



**Estudo da dinâmica
das comunidades
bentônicas de
costões rochosos de
um estuário
hipereutrófico
tropical através da
relação entre grupos
funcionais e variáveis
abióticas**

Discente

Amanda Cunha de
Souza Coração

Orientador

Dr. Joel Campos de Paula

Coorientador

Me. Erick Alves Pereira
Lopes Filho



Rio de Janeiro

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - IBIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIODIVERSIDADE
NEOTROPICAL)
MESTRADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Amanda Cunha de Souza Coração

Estudo da dinâmica das comunidades bentônicas de costões rochosos de um estuário hipereutrófico tropical (Baía de Guanabara) por meio da relação entre grupos funcionais e variáveis abióticas

Rio de Janeiro

2021

Amanda Cunha de Souza Coração

Estudo da dinâmica das comunidades bentônicas de costões rochosos de um estuário hipereutrófico tropical (Baía de Guanabara) por meio da relação entre grupos funcionais e variáveis abióticas

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biodiversidade Neotropical do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas

Orientador: Dr. Joel Campos de Paula

Coorientador: Me. Erick Alves Pereira Lopes Filho

Rio de Janeiro

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – UNIRIO
Instituto de Biociências - IBIO

Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical)
- PPGBIO

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº _____

Aos vinte e cinco dias do mês de março de dois mil e vinte e um, às 14h00min, realizou-se na sala virtual do *Google Meet*, a defesa da dissertação intitulada *Estudo da dinâmica das comunidades bentônicas de costões rochosos de um estuário hipereutrófico tropical (Baía de Guanabara) por meio da relação entre grupos funcionais e variáveis abióticas* da **Mestranda Amanda Cunha de Souza Coração** do Mestrado em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical). A presente dissertação foi orientada pelo Dr. Joel Campos de Paula (Presidente da Banca) e coorientada pelo Me. Erick Alves Pereira Lopes Filho. A Banca Examinadora foi constituída pelos membros, a saber: Dr. Roberto Campos Villaça, Dr. Paulo Cesar de Paiva e Dr. Luciano Neves dos Santos, com suplência da Dra. Aline Queiroz Caldeira e da Dra. Valéria Laneuville Teixeira. Após arguir a mestranda e considerar que a mesma demonstrou capacidade no trato do tema escolhido e sistematização dos dados, a Banca Examinadora houve por bem aprová-la com conceito **A**.

Rio de Janeiro, 25 de março de 2021.

Dr(a). Roberto Campos Villaça (UFF)

Dr. Paulo Cesar de Paiva (UFRJ)

Dr. Joel Campos de Paula (UNIRIO)
(Presidente da Banca)

Dr. Luciano Neves dos Santos (UNIRIO)

Amanda Cunha de Souza Coração

**ESTUDO DA DINÂMICA DAS COMUNIDADES BENTÔNICAS DE COSTÕES
ROCHOSOS DE UM ESTUÁRIO HIPEREUTRÓFICO TROPICAL (BAÍA DE
GUANABARA) POR MEIO DA RELAÇÃO ENTRE GRUPOS FUNCIONAIS E
VARIÁVEIS ABIÓTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciências Biológicas.

Aprovada em 25 de março de 2021.

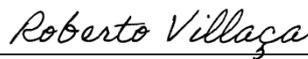
Banca Examinadora



Dr(a). Joel Campos de Paula (Orientador)
(Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro/UNIRIO)



Dr(a). Luciano Neves dos Santos
(Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro/UNIRIO)



Dr(a). Roberto Campos Villaça
(Universidade Federal Fluminense/UFF)



Dr(a). Paulo Cesar de Paiva
(Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ)

Catálogo informatizado pelo(a) autor(a)

C787 Cunha de Souza Coração, Amanda

Estudo da dinâmica das comunidades bentônicas de costões rochosos de um estuário hipereutrófico tropical (Baía de Guanabara) por meio da relação entre grupos funcionais e variáveis abióticas / Amanda Cunha de Souza Coração. -- Rio de Janeiro, 2021.

68

Orientador: Joel Campos de Paula. Coorientador: Erick Alves Pereira Lopes Filho.

1. Biodiversidade. 2. Índice de Rao. 3. Sobreposição de Nicho. 4. Poluição. 5. Avaliação Temporal. I. Campos de Paula, Joel, orient. II. Alves Pereira Lopes Filho, Erick, coorient. III. Título.

Eu dedico esta dissertação a todos os pesquisadores que estudam a brilhante área da Ficologia Marinha e que, apesar das dificuldades, permanecem lutando para que todos conheçam esses organismos.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a minha família, principalmente a minha mãe que chorou no telefone por saber que passei no processo seletivo do mestrado. O apoio da minha família foi fundamental para eu continuar na minha jornada acadêmica e ser a primeira pessoa da minha família a ter um diploma de mestrado.

A minha trajetória acadêmica não seria a mesma se eu não tivesse um orientador e amigo como o professor Dr. Joel Campos de Paula. Agradeço profundamente por ter me dado essa oportunidade e me ensinar a todo tempo a ser uma aluna e pessoa melhor. Não posso deixar de mostrar minha imensa gratidão ao Erick Alves Pereira Lopes Filho, o qual me incentivou e auxiliou o tempo todo para que eu seguisse a minha jornada e não me abalasse. Vocês são amigos para toda a vida.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos como Rafael Lukacheski, Fernanda de Andrea, Clarissa Naveira, Raíssa Vieira, Genes Neto, Danilo Carvalho, Juliana Magalhães, Ana Lannes por ter me ouvido em momentos críticos, ter me dado apoio emocional ou apenas por ter me ajudado na construção desta dissertação e nos meus planos acadêmicos futuros. Não posso deixar de agradecer também aos meus amigos de classe que fiz ao longo do mestrado e quero levar para a vida como Fernanda Silva e Kauan Fonseca. Vocês fizeram tudo se tornar mais leve e divertido.

Por fim, gostaria de agradecer a presença e avaliação da banca: Dr. Luciano Neves dos Santos, Dr. Roberto Campos Villaça, Dr. Paulo Cesar de Paiva e Dra. Valéria Laneuville Teixeira, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa, indispensável para a realização do mestrado, e fazer um agradecimento especial aos cientistas brasileiros por perdurarem em tempos de crise política-educacional e político-científica que, infelizmente, assola o país.

“Minha opinião é que, se a sua filosofia não é instável diariamente, então
você está cego para todo o universo que tem para oferecer.”

- Dr. Neil deGrasse Tyson

RESUMO

A estruturação de comunidades bentônicas em costões rochosos é influenciada por organismos com diferentes características funcionais e por fatores ambientais. As comunidades bentônicas foram observadas entre os anos de 2010 e 2015 em três localidades da Baía de Guanabara (BG): Praia Vermelha (PV), Praia de Boa Viagem (BV) e Ilha dos Lobos/Arquipélago de Paquetá (IL). Um transecto de doze metros foi usado na faixa inferior da região mesolitoral em cada localidade para a realização de amostras fotográficas sazonais com cinco quadrados de 30x30 cm posicionados aleatoriamente. As fotografias foram analisadas no programa Coral Point Count with Excel Extensions (CPCe) e a diversidade funcional (DF) foi calculada com o Índice de Rao no pacote FD (função dbFD) no programa R, sendo algas e invertebrados classificados em grupos funcionais (GFs). A relação entre os GFs foi investigada por meio da análise do modelo nulo no programa R (pacote EcoSimR). O conjunto de dados biológicos e ambientais foram analisados por testes como Kruskal-Wallis, “*k-means clustering*” e variância multivariada permutacional (PERMANOVA) para observar diferenças temporais e geográficas, assim como influência das variáveis ambientais. Quatorze GFs foram encontrados no total, no qual PV obteve a maior riqueza funcional e alguns GFs exclusivos, enquanto IL a menor riqueza funcional e a maior frequência de Biofilme Bacteriano, configurando um gradiente ambiental. Os GFs da entrada da baía sobrepueram seus nichos mais do que esperado por acaso, ao passo que houve a predominância de exclusão competitiva entre os GFs que ocorrem no interior da baía. Devido a menor influência de Folhosas Verdes na estrutura funcional da PV e BV, o outono foi estatisticamente diferente das demais estações. Destaca-se que, durante o ano 2, houve influência do fenômeno climático *La Niña* que pode ter refletido na estrutura funcional da PV tornando-o estatisticamente diferente dos demais anos. Variáveis ambientais como ortofosfato e nitrato apresentaram correlações significativas com os GFs da BV e IL enquanto irradiância média e pluviosidade foram correlacionadas com GFs da PV. Desta forma, ressaltamos que mudanças nas variáveis ambientais alteraram a estrutura funcional das comunidades marinhas da BG tanto espacialmente quanto temporalmente. Assim, após testar três diferentes recortes temporais, encontrou-se um padrão cíclico de mudanças na estrutura funcional da BG e um gradiente funcional foi registrado.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiversidade, Índice de Rao, Avaliação Temporal, Influência Abiótica, Sobreposição de Nicho, Poluição.

