabelecimento de populações nos diversos ambientes marinhos: *M. forceps* pode ser encontrado no Atlântico ocidental nos Estados Unidos (da Carolina do Norte à Flórida e Golfo do México), Antilhas, Venezuela, Trinidad e Tobago e, no Brasil, (do Maranhão a Santa Catarina, incluindo o Atol das Rocas e o Arquipélago Fernando de Noronha), habitando substratos arenosos ou rochosos e estabelecendo associações com esponjas, colônias de briozoários e, sobretudo, recifes de corais (MELO, 1996; MANTELATTO et al., 2003; COBO, 2005; MANTELATTO et al., 2020).

A elevada complexidade de substrato biogênico produzida por corais contribui para que sejam encontrados diversos grupos animais apresentados em diferentes modelos simbióticos (WILSON; GRAHAM; POLUNIN, 2007). Entre os crustáceos, existe uma ampla variedade de interações ecológicas, especialmente no ambiente marinho, sendo comuns associações com corais escleractíneos do gênero *Tubastraea* spp.: os crustáceos associados dependem do substrato oferecido por organismos bentônicos para proteção e captação de alimento, assim representando uma considerável biomassa em tais ambientes (GERLACH, 1978).

Os organismos do gênero *Tubastraea* spp., popularmente conhecidos como coral sol, presentes em diversas regiões do litoral brasileiro, são espécies invasoras de rápido crescimento que podem competir por substrato e recursos com espécies nativas, trazendo prejuízos ao crescimento e sobrevivência destas espécies (MIRANDA; CRUZ; BARROS, 2016), bem como ameaças à perda de biodiversidade local (LAGES et al., 2011). Acredita-se que estes animais foram introduzidos em diferentes locais do oceano Atlântico devido a bioincrustação em plataformas de petróleo e em cascos de navio, onde podem ser encontrados com frequência (SAMMARCO; ATCHISON; BOLAND, 2004). No Brasil, *Tubastraea coccinea* (Ehrenberg, 1834) e *Tubastraea tagusensis* (Wells, 1982) estão presentes desde a costa cearense até o litoral de Santa Catarina (CREED et al., 2017).

A colonização por populações de *Tubastraea* spp. é extremamente evidenciada na região insular do sudeste brasileiro, denominada Arquipélago de Alcatrazes

(MARTINS; CAPEL; ABESSA, 2024). Localizado no Estado de São Paulo, o arquipélago é considerado uma reserva marinha caracterizada como uma área exposta a possíveis modificações na sua diversidade marinha pela introdução de novas espécies, por conta da proximidade com áreas portuárias, uma vez que portos são um dos principais locais de entrada de espécies invasoras (DA ROCHA; BONNET, 2009; REZENDE-GOIS et al., 2023). Além disso, recentemente, o Arquipélago de Alcatrazes foi considerado um “blue parque”, durante o Quinto Congresso Internacional de Áreas Marinhas Protegidas (IMPAC5 - 2023), devido ao elevado nível de proteção concedido a esta área e sua grande relevância em abrigar espécies nativas. Dessa forma, estudos que analisam a dinâmica das populações locais, sobretudo as que vivem em associação com o coral sol, são de suma importância para caracterizar os impactos promovidos por espécies não nativas como *Tubastraea* spp., visto que há uma carência de estudos a respeito da influência do coral sol na estrutura das comunidades biológicas em, especialmente, uma área de proteção ambiental como o Arquipélago de Alcatrazes.

OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo se concentraram em descrever e analisar aspectos ecológicos da comunidade de crustáceos decápodes associados a *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes, com ênfase nas infraordens Brachyura e Anomura e elaborar um catálogo de imagens em cores e descritivo desta fauna. Além disso, objetivou-se analisar os aspectos populacionais, morfométricos e o crescimento relativo da espécie *M. forceps*, a mais abundante encontrada em associação à *Tubastraea* spp., fornecendo comparações em relação a esta população e outras populações presentes em outros substratos. Os dados obtidos neste estudo contribuirão para a conservação de espécies associadas ao coral sol, assim como podem demonstrar os impactos de uma espécie invasora em comunidades nativas de Alcatrazes.

METODOLOGIA

O Arquipélago de Alcatrazes (24° 6' 0" S, 45° 42' 0" W, Figura 1) caracteriza-se como uma região insular marinha de não extração, a qual desde 2016 é protegida por lei federal designado como “refúgio de vida silvestre” (REZENDE-GOIS et al., 2023). Localizada a cerca de 33 km da costa de São Sebastião, o Arquipélago é composto por regiões de ilhas, ilhotas, lajes e parcéis, abrigando uma vasta biodiversidade (ICMBio, 2017; HOFF et al., 2022). Vale ressaltar que campanhas de manejo de *Tubastraea* spp. são realizadas periodicamente por ações do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio), que faz a gestão do refúgio, justamente pela altíssima intensidade de ocorrência do coral sol invasor em Alcatrazes, que se encara como uma ameaça direta à biota local da região.

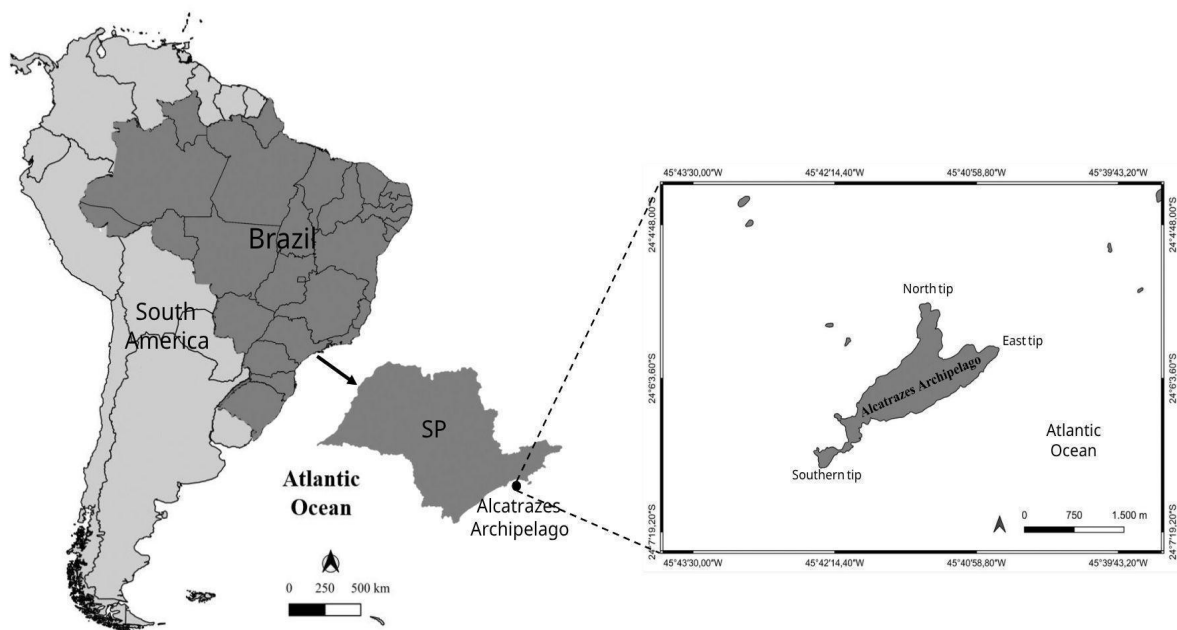


Figura 1. Mapa da localização geográfica do Arquipélago de Alcatrazes

A coleta das colônias de *Tubastraea* spp., juntamente com os invertebrados associados, ocorreu durante uma expedição conduzida pelo ICMbio, focada ao manejo das colônias de coral sol, realizada maio de 2019, em seis estações amostrais ao longo do Arquipélago, em 3 faixas batimétricas (4, 6 e 10 metros), autorizadas pelo SISBIO/IBAMA (nº 69588-4/2020 MMA/IBAMA/SISBIO; nº 73930-1 MMA/IBAMA/SISBIO). O método de coleta utilizado foi a busca ativa, através de mergulhos autônomos simultâneos diurnos, realizados por 36 mergulhadores, com esforço amostral de 3 horas por mergulhador (Figura 2). As colônias associadas ao substrato consolidado das estações amostrais foram retiradas utilizando talhadeira e martelo e ensacadas até a chegada ao laboratório.



Figura 2: Imagens da coleta de colônias de *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes

O material coletado foi transferido para o Laboratório de Biologia de Invertebrados Aquáticos (LABIAQUA), na Universidade Estadual Paulista – UNESP, *campus* Botucatu. As colônias foram inspecionadas a fim de localizar os crustáceos simbiossitos pertencentes às infraordens Brachyura e Anomura, que, quando encontrados, foram preservados em etanol 70%, assim como parte das colônias de coral sol. A análise dos simbiossitos foi realizada sob observação em estereomicroscópio Zeiss Stemi SV6, equipado sistema de imagem, Zeiss Stemi 2000-C e software de análise AxioVision (versão 4.8). A identificação dos indivíduos, ao menor nível taxonômico possível, se deu a partir de chaves taxonômica (MELO, 1996) e bibliografia especializada; as espécies foram então verificadas e confirmadas a partir do banco de dados presente no *World Register of Marine Species* (WORMS).

