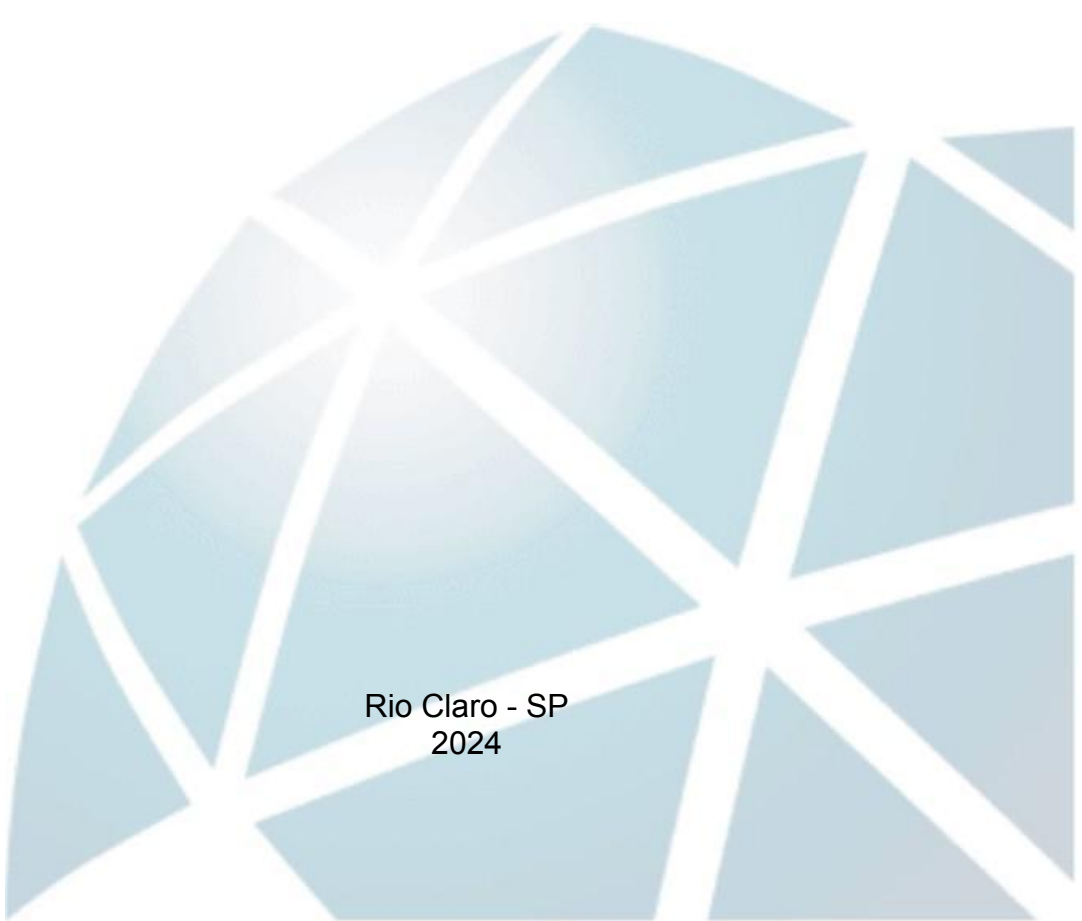

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**YOLANDA ONHIÂMUÇARE PORTELLA DE
LUNA MARQUES FERREIRA**

**Efeitos da exposição ao hidrodinamismo e da
bioturbação no potencial de facilitação de recifes
de areia construídos por *Phragmatopoma*
lapidosa Kinberg (1967)**



Rio Claro - SP
2024

YOLANDA ONHIÃMUÇARE PORTELLA DE LUNA MARQUES FERREIRA

**Efeitos da exposição ao hidrodinamismo e da bioturbação no
potencial de facilitação de recifes de areia construídos por
Phragmatopoma lapidosa Kinberg (1967)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção do grau de Bacharela em
Ciências Biológicas

Orientador(a): Augusto Alberto Valero Flores

Coorientador(a): José Paulo Leite Guadanucci

Rio Claro - SP
2024

F383e

Ferreira, Yolanda Onhiãmuçare Portella de Luna Marques

Efeitos da exposição ao hidrodinamismo e da bioturbação no potencial de facilitação de recifes de areia construídos por *Phragmatopoma lapidosa* Kinberg (1967) / Yolanda Onhiãmuçare Portella de Luna Marques

Ferreira. -- Rio Claro, 2024

29 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Augusto Alberto Valero Flores

Coorientador: José Paulo Leite Guadanucci

1. Zoologia. 2. Ecologia marinha. 3. Ecologia de comunidades. I. Título.

YOLANDA ONHIÂMUÇARE PORTELLA DE LUNA MARQUES FERREIRA

Efeitos da exposição ao hidrodinamismo e da bioturbação no potencial de facilitação de recifes de areia construídos por *Phragmatopoma lapidosa* Kinberg (1967)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharelado em Ciências Biológicas

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Augusto Alberto V. Flores

Prof. Dr. Cláudio Von Zuben

Mestra Carla Brunner Pavone

Aprovado em: 13 de Novembro de 2024

Assinatura do discente

Documento assinado digitalmente
 YOLANDA ONHIAMUCARE PORTELLA DE LUNA
Data: 10/12/2024 11:17:29-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
 AUGUSTO ALBERTO VALERO FLORES
Data: 10/12/2024 11:30:39-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Assinatura do(a) coorientador(a)

 Assinado de forma digital
por Jose Paulo Leite
Guadanucci:2539707386
5
Dados: 2024.12.10
11:46:32 -03'00'

*À dona Enelsi,
por tudo.*

AGRADECIMENTOS

Normalmente as pessoas dizem que sobreviveram à graduação, essa aqui eu posso dizer que foi sobrevivência mesmo. Uma pandemia, e um trágico incêndio foram algumas das pedras do caminho para que ela chegasse ao fim. E chegou, e não teria chegado sem a ajuda e companhia de pessoas, sem quais não estaria aqui agora.