ABSTRACT

The structuring of benthic communities at rocky shores is influenced by organisms with different functional characteristics and environmental factors. The benthic communities were observed between the years 2010 and 2015 at three locations in Guanabara Bay (GB): Praia Vermelha beach (PV), Boa Viagem Beach (BV) and Ilha dos Lobos - Archipelago of Paqueta (IL). A twelve-meter transect was used in the lower fringe of the meso-littoral region at each location for the realization of seasonal photographic samples with five squares of 30x30 cm randomly positioned. The photographs were analyzed using the software Coral Point Count with Excel Extensions (CPCe) and the functional diversity (FD) was calculated using the Rao Index in the FD package (dbFD function) at the R program, with algae and invertebrates classified into functional groups (FGs). The relationship between the FGs was investigated by analyzing the null models in the R program (EcoSimR package). The biological and environmental data sets were analyzed by tests such as Kruskal-Wallis, k-means clustering and permutational multivariate variance (PERMANOVA) to observe temporal and geographical differences, as well as the influence of environmental variables. Fourteen FGs were found in total, in which PV obtained the highest functional richness and some exclusive FGs, while IL had the lowest functional richness and the highest frequency of Bacterial Biofilm, configuring an environmental gradient. The FGs at the entrance of the bay overlapped their niches more than expected by chance, while there was a predominance of competitive exclusion among the FGs that occurred inside the bay. Due to the lesser influence of green sheet algae on the functional structure of PV and BV, autumn was statistically different from other seasons. It is noteworthy that, during second year, there was an influence of the climatic phenomenon *La Niña*, which may have reflected on the functional structure of PV making it statistically different from other years. Environmental variables such as orthophosphate and nitrate showed significant correlations with the FGs of BV and IL while mean irradiance and rainfall were correlated with FGs of PV. Thus, we emphasize that changes in environmental variables altered the functional structure of GB's marine communities both spatially and temporally. After testing three different time frames, a cyclical pattern of changes in the functional structure of GB was found and a functional gradient was recorded.

KEYWORDS: Biodiversity, Rao Index, Temporal Assessment, Abiotic Influence, Overlap Niche, Pollution.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
I) COSTÕES ROCHOSOS	1
II) DIVERSIDADE FUNCIONAL E O AMBIENTE MARINHO	2
III) BAÍA DE GUANABARA	5
OBJETIVOS	7
HIPÓTESES	7
MATERIAIS & MÉTODOS	8
ÁREA DE ESTUDO	8
AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE DADOS	10
RESULTADOS	14
RIQUEZA FUNCIONAL	14
ESTRUTURA FUNCIONAL	17
VARIÁVEIS AMBIENTAIS COMO DESCRITORES DOS GRUPOS FUNCIONAIS NA BAÍA DE GUANABARA	27
DISCUSSÃO	29
CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

INTRODUÇÃO

I) COSTÕES ROCHOSOS

Costões rochosos são ambientes amplamente estudados ao redor do mundo pela sua importância econômica, turística e ambiental (Anfuso *et al.* 2017, Ferreira *et al.* 2017, Longo *et al.* 2019). A grande heterogeneidade espacial conferida pelos diferentes tamanhos e tipos de substratos rochosos, junto com fatores abióticos, influenciam na grande diversidade biológica e produtividade (McGuinness and Underwood 1986). Comunidades que habitam esses ecossistemas são suscetíveis a perturbações como poluição orgânica, pisoteamento e soterramento pelo seu caráter transicional entre ambiente marinho e terrestre (Balata *et al.* 2007, Ferreira and Rosso 2009, Caldeira *et al.* 2017). Tais perturbações podem ter efeitos severos em organismos bentônicos devido à sua pouca ou nenhuma mobilidade e ao complexo ciclo de vida com estágios larvais e sésseis da maioria das espécies (Jackson 1977, Coll *et al.* 2010). Desta forma, costões rochosos apresentam diversos invertebrados bentônicos e macroalgas que podem ser utilizados como sentinelas ambientais de qualidade de água pela sua resistência à impactos antrópicos como macroalgas (Portugal *et al.* 2017) e cracas (Dias *et al.* 2017, Puga *et al.* 2019), ou sua sensibilidade a poluentes como macroalgas (García-Seoane *et al.* 2019, Huerta-Diaz *et al.* 2007).

Além de distúrbios antrópicos, fatores naturais (*i.e.* irradiação, pluviosidade, ação de ondas, exposição aérea etc.) também podem acarretar mudanças em comunidades bentônicas (Raffo *et al.* 2014, Gaspar *et al.* 2017). Como exemplo, a constante variação de imersão e emersão no qual os organismos bentônicos de região entre marés estão submetidos faz com que filtradores (ex: bivalves) sejam bastante frequentes nas comunidades (Coutinho 2002). Em contrapartida, a zona infralitoral e a faixa inferior da zona mesolitoral dos costões rochosos apresentam-se submersas durante a maior parte do tempo, sendo fisiologicamente menos estressantes para os organismos (Pfaff and Nel 2018). Portanto, maior quantidade de interações bióticas, melhores taxas de crescimento e eficiência reprodutiva, bem como maior riqueza de espécies são comuns destas áreas (Pfaff and Nel 2018). Assim, a presença de grupos como macroalgas, anêmonas, gastrópodes, briozoários possuem grande importância ecológica, influenciando a estruturação da comunidade por meio da predação ou competição por espaço (Bell *et al.* 2015, Escobar *et al.* 2018).

Estudos em costões rochosos, especialmente monitoramentos, são realizados com frequência por meio de métodos destrutivos (Beisiegel *et al.* 2017). No entanto, devido ao aperfeiçoamento da tecnologia, alguns procedimentos tornaram-se viáveis e facilitaram a coleta de dados por pesquisadores nesses ecossistemas. A amostragem fotográfica é uma metodologia utilizada amplamente no Brasil e no mundo para diversos organismos bentônicos (Parravicini *et al.* 2009, Deter *et al.* 2012, Santos *et al.* 2015, Miranda *et al.* 2018), que permite minimizar danos causados por coletas destrutivas a longo prazo e evitar interferência nos resultados de estudos que apresentam coletas sucessivas (Gomes *et al.* 2018). Contudo, esse procedimento apresenta ressalvas como a dificuldade na identificação de organismos diminutos em costões rochosos e com baixa ocorrência no local de estudo (Beisiegel *et al.* 2017). Esses impasses podem ser amenizados com o conhecimento prévio da biota que ocupa a área de estudo e registros dos organismos com menor ocupação no costão rochoso (Parravicini *et al.* 2009, Howell *et al.* 2014).

A elucidação acurada de mudanças que ocorrem em comunidades de costões rochosos necessita de estudos de monitoramento, certificando se há possíveis causas antrópicas ou naturais para a dinâmica da comunidade (Rindi and Guiry 2004, Caldeira *et al.* 2017). Trabalhos de acompanhamento a longo prazo que monitorem as variações temporais dessas comunidades marinhas contribuem na avaliação ecológica do processo de sua estruturação, por meio da observação de fatores ambientais ou interações biológicas que nelas interfiram de modo vagaroso ou sutil (Kinzie 2008).

II) DIVERSIDADE FUNCIONAL E O AMBIENTE MARINHO

O estudo do ecossistema marinho por meio da morfologia e da ecologia das macroalgas teve início na década de 1930 (Bokenham and Stephenson 1938), culminando com o trabalho de Mark Littler e Diane Littler na década de 1980 e a pesquisa de Robert Steneck e Megan Dethier na década de 1990. Desde então, com a inclusão de índices ecológicos ao tema, diversos trabalhos foram publicados relacionando a morfologia das macroalgas com a qualidade ambiental (Orfanidis *et al.* 2011; Portugal *et al.* 2017; Caldeira *et al.* 2017), estrutura da comunidade (Gómez *et al.* 2019; Bustamante *et al.* 2014; Gaspar *et al.* 2017) e produção primária (Jänes *et al.* 2016). Apesar de ser amplamente discutida e analisada ao redor do mundo, a DF de macroalgas marinhas no Brasil ainda apresenta

lacunas de informações acerca da influência da morfologia das espécies de macroalgas para o funcionamento dos costões rochosos da costa brasileira.