Posteriormente à identificação, os espécimes foram categorizados em grupos demográficos e estágios de desenvolvimento ontogenético (machos, fêmeas, fêmeas ovígeras e juvenis). Em relação à infraordem Brachyura, os machos foram identificados seguindo caracteres sexuais morfológicos secundários, como a formação de gonopódios e o abdome mais estreito quando comparado às fêmeas adultas, as quais foram caracterizadas pela morfologia arredondada do abdome, provido de pleópodos funcionais para abrigo de embriões em seu interior. Indivíduos juvenis foram identificados pela morfologia triangular do abdome e número de pleópodos presentes, os quais ainda não estavam funcionais para abrigar ovos ou não se desenvolveram em gonopódios (considerando a identificação de juvenis com sexo indiferenciado, este grupo demográfico não foi incluído nas análises de razão sexual). Classificou-se ainda como fêmeas ovígeras aquelas que apresentaram embriões aderidos aos pleópodos. Em Anomura, a distinção das categorias demográficas ocorreu considerando a localização

dos gonóporos associados aos pereópodos para diferenciação sexual: quando presente na base da coxa do terceiro pereópodo se trata de uma fêmea, já no quinto pereópodo, um macho. (HARTNOLL, 1982; HAEFNER, 1990; MELO, 1996; MELO, 1999; ALVES et al., 2005).

Para análise da diversidade da comunidade, foram utilizados os índices de SHANNON (H') (1949), expresso por $H' = - \sum p_i \cdot \ln p_i$, este índice leva em consideração a abundância relativa e riqueza de espécies; índice de SIMPSON (D) (1949), expresso por $1/D$, onde $D = \sum \left(\frac{n_i [n_i - 1]}{N [N - 1]} \right)$, que demonstra a probabilidade de dois espécimes escolhidos ao acaso na comunidade serem da mesma espécie (para uma comunidade finita); e índice de PIELOU (J') (1975), expresso por $J' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln S}$, o qual representa a equitabilidade de espécies na comunidade. Nos índices citados anteriormente, p_i = número de indivíduos da espécie “i” na amostra/número total de indivíduos na amostra, n_i = número de indivíduos na i-ésima espécie, N = número total de indivíduos e S = riqueza de espécies. Ademais, também foram calculados os índices

de diversidade taxonômica (Δ), expresso por $\Delta = \sum \sum_{i>j} \omega_{ij} x_i x_j / \frac{\sum \sum_{i>j} x_i x_j + \sum_i x_i (x_i - 1)}{2}$, e

distinção taxonômica (Δ^+), expresso por $\Delta^+ = \frac{\sum \sum_{i>j} \omega_{ij}}{S(S-1)/2}$. Em relação aos dois últimos índices citados, x_i = abundância de indivíduos da i-ésima espécie, ω_{ij} = “peso de distinção” entre as espécies i e j e S = número de espécies, além do valor a ponderação (v) atribuída a cada um dos níveis na hierarquia taxonômica, o qual deve ser ajustado como $v = 1$, cada passo acima na hierarquia em busca de um nível taxonômico compartilhado (de espécies a gêneros, famílias, ordens e classes). Os índices de diversidade e distinção taxonômica compreendem informações tanto ecológicas quanto histórico-evolutivas (WARWICK & CLARKE, 1995; CLARKE & WARWICK, 1998; CLARKE & WARWICK, 2001). Todas as medidas de diversidade da comunidade foram calculadas a partir do software R versão 3.5.3, utilizando o pacote vegan (OKSANEN, 2010).

A produção de imagens das espécies encontradas se deu a partir da seleção de um indivíduo de cada espécie, o qual foi fotografado utilizando uma câmera semiprofissional Nikon Coolpix P100 acoplada a uma estativa, possibilitando a produção de pranchas com as imagens em alta resolução, bem como a escala adequada para dimensão do tamanho real dos indivíduos.

Para análises específicas à população de *Mithraculus forceps* foram obtidas as seguintes medidas (mm) morfométricas, para todos os grupos demográficos: largura da carapaça (LC), comprimento e largura do quelípodo direito (CQD e LQD, respectivamente) e comprimento e largura do quelípodo esquerdo (CQE e LQE, respectivamente). Apenas em fêmeas, mediu-se a largura do abdome (LA); já exclusivamente em machos, mediu-se o comprimento do gonopódio esquerdo (CGE).

A fim de avaliar a frequência de distribuição de *M. forceps* em classes de tamanho, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk e Levene, que testam as premissas de normalidade e homocedasticidade, a partir do pacote car (FOX et. al, 2019). As classes de tamanho foram obtidas utilizando o pacote agricolae, utilizando a função “sturges.freq”. Aplicou-se também um teste binomial para avaliar a razão sexual entre machos e fêmeas, em relação à razão esperada 1:1, também utilizando o pacote agricolae e a função “run_binom_test” (DE MENDIBURU, 2009).

Para as análises de crescimento relativo de *M. forceps*, a largura da carapaça (LC), como variável independente (x), foi analisada a partir da comparação com as demais medidas, variáveis dependentes (y), ou seja, comprimento e largura do quelípodo direito e comprimento e largura do quelípodo esquerdo (CQD, LQD, CQE e LQE, respectivamente), largura do abdome (LA) e comprimento do gonopódio esquerdo (CGE), testadas duas a duas. A análise de crescimento relativo foi fundamentada por HARTNOLL (1974), o qual propôs que $y = ax^b$ (ou $\log y = \log a + b * \log x$). Nestas equações, “a” descreve a intersecção com o eixo y e “b” representa o coeficiente alométrico da estrutura analisada (“slope”); quando $b > 1$, considera-se alometria positiva, para $b < 1$, considera-se alometria negativa e $b = 1$, isometria (considerando $p < 0.05$, quando $p > 0.05$, trata-se de isometria) (HUXLEY, 1950). Neste caso, quando se obtêm alometria positiva, demonstra-se que a estrutura corpórea em análise cresce em uma maior proporção que a carapaça de *M. forceps*, em coeficiente alométricos negativos observa-se o cenário oposto. Quando uma isometria é detectada, considera-se que a estrutura corpórea analisada e a carapaça de *M. forceps* crescem na mesma proporção. Estas análises foram conduzidas a partir de uma regressão linear simétrica SMA utilizando o pacote smatr (WARTON, et al., 2012).

RESULTADOS

Diversidade da comunidade

Foram encontrados 244 espécimes distribuídos em 9 espécies, sendo 8 pertencentes à infraordem Brachyura e apenas 1 à infraordem Anomura, o porcelanídeo *Pachycheles monilifer* Dana, 1852. As espécies mais abundantes foram os braquiúros *Mithraculus forceps* (125 indivíduos) (representando 51,22% de toda comunidade), seguido por *Hexapanopeus paulensis* Rathbun, 1930 (65 indivíduos) (26,63%) e *Pilumnus vinaceus* A. Milne Edwards, 1880 (28 indivíduos) (11,47%). As espécies menos abundantes foram *Panopeus harttii* Smith, 1869 (1 indivíduo) (0,40%) e *Planes minutus* Linnaeus, 1758 (1 indivíduo) (0,40%) (Tabela 1, Figura 3).

Tabela 1. Abundância de crustáceos decápodes encontrados em associação com *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes

Infraordem	Superfamília	Família	Subfamília	Espécies	n
Anomura	Galattheoidea	Porcellanidae		<i>Pachycheles monilifer</i>	16
Brachyura	Majoidea	Mithracidae		<i>Mithraculus forceps</i>	125
				<i>Teleophrys pococki</i>	2
	Pilumnoidea	Pilumnidae	Pilumninae	<i>Pilumnus vinaceus</i>	28
				<i>Pilumnus reticulatus</i>	3
	Xanthoidea	Panopeidae		<i>Hexapanopeus paulensis</i>	65
				<i>Panopeus harttii</i>	1
		Pseudorhombilidae		<i>Scopoliuss nuttingi</i>	3
	Grapsoidea	Grapsidae		<i>Planes minutus</i>	1

Na Tabela 2, pode-se observar os valores obtidos dos índices ecológicos calculados para a comunidade de Brachyura e Anomura associados a *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes.

Tabela 2. Índices ecológicos da comunidade de decápodes associados a *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes.

Índice ecológico	Resultados
Diversidade de Shannon (H')	1,314
Dominância de Simpson (D)	0,648
Equitabilidade de Pielou (J')	0,598
Diversidade taxonômica (Δ)	47,986
Distância taxonômica (Δ^+)	69,710

Aspectos Populacionais e Crescimento Relativo de Mithraculus forceps

Um total de 125 indivíduos de *M. forceps* (53 machos, 30 fêmeas não ovígeras, 17 fêmeas ovígeras e 25 juvenis) foi registrado. A largura da carapaça (LC) dos machos variou entre 3.57 e 13.36 mm (média $\pm$ DP: 6,88 $\pm$ 1.96 mm), das fêmeas não ovígeras entre 5.05 e 11.83 mm (média $\pm$ DP: 7,26 $\pm$ 1,69 mm), das fêmeas ovígeras entre 6,54 mm e 10,79 mm (média $\pm$ DP: 8,62 $\pm$ 1,36 mm) e dos juvenis entre 3.3 e 8.67 mm (média $\pm$ DP: 5,51 $\pm$ 1,70 mm). Os machos apresentaram maior amplitude de LC, enquanto as fêmeas não ovígeras e ovígeras apresentaram maiores médias de LC. Foram obtidas 8 classes de tamanho, que variaram de 3.20 a 13.44 mm.

A maioria dos machos se concentrou em larguras de carapaça entre 5,76 a 7,04 mm, assim como as fêmeas não ovígeras. As fêmeas ovígeras, por sua vez, apresentaram maior abundância no intervalo de 8,32 a 9,60 mm, enquanto os juvenis foram mais representativos entre 4,48 a 5,76 mm de largura de carapaça (Figura 4). Foram consideradas 46 fêmeas (e não 47) uma vez que uma fêmea estava com a carapaça danificada e não foi possível realizar a medição. Observou-se que os machos se concentraram em menores classes de tamanho, enquanto as fêmeas, não ovígeras e ovígeras, foram predominantes em maiores classes de tamanho.