Agradeço primeiramente ao meu orientador Augusto, que topou me ajudar nesse projeto, com toda a atenção e disponibilidade, o qual serei eternamente grata a tudo que aprendi. Agradeço também aos técnicos do CEBImar por toda a ajuda. Ao meu orientador Zé Paulo, que desde o primeiro momento na graduação me deu oportunidades e espaço. Compartilhamos a paixão pela biologia, principalmente por invertebrados. Agradeço por tudo.

Agradeço ao laboratório 19, que não sobreviveu ao incêndio, mas que felizmente as pessoas e os momentos seguiram. Ao Emygdio, agradeço por toda a ajuda, pela confecção dos materiais desse trabalho, e para além de tudo, por todos os momentos bons que vivemos. Ao André Tomiate agradeço por todas as consultorias burocráticas que me prestou durante esses anos, por todas as vezes que me ouviu e ajudou (e me mostrou minha estupidez), te agradeço até pelo fatídico dia que senti o sabor do asfalto, e por todas as vezes que fomos expulsos do Sujinhos.

Ao Ian Meireles, que para além da ajuda nas coletas, sem ele esse trabalho não teria se materializado, pois é quem enxerga em mim aquilo que muitas vezes eu não vejo, e que sem o incentivo, eu não teria ido atrás de ter-o feito. Agradeço pelo incentivo, pelas inúmeras discussões biológicas e por tudo o mais que não cabe aqui.

À minha amiga Lucia, minha companheira desde o dia um dessa graduação, sem a qual a vida não teria a menor graça, muito menos essa graduação. Aos meus amigos do laboratório de aracnologia, agradeço por todas as risadas.

À minha família, agradeço pela forma que me criaram, pela forma de Ser o mundo que me proporcionaram, que é o que me faz ser bióloga. Aos meus pais, por todo o apoio que deram, à minha mãe pela ajuda nas coletas. À minha tia Luciana, por todo o suporte que deu ao longo da vida, sem o qual eu não estaria aqui agora. Ao meu tio, que foi quem me passou a paixão pela biologia, e que sem o apoio e ensinamentos que me passou, eu não estaria aqui hoje, e não seria quem eu sou. A minha avó, que completou o ciclo da vida antes que pudesse me ver terminar isso aqui, mas que sem ela, nada teria sido possível.

Agradeço a todos.

“If we knew what we were doing, it would not be called research,
would it?”

Albert Einstein

RESUMO

Espécies fundadoras, também conhecidas como "engenheiros ecossistêmicos", desempenham um papel crucial na formação e manutenção dos ecossistemas, fornecendo complexidade tridimensional, criando espaços de refúgio e reduzindo o estresse para outras espécies. Elas podem expandir a distribuição das espécies ao longo de gradientes ambientais, aumentando especialmente a riqueza de espécies em ambientes extremos. Recifes de areia construídos por poliquetas da família Sabellariidae são comuns em ecossistemas costeiros, mas seu potencial facilitador e os fatores que aumentam a facilitação da fauna associada ainda são pouco compreendidos. O presente estudo teve como objetivo compreender esses fatores. Para tal, Foram coletadas amostras de colônias de *Phragmatopoma lapidosa* em seis localidades (três expostas e três abrigadas), totalizando 10 réplicas: cinco em locais homogêneos e cinco em áreas adjacentes a pontos de bioturbação, a fim de compreender os efeitos da exposição e da bioturbação sobre a fauna associada a estes recifes. A hipótese inicial previa que riqueza, abundância e diversidade aumentariam com o grau de exposição e proximidade à bioturbação. No entanto, os resultados indicam que, nessas localidades, a abundância tende a diminuir em resposta à ação das ondas. A proximidade com a bioturbação revelou-se significativa para a composição da comunidade da fauna associada, mostrando como as colônias de *Phragmatopoma lapidosa* abrigam animais de diversos hábitos

Palavras-chave: Facilitação ecológica; engenheiros ecossistêmicos; *Phragmatopoma*; recifes de areia; fauna associada.

ABSTRACT

Foundational species, also known as "ecosystem engineers," play a crucial role in the formation and maintenance of ecosystems by providing three-dimensional complexity, creating refuge spaces, and reducing stress for other species. They can expand species distribution across environmental gradients, particularly increasing species richness in extreme environments. Sand reefs built by polychaetes of the family Sabellariidae are common in coastal ecosystems and are known for forming extensive sand structures; however, their facilitative potential and the factors that enhance the facilitation of associated fauna are still poorly understood. This study aimed to understand these factors. Samples of colonies of *Phragmatopoma lapidosa* were collected from six locations (three exposed and three sheltered), totaling 10 replicates: five in homogeneous areas and five in locations adjacent to bioturbation points. The initial hypothesis suggested that richness, abundance, and diversity would increase with the degree of exposure and proximity to bioturbation. However, the results indicate that, in these locations, abundance tends to decrease in response to wave action. Proximity to bioturbation proved significant for the composition of the associated fauna community.

Keywords: Ecological facilitation; ecosystem engineers; *Phragmatopoma*; sand reefs; associated fauna.

Title in english: Effects of exposure to hydrodynamics and bioturbation on the facilitation potential of sand reefs constructed by *Phragmatopoma lapidosa* Kinberg (1967).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa dos pontos de coleta. Itens em verde representam as praias do Estaleiro, Lázaro e Domingas Dias. Itens em vermelho representam as praias da Almada, Léo e Tenório.	14
Figura 2 – Recifes homogêneos e bioturbados	15
Figura 3 – Colônias após retirada dos tubos cilíndricos.	16
Figura 4 – Gráficos riqueza, abundância e diversidade	20
Figura 5 – Gráficos comparativos entre o volume intersticial e abundância dos indivíduos de <i>Phragmatopoma lapidosa</i> em cada localidade.	21
Figura 6– Gráficos de composição da comunidade	23
Figura 7 – Gráfico nMDS	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos resultados de modelos lineares totalmente ortogonais testando os efeitos do habitat (Exposto versus bioturbado) nos recifes de areia e na fauna de invertebrados associados.	19
Tabela 2 – Análise de PERMANOVA sobre os efeitos da exposição e bioturbação sobre a composição da comunidade.	22
Tabela 3 – Listagem dos grupos taxonômicos da fauna acompanhante, assim como a média e o desvio padrão para as localidades (abrigadas e expostas) e os tratamentos (homogêneo e perturbado).	25