Dentre as diferentes perspectivas consideradas para investigar costões rochosos, a Diversidade Funcional (DF) é bastante utilizada por pesquisadores para compreensão da complexidade ecológica de um ecossistema por meio de atributos funcionais dos organismos existentes na região (Cianciaruso *et al.* 2009). De acordo com Díaz e colaboradores (2013), atributos funcionais de organismos são características morfológicas, bioquímicas, fisiológicas, fenológicas ou comportamentais que são expressas no fenótipo do indivíduo e são consideradas relevantes para a resposta ou o efeito deste organismo nas funções e nos serviços ecossistêmicos. Existem diversos índices utilizados para analisar a redundância, divergência ou convergência desses atributos em um ecossistema (Petchey and Gaston 2006, Cianciaruso *et al.* 2009). A entropia quadrática de Rao é considerada um índice de simples compreensão pois é a generalização do tradicional índice de diversidade de Simpson, levando em consideração a abundância das espécies (Rao 1982, Botta-Dukát 2005). Desta forma, o índice calcula a soma da dissimilaridade dos atributos funcionais entre duas espécies, multiplicando pela abundância de cada (Bello *et al.* 2007). Isto é, pode ser interpretado como a proporção da influência de cada grupo funcional na estruturação do ecossistema, podendo ser estimado com diferentes medidas de dissimilaridade funcional entre espécies (ex. porcentagem de cobertura, biomassa, riqueza) (Petchey and Gaston 2006).

Macroalgas e invertebrados bentônicos marinhos apresentam funções ecológicas importantes para o funcionamento do ecossistema e são delimitados na literatura em grupos funcionais que refletem mudanças no ambiente devido às condições abióticas e/ou bióticas (Caldeira *et al.* 2017, Gaspar *et al.* 2017, Watson *et al.* 2018). Neste sentido, macroalgas marinhas podem ser classificadas de acordo com a sua morfologia (*i.e.*, corticadas, folhosas etc.), estágio de sucessão (*i.e.* oportunista, ou espécie de clímax), velocidade de crescimento e tamanho (Steneck and Dethier 1994, Gómez and Huovinen 2011, Gaspar *et al.* 2017). Essas características funcionais influenciam a dinâmica da comunidade bentônica por meio da disponibilidade de área para possível assentamento de larvas e propágulos, abrigo para diversos invertebrados, sombreamento de outras algas e a heterogeneidade de habitat (Teixeira and Jorge 2001, Bulleri *et al.* 2002, Martins *et al.* 2016). Considerando os invertebrados bentônicos, estratégia para alimentação (*i.e.*, filtrador, raspador, predador,

etc.), mobilidade e/ou grau de fixação no substrato e tamanho são atributos funcionais amplamente utilizados para avaliação da DF de um ecossistema (Bustamante *et al.* 2014, Liu *et al.* 2019). Como consequência, a presença destes grupos funcionais na comunidade interfere no fluxo de material particulado e nutrientes dissolvidos e no controle populacional de macroalgas por meio da herbivoria (Barbosa *et al.* 2019, Janas *et al.* 2019).

Diferentes estratégias de sobrevivência e funções ecológicas das macroalgas foram geradas devido à grande diversidade de formatos de talos e respostas metabólicas que surgiram ao longo da evolução destes organismos (Littler and Littler 1980). Desta forma, sugeriu-se a formação de uma conexão entre a forma da macroalga e sua função ecológica. A título de exemplo, espécies dos gêneros *Ulva* (folhosa) e *Cladophora* (filamentosa) seriam consideradas espécies oportunistas por possuírem maior imprevisibilidade temporal e espacial, colonizarem e crescerem de forma rápida e possuírem talos simples, pequenos e de pouca diferenciação morfoanatômica (Littler and Littler 1980; Steneck and Dethier 1994). Estas estratégias de sobrevivência supostamente gerariam tanto ônus (ex: alta mortalidade, desvantagem na competição por luz frente as algas com talos grandes e frondosos, maior susceptibilidade à herbivoria, maior perda de água quando exposta ao ar devido à alta razão área/volume, menor tolerância à fricção por partículas de sedimento e forças de ondas) quanto benefícios para a macroalga (ex: alta produtividade, maior absorção de nutrientes pela alta razão área/volume, grande probabilidade de ser eurítípico por não ser fisiologicamente especializado, contínua e elevada taxa de produção de estruturas reprodutivas) (Littler and Littler 1980). O balanço do custo-benefício das estratégias de sobrevivência das algas oportunistas supracitadas faz com que estas espécies sejam comuns em ecossistemas afetados por distúrbios antrópicos, os quais permaneceriam no estágio pioneiro de sucessão ecológica (Borowitzka, 1972).

Em contraste, macroalgas perenes apresentam características mais complexas como talo diferenciado morfoanatomicamente, elevada biomassa e baixa razão área/volume, ciclo de vida longo, baixa produtividade primária e palatabilidade reduzida por causa da complexidade estrutural e/ou defesa química (Steneck and Dethier 1994; Littler and Littler 1980). Por sua vez, essas características compõem estratégias de sobrevivência no qual os benefícios para a macroalga incluem o aumento da capacidade competitiva por luz e espaço, maior resistência a distúrbios mecânicos e diminuição de perda de água pela baixa razão área/volume (Littler and Littler 1980), embora essas especializações de uso dos recursos

locais deixem esse tipo de alga menos tolerante à distúrbios antrópicos, como poluição (Borowitzka, 1972).

III) BAÍA DE GUANABARA

Circunscrita geograficamente por sete municípios, a Baía de Guanabara (BG) é uma das áreas costeiras mais estudadas no estado do Rio de Janeiro e é influenciada por numerosos fatores naturais e antrópicos (Soares-Gomes *et al.* 2016). O seu formato semicircular abrange uma área de 384 km² (Kjerfve *et al.* 1997) com diversos ecossistemas como manguezais, costões rochosos, praias arenosas, dentre outros (Valentin *et al.* 2018). Apesar de se localizar na província temperada quente (Spalding *et al.* 2007), recebe águas de características tropicais provenientes da Corrente do Brasil e, ocasionalmente, ocorre a intrusão de águas derivadas da corrente Água Central do Atlântico Sul (ACAS) durante os períodos de janeiro e fevereiro (Paranhos and Mayr 1993). Além disso, recebe um fluxo de água doce proveniente do desague de 50 rios da bacia hidrográfica da BG, conferindo as características estuarinas do local (Amador 1997). Outros fatores de grande importância na qualidade da água na baía são as variações de maré (média de 0.7 m) e pluviosidade, a qual tem comportamento sazonal e apresenta maiores médias entre setembro e maio (Mello *et al.* 2018). Devido à elevada densidade demográfica na região metropolitana do Rio de Janeiro e ao o parque industrial que a circunda, o despejo de esgoto *in natura* na BG a torna um ambiente profundamente impactado e fragilizado (Soares-Gomes *et al.* 2016), sendo um dos sistemas costeiros mais degradados do mundo (Menconi *et al.* 2012, Cotovicz *et al.* 2016). As interferências antrópicas somadas as características abióticas locais, tais como variação de salinidade, temperatura e insolação, podem influenciar na biodiversidade e estruturação das comunidades bentônicas marinhas e afetar a fisiologia e ocorrência dos organismos destas comunidades (Kim *et al.* 2014, Bertocci *et al.* 2017). Tais características influenciam direta e indiretamente os organismos de um dos principais biótopos que formam a baía, os costões rochosos.

A Baía de Guanabara apresenta extensa literatura com relação a presença de organismos bentônicos coletados por meio de métodos destrutivos (ex: Taylor 1930, Oliveira *et al.* 1953, Yoneshigue-Braga 1970, 1971, Taouil and Yoneshigue-Valentin 2002, Breves-Ramos *et al.* 2005, Menconi *et al.* 2012, Camargo *et al.* 2017, De Paula *et al.* 2020). No entanto, poucos trabalhos publicados utilizaram características funcionais desses organismos ou discutiram a influência desses grupos para o dinâmica de comunidades em costões

rochosos na BG, salvo pesquisas realizadas por Teixeira and Jorge (2001), Xavier e colaboradores (2008), Junqueira e colaboradores (2018) e Neves e colaboradores (2012).

Padrões de sazonalidade são comumente observados em ambientes marinhos do hemisfério norte (Bishop *et al.* 2006, Hubas and Davoult 2006), devido as marcadas estações do ano. Apesar da fraca sazonalidade em ambientes tropicais, certas espécies estudadas na baía apresentaram variações sazonais em sua densidade como o fitoplâncton (Tenenbaum *et al.* 2018) e mesozooplâncton (Valentin *et al.* 2018b), acompanhando mudanças sazonais na concentração de clorofila com aumento durante verões chuvosos e temperatura e salinidade ao longo outono e o inverno. Além das estações, outras duas categorias são utilizadas de modo regular para avaliação de assembleias na baía em relação a pluviosidade: períodos secos (inverno-primavera), com maior influência de águas costeiras, e chuvosos (outono-verão), onde há maior entrada de águas provenientes de rios (Kjerfve *et al.* 1997; Pessoa *et al.* 2019; Silva-Junior *et al.* 2019). No entanto, ainda não foram registradas tendências sazonais e interanuais em organismos bentônicos de costões rochosos na BG.