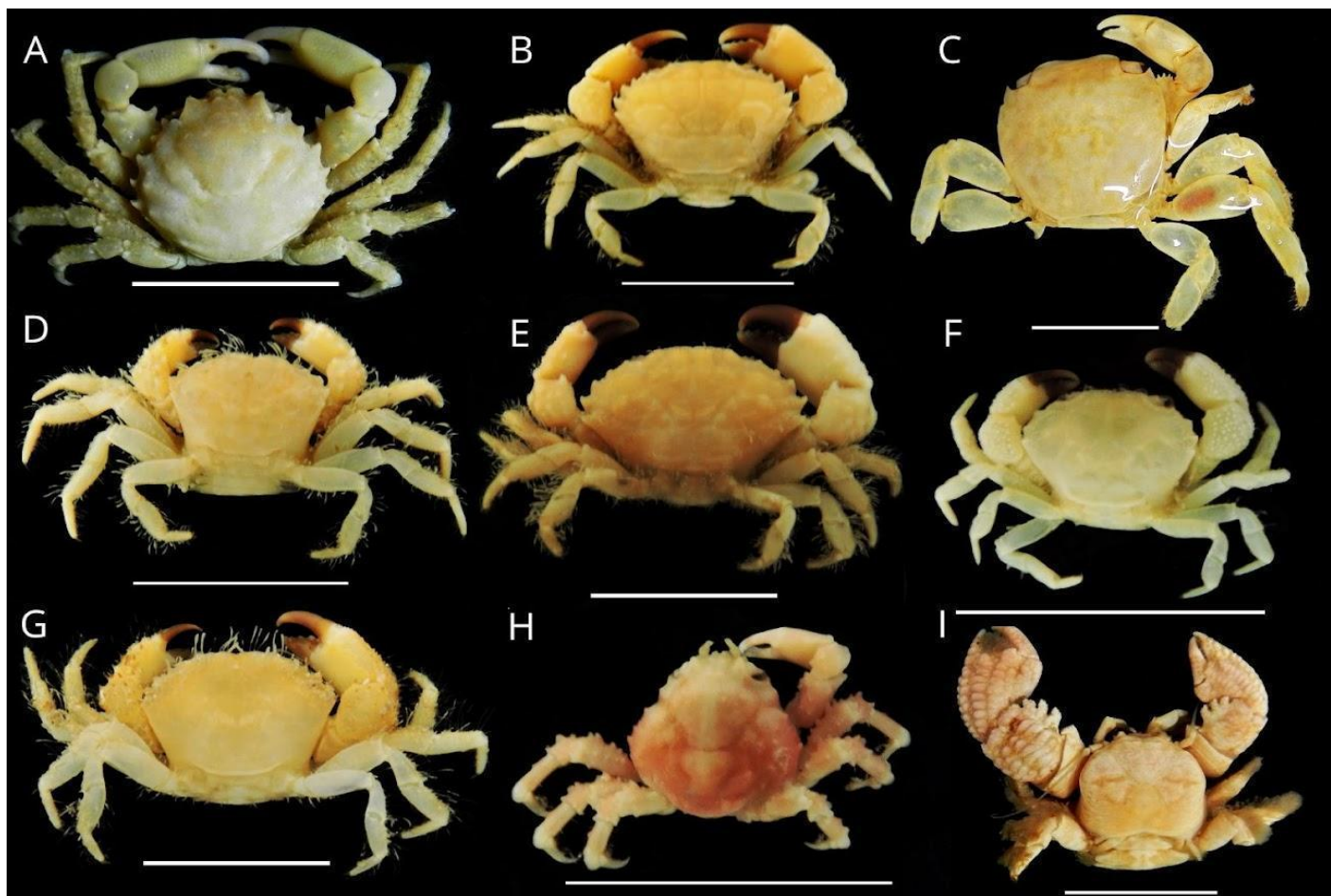


Figura 3. Crustáceos decápodes (Brachyura e Anomura) associados a *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes. A) *Mithraculus forceps*; B) *Panopeus harttii*; C) *Planes minutus*; D) *Pilumnus reticulatus*; E) *Hexapanopeus paulensis*; F) *Scopoliuss nuttingi*; G) *Pilumnus vinaceus*; H) *Teleophrys pococki*; I) *Pachycheles monilifer*. Escala = 1 cm.

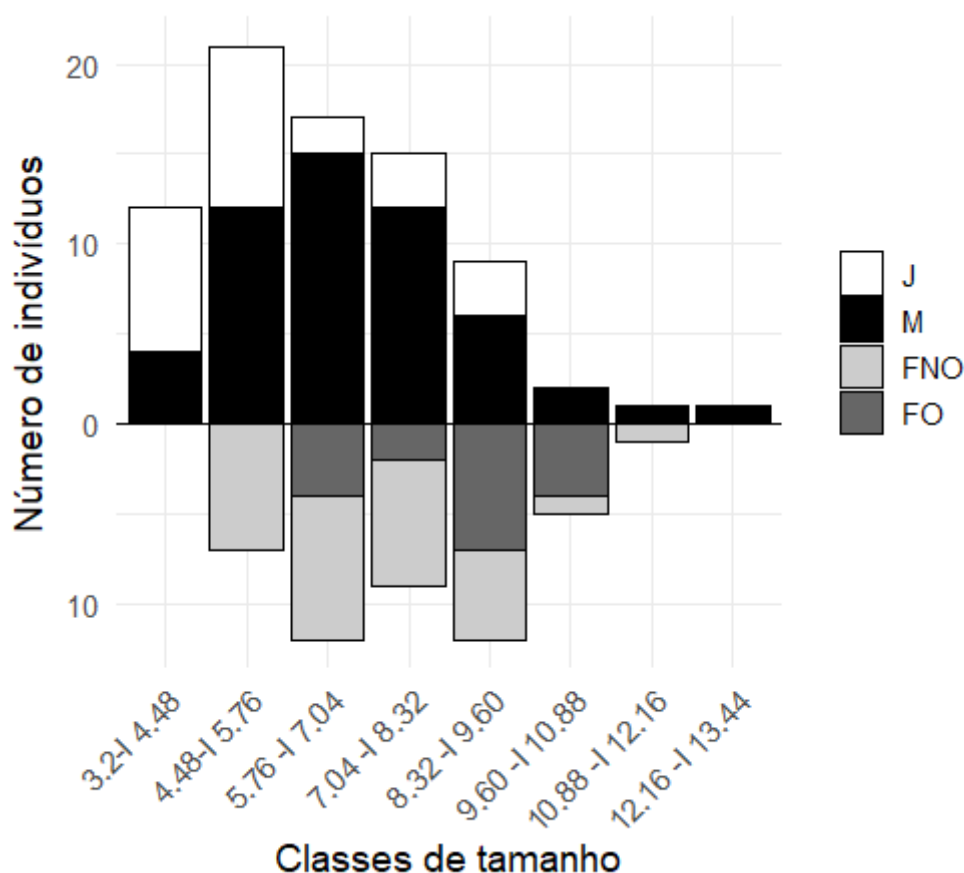


Figura 4. Frequência de ocorrência dos indivíduos para classes de tamanho de *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. J = Juvenis; M = Machos; FNO = Fêmeas não Ovíferas; FO = Fêmeas Ovíferas

O cálculo da razão sexual não apresentou significância em todas as classes de tamanhos (teste binomial, $p > 0.05$). Assim, em nenhuma classe de tamanho foi possível estabelecer uma razão sexual diferencial entre machos e fêmeas.

No que diz respeito ao crescimento relativo de *M. forceps*, a partir da análise dos coeficientes alométricos, constatou-se alometria positiva para machos e fêmeas e isometria para juvenis nas relações entre largura da carapaça e comprimento dos quelípodos direito e esquerdo (LC vs. CQD, LC vs. CQE), bem como na relação entre largura da carapaça e largura do quelípodo esquerdo (LC vs. LQE). Na relação entre largura da carapaça e largura do quelípodo direito (LC vs. LQD), foi observada alometria positiva em todos os grupos demográficos.

A alometria positiva também foi obtida na relação largura da carapaça e largura do abdome (LC vs. LA) em fêmeas. Em todas as relações citadas anteriormente, o coeficiente alométrico foi maior em indivíduos adultos, e, mais especificamente, nas relações entre carapaça e quelípodos, o maior coeficiente alométrico foi verificado em machos. Na relação entre largura da carapaça e comprimento do gonopódio esquerdo (LC vs. CGE) de machos também foi registrado alometria positiva (Tabela 3).

Em todas as relações calculadas para machos e fêmeas, obteve-se alometria positiva, indicando que os quelípodos e estruturas reprodutivas (abdome e gonopódio)

crecem em uma proporção maior que a carapaça de *Mithraculus forceps*. Os juvenis apresentaram isometria ($p > 0.05$) na maioria das relações analisadas, indicando que não é possível estabelecer relações de crescimento diferencial entre as estruturas analisadas, exceto na relação entre largura de carapaça e largura do quelípodo direito. As relações alométricas avaliadas estão representadas nas Figuras 5 a 10.

Tabela 3. Análises de regressão linear para crescimento relativo de *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. M = Machos; F = Fêmeas; J = Juvenis; LC = Largura da Carapaça; CQD = Comprimento do quelípodo direito; LQD = Largura do Quelípodo Direito; CQE = Comprimento do Quelípodo Esquerdo; LQE = Largura do Quelípodo Esquerdo; LA = Largura do Abdome; CGE = Comprimento do Gonopódio Esquerdo.