SUMÁRIO

1. Introdução.....	11
2. Materiais e Métodos.....	13
2.1 Espécie-alvo.....	13
2.2 Área de estudo.....	13
2.3 Métodos de coleta e análises laboratoriais.....	15
2.4 Variáveis e análises estatísticas.....	17
3. Resultados e discussão.....	18
3.1 Efeitos sobre a exposição.....	18
3.2 Composição da fauna associada.....	21
4. Conclusão.....	26
REFERÊNCIAS.....	27

1. Introdução

Espécies fundadoras provêm complexidade tridimensional, gerando habitat para outras espécies e desempenhando, portanto, um papel essencial na formação e manutenção dos ecossistemas (Crain e Bertness, 2006). Essas espécies também são referidas como "engenheiros ecossistêmicos" (Jones et al. 1994, 1997), e dentre suas principais funções destacam-se a criação de espaços-refúgio contra predadores, a redução do estresse físico e fisiológico, além do aumento da taxa de recrutamento pela intensificação da interação entre as larvas e o substrato, propiciado pela geração de turbulência (Bruno e Bertness, 2001). Como resultado, os engenheiros ecossistêmicos podem expandir a distribuição das espécies ao longo de gradientes ambientais (Crain & Bertness, 2006), possibilitando uma ocorrência mais ampla em seus respectivos ambientes (Romero et al. (2015). Em específico, engenheiros ecossistêmicos aumentam, em média, a riqueza de espécies em 25%, sendo essa porcentagem substancialmente maior em ambientes extremos, onde a mitigação biogênica do estresse físico se torna particularmente relevante (Bertness e Callaway, 1994; Bruno et al., 2003). Esse é o caso da zona entremarés de costões rochosos, onde estruturas biogênicas podem prover refúgio contra predadores e, em especial, reduzir o estresse térmico e o potencial de dessecação durante períodos diurnos de baixamar.

Diversas espécies estruturadoras são conhecidas em diferentes ecossistemas costeiros pelo seu papel na facilitação ecológica de inúmeras espécies de algas, invertebrados e peixes, incluindo bosques de algas laminarias, bancos de ostras ou recifes de coral (Bruno e Bertness, 2001). Os recifes de areia construídos por poliquetas da família Sabellariidae são muito frequentes e notórios em muitas regiões temperadas (Dias & Paula, 2001) e tropicais (Hartman, 1940), mas seu potencial facilitador, assim como os processos que potencializam a facilitação ecológica desses organismos são ainda pouco documentados. Esses poliquetas são reconhecidos por sua habilidade em construir extensas estruturas de areia, utilizando partículas de areia cimentadas com muco proteico para erguer seus tubos. A coalescência de milhares desses tubos é a base dos recifes de areia, os quais podem se estender por grandes áreas ao longo de costões rochosos, fornecendo abrigo para uma diversificada fauna associada (e.g. Gore *et al.*, 1978, Santos-Mella *et al.*, 2017, Velásquez *et al.*, 2017). Contudo, não se sabe ao certo quais são as características dos recifes de areia que maximizam a facilitação da fauna associada. Por exemplo, a configuração dos recifes de areia apresenta variações em suas

formas conforme as condições ambientais às quais estão sujeitos (Thomas, 1992. Amaral, 1987. Gruet, 1971). Os poliquetas podem formar colônias arredondadas isoladas, formadas por tubos eretos, ou apresentar hábito incrustante, formando colônias de maiores dimensões, nas quais os tubos são construídos de forma sobreposta (Amaral, 1987). Ainda, as estruturas construídas em ambientes com menor exposição ao hidrodinamismo tendem a ser menos robustas (Thomas, 1992), e diferentes organismos podem escavar galerias ou erodir as colônias, adicionando complexidade estrutural a esses recifes, como observado em colônias expostas a outras fontes de erosão (Dias & Paula, 2001).

Este estudo tem como finalidade inferir o potencial facilitador dos poliquetos sabelarídeos em função da complexidade e heterogeneidade dos recifes de areia que produzem. Para tal, foram amostrados recifes de areia em diferentes localidades do Município de Ubatuba, SP, expostos a diferentes níveis de hidrodinamismo e de bioturbação, especialmente por caranguejos. Esperava-se que valores máximos de riqueza, abundância e diversidade da fauna de invertebrados associados fossem encontrados em locais de maior exposição às ondas e bioturbação, onde a taxa de produção recifal e a disponibilidade de refúgios são teoricamente mais elevadas. Além disso, de que ambientes com maior área de superfície e maior variação no número e tamanho dos espaços podem favorecer organismos de diferentes tamanhos corporais e níveis de mobilidade, especialmente oportunistas e altamente móveis, resultando em maior diversidade faunística (Bell, 1985; Tokeshi & Arakaki, 2012; St Pierre & Kovalenko, 2014).

2. Materiais e Métodos

2.1 Espécie-alvo

A espécie de poliquetos sabelarídeos *Phragmatopoma lapidosa* Kinberg (1967) apresenta ampla distribuição em águas tropicais, estendendo-se desde a costa do Atlântico Norte até o Atlântico Sul Ocidental. Esta espécie, assim como os demais poliquetos sabelarídeos, são conhecidos por formar extensos recifes de areia (SOUZA, 1989).

2.2 Área de estudo

As coletas foram realizadas ao longo do município de Ubatuba, SP, localizado na Ecorregião Subtropical do Sudeste do Brasil (Spalding et al. 2007), onde as marés são semidiurnas, com amplitude máxima 1.3 m. Foram coletadas 10 amostras em seis localidades (**figura 1**): três áreas expostas à ação moderada das ondas, Tenório (23°27'55"S 45°03'21"W), Léo (23°22'13"S 44°56'57"W) e Almada (23°21'44"S 44°53'15"W); e três áreas abrigadas da ação das ondas, Domingas Dias (23°29'48"S 45°08'32"W), Lázaro (23°30'28"S 45°08'01"W) e Ubatumirim (23°20'00"S 44°54'06"W). As amostragens ocorreram no inverno, em junho de 2024.