Considerando o vasto conhecimento sobre espécies bentônicas de substrato consolidado adquirido nas últimas décadas na BG, o emprego de metodologias despadronizadas e trabalhos realizados de forma descontínua, ou com intervalos grandes em relação aos anteriores (Puga *et al.* 2019), a área foi incluída no Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) e na rede mundial “*International Long Term Ecological Research Program*” (ILTER) em 2010 (Valentin *et al.* 2018). O PELD é um projeto de monitoramento governamental, subsidiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para o entendimento de padrões, mudanças e processos ecológicos em diversos ecossistemas (Ministério da Educação 2020). Desta forma, fez-se possível o estudo da variabilidade e resiliências desses ecossistemas da BG frente aos impactos antropogênicos (ex. derramamento de esgoto e óleo, despejo de lixo, pisoteamento etc.) e naturais (ex. fenômenos climáticos como *El Niño* e *La Niña*, mudanças climáticas mundiais).

Em resumo, considerando a literatura pretérita da Baía de Guanabara, assume-se que há mudanças nos organismos que constituem a comunidade entremarés e, conseqüentemente, na estrutura desta comunidade, derivadas de alterações abióticas no local. Cabe salientar que, até o presente momento, ainda não fora utilizado índices de diversidade funcional para macroalgas e invertebrados marinhos nesta localidade. Além

disso, há ausência de pesquisas a longo prazo para monitoramento da Baía de Guanabara com a aplicação da amostragem fotográfica não-destrutiva em substratos consolidados e a associação de variáveis ambientais, os quais poderiam fornecer importantes dados para o entendimento da atual qualidade ambiental das águas da Baía de Guanabara.

OBJETIVOS

Descrever a estrutura funcional da comunidade bentônica da região entre marés dominada por macroalgas de três localidades da Baía de Guanabara, utilizando o índice de Rao com dados originados de amostragens fotográficas.

Avaliar se há padrões de sazonalidade e diferenças entre os anos amostrais na diversidade funcional das comunidades bentônicas da região entre marés da Baía de Guanabara.

Analisar possível influência de dados ambientais na proporção dos grupos funcionais da comunidade bentônica da região entre marés de três localidades da Baía de Guanabara durante cinco anos.

HIPÓTESES

As estruturas das comunidades associadas as macroalgas nas três localidades não se alteraram significativamente ao longo de cinco anos, nem mesmo sazonalmente.

Há um gradiente de grupos funcionais que diminui em direção ao interior da Baía de Guanabara, o qual pode ser demonstrado pela Diversidade Funcional.

Fatores ambientais, como irradiação, temperatura e concentração de nitrato e ortofosfato, são determinantes na estruturação da comunidade bentônica nas três localidades da Baía de Guanabara.

Espécies de macroalgas com talos simples e pouco diferenciados aumentarão sua importância em direção a ambientes mais degradados corroborando a literatura.

MATERIAIS & MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A faixa da região entre marés dominada por macroalgas das localidades na Baía de Guanabara (BG) para onde há a maior riqueza destes organismos na literatura (Yoneshigue-Valentin *et al.* 2012) foram revisitadas para este trabalho. A Praia Vermelha (PV - cidade do Rio de Janeiro - 22°57'23.4"S 43°09'51.6"W) na entrada da baía, Boa Viagem (BV- cidade de Niterói - 22°54'35.9"S 43°07'48.2"W) no canal de entrada e Ilha dos Lobos (IL - Arquipélago de Paquetá, pertencente a cidade do Rio de Janeiro 22°45'46.9"S 43°06'06.9"W) no interior da baía (Fig. 1).

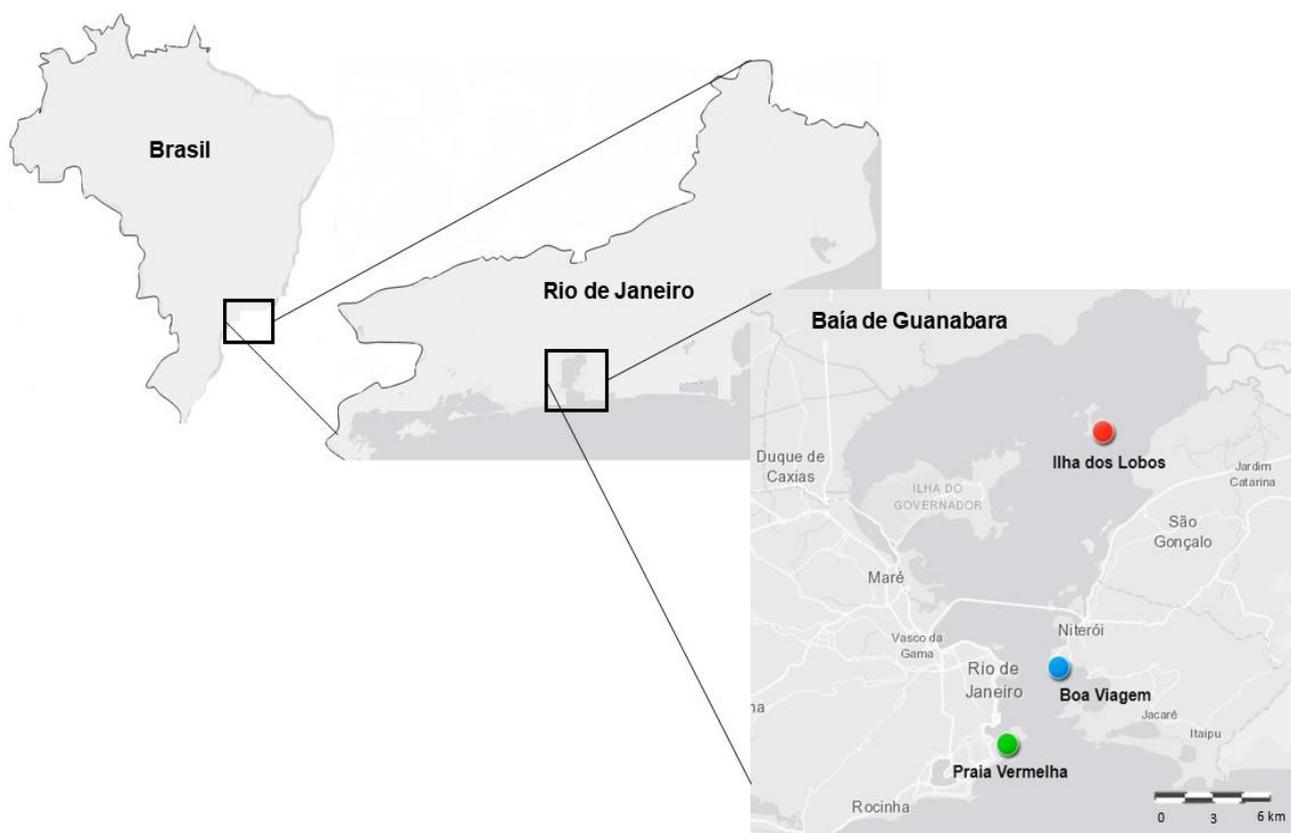


Figura 1: Localização da Baía de Guanabara e os três pontos de coleta: Praia Vermelha, Boa Viagem e Ilha dos Lobos – Arquipélago de Paquetá.

A Praia Vermelha está localizada na entrada da BG, contendo muita dinâmica e fortes correntes (Clemente *et al.* 2015). A praia tem 2.580 metros de extensão e é delimitada por dois costões rochosos: à esquerda pelo complexo Pão de Açúcar e à direita pelo morro da

Babilônia (Silva *et al.* 2016; Rodrigues-Barreto *et al.* 2017). A amostragem ocorreu no costão rochoso direito que possui topografia mais acentuada (entre 45° e 60°). A localidade é mais exposta do que a praia de Boa Viagem recebendo ondas do sudoeste, mas seu perfil é estável apesar da variação sazonal moderada e os sedimentos são compostos por areia grossa (Silva *et al.* 2016; Rodrigues-Barreto *et al.* 2017). Apesar de Omena e colaboradores (2012) classificarem a Praia Vermelha como moderadamente degradada, a praia não tem restrição para banho ou pesca durante todo o ano (Rodrigues-Barreto *et al.* 2017). Isso é confirmado pela classificação anual da qualidade da água da Praia Vermelha: ótima em 2010 e boa em 2011, 2012 e 2013 segundo os parâmetros de coliformes fecais e *Enterococcus* spp. do Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

Boa Viagem está localizada na enseada de Icaraí, que se situa no setor externo, e tem cerca de 600m de extensão entremeada por pedregulhos, na qual é limitada por suas extremidades pelo tombolo de Boa Viagem que liga a praia à Ilha de Boa Viagem e por uma falésia (Taouil and Yoneshigue-Valentin 2002; Silva *et al.* 2016). A amostragem é realizada na Ilha de Boa Viagem. A praia está moderadamente exposta à ação das ondas - especialmente em ondas de tempestade - e os sedimentos são compostos por areia fina a média (Taouil and Yoneshigue-Valentin 2002; Silva *et al.* 2016). Nos locais de amostragem deste estudo, a praia de Boa viagem é a mais estudada sobre os efeitos da poluição na assembleia de macroalgas (ex. Carneiro *et al.* 1987, Teixeira *et al.* 1987, Teixeira and Jorge 2001, Taouil and Yoneshigue-Valentin 2002, Lourenço *et al.* 2006), em que foi considerado moderadamente degradado.