Relação	Grupos	N	a	b	r ²	p-value	Alometria
LC X CQD	M	53	-0,45	1,28	0,9595	7,04e-10	+
	F	46	-0,40	1,20	0,9678	6,48e-08	+
	J	25	-0,22	0,98	0,9770	0,69	=
LC X LQD	M	53	-1,08	1,47	0,9156	1,20e-11	+
	F	46	-1,01	1,35	0,8892	1,80e-05	+
	J	25	-0,87	1,19	0,9501	0,002	+
LC X CQE	M	53	-0,45	1,29	0,9125	4,81e-07	+
	F	46	-0,42	1,22	0,9438	2,08e-06	+
	J	25	-0,24	0,99	0,9541	0,99	=
LC X LQE	M	53	-1,09	1,47	0,9026	3,75e-09	+
	F	46	-1,07	1,41	0,8341	3,67e-06	+
	J	25	-0,83	1,10	0,9211	0,13	=
LC X LA	F	46	-2,28	3,20	0,5317	<2,22e-16	+
LC X CGE	M	53	-0,66	1,26	0,9271	1,79e-06	+

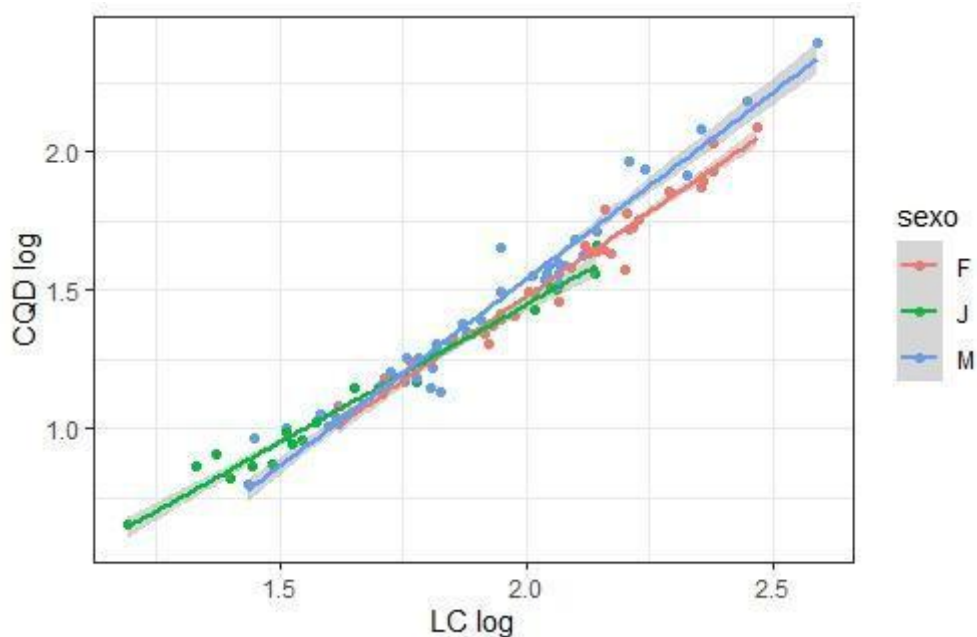


Figura 5. Gráfico de dispersão da relação morfométrica LC vs. CQD para *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. Linha azul = Machos; Linha vermelha = Fêmeas; Linha verde = Juvenis; LC = Largura da carapaça; CQD = Comprimento do quelípodo direito.

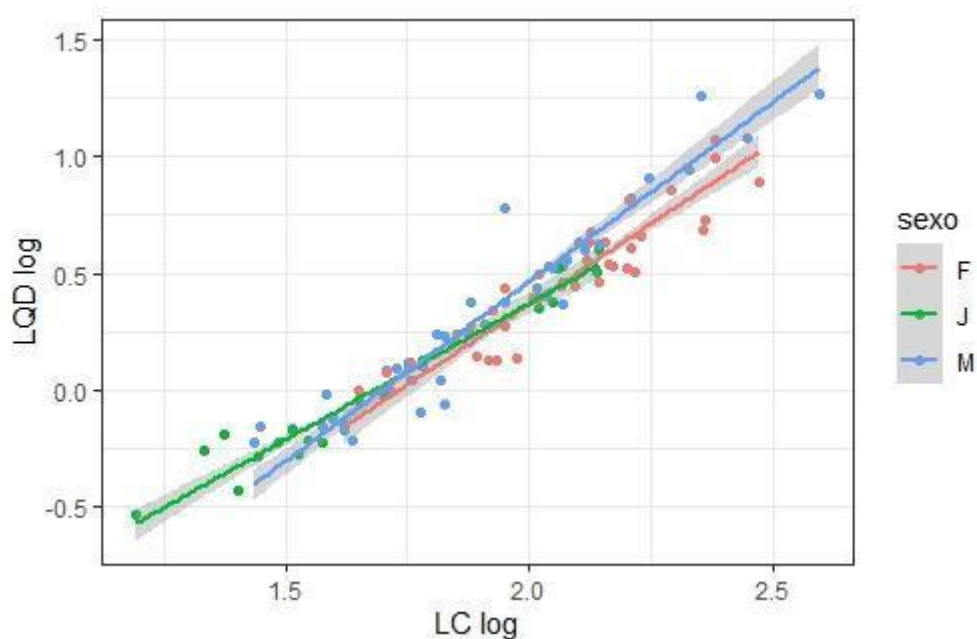


Figura 6. Gráfico de dispersão da relação morfométrica LC vs. LQD para *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. Linha azul = Machos; Linha vermelha = Fêmeas; Linha verde = Juvenis; LC = Largura da carapaça; LQD = Largura do quelípodo direito.

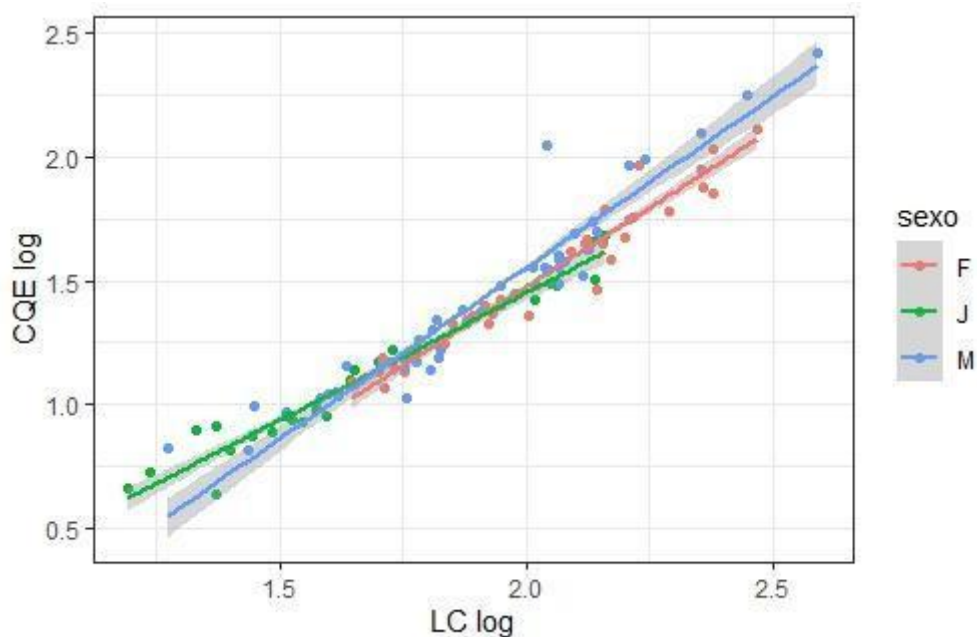


Figura 7. Gráfico de dispersão da relação morfométrica LC vs. CQE para *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. Linha azul = Machos; Linha vermelha = Fêmeas; Linha verde = Juvenis; LC = Largura da carapaça; CQE = Comprimento do quelípodo esquerdo.

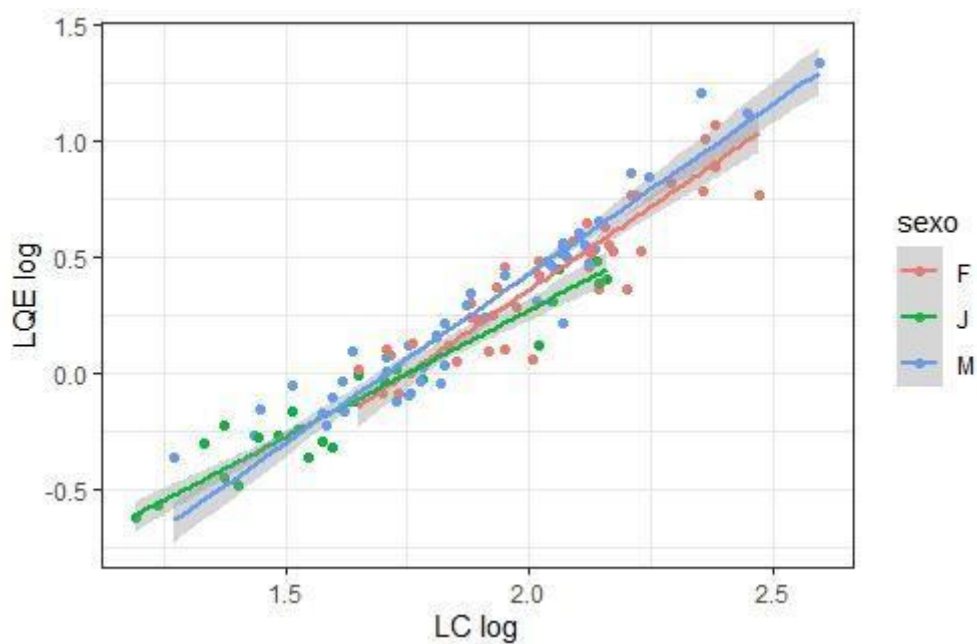


Figura 8. Gráfico de dispersão da relação morfométrica LC vs. LQE para *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. Linha azul = Machos; Linha vermelha = Fêmeas; Linha verde = Juvenis; LC = Largura da carapaça; LQE = Largura do quelípodo esquerdo.