Figura 1: Mapa dos pontos de coleta. Itens em verde representam as praias do Estaleiro, Lázaro e Domingas Dias. Itens em vermelho representam as praias da Almada, Léo e Tenório.



Fonte: Elaborada pelo autor

2.3 Métodos de coleta e análises laboratoriais

Para avaliar o efeito do hidrodinamismo foram selecionadas 6 localidades (três praias expostas e 3 praias abrigadas), e para a bioturbação, foram retiradas, nestas localidades, 10 amostras (5 em recifes homogêneos e 5 em bioturbados). Os recifes homogêneos eram aqueles que não apresentavam atividade de escavação da fauna acompanhante (**Figura 2-a**). Os locais bioturbados (**Figura 2-b**) eram aqueles que apresentavam atividade da fauna acompanhante, como a presença de escavações realizadas por caranguejos, ou bivalves incrustados em meio aos recifes de areia.

Figura 2: (a) Recife de areia em formato “bola”, representando áreas majoritariamente homogêneas. (b) Regiões do recife com bioturbações causadas por caranguejos e bivalves.



Fonte: Elaborada pelo autor

As amostras foram coletadas com tubos cilíndricos de 3-4 cm de diâmetro, de 10 cm de comprimento, com a profundidade da amostra variando conforme a colônia (**Figura 3**). Com o auxílio de um martelo, cada amostra retirada dos recifes de areia foi selada com parafilme, com a finalidade de preservar a umidade, e individualizada com as devidas informações de coleta.

Figura 3: Colônias após retirada dos tubos cilíndricos.



Fonte: Elaboradas pelo autor

No laboratório, as amostras foram cuidadosamente retiradas dos tubos cilíndricos. Com o auxílio de uma régua, os respectivos comprimentos foram tomados, assim como o volume das amostras, que foi feito através do deslocamento de líquido em uma proveta. Após isso, as amostras foram desagregadas e passadas por uma peneira de 500 micras, sob água do mar filtrada corrente por 1 minuto. O conteúdo foi transferido para uma placa de petri, a fauna acompanhante foi categorizada em 12 grupos taxonômicos, com um auxílio de um estereomicroscópio. Foram encontrados desde grupos menores como copépodes e nematóides, até poliquetos maiores, os indivíduos de *Phragmatopoma* também foram contabilizados.

2.4 Variáveis e análises estatísticas

Modelos lineares totalmente ortogonais foram utilizados para testar o efeito da exposição às ondas e da proximidade com organismos bioturbadores em todas as variáveis resposta. As variáveis de resposta univariadas consistiram em abundância (número de indivíduos), riqueza (número de principais grupos de invertebrados) e diversidade de Shannon (H').

Para calcular o volume intersticial, foram realizadas medições do comprimento dos fragmentos extraídos das colônias e no volume deslocado destas porções da colônia. A complexidade estrutural (heterogeneidade) foi estimada com base na diferença entre o volume de um cilindro sólido (calculado a partir do diâmetro do tubo de amostragem e do comprimento da respectiva seção) e o volume deslocado observado, representando o espaço intersticial disponível para ocupação por outros organismos. A densidade foi considerada uma medida associada a abundância, pois corrigimos o número total de indivíduos pelo volume (indivíduos por 25/cm³). A densidade foi medida para os indivíduos de *Phragmatopoma* e para a fauna associada.

A análise multivariada focou na estrutura da comunidade, com o objetivo de avaliar se a proximidade dos pontos de bioturbação influencia a composição da fauna associada de invertebrados e complementar os resultados de riqueza, abundância e diversidade. Para isso, foi aplicada uma análise de variância por permutação (PERMANOVA; Anderson, 2001; McArdle e Anderson, 2001), utilizando dados transformados pela raiz quadrada.

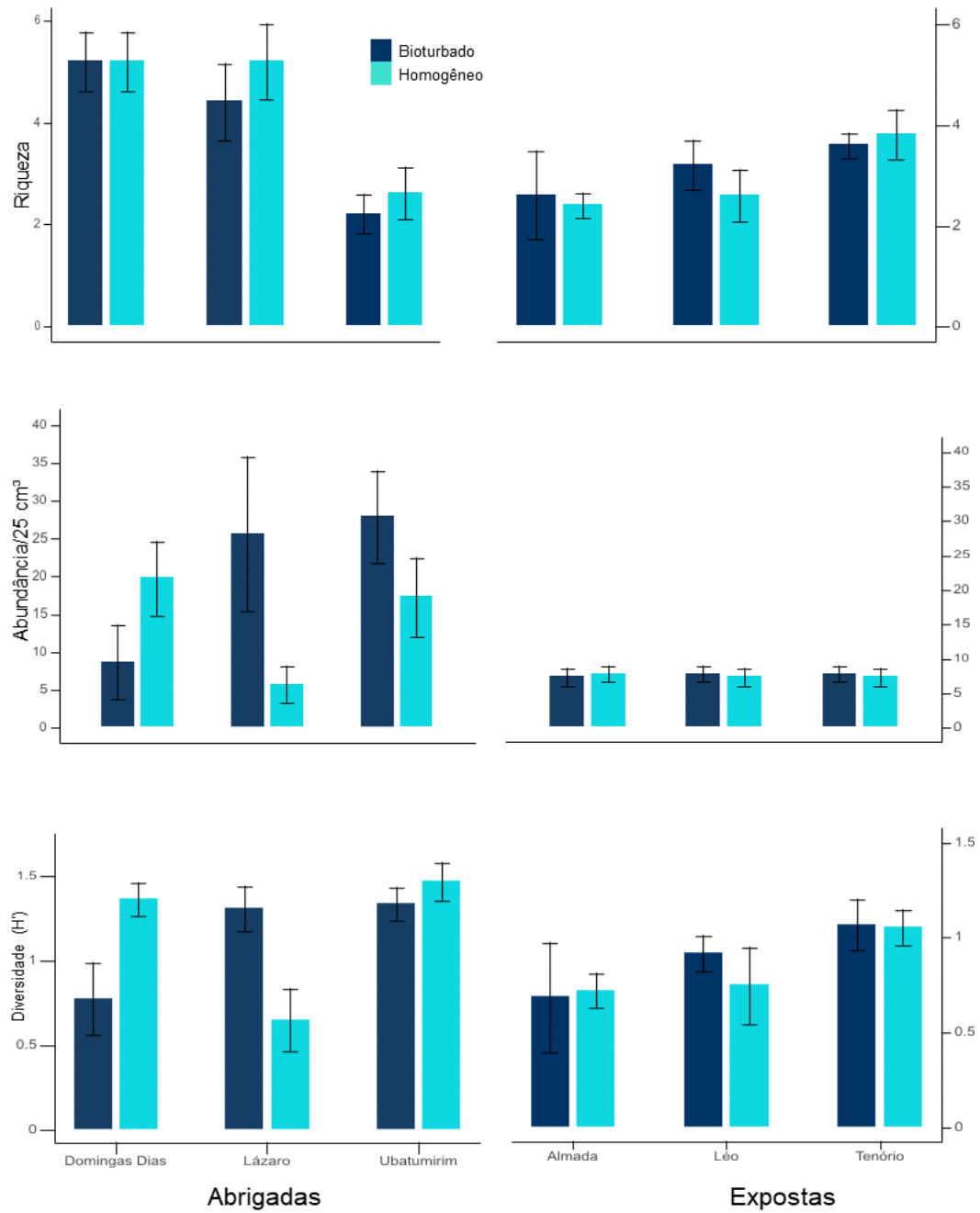
Além disso, a análise SIMPER (Clarke, 1993) e a Escalonagem Multidimensional Não Métrica (nMDS) foram empregadas para representar e comparar a estrutura da comunidade. Essas análises utilizaram matrizes de similaridade baseadas nas estimativas de densidade de cada táxon (também transformadas pela raiz quadrada) e calculadas com o índice de Bray-Curtis. Os valores de significância (p) foram determinados por meio de 9.999 permutações irrestritas.