A operação do emissário submarino Icaraí de esgoto começou em 1999 e tem reduzido a poluição sólida (visual) local e melhorado a qualidade da água do mar para uso recreativo (Valentin *et al.* 1999, Lourenço *et al.* 2006). Lourenço e colaboradores (2006) estudaram o nitrogênio tecidual e o fósforo de algas marinhas da praia de Boa Viagem por mais de uma década (1997-2004). Os autores concluíram que os níveis de nitrogênio e fósforo das algas marinhas combinavam com um ambiente hipereutrófico, no qual todas as espécies estavam permanentemente saturadas com nitrogênio e não havia limitação de fósforo, mesmo após o emissário de esgoto submarino entrar em operação. Além disso, um vazamento de óleo do petroleiro das Bahamas *Saga Mascot* em 2005 liberou dois milhões de litros de combustível que afetou Boa viagem e atingiu o nordeste da BG (Omena *et al.* 2012). Recentemente, alguns autores relataram que a praia de Boa Viagem recebe grande quantidade de resíduos sólidos e entulhos plásticos (Baptista Neto and Fonseca 2011, Carvalho and Neto 2016). A

classificação anual da qualidade da água da praia de Boa Viagem foi boa em 2010, péssima em 2011 e ruim em 2012 e 2013 segundo parâmetros de coliformes fecais e *Enterococcus* spp. do Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

O terceiro local de amostragem fica na parte sul da Ilha dos Lobos, que é uma pequena ilha desabitada composta por um afloramento coberto por vegetação e localizada em frente à praia dos Tamoios da Ilha de Paquetá. O arquipélago de Paquetá está situado no setor interno e é composto pela ilha principal, Paquetá, várias ilhotas e rochas de tamanhos e formatos variados (Chaves *et al.* 2018). O arquipélago é uma região polialina a mesohalina (Oliveira 1947) por estar no limite norte do canal principal de circulação de água, o que permite alguma influência da água marinha e dos rios que desaguam na GB (Laut *et al.* 2011, Chaves *et al.* 2018). Segundo Paranhos and Andrade (2012) o arquipélago de Paquetá é o limite norte de melhor qualidade da água devido ao canal central. No entanto, o arquipélago é caracterizado como uma área muito poluída com baixa hidrodinâmica que se reflete no sedimento (composto por lodo fino / muito fino) e praias abrigadas que recebem uma grande quantidade de detritos plásticos (Laut *et al.* 2011, Martins *et al.* 2016, Silva *et al.* 2016, Soares-Gomes *et al.* 2016). Não há estudos de bioacumulação no arquipélago de Paquetá (Moraes *et al.* 2012), mas há um gradiente horizontal de contaminação por metais traço da parte noroeste (níveis mais altos) para a parte leste (níveis mais baixos) na Área de Proteção Ambiental de Guapimirim (Abreu *et al.* 2016, Martins *et al.* 2016) devido ao manguezal que pode influenciar as condições da água no arquipélago de Paquetá (Soares-Gomes *et al.* 2016, Chaves *et al.* 2018). A classificação anual da qualidade da água na praia dos Tamoios foi regular em 2010, péssima em 2011 e ruim em 2012 e 2013 segundo parâmetros de coliformes fecais e *Enterococcus* spp. do Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE DADOS

As amostragens foram realizadas sazonalmente entre os anos 2010 e 2015 em períodos de maré baixa. Na faixa inferior (região dominada por algas) da zona entre marés do costão rochoso de cada localidade, foi colocado um transecto de dez metros, sobre o qual cinco pontos foram sorteados aleatoriamente para as amostragens. Cinco fotografias foram feitas com uma câmera (Canon PowerShot D20 com 12.1 megapixels) e um quadrado de poli cloreto de vinila (PVC) com 900 cm². Para auxiliar a identificação fotográfica das espécies de macroalgas foram coletados alguns poucos espécimes. As fotografias foram

analisadas no programa Coral Point Count with Excel Extensions (CPCe) (Kohler and Gill 2006) com 50 pontos aleatórios para verificação da cobertura dos organismos. O *software* foi ajustado para que as identificações da fauna e flora locais fosse possível por meio das fotografias e assim gerar registros percentuais de sua cobertura. A fim de atenuar efeitos de pseudoreplicação espacial nos resultados obtidos pelas fotografias, o transecto foi considerado a unidade de experimento por meio da média de cobertura de cada organismo que ocupava os cinco quadrados fotografados em cada estação do ano e localidade (Millar and Anderson 2004).

As macroalgas e invertebrados bentônicos encontrados nas fotografias foram categorizados em grupos funcionais de acordo com a literatura (Steneck and Dethier 1994; Bustamante *et al.* 2014; Liu *et al.* 2019) (Tabela Suplementar 1), os quais foram denominados aqui como **grupos funcionais abrangentes**. As características morfológicas das macroalgas foram combinadas de acordo com seus respectivos filos, nomeado aqui como **grupos funcionais específicos** (Tab. 1). Este nível específico se fundamenta na origem filogenética dos táxons envolvidos uma vez que “alga” é um termo artificial para organismos distantemente relacionados cuja semelhança reside em morfologia simples e capacidade fotossintética (Raven *et al.* 1996). As algas verdes e vermelhas, embora pertençam ao reino Plantae (e, por isso, são originárias da linhagem cujo cloroplasto é fruto de endossimbiose primária), divergiram há mais de um bilhão de anos (Gibson *et al.* 2017). As algas pardas, pertencentes ao reino Chromista, são resultado de uma linhagem cujo cloroplasto é fruto de endossimbiose secundária, tendo ocorrido sua divergência há cerca de 200 milhões de anos (Silberfelt *et al.* 2010).

Portanto, a convergência morfológica (ex: algas verdes filamentosas, algas vermelhas filamentosas e algas pardas filamentosas) mascara a longa trajetória evolutiva com distintas adaptações e formas de explorar os recursos, pois diferentes espécies, complementares no uso dos diferentes recursos (Bracken and Stachowicz 2006; Roleda and Hurd 2019), ocupam nichos ecológicos complementares, e isso deve ter íntima relação com sua origem filogenética. Além disto, no papel de produtores primários, os diferentes filos de macroalgas constituem uma oferta nutricional diferenciada, como exposto por Lourenço e colaboradores (2001), para o conteúdo de aminoácidos.

Tabela 1: Categorias de grupos funcionais utilizados para análise da Diversidade Funcional e exemplos de táxons que representem cada categoria.

Grupos Abrangentes	Grupos Específicos	Táxon
Folhosas	Folhosa Verde	<i>Ulva rigida</i> C.Agardh
Filamentosas	Filamentosa Verde	<i>Cladophora vagabunda</i> (Linnaeus) Hoek
	Filamentosa Vermelha	<i>Centroceras gasparrinii</i> (Meneghini) Kützing
	Filamentosa Parda	<i>Feldmannia mitchelliae</i> (Harvey) H.- S.Kim
	Corticada Vermelha	<i>Gymnogongrus griffithsiae</i> (Turner) C.Martius
Corticadas	Corticada Parda	<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès & Solie
	Crostosa Vermelha	<i>Hildenbrandia rubra</i> (Sommerfelt) Meneghini
Crostosa	Crostosa Parda	<i>Neoralgsia expansa</i> (J.Agardh) P.-E.Lim & H.Kawai ex Cormaci & G.Furnari
	Crostosa Calcárea Vermelha	-
Calcáreas Articuladas	Calcáreas Articuladas Vermelhas	<i>Amphiroa beauvoisii</i> J.V.Lamouroux
Filtrador	Filtrador	<i>Amphibalanus amphitrite</i> Darwin, 1854
Raspador	Raspador	<i>Fissurella clenchi</i> Pérez Farfante, 1943
Predador	Predador	<i>Diadumene lineata</i> (Verrill, 1869)
Biofilme Bacteriano	Biofilme Bacteriano	Cianobacterias

O índice de DF aplicado foi a Entropia Quadrática de Rao (Rao 1982) por meio do programa R com o pacote FD (função dbFD). Com os valores do índice de Rao, a abordagem de sobreposição de nichos do modelo nulo foi utilizada com o Índice de Czekanowski para avaliar se o padrão de sobreposição de nicho observado é maior ou menor do que o esperado ao acaso (Gotelli and Graves 1996). A análise foi realizada no programa R com o pacote EcoSimR (algoritmo de randomização – RA3) e observou-se a significância da sobreposição de nicho (*i.e* espaço) entre os grupos funcionais de maior influência na estruturação funcional da comunidade da BG como um todo e em cada localidade. Além disso, foi

realizado uma ordenação por análise multidimensional não métrica (nMDS) por meio do programa PRIMER para avaliação da estrutura das comunidades funcionais da BG e de cada localidade. Também foi feito no mesmo programa, uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) para testar a hipótese nula de que não há diferença entre as estações do ano e os anos amostrais nas três localidades em termos de Diversidade Funcional. Nesta análise foram incluídos dois termos fixos, estações do ano (quatro níveis: Inverno, Primavera, Verão, Outono) e anos (cinco níveis: 1, 2, 3, 4, 5), em um *design* de um fator baseado nas dissimilaridades de Bray-Curtis, utilizando 999 permutações aleatórias de resíduos sob uma permutação irrestrita de dados brutos usando somas de quadrados tipo III (parcial). Em seguida, a análise de porcentagens de similaridade (SIMPER) foi feita para observar quais são os principais grupos funcionais que contribuíram para a dissimilaridade entre as estações do ano e os anos amostrais. Também foi avaliada as diferenças entre os valores do Índice de Rao de cirripédios mortos por meio do Teste de Kruskal-Wallis no programa SigmaPlot (v.11) e uma análise de regressão linear foi realizada no Excel com a média dos valores do Índice de Rao entre os grupos funcionais invertebrados e macroalgas.