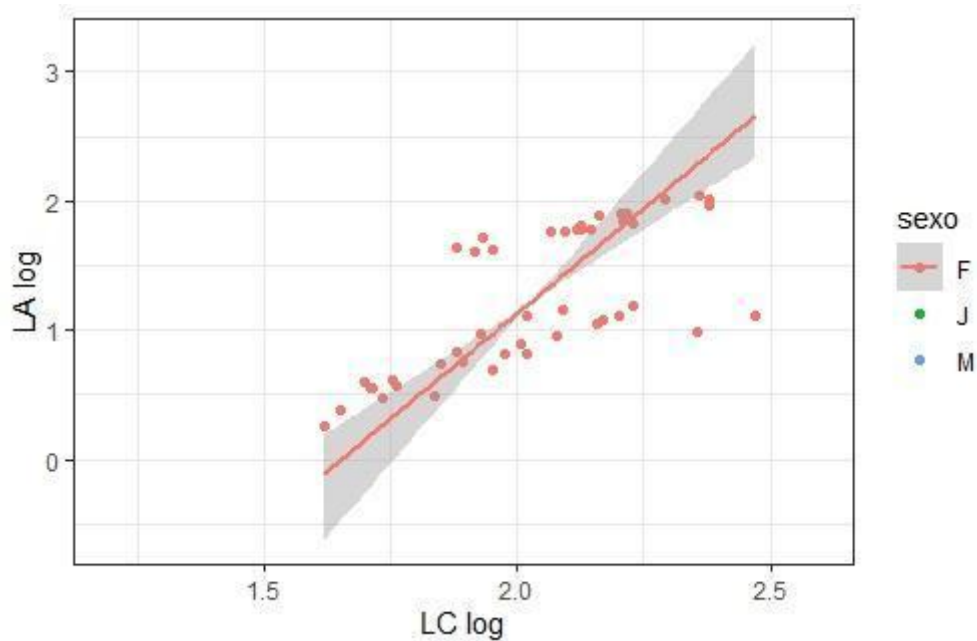


Figura 9. Gráfico de dispersão da relação morfométrica LC vs. LA para *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. Linha vermelha = Fêmeas; LC = Largura da carapaça; LA = Largura do abdome.

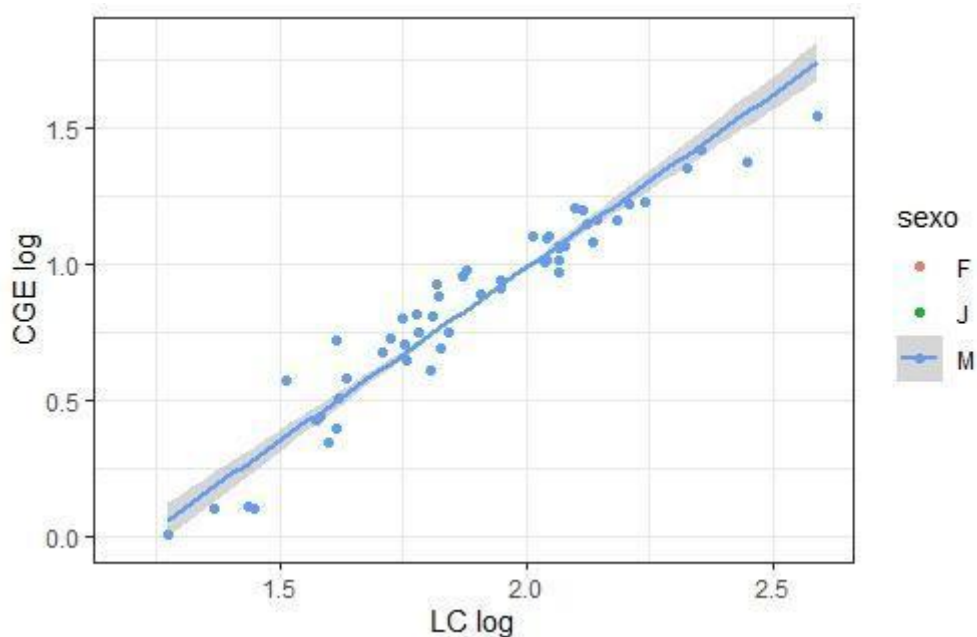


Figura 10. Gráfico de dispersão da relação morfométrica LC vs. CGE para *Mithraculus forceps* no Arquipélago de Alcatrazes. Linha azul = Machos; LC = Largura da carapaça; CGE = Comprimento do gonopódio esquerdo.

DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos, observou-se uma comunidade diversa de crustáceos pertencentes à Brachyura associada ao coral *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes, e apenas uma espécie da infraordem Anomura. Além disso, foi possível analisar parâmetros populacionais e o crescimento relativo do abundante braquiúro *Mithraculus forceps*.

Verificou-se a presença de algumas espécies tipicamente encontradas em associação com substratos biogênicos, como *Mithraculus forceps*, *Hexapanopeus paulensis*, *Pilumnus vinaceus*, *Pilumnus reticulatus* e *Pachycheles monilifer* (MELO, 1996; COBO, 2005; SILVA et al., 2017; MANTELATTO et al., 2020; DA SILVA et al., 2023). A presença da fauna associada ao substrato biogênico de organismos bentônicos, como em complexos microhabitats formados por corais, está relacionada muitas vezes com a proteção contra predadores fornecidas aos simbiossitos pelo hospedeiro (GERLACH, 1978; WILSON; GRAHAM; POLUNIN, 2007).

DA SILVA et al. (2023) conduziram experimentos nos quais foram instaladas colônias de *Tubastraea* spp. vivas e mortas, com uma maior ou menor área de cobertura, ambas livres de qualquer fauna ou flora associada, na Ilha dos Macacos, RJ e observaram a colonização das colônias por *Mithraculus forceps*, *Pilumnus vinaceus*, *Pilumnus reticulatus* Stimpson, 1860, *Teleophrys pococki* Rathbun, 1924, e *Pachycheles monilifer*, espécies também registradas no presente estudo, com destaque para a abundância de *M. forceps*, uma espécie abundante em recifes de corais, conforme COBO (2005).

Teleophrys pococki possui distribuição geográfica no Atlântico ocidental, dos EUA (Louisiana), Bahamas, Curaçao, Honduras, Colômbia, Venezuela ao Brasil (Fernando de Noronha, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Bahia e São Paulo) (MELO, 1996), sendo o primeiro registro na costa de São Paulo obtido por MANTELATTO et al. (2020) em Ubatuba, tanto em regiões intertidais, Praia do Itaguá, como insulares, Ilha Vitória. VERA-CARIPE et al. (2017) encontraram uma associação entre *T. pococki* e o ouriço do mar *Tripneustes ventricosus* em regiões de coral morto na Venezuela. DA SILVA et al. (2023) registraram tal espécie associada exclusivamente a, também, colônias mortas de *Tubastraea* spp. Esses registros contrastam com a presença de *T. pococki* em colônias vivas de coral sol em Alcatrazes, tal qual pode conferir contribuições a respeito da distribuição ecológica da espécie, em novas regiões insulares, e hábitos de vida deste organismo pouco conhecido em seu aspecto populacional e ecológico.

Ademais, destaca-se aqui o registro da espécie *Planes minutus*. Este caranguejo grapsídeo pode ser tipicamente encontrado em associação com substratos flutuantes vivos ou objetos inanimados, como animais marinhos pelágicos (por exemplo, típicos epibiontes de tartarugas marinhas *Caretta caretta* e *Lepidochelys olivacea*, águas-vivas e hidrozoários), bem como algas *Sargassum* spp., galhos, destroços e artefatos plásticos (DAVENPORT, 1992; FRICK et al., 2004, FRICK et al., 2011). De acordo com DAVENPORT (1992). A espécie *P. minutus* possui uma capacidade natatória limitada e depende do material flutuante para sobrevivência. Dessa forma, a presença desta espécie

em um substrato coralino se faz como um registro interessante, uma vez que a permanência no coral se caracteriza como um hábito bentônico, diferentemente da associação a substratos pelágicos comumente relatada. Vale destacar que o registro de *P. minutus* pode estar vinculado a um evento pontual e aleatório, como o desprendimento do animal ao substrato flutuante que estava associado com uma eventual queda até a colônia de *Tubastraea* spp., visto que apenas 1 indivíduo foi amostrado.