3. Resultados e discussão

3.1 Efeitos sobre a exposição

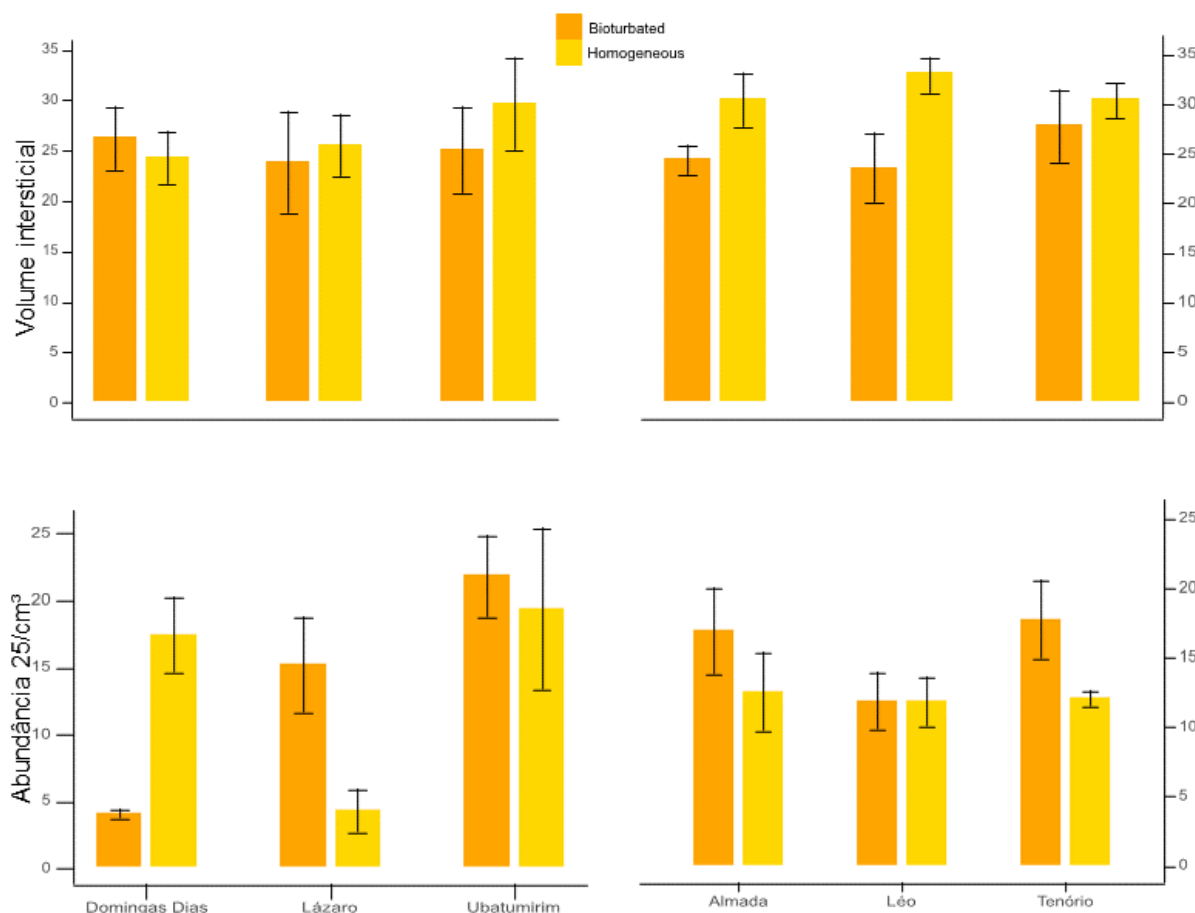
Divergindo da hipótese inicial, que previa maiores índices de abundância, riqueza e diversidade nas localidades expostas, os resultados da análise univariada mostraram uma variação expressiva entre as localidades (**Tabela 1**). Os efeitos da exposição foram significativos apenas para a abundância, embora de forma marginal ($p = 0.0462$), sendo esta maior em lugares abrigados. No entanto, riqueza e diversidade não apresentaram diferenças significativas. Para estas variáveis, a proximidade com a bioturbação não teve efeito significativo. Assim, a variação na abundância pode ser considerada idiossincrática, refletindo condições específicas e não previstas nas localidades estudadas. A **figura 4** representa os gráficos de riqueza, abundância e diversidade, para as áreas abrigadas e expostas. Dias e Paula (2001), ao comparar a fauna associada a *Sabellaria alveolata* na região da costa de Portugal, mostraram que os recifes situados em áreas mais protegidas, embora apresentassem densidades semelhantes às das costas expostas, possuíam uma maior riqueza de espécies, sugerindo que isso pode estar relacionado à estabilidade das colônias. A ação das ondas, apesar de essencial para fornecer material para a construção do recife de areia, alimento e retirada de excrementos (Anadón, 1981), pode causar erosão e destruição permanente do recife. Dias e Paula (2001) encontraram maiores densidades em colônias erodidas, já Porras et al (1996), em colônias mais desenvolvidas. No presente estudo, a densidade da fauna associada (**figura 4**) foi maior na costa abrigada, resultados semelhantes foram observados por Lomônaco (2011). Tanto exposição, quanto bioturbação não tiveram efeitos significativos sobre a densidade de *Phragmatopoma lapidosa*, porém, a exposição a ação das ondas se mostrou significativa no volume intersticial (0.0114), ou seja, na quantidade de espaço disponível dentro da colônia, que parece aumentar conforme a maior exposição ao hidrodinamismo (**figura 5**).