Com a finalidade de avaliar a correlação entre o ambiente e os organismos estudados, as seguintes variáveis ambientais foram coletadas e analisadas: pluviosidade acumulada (1 semana, 2 semanas, 1 mês e 2 meses antes da data da coleta), irradiância média (1 semana, 2 semanas, 1 mês e 2 meses antes da data da coleta), período seco e chuvoso (Fistarol *et al.* 2015), temperatura da superfície da água (data da coleta) e concentração de clorofila a, nitrato e ortofosfato (data da coleta). Vale ressaltar que foi realizada uma análise de correlação entre os períodos de pluviosidade acumulada e irradiância média antes da coleta e foram escolhidos os períodos com menor correlação, a fim de evitar a colinearidade. Dados de pluviosidade (mm) e insolação (kJ/m^2) foram retirados da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para estação meteorológica Forte de Copacabana (A652) enquanto temperatura da superfície da água ($^{\circ}\text{C}$), clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) e ortofosfato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) foram cedidas pelo Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), participante do PELD. Vale ressaltar que a variável irradiância média foi calculada por meio da média dos dados horários (UTC) da radiação solar na estação A652 entre 11:00h e 16:00h. Tal horário foi escolhido a fim de evitar possíveis erros na detecção da radiação solar durante o acionamento e desligamento do aparelho, além destes horários representarem o período de maior radiação solar durante o dia.

As medidas das variáveis ambientais foram submetidas uma a uma à análise “*K-means clustering*” por meio do programa STATISTICA v.7, no qual foi realizada a formação de dois grupos com menor variância interna e estatisticamente significativos (um grupo com as maiores médias e outro com as menores médias). Esta análise foi feita com 10 iterações e com o centro inicial dos grupos formado pelas observações que maximizem a distância inicial entre os dois grupos. Em seguida, os grupos formados pela análise “*K-means clustering*” foram utilizados com o conjunto de dados biológicos (Diversidade Funcional) nas análises Teste T de Student, quando os dados biológicos apresentavam distribuição normal, e Teste U de Mann Whitney, quando os dados não apresentavam o pressuposto da normalidade. Estes cálculos foram executados no programa Sigma Plot (v.11). Por fim, uma PERMANOVA foi feita para testar a hipótese nula de que não há diferença na DF nas comunidades na BG em termos de variáveis ambientais selecionadas. Foi utilizado um *design* de um fator baseado nas dissimilaridades de Bray-Curtis, utilizando 999 permutações aleatórias de resíduos sob uma permutação irrestrita de dados brutos usando somas de quadrados tipo III (parcial). Nesta análise foram incluídos dois termos fixos no qual foram intercaladas todas as variáveis ambientais com dois níveis (máximo e mínimo). Por exemplo, pluviosidade acumulada de duas semanas antes da coleta (dois níveis: períodos de maior e menor pluviosidade) e irradiância média duas semanas antes da coleta (dois níveis: períodos de maior e menor irradiância média).

RESULTADOS

RIQUEZA FUNCIONAL

Foram registrados nove grupos funcionais abrangentes e 14 grupos específicos. Quando considerados grupos funcionais abrangentes, não houve diferença na riqueza de grupos funcionais, pois todos os grupos já foram registrados ao menos uma vez em cada localidade no recorte temporal analisado. Desta forma, todas as análises seguintes foram feitas considerando apenas os grupos funcionais específicos. Na comunidade localizada na entrada da BG foram registrados 14 grupos funcionais específicos, enquanto na comunidade localizada no canal e no interior da baía foram registrados onze e dez grupos funcionais, respectivamente. Os grupos funcionais do filo Ochrophyta (*i.e.* Filamentosas, Corticadas e Crostosas Pardas) e o predador *Stramonita haemastoma* Linnaeus, 1767 foram registrados, por meio de amostras fotográficas, apenas na entrada da BG. Contudo, todos os grupos

funcionais específicos restantes ocorreram em todas as áreas da baía com espécies variadas em cada localidade. Apesar da entrada da baía obter a maior quantidade total de grupos funcionais, a mediana desses grupos foi maior no canal da baía e não houve diferença estatística entre as três localidades em relação a riqueza funcional (Tab. 2).

Tabela 2: Riqueza Funcional, Mediana, Desvio Padrão e Quartis (25% e 75%) de cada localidade amostrada na Baía de Guanabara.

Localidade	Riqueza Funcional	Mediana	Desvio Padrão	25%	75%
Praia Vermelha	14	6	3,06	3	9
Boa Viagem	11	6,5	1,09	6	7
Ilha dos Lobos	10	6	1,33	5	7

A entrada da baía foi o local que apresentou as maiores variações de número de grupos funcionais registrados (Desvio Padrão – 3,06), onde a menor riqueza funcional foi registrada durante os invernos dos quatro primeiros anos amostrais (Fig. 2A). Estas épocas foram marcadas com o aumento da influência das folhosas verdes, culminando com a dominância completa deste grupo durante o inverno do terceiro ano amostral. Ressalta-se que não há amostras referentes ao outono do primeiro ano amostral devido a complicações climáticas durante a coleta.

A quantidade de grupos funcionais nas localidades de BV e IL pareceu acompanhar as variações temporais e houve aumento ou manutenção da riqueza funcional durante primavera-verão dos quatro primeiros anos em BV e o mesmo para IL nos anos 1, 2, 3 e 5 (Fig. 2B e 2C). Nestas localidades, houve menor variação na quantidade de grupos funcionais entre as estações dos anos, ou seja, maior permanência desses ao longo do tempo. O quarto ano amostral pareceu atípico pois a riqueza funcional foi menor nas três localidades, contabilizando a ocorrência de 3 a 7 grupos funcionais específicos ao longo do ano.