A estrutura do habitat é um parâmetro ambiental extremamente importante em estudos ecológicos, uma vez que pode influenciar a distribuição, abundância, riqueza e relações tróficas das espécies em ecossistemas distintos (BECK, 2000; VYTOPIL et al., 2001; LANGELLOTTO et al., 2004; TEWS, 2004; PIKO et al., 2007; GRABOWSKI et al. 2008). Diferentes autores demonstraram que quanto maior a complexidade e heterogeneidade de um habitat, ocorre um aumento da abundância e riqueza de espécies, e, conseqüentemente, da diversidade biológica daquele ambiente (BECK, 2000; VYTOPIL et al., 2001; LANGELLOTTO et al., 2004; TEWS, 2004; PIKO et al., 2007; GRABOWSKI et al. 2008). Esta relação pode estar vinculada a maior disponibilidade de recursos e nichos ecológicos em ambientes mais complexos e heterogêneos, bem como uma maior eficiência no fornecimento de proteção física e química contra predadores (BECK, 2000; VYTOPIL et al., 2001; LANGELLOTTO et al., 2004; TEWS, 2004; PIKO et al., 2007; GRABOWSKI et al. 2008). Segundo EDWARDS et al. (1980), uma menor abertura dos ramos do coral *Stylophora pistillata* Esper, 1972, promove uma maior riqueza e abundância de espécies, devido à maior heterogeneidade e complexidade dos micro-habitats formados. VYTOPIL et al. (2001) apontaram que caranguejos simbiossiontes selecionaram o ramo de corais *Acropora* spp. conforme o espaço entre os ramos.

Além disso, NOGUEIRA et al. (2015) demonstraram que diferentes padrões estruturais, como número médio e diâmetro dos coralitos, dos “corais cérebro” *Mussismilia harttii* Verrill, 1868 *Mussismilia braziliensis* Verrill, 1868 e *Mussismilia hispida* Verrill, 1901 podem influenciar na riqueza e densidade da fauna associada. O habitat formado por *M. harttii* apresentou maior complexidade e heterogeneidade, assim como uma fauna mais rica e densa. Neste estudo, os autores caracterizaram o volume interno entre os pólipos de *M. harttii* como o principal aspecto morfológico relacionado a maior riqueza de espécies, devido à obtenção de refúgio da fauna associada contra predadores, assim como o maior número de septos do coralito contribuiu positivamente para a riqueza da comunidade. Dessa forma, evidencia-se que os padrões morfológicos dos pólipos de corais são fatores fundamentais que impactam na diversidade da comunidade associada a tais habitats.

No que diz respeito a *Tubastraea* spp., destaca-se uma morfologia de pólipos muito singular, os quais possuem grandes coralitos cilíndricos, tecas elevadas, extremamente individualizados, próximos entre si e com ramificação dendróide (DE PAULA et al., 2004). Diversos autores apontam que as colônias de coral sol não fornecem espaços intersticiais compatíveis com o tamanho de pequenos crustáceos (AIROLDI, 2003; BERGHE et al., 1981; DANIELOPOL et al., 1996). Os padrões morfológicos observados no coral sol podem deflagrar uma tendência a um menor

volume interno entre os pólipos, consequentemente uma menor complexidade e heterogeneidade de micro-habitat formados que afetam negativamente a abundância e diversidade de espécies associadas às colônias do coral invasor.

Estas implicações podem ser percebidas na população de *Mithraculus forceps* associada a *Tubastraea* spp. no Arquipélago de Alcatrazes. COBO (2005) encontrou indivíduos de *M. forceps* em substrato consolidado no infralitoral da Ilha das Couves, Ubatuba, atingindo tamanhos máximos até cerca de 22 mm; já REZENDE-GÓIS et al. (2023) amostraram uma população de *M. forceps* associado ao coral nativo *Madracis decactis*, no Arquipélago de Alcatrazes, mesmo local amostrado no presente estudo, com o maior valor de largura de carapaça (LC) de 20,6 mm. Tais observações contrastam com os dados obtidos no presente estudo, sendo 13,36 mm a maior largura de carapaça registrada, destacando-se uma predominância dos espécimes nas menores classes de tamanhos. Quando associado a *Tubastraea* spp., *M. forceps* apresenta claras distinções morfométricas, aparentando atingir menores tamanhos corporais, o que pode estar relacionado com a menor disponibilidade de espaços intersticiais entre os pólipos do coral invasor, contribuindo para segregar espacialmente indivíduos menores. Além de não proporcionarem espaços intersticiais compatíveis com o tamanho de pequenos crustáceos (AIROLDI, 2003; BERGHE et al., 1981; DANIELOPOL et al., 1996), as colônias de coral sol também parecem apresentar um menor número de nichos alimentares aos seus organismos simbiossiontes, uma vez que *Tubastraea* spp. não retém detritos, sedimentos e algas. SILVA et al. (2019) sugeriram que uma recolonização por algas em ambientes tomados por recifes de coral sol é improvável.

Ademais, *Tubastraea coccinea* e *Tubastraea tagusensis* produzem metabólitos secundários bioativos (como hidrocarbonetos, ésteres graxos e esteróis) que, auxiliando em seu sucesso em colonizar novos ambientes, podem suprimir a fauna nativa, como o coral *Mussismilia hispida* (CREED, 2006; LAGES et al., 2010) e, potencialmente, atuar como filtro de seleção a espécies adaptadas a um ambiente que apresenta tais compostos químicos. MIRANDA et al. (2016) observaram que a densidade de corais nativos *M. hispida* e *M. decactis*, assim como o recrutamento de nativos, diminuiu no recife de Cascos, Baía de Todos os Santos, devido a presença de *T. tagusensis*. No presente estudo observou-se que os juvenis de *M. forceps* amostrados estavam em fases mais avançadas de desenvolvimento, atingindo tamanhos corporais próximos de adultos, porém com estruturas reprodutivas ainda em desenvolvimento. O micro-habitat promovido pelo coral sol parece não ser o ideal para o desenvolvimento de juvenis, sobretudo em fases ontogenéticas iniciais, o que possivelmente pode ser causado pela produção de compostos bioativos por *Tubastraea* spp., os quais podem comprometer o desenvolvimento de indivíduos jovens. Destaca-se então, que possivelmente a população de *M. forceps*, utiliza o substrato biogênico como um refúgio temporal, sem recrutamento ou estabelecimento completo de sua população entre o coral.

A análise de crescimento relativo de *M. forceps* demonstrou taxas de crescimento diferenciais entre os grupos demográficos em algumas das estruturas mensuradas, o que ilustra diferentes usos e funções de tais estruturas por juvenis e adultos, bem como machos e fêmeas, ao longo do ciclo de vida destes indivíduos. A

alometria positiva nas relações entre carapaça e quelípodos ocorre pelos quelípodos desempenharem funções importantes, como alimentação, e, após a maturidade sexual morfológica, são utilizados para competição, via comportamento agonístico, por recursos como abrigo e parceiros reprodutivos. Foram registrados maiores valores de “slope” (b) em machos, o que pode indicar um crescimento dos quelípodos em relação a carapaça proporcionalmente maior em machos do que em fêmeas, o que potencialmente está vinculado a machos apresentarem quelípodos mais robustos por participarem de conflitos agonísticos nos quais competem por fêmeas como parceiras reprodutivas (HARTNOLL, 1974; LEE, 1995; MARIAPPAN et al., 2000; BRIFFA, 2013; REZENDE-GÓIS et al., 2023).

A isometria observada em juvenis pode estar relacionada ao menor aporte energético direcionado ao desenvolvimento dos quelípodos, momento em que esta estrutura é hipoteticamente menos exigida para sobrevivência do organismo. Nas relações entre carapaça e abdome, assim como entre carapaça e gonopódio, a alometria positiva pode ser elucidada devido ao investimento energético de machos e fêmeas para alcançarem a maturidade sexual morfológica. Destaca-se o elevado “slope” (b) em fêmeas (3,20), na relação entre carapaça e abdome, o que corrobora o fato desta estrutura ser fundamental para abrigar os embriões no período reprodutivo (MARIAPPAN et al., 2000; BRIFFA, 2013; ONDES et al., 2017; REZENDE-GÓIS et al., 2023).

Em um estudo conduzido por REZENDE-GÓIS et al. (2023), no qual foi analisado o crescimento relativo de *M. forceps*, foi obtido uma alometria negativa na relação entre carapaça e gonopódio de machos adultos ($b=0.9187$). O resultado foi atribuído a uma possível prevenção do crescimento excessivo do gonopódio a fim de evitar disfunções no sistema de “chave e fechadura” durante a cópula, o qual deve estar em conformidade com a morfologia do gonóporo feminino (SHINOZAKI MENDES et al., 2018). Esses dados são contrastantes com o que foi observado no presente estudo, uma vez que se obteve alometria positiva na relação entre carapaça e gonopódio ($b=1,26$), ou seja, o gonopódio dos machos de *M. forceps*, em associação com *Tubastraea* spp., crescem em uma proporção maior que a carapaça desses indivíduos. Assim, tais observações podem estar vinculadas ao momento do desenvolvimento reprodutivo morfológico desses animais. Os indivíduos observados por REZENDE-GÓIS et al. (2023) possivelmente poderiam estar em momentos de seu ciclo de vida no qual suas estruturas reprodutivas estão completamente desenvolvidas, ao passo que, os espécimes analisados neste estudo possuíam gonopódios ainda em desenvolvimento, e, a fim de alcançar a maturidade sexual morfológica, foi observada alometria positiva dessa estrutura. Ademais, um número diferenciado das classes de tamanho obtidas entre os dois resultados, pode afetar diretamente as observações de crescimento relativo das estruturas, mas que confirma um padrão diferenciado desta parcela da população que se capacita em ocupar os pólipos do coral sol. Conforme discutido anteriormente, a seleção de habitat promovida pela morfologia dos pólipos do coral sol pode atuar como um filtro de seleção a indivíduos menores, que, em relação aos machos adultos, são indivíduos que talvez ainda não alcançaram o momento final

do seu desenvolvimento reprodutivo morfológico. É importante ressaltar que são necessários estudos futuros que analisem mais profundamente aspectos reprodutivos dos crustáceos simbioses em habitats com a presença de *Tubastraea* spp.