Figura 4: Gráficos comparativos entre a riqueza, abundância e diversidade (H') da fauna associada. Valores indicam médias e respectivos erros padrão.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 5: Gráficos comparativos entre o volume intersticial das colônias e a abundância dos indivíduos de *Phragmatopoma lapidosa* em cada localidade. Valores indicam médias e respectivos erros padrão.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 Composição da fauna associada

Um total de 1554 indivíduos foram coletados neste estudo, sendo destes 843 indivíduos de *Phragmatopoma lapidosa*. A fauna associada foi categorizada em 12 categorias taxonômicas. A análise multivariada (PERMANOVA) sobre estrutura da comunidade mostrou que proximidade com a bioturbação teve efeito significativo (**tabela 2**) sobre a composição da comunidade (0.0132). Os 4 principais grupos responsáveis pelas maiores dissimilaridades na composição estrutural, com contribuições individuais entre aproximadamente 23 a 10%, e responsáveis por 60 % do total da dissimilaridade, foram Nematoda, Polychaeta, Amphipoda e Bivalvia (**Figura 6**). Estudos preliminares obtiveram resultados semelhantes na composição

da fauna acompanhante (Ataíde et al, 2014). Os gráficos de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), baseados nas distâncias de Bray-Curtis, foram usados para visualizar os agrupamentos de grupos, correspondendo aos efeitos da bioturbação sobre a composição da fauna (**figura 7**). O processo de bioturbação causada pela fauna acompanhante, principalmente por caranguejos decápodes, gera espaços e fendas, que aumentam a heterogeneidade do substrato (Gore et al., 1978) . Os resultados desse estudo mostraram um aumento significativo na abundância da fauna associada com a proximidade com o pontos de bioturbação (**figura 6**), a hipótese levantada seria que ambientes com maior área de superfície e maior variação no número e no tamanho dos espaços podem ser favoráveis a organismos de uma ampla gama de tamanhos corporais e diferentes níveis de mobilidade, principalmente aqueles considerados oportunistas e com alta mobilidade, promovendo assim um aumento na diversidade da fauna (Bell, 1985; Tokeshi & Arakaki, 2012; St Pierre & Kovalenko, 2014).

Tabela 2 – Análise de PERMANOVA sobre os efeitos da exposição e bioturbação sobre a composição da comunidade.

Source	d.f	Effects on community structure	
		pseudo-F	p
Ex	1	1.3735	2.504
Bi	1	5.6805	0.0132
Ex x Bi	1	2.377	8.714
Sh (Ex x Bi)	8	2.8559	1
Res	48		
Total	59		

Figura 6: Gráficos de composição da comunidade obtidos através de análise SIMPER de dissimilaridade. Figuras mostram de forma decrescente os 4 principais grupos que contribuíram para as dissimilaridades na composição da comunidade. Valores indicam médias e respectivos erros padrão.