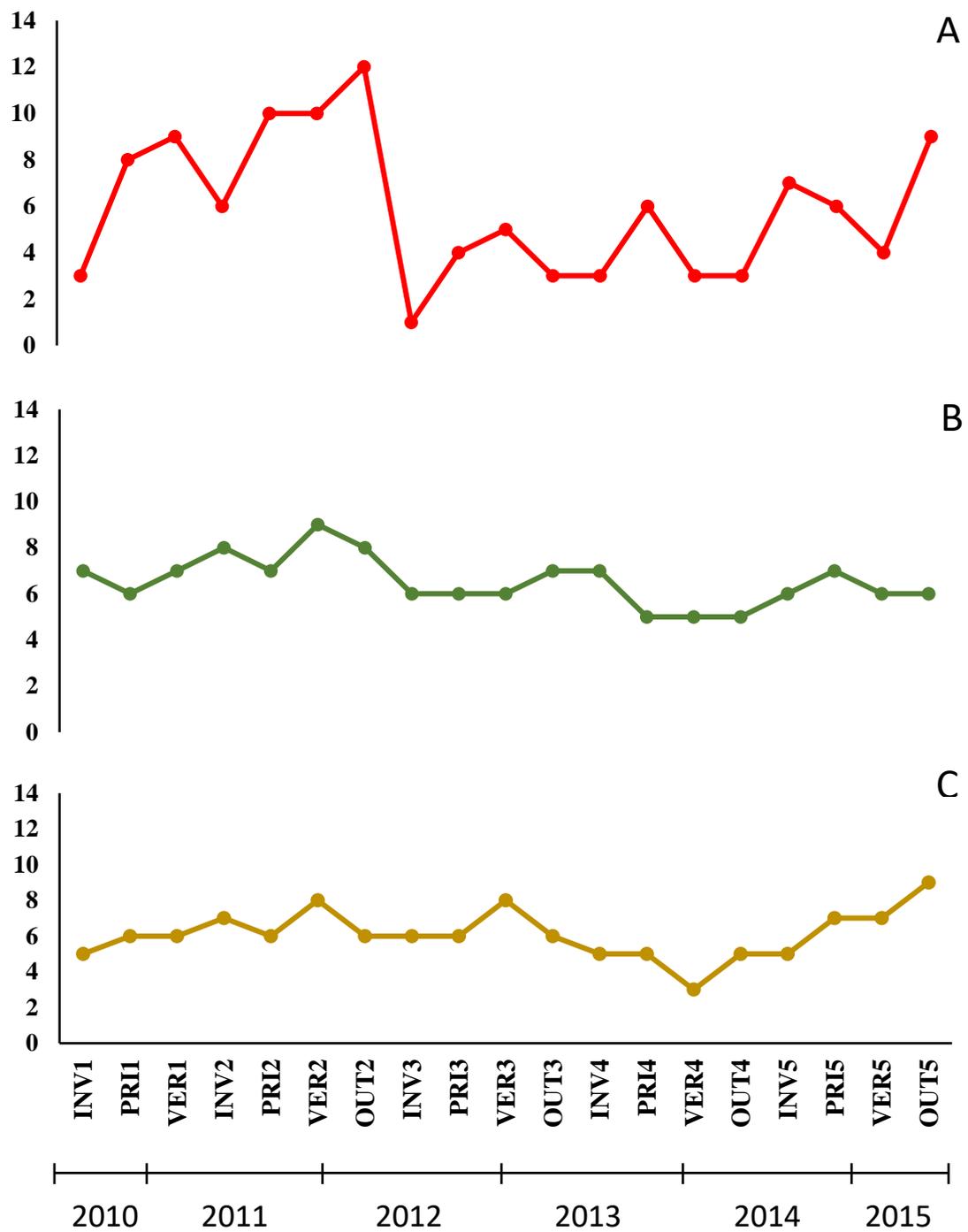


Figura 2: Riqueza funcional de grupos específicos da Praia Vermelha (A), Boa Viagem (B) e Ilha dos Lobos – Arquipélago de Paquetá (C) em cada estação ao longo de cinco anos amostrais.

ESTRUTURA FUNCIONAL

Quando considerado a BG como uma unidade, isto é a reunião dos dados de PV, BV e IL, os seguintes grupos funcionais apresentaram maior influência na estruturação das comunidades: Filamentosa Verde, Folhosa Verde, Corticada Vermelha, Crostosa Calcárea Vermelha, Filtrador e Biofilme Bacteriano. Considerando estes grupos funcionais, a análise do modelo nulo de sobreposição de nicho mostrou a predominância de exclusão competitiva na estrutura funcional das comunidades bentônicas da BG (SES <0; Tabela 3). No entanto, também se observou pares em que a sobreposição de nicho observada é maior do que a sobreposição de nicho esperada ao acaso (SES > 0), como entre Filamentosa Verde com Corticada Vermelha. Ademais, a PERMANOVA constatou que não houve diferença significativa entre as estações do ano e os anos amostrais quando considerado a BG como unidade (estação do ano - pseudo-F = 0,57, df = 3, p = 0,81; anos amostrais - pseudo-F = 1,90, df = 4, p = 0,051).

Tabela 3: Resultados significativos obtidos no Modelo Nulo para a Baía de Guanabara (BG) e para cada localidade (PV – Praia Vermelha; IL – Ilha dos Lobos – Arquipélago de Paquetá). Valores negativos do tamanho de efeito padronizado (SES) indicam Exclusão Competitiva enquanto valores positivos indicam Sobreposição de Nicho.

	BG		PV		IL	
	p	SES	p	SES	P	SES
Exclusão competitiva (EC)	0,0315	-1,75			0,032	-1,638
Sobreposição de Nicho (SN)			0,0181	3,04		
Filamentosa Verde × Corticada Vermelha	0,0002	4,16				
Filamentosa Verde × Crostosa Calcárea Vermelha	0,0002	-3,87				
Folhosa Verde × Crostosa Calcárea Vermelha	0,012	2,24	0,0004	3,30		
Folhosa Verde × Biofilme Bacteriano	0,021	-2,00	0,0008	2,76	0,032	-1,79
Corticada Vermelha × Crostosa Calcárea Vermelha	0,0002	-5,01				
Corticada Vermelha × Biofilme Bacteriano	0,005	2,69				
Crostosa Calcárea Vermelha × Biofilme Bacteriano	0,0002	-3,20				
Folhosa Verde × Raspador			0,010	2,32		
Filtrador × Biofilme Bacteriano			0,012	2,21	0,0002	5,69
Filtrador × Crostosa Calcárea Vermelha			0,036	1,84		

A estrutura funcional das comunidades bentônicas da Baía de Guanabara foi avaliada pela análise nMDS (Fig. 3). É possível observar maior similaridade entre as comunidades bentônicas de IL e BV e a menor similaridade destas com a estrutura funcional da PV. Os grupos funcionais responsáveis pela maior dissimilaridade entre a entrada da baía e as demais áreas são Crostosa Calcárea Vermelha e Biofilme Bacteriano. Crostosa Calcárea Vermelha contribuiu em 25% na dissimilaridade entre PV e BV (maior influência na estrutura funcional da comunidade de PV), enquanto Biofilme Bacteriano contribuiu em 32% na dissimilaridade entre PV e IL (predominância em IL). Esses resultados também foram corroborados pela PERMANOVA que indicou diferença entre a estrutura funcional da entrada da baía e as duas outras áreas adjacentes (pseudo-F = 33,6, df = 2, p = 0,001).

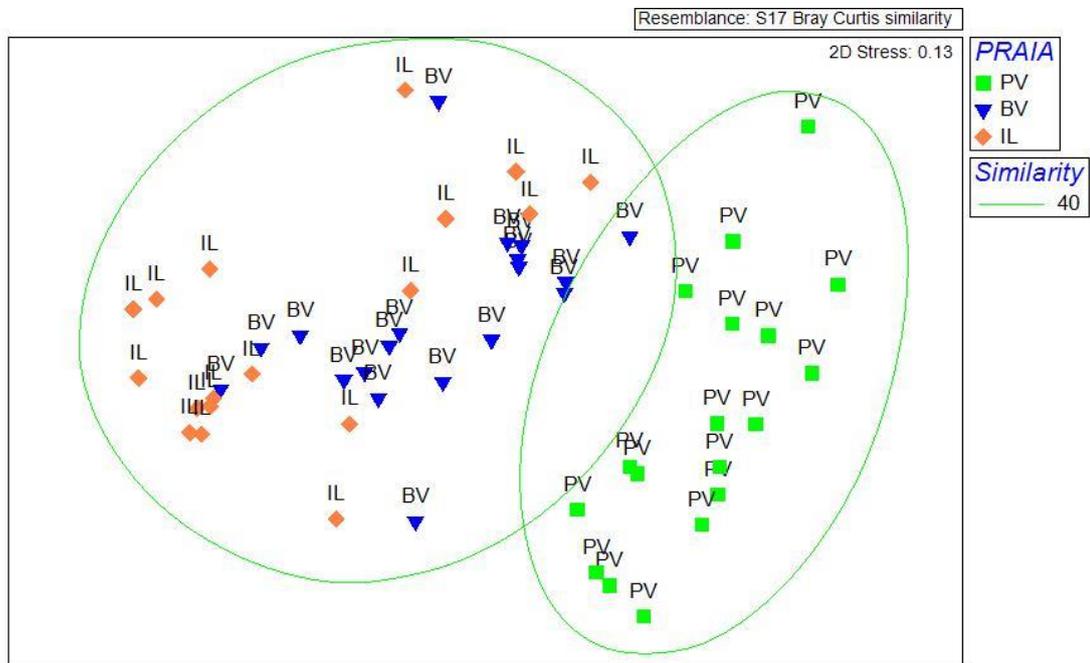


Figura 3: Análise multidimensional não métrica (nMDS) dos grupos funcionais agrupados por localidade (PV – Praia Vermelha; BV – Boa Viagem; IL – Ilha dos Lobos - Arquipélago de Paquetá).

A maior contribuição para estruturação da comunidade na entrada da BG foi conferida pelas Folhosas Verdes em todas as estações do ano, seguida por Crostosas Calcáreas Vermelhas e Filtradores, estes representados majoritariamente por *Perna perna* (Linnaeus, 1758) (Fig. 4). Raspadores como *Lottia subrugosa* (d'Orbigny, 1846) e *Fissurella clenchi* (Pérez Farfante, 1943) foram encontrados com maior frequência nesta área em comparação com o canal e interior da baía. Nos quatro primeiros invernos é possível

observar a diminuição da contribuição dos grupos funcionais característicos e da dissimilaridade das amostras. Cabe salientar que o inverno do terceiro ano amostral foi retirado da figura devido a nula dissimilaridade causada pela dominância completa da cobertura de Folhosas Verdes nas amostras fotográficas.