Além das distinções morfométricas de *Mithraculus forceps* já apresentadas, destaca-se também que os machos apresentaram um menor tamanho médio de largura de carapaça (6,88) que fêmeas não ovígeras (7,26) e ovígeras (8,62), sendo os machos predominantes nas primeiras classes de tamanho. Segundo HARTNOLL (1985), as fêmeas de caranguejos braquiúros, quando adultas, alocam recursos para a reprodução em detrimento do crescimento corporal; dessa forma, o esperado para a infraordem Brachyura é encontrar populações com machos maiores que fêmeas, o que é corroborado por COBO (2005). Entretanto, nossos resultados refutam o que já foi documentado. WENNER (1972) propõe que, em populações de crustáceos nas quais as fêmeas são mais abundantes que os machos em maiores classes de tamanhos, podem estar ocorrendo processos ecológicos como: mortalidade seletiva de machos maiores; taxas de crescimento diferenciais de machos e fêmeas em classes de tamanho específicas; e migração diferencial entre machos e fêmeas da área de amostragem.

A partir de todas as proposições dispostas anteriormente, pode existir uma tendência a fauna de *M. forceps*, em associação com *Tubastraea* spp., se caracterizar como uma fauna transitória neste habitat, ou seja, migrar entre diferentes substratos presentes em Alcatrazes, como diferentes corais. Esta consideração é corroborada pelo fato de os pólipos de coral sol não proporcionarem espaços intersticiais adequados para o desenvolvimento destes crustáceos, além das claras distinções morfométricas apresentadas, uma menor oferta alimentar nestes micro-habitats, e devido a presença de metabólitos secundários bioativos que podem comprometer o desenvolvimento dos indivíduos associados. CASTRO (1978) propôs que o comportamento de migração entre colônias do coral *Pocillopora damicornis* pelo braquiúro *Trapezia bidentata* pode ocorrer pelo tamanho inadequado do território estabelecido na colônia.

Durante o período de incubação de embriões, fêmeas ovígeras de Brachyura tendem a permanecer entocadas para completar essa etapa de seu ciclo reprodutivo (CASTIGNOLI et al., 2006); logo, considerando uma fauna que se movimenta entre o substrato de corais, os machos podem permanecer mais ativos e apresentarem esse comportamento migratório em todo seu ciclo de vida, já as fêmeas podem permanecer no substrato em que habitam enquanto estão ovígeras. Partindo deste pressuposto, seria possível que, no momento que *M. forceps* analisados neste estudo foram coletados, estavam presentes menores indivíduos machos e maiores fêmeas, uma vez que os machos podem estar apresentando esta movimentação mais frequente entre diferentes substratos (DILLERY et al., 1970; WENNER, 1972). Estas considerações são confirmadas quando observa-se a não significância da razão sexual para nenhuma classe de tamanho, uma vez que os animais estão possivelmente se movimentando entre substratos presentes no Arquipélago e não é possível estabelecer uma razão sexual que favoreça nenhum dos dois sexos.

Estudos conduzidos por MIRANDA et al. (2018) apontaram redução da atividade de forrageamento de peixes em áreas com colônias de coral sol no nordeste

brasileiro; enquanto SILVA et al. (2019) demonstraram que grupos de crustáceos comprometidos negativamente em termos de abundância, pela presença de *Tubastraea* spp., são importantes presas de larvas e peixes costeiros da Ilha de Búzios. As implicações negativas promovidas pelo coral invasor ultrapassam barreiras de populações e comunidades associadas e vislumbram sérios danos a diferentes teias tróficas e processos ecossistêmicos.

CONCLUSÃO

Mesmo com o elevado *status* de conservação ambiental no Arquipélago de Alcatrazes, a presença de *Tubastraea* spp. configura-se uma séria ameaça à biodiversidade nativa, especialmente à carcinofauna associada a essa espécie invasora. Portanto, estudos a respeito da interação simbiótica entre o coral sol e seus simbiontes são primordiais para analisar impactos negativos que *Tubastraea* spp. pode trazer às comunidades nativas, bem como levantamentos faunísticos e campanhas de manejo do coral sol devem ser realizados periodicamente para monitorar o status de conservação de espécies nativas da costa brasileira.

REFERÊNCIAS

AIROLDI, Laura. The effects of sedimentation on rocky coast assemblages. In: **Oceanography and Marine Biology**. CRC Press, 2003. p. 169-171.

ALVES, Eliana dos S.; RODRIGUES, Sérgio de A.; PEZZUTO, Paulo R. Estudo do crescimento relativo de *Austinixa patagoniensis* (Rathbun)(Decapoda, Pinnotheridae) simbiote de *Callichirus major* (Say)(Decapoda, Callianassidae) no mesolitoral da praia de Balneário Camboriú, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, p. 784-792, 2005.

BECK, Michael W. Separating the elements of habitat structure: independent effects of habitat complexity and structural components on rocky intertidal gastropods. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 249, n. 1, p. 29-49, 2000.

BERGHE, W. Vanden; BERGMANS, M. Differential food preferences in three co-occurring species of Tisbe (Copepoda, Harpacticoida). **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 4, p. 213-219, 1981.

BRIFFA, Mark. Chapter Contests in crustaceans: assessments, decisions and their underlying mechanisms. **Animal contests**, p. 86, 2013.

CASTIGLIONI, Daniela da S.; NEGREIROS-FRANSOZO, Maria L. Ciclo reprodutivo do caranguejo violinista *Uca rapax* (Smith)(Crustacea, Brachyura, Ocypodidae) habitante de um estuário degradado em Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, p. 331-339, 2006.

CASTRO, P. Movements between coral colonies in *Trapezia ferruginea* (Crustacea: Brachyura), an obligate symbiont of scleractinian corals. **Marine Biology**, v. 46, p. 237-245, 1978.

CLARKE, K. Robert; WARWICK, Richard M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. **Journal of applied ecology**, v. 35, n. 4, p. 523-531, 1998.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. **Marine ecology Progress series**, v. 216, p. 265-278, 2001.

COBO, Valter J. Population biology of the spider crab, *Mithraculus forceps* (A. Milne-Edwards, 1875)(Majidae, Mithracinae) on the southeastern Brazilian coast. **Crustaceana**, p. 1079-1087, 2005.

CREED, Joel C. Two invasive alien azooxanthellate corals, *Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis*, dominate the native zooxanthellate *Mussismilia hispida* in Brazil. **Coral Reefs**, v. 25, n. 3, p. 350-350, 2006.

CREED, Joel C. et al. The invasion of the azooxanthellate coral *Tubastraea* (Scleractinia: Dendrophylliidae) throughout the world: history, pathways and vectors. **Biological Invasions**, v. 19, p. 283-305, 2017.

DANIELOPOL, D. L.; BALTANÁS, Angel; BONADUCE, Gioachino. **The darkness syndrome in subsurface-shallow and deep-sea dwelling Ostracoda (Crustacea)**. na, 1996.

ROCHA, Rosana M. da; BONNET, Nadia YK. Introduced ascidians (Tunicata, Ascidiacea) in the Arquipélago de Alcatrazes, State of São Paulo, Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 99, p. 27-35, 2009.

DA SILVA, A. R.; CREED, J. C.; TAVARES, M. Species diversity and abundance of mobile crustaceans associated with living and dead colonies of the invasive sun coral *Tubastraea*. **Aquatic Ecology**, v. 57, n. 2, p. 529-541, 2023.

DAVENPORT, John. Observations on the ecology, behaviour, swimming mechanism and energetics of the neustonic grapsid crab, *Planes minutus*. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 72, n. 3, p. 611-620, 1992.

DE MENDIBURU, Felipe (2009). Una herramienta de analisis estadistico para la investigacion agricola. Tesis. Universidad Nacional de Ingenieria (UNI-PERU).

DE PAULA, Alline Figueira; CREED, Joel Christopher. Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: a case of accidental introduction. **Bulletin of Marine Science**, v. 74, n. 1, p. 175-183, 2004.

DILLERY, Dean G.; KNAPP, Lester V. Longshore movements of the sand crab, *Emerita analoga* (Decapoda, Hippidae). **Crustaceana**, p. 233-240, 1970.

EDWARDS, Alasdair; EMBERTON, Hilary. Crustacea associated with the scleractinian coral, *Stylophora pistillata* (Esper), in the Sudanese Red Sea. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 42, n. 3, p. 225-240, 1980.

FOX et. al, 2019 Fox, J. and Weisberg, S. (2019) An R Companion to Applied Regression, Third Edition, Sage

FRICK, Michael G. et al. Diet and fecundity of Columbus crabs, *Planes minutus*, associated with oceanic-stage loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, and inanimate flotsam. **Journal of Crustacean Biology**, v. 24, n. 2, p. 350-355, 2004.

FRICK, Michael G. et al. Sympatry in grapsoid crabs (genera *Planes* and *Plagusia*) from olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*), with descriptions of crab diets and masticatory structures. **Marine Biology**, v. 158, p. 1699-1708, 2011.

GERLACH, Sebastian A. Food-chain relationships in subtidal silty sand marine sediments and the role of meiofauna in stimulating bacterial productivity. **Oecologia**, v. 33, p. 55-69, 1978.

GRABOWSKI, Jonathan H.; HUGHES, A. Randall; KIMBRO, David L. Habitat complexity influences cascading effects of multiple predators. **Ecology**, v. 89, n. 12, p. 3413-3422, 2008.