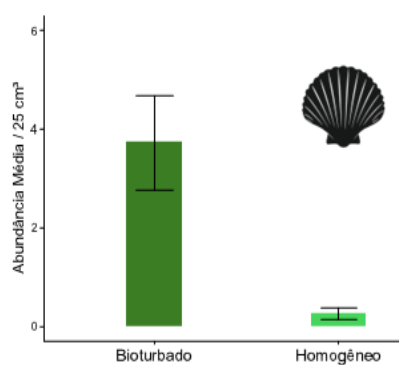
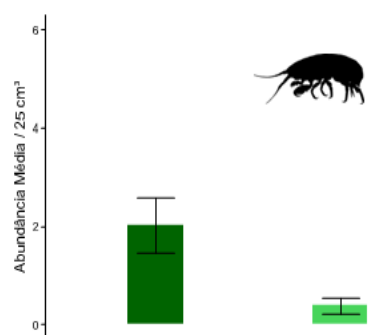
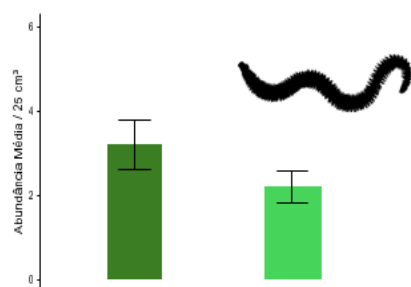
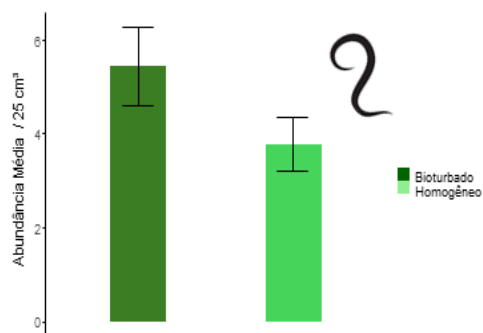
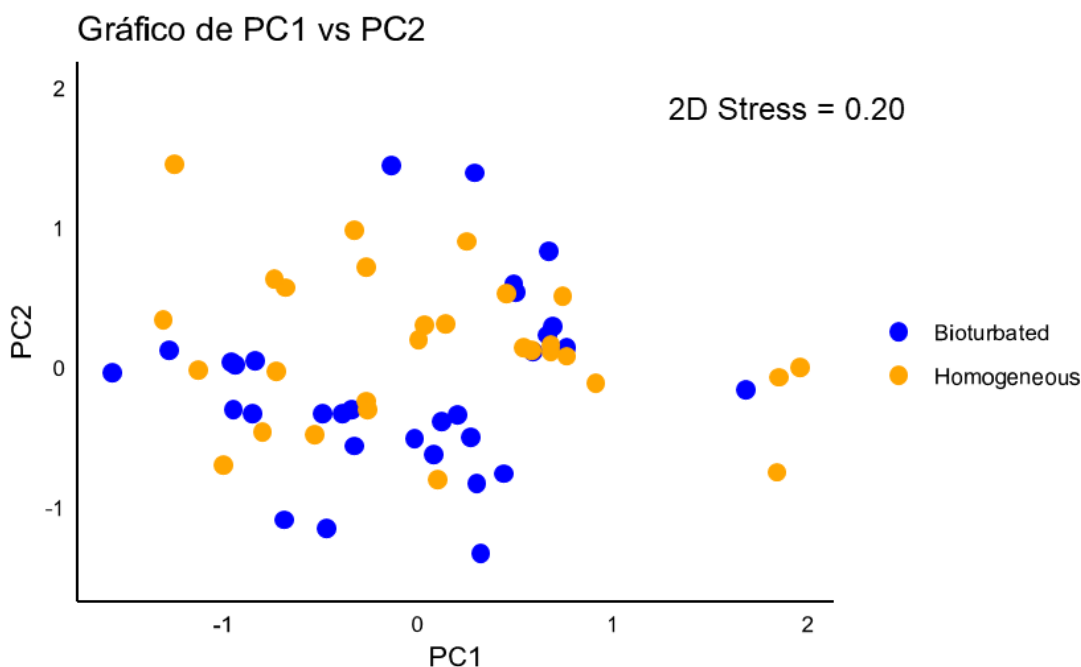


Figura 7: Gráfico nMDS mostrando a tendência central e a variabilidade da estrutura da comunidade de invertebrados associada. Agrupamentos indicam o efeito da bioturbação sobre a comunidade.



Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, a heterogeneidade do substrato pode influenciar a hidrodinâmica durante a maré alta e impactar a intensidade de sombreamento e vento na maré baixa (Benedetti-Cecchi & Cinelli, 1997; Araújo et al., 2005), fazendo com que as regiões do recife de areia com bioturbações, estejam mais expostas ao hidrodinamismo, o que pode aumentar o volume intersticial, como observado nos resultados, resultando em um aumento do espaço disponível para a fauna associada.

A diversidade nos recifes de Sabellarideos é significativamente maior do que na areia, pois estruturas abrigam espécies típicas de ambientes tanto moles quanto duros (Dubois et al., 2002, 2006). Nos recifes de sabellarideos, os tubos consolidados formam um substrato rígido que facilita o assentamento de organismos incrustantes (Achary, 1969; Dubois et al., 2006; Gravina et al., 2018). Uma parte significativa da diversidade dos recifes de Sabellarideos é formada por organismos infaunais (Anádon, 1981; Dias & Paula, 2001; Dubois et al., 2002; Dubois et al., 2006; Lomônaco et al., 2011; Jones et al., 2018). Esses organismos são favorecidos pelas condições da arquitetura rígida e estável do recife e pelos refúgios que ele oferece, além da disponibilidade de recursos típicos de fundos moles. Embora a maior parte

do substrato seja formada por tubos consolidados, as fendas e tubos vazios, assim como a areia e lama acumuladas nessas estruturas, criam ambientes passíveis de colonização. A composição da fauna acompanhante (**tabela 3**), inclui animais com alta mobilidade e hábitos detritívoros como amphipoda e nematoda, e hábito sésil como bivalvia, assim como carnívoros (Polychaeta) evidenciando como as características abióticas dos recifes modulam a fauna acompanhante.

Tabela 3: Listagem dos grupos taxonômicos da fauna acompanhante, assim como a média e o desvio padrão para as localidades (abrigadas e expostas) e os tratamentos (homogêneo e perturbado).

	Sheltered				Exposed			
	Homogeneous		Disturbed		Homogeneous		Disturbed	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Phragmatopoma	12,08	10,44	13,76	9,52	14,07	5,53	13,41	3
Nematoda	2,92	4,62	4,7	4,51	3,29	3,13	2,02	3,19
Polychaeta	1,64	3,02	1,88	3,96	1,85	1,33	1,88	1,76
Bivalvia	2,38	2,79	1,64	2,94	0	0,71	0	0,62
Amphipoda	0,41	3,32	1,75	1,41	0	0,82	0	1,78
Tanaidacea	0	1,45	0	4,43	0	0	0	0,7
Brachyura	0	1,25	0	2,62	0	0,51	0	0,26
Copepoda	0	1,47	0	0,38	0	0	0	0,91
Gastropoda	0	0	0	0,42	0	0,72	0	0,44
Oligochaeta	0	0,6	0	0	0	0,21	0	0,38
Platyhelminthes	0	0,49	0	0,85	0	0	0	0
Bryozoa	0	0,34	0	0,38	0	0	0	0,19
Sipuncula	0	0,42	0	0	0	0,17	0	0
Anthozoa	0	0	0	0	0	0	0	0,26

4. Conclusão

Com os resultados do presente estudo, podemos concluir que existe uma variação grande, entre as localidades, quando se diz respeito à influência da exposição à ação das ondas nos parâmetros de riqueza, abundância e diversidade da fauna associada de *Phragmatopoma lapidosa*. A densidade da fauna associada foi maior na costa abrigada, embora a exposição e a bioturbação não tenham influenciado significativamente a densidade de *Phragmatopoma lapidosa*, a ação das ondas impactou o volume intersticial, indicando maior espaço disponível nas colônias em áreas mais expostas ao hidrodinamismo. A proximidade com os locais de bioturbação foi significativa para a composição da comunidade, e destaca como as interações bióticas moldam a composição da fauna em recifes de areia, criando microhabitats que promovem a colonização por uma variedade de organismos. Em síntese, a dinâmica de comunidades associadas a *Phragmatopoma lapidosa* é complexa e influenciada por múltiplos fatores, incluindo a ação das ondas e a bioturbação, mas não somente estes, como também variações específicas das localidades, que não foram estimadas neste trabalho.