HAEFNER JR, Paul A. Morphometry and size at maturity of *Callinectes ornatus* (Brachyura, Portunidae) in Bermuda. **Bulletin of Marine Science**, v. 46, n. 2, p. 274-286, 1990.

HARTNOLL, R.G. 1982. Growth, p. 111-196. In: G. ABELE (Ed.) **The Biology of Crustacea - embryology, morphology and genetics**. London, London Academic Press, 440p.

HARTNOLL, R. G. Variation in growth pattern between some secondary sexual characters in crabs (Decapoda Brachyura). **Crustaceana**, p. 131-136, 1974.

HARTNOLL, R. G., 1985. Growth, sexual maturity and reproductive output. In: A. M. WENNER, Factors in adult growth. Crustacean Issues, 3: 101-128. (A.A. Balkema Publishers, Rotterdam).

HENDRICKX, Michel E. **Los Cangrejos Braquiuros (Crustacea: Brachyura: Majoidea y Parthenopoidea) del Pacífico Mexicano**. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 1998.

HOFF, Natasha Travenisk et al. Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo no arquipélago dos Alcatrazes (São Paulo, Brasil). **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 22, n. 1, p. 43-80, 2022.

HUXLEY, Julian Sorell. Relative growth and form transformation. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences**, v. 137, n. 889, p. 465-469, 1950.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade [ICMBio]. (2017). Plano de manejo da Estação Ecológica Tupinambás e Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes. 160 p. ICMBio, Brasília.

LAGES, Bruno G. et al. Chemical composition and release in situ due to injury of the invasive coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 47-56, 2010.

LAGES, B. G. et al. Change in tropical rocky shore communities due to an alien coral invasion. **Marine Ecology Progress Series**, v. 438, p. 85-96, 2011.

LANGELLOTT, Gail A.; DENNO, Robert F. Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: a meta-analytical synthesis. **Oecologia**, v. 139, p. 1-10, 2004.

LEE, S. Y. Cheliped size and structure: the evolution of a multi-functional decapod organ. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 193, n. 1-2, p. 161-176, 1995.

MANTELATTO, Fernando LM; FARIA, Fabiola CR; GARCIA, Renata B. Biological aspects of *Mithraculus forceps* (Brachyura: Mithracidae) from Anchieta Island, Ubatuba, Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 83, n. 4, p. 789-791, 2003.

MANTELATTO, Fernando L.; TAMBURUS, Ana Francisca; MAGALHÃES, Tatiana; BURANELLI, Raquel C.; TEROSSI, Mariana; NEGRI, Mariana; CASTILHO, Antonio L.; COSTA, Rogério C.; ZARA, Fernando J. Checklist of decapod crustaceans from the

coast of the São Paulo state (Brazil) supported by integrative molecular and morphological data: III. Infraorder Brachyura Latreille, 1802. *Zootaxa*, v. 4872, n. 1, p. 1–108, 6 nov. 2020.

MARIAPPAN, Pitchaimuthu; BALASUNDARAM, Chellam; SCHMITZ, Barbara. Decapod crustacean chelipeds: an overview. *Journal of biosciences*, v. 25, p. 301-313, 2000.

MARTIN, Joel W. et al. **An updated classification of the recent Crustacea**. Los Angeles: Natural History Museum of Los Angeles County, 2001.

MARTINS, Isabela; CAPEL, Kátia Cristina Cruz; ABESSA, Denis Moledo de Souza. Adults of Sun Coral *Tubastraea coccinea* (Lesson 1829) Are Resistant to New Antifouling Biocides. *Toxics*, v. 12, n. 1, p. 44, 2024.

MELO, G.A.S. Manual de identificação dos Brachyura (Caranguejos e Siris) do litoral brasileiro. São Paulo, **Pleide/FAPESP**, p. 604, 1996.

MELO, G.A.S. **Manual de identificação dos crustácea decapoda do litoral brasileiro: Anomura, Thalassinidea, Palinuridea, Astacidea**. Editora Plêiade; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1999.

MIRANDA, Ricardo J.; CRUZ, Igor CS; BARROS, Francisco. Effects of the alien coral *Tubastraea tagusensis* on native coral assemblages in a southwestern Atlantic coral reef. *Marine biology*, v. 163, p. 1-12, 2016.

MIRANDA, Ricardo J. et al. Do invasive corals alter coral reef processes? An empirical approach evaluating reef fish trophic interactions. *Marine environmental research*, v. 138, p. 19-27, 2018.

NG, Peter KL; GUINOT, Danièle; DAVIE, Peter JF. Systema Brachyurorum: Part I. An annotated checklist of extant brachyuran crabs of the world. *The raffles bulletin of zoology*, v. 17, n. 1, p. 1-286, 2008.

NOGUEIRA, Marcos M.; NEVES, Elizabeth; JOHNSON, Rodrigo. Effects of habitat structure on the epifaunal community in *Mussismilia* corals: does coral morphology influence the richness and abundance of associated crustacean fauna?. *Helgoland Marine Research*, v. 69, p. 221-229, 2015.

OKSANEN, J.; BLANCHET, FG.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, RB.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; WAGNER, H. Package 'vegan' .2010. Disponível em: <http://vegan.r-forge.r-project.org/>

ÖNDES, Fikret; KAISER, Michel J.; MURRAY, Lee G. Relative growth and size at onset of sexual maturity of the brown crab, *Cancer pagurus* in the Isle of Man, Irish Sea. **Marine Biology Research**, v. 13, n. 2, p. 237-245, 2017.

PIELOU, E.C. Ecological Diversity. New York, John Wiley & Son-Interscience, p. 165, 1975

PIKO, A. A.; SZEDLMAYER, S. T. Effects of habitat complexity and predator exclusion on the abundance of juvenile red snapper. **Journal of Fish Biology**, v. 70, n. 3, p. 758-769, 2007.

REZENDE-GOIS et al., 2023 REZENDE-GOIS, Gabriel Vieira Martins et al. Morphometric analyses of *Mithraculus forceps* (Brachyura: Mithracidae): linear and geometric approaches in a no-take marine reserve population. **Marine Biology Research**, v. 19, n. 8-9, p. 447-459, 2023.

SAMMARCO, Paul W.; ATCHISON, Amy D.; BOLAND, Gregory S. Expansion of coral communities within the Northern Gulf of Mexico via offshore oil and gas platforms. **Marine Ecology Progress Series**, v. 280, p. 129-143, 2004.

SANCHO-BLANCO, Carolina et al. Distribution, richness, and molecular identification of spider crabs (Brachyura: Majoidea: Mithracidae) from Costa Rica. **Uniciencia**, v. 36, n. 1, p. 289-303, 2022.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. The mathematical theory of communication. University of Illinois. Urbana, v. 117, 1949.

SHINOZAKI-MENDES, Renata A.; LESSA, Rosângela. Morphology and development of the male reproductive tract in *Callinectes danae* (Crustacea: Brachyura). **Acta Zoologica**, v. 99, n. 3, p. 231-243, 2018.

SILVA, Thiago Elias da et al. Ecological distribution and population features of *Hexapanopeus paulensis* Rathbun, 1930 (Crustacea: Decapoda: Xanthoidea) caught by bottom trawling in the southeastern coast of Brazil: implications for its population structure. **Nauplius**, v. 25, p. e2017010, 2017.

SILVA, Rodrigo et al. Sun coral invasion of shallow rocky reefs: effects on mobile invertebrate assemblages in Southeastern Brazil. **Biological Invasions**, v. 21, p. 1339-1350, 2019.

SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. *Nature*, v. 688, p. 163, 1949.

TEWS, 2004 TEWS, Jörg et al. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. **Journal of biogeography**, v. 31, n. 1, p. 79-92, 2004.

VERA-CARIPE, Jonathan et al. Crustáceos decápodos asociados a *Tripneustes ventricosus* (Lamarck, 1816)(Echinodermata; Echinoidea) de la Isla La Borracha, Parque Nacional Mochima, Venezuela. **Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela**, v. 56, n. 1, 2017.

VYTOPIL, E.; WILLIS, B. Epifaunal community structure in *Acropora* spp.(Scleractinia) on the Great Barrier Reef: implications of coral morphology and habitat complexity. **Coral Reefs**, v. 20, p. 281-288, 2001.

WARTON, David I. et al. smatr 3-an R package for estimation and inference about allometric lines. **Methods in Ecology & Evolution**, v. 3, n. 2, 2012.

WARWICK, Richard M.; CLARKE, K. Robert. New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. **Marine ecology progress series**, v. 129, p. 301-305, 1995.

WENNER, Adrian M. Sex ratio as a function of size in marine Crustacea. **The American Naturalist**, v. 106, n. 949, p. 321-350, 1972.

WILSON, S. K.; GRAHAM, N. A. J.; POLUNIN, Nicholas VC. Appraisal of visual assessments of habitat complexity and benthic composition on coral reefs. **Marine Biology**, v. 151, n. 3, p. 1069-1076, 2007.

WINDSOR, Amanda M.; FELDER, Darryl L. Molecular phylogenetics and taxonomic reanalysis of the family Mithracidae MacLeay (Decapoda: Brachyura: Majoidea). **Invertebrate Systematics**, v. 28, n. 2, p. 145-173, 2014.

WOLFE, Joanna M. et al. A phylogenomic framework, evolutionary timeline and genomic resources for comparative studies of decapod crustaceans. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 286, n. 1901, p. 20190079, 2019.

WORLD REGISTER OF MARINE SPECIES (WoRMS). WoRMS: World Register of Marine Species. Disponível em: <https://www.marinespecies.org>.