O trabalho em questão sublinha a importância de entender esses mecanismos para o estudo destes ecossistemas costeiros, além de abrir novas perspectivas para investigações futuras que possam explorar a interdependência entre as características abióticas e bióticas desses ambientes.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. C. Z. Breve caracterização de *Phragmatopoma lapidosa* Kinberg, 1867 (Polychaeta, Sabellariidae). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Em: Revista Brasileira de Zoologia, v. 3, n. 8, p. 471-474, 1987.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, v. 26, n. 1, p. 32-46, 2001.
- ATAIDE, M. B.; ALMEIDA, M. P.; SILVA, C. C. Sandy reefs of *Sabellaria wilsoni* (Polychaeta: Sabellariidae) as ecosystem engineers for meiofauna in the Amazon coastal region, Brazil. *Marine Biodiversity*, v. 44, p. 403–413, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12526-014-0248-x>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- BILES, C. L.; PATERSON, D. M.; FORD, R.; SOLAN, M. Bioturbation, ecosystem functioning and community structure. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 6, n. 6, p. 999, dez. 2002. Disponível em: 10.5194/hess-6-999-2002.
- BOSA, C. R.; MASUNARI, S. Crustáceos decápodos associados aos bancos de *Phragmatopoma caudata* (Krøyer) (Polychaeta, Sabellariidae) na Praia de Caiobá, Matinhos, Paraná. Revista Brasileira de Zoologia, v. 19, Suppl. 1, p. 117-133, 2002.
- BRUNO, J. F.; BERTNESS, M. D. Habitat modification and facilitation in benthic marine communities. In: BERTNESS, M. D.; GAINES, S. D.; HAY, M. E. (Eds.). *Marine community ecology*. Sinauer Associates, p. 201–218, 2001.
- CRAIN, C. M.; BERTNESS, M. D. Ecosystem engineering across environmental gradients: implications for conservation and management. *BioScience*, v. 56, p. 211–217, 2006.
- DIAS, A. S.; PAULA, J. Associated fauna of *Sabellaria alveolata* colonies on the central coast of Portugal. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 81, p. 169-170, 2001.
- DUBOIS, S.; LECLERC, J. L.; RICHARD, P.; BODIGUEL, X. Effects of epibionts on *Sabellaria alveolata* (L.) biogenic reefs and their associated fauna in the Bay of Mont Saint-Michel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 68, p. 635–646, 2006.

FLORES, F.; OLIVEIRA, A. G.; MARTINS, L. P.; ROSADO, J. Interactive effects of grazing and environmental stress on macroalgal biomass in subtropical rocky shores: modulation of bottom-up inputs by wave action. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 463, p. 39-48, 2015.

GORE, R. H.; DOUVLE, M. R.; WHEELER, L. J. Community composition, stability, and trophic partitioning in decapod crustaceans inhabiting some subtropical sabellariid worm reefs. *Bulletin of Marine Science*, v. 28, p. 221-248, 1978.

GRUET, Y. Aspects morphologiques et dynamiques de constructions de l'Annelide polychete *Sabellaria alveolata* (Linné). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, v. 36, n. 2, p. 131-161, 1972. Disponível em: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2061/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

LOMONACO, C.; SANTOS, A. S.; CHRISTOFFERSEN, M. L. Effects of local hydrodynamic regime on the individual's size in intertidal *Sabellaria* (Annelida: Polychaeta: Sabellariidae) and associated fauna at Cabo Branco beach, north-east Brazil. *Marine Biodiversity Records*, v. 4, dez. 2011. Disponível em: 10.1017/S1755267211000807.

MCCARTHY, D. A. Life-history patterns and the role of disturbance in intertidal and subtidal populations of the polychaete *Phragmatopoma lapidosa* (Kinberg 1867) in the tropical Western Atlantic. 2001. Tese de doutorado, Kings College-University of London, Inglaterra, 237 p.

MCCARTHY, D. A.; YOUNG, C. M. Influence of wave-induced disturbance on seasonal spawning patterns in the sabellariid polychaete *Phragmatopoma lapidosa*. *Marine Ecology Progress Series*, v. 256, p. 123-133, jul. 2003. Disponível em: 10.3354/meps256123.

PORRAS, R.; BATALLER, J. V.; MURGUI, E.; TORREGROSA, M. T. Trophic structure and community composition of polychaetes inhabiting some *Sabellaria alveolata* (L.) reefs along the Valencia Gulf Coast, Western Mediterranean. *Marine Ecology*, v. 17, n. 4, p. 583-602, 1995.

SANTOS-MELLA, F.; GARCÍA, R. A.; REY, E.; RAMÍREZ, M. Ecología y biodiversidad de un arrecife formado por *Phragmatopoma caudata* Krøyer in Mörch (Canalipalpata: Sabellariidae) en República Dominicana. *Nova Caribaea*, v. 11, p. 69-78, 2017.

SEPULVEDA, R. D.; MORENO, R. A.; CARRASCO, F. D. Diversidad de macroinvertebrados asociados a arrecifes de *Phragmatopoma moerchi* Kinberg, 1867 (Polychaeta: Sabellariidae) en el intermareal rocoso de Cocholgüe, Chile. *Gayana (Concepción)*, v. 67, n. 1, p. 45-54, 2003. Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382003000100007&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 30 set. 2024.

THOMAS, F. I. M. Morphology and orientation of tube extensions on aggregations of the polychaete annelid *Phragmatopoma californica*. *Marine Biology*, v. 119, p. 525-534, 1994.