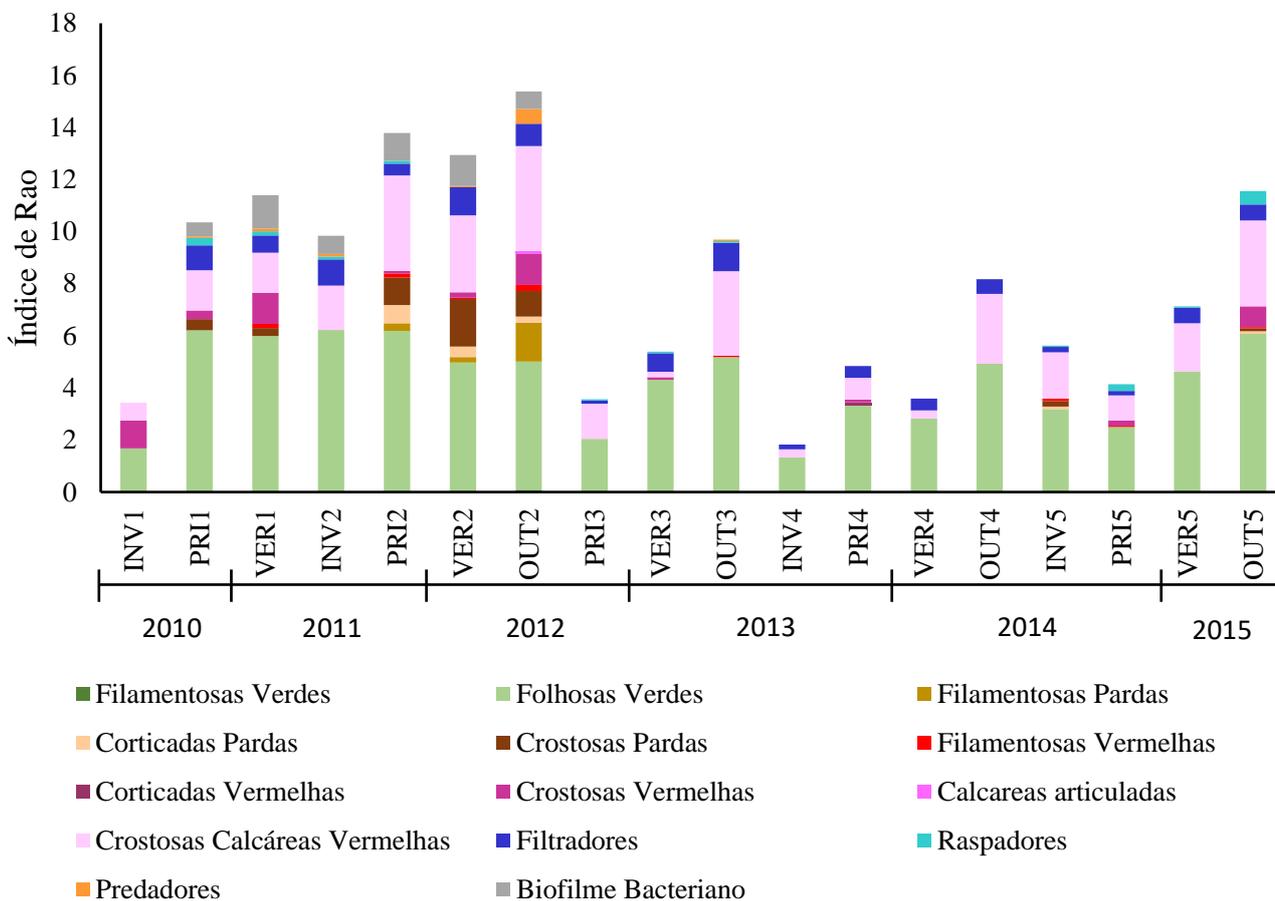


Figura 4: Estrutura Funcional da comunidade da faixa inferior da região entre marés da Praia Vermelha registrada sazonalmente ao longo de cinco anos.

Reunindo apenas os grupos funcionais que ocorreram na PV, a análise do modelo nulo de sobreposição de nicho mostrou a predominância de sobreposição de nicho ($SES > 0$; Tab. 3). Folhosa Verde e Crostosa Calcárea Vermelha foi o par que apresentou maior tamanho de efeito padronizado positivo, ou seja, a sobreposição de nicho observada é maior do que a sobreposição de nicho esperada ao acaso ($p = 0,0004$; $SES = 3,30$). Além deste, os pares Folhosa Verde e Biofilme Bacteriano, Folhosa Verde e Raspador, Filtrador e Biofilme Bacteriano, Filtrador e Crostosa Calcárea Vermelha também apresentaram sobreposição de nicho significativa.

Não houve padrões claros de sazonalidade e diferenças anuais entre os grupos funcionais na entrada da BG pela análise nMDS, apesar de haver diferenças significativas entre as estações dos anos (pseudo-F = 2,90, df = 3, p = 0,02) e os anos amostrais (pseudo-F = 3,83, df = 4, p = 0,005) quando realizada a PERMANOVA (Fig.5). Os únicos pares que apresentaram diferenças significativas quanto a estrutura funcional foram: primavera x outono e verão x outono, os quais podem ser justificados pela maior influência de Crostosas Calcáreas Vermelhas na estruturação funcional da comunidade da PV durante o outono. Desta forma, Crostosas Calcáreas Vermelhas contribuíram em 60,06% na dissimilaridade entre as estações verão e outono e 47,84% entre as estações primavera e outono. Além disso, o outono do segundo ano foi a amostra que apresentou a maior riqueza de grupos funcionais específicos (12). Com relação aos anos amostrais, o ano 2 acumulou mais diferenças significativas com os demais anos amostrais (Tab. 4) e as maiores dissimilaridades entre as amostras fotográficas (Fig. 4) devido à alta influência de Crostosas Calcáreas Vermelhas e Folhosas Verdes na estrutura funcional da entrada da baía neste ano.

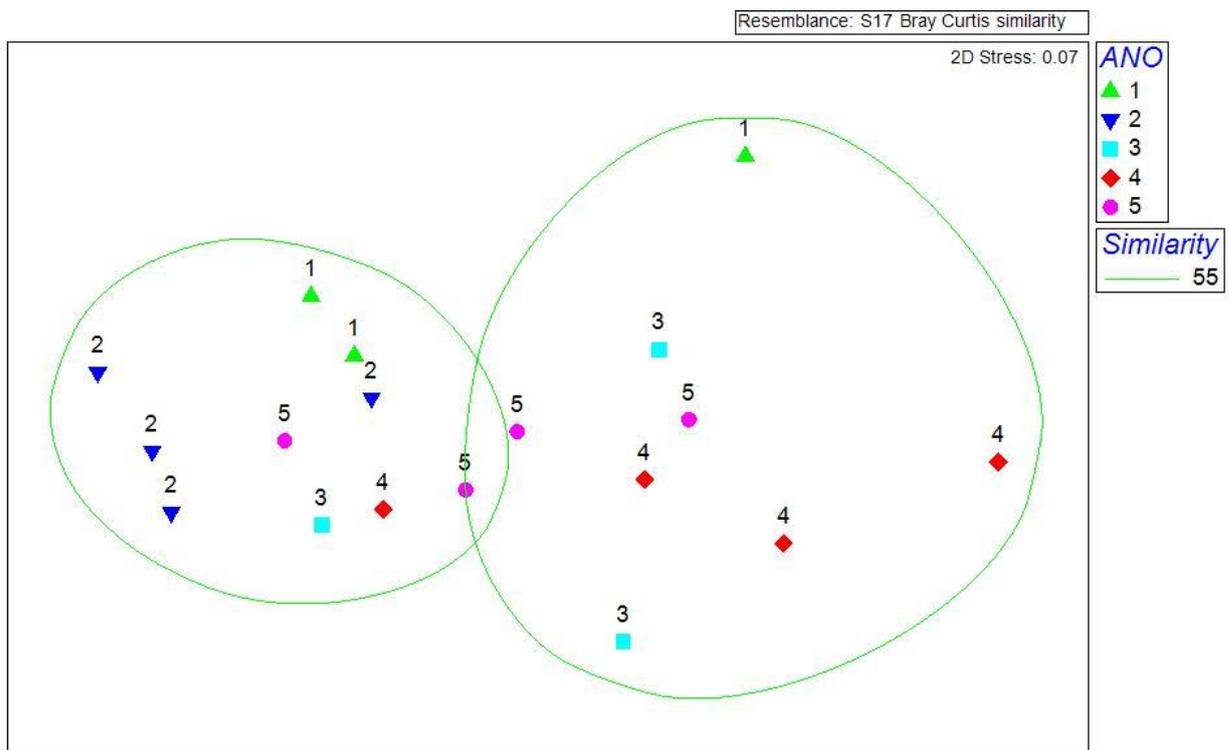


Figura 5: Análise multidimensional não métrica (nMDS) dos grupos funcionais que contribuem para a estrutura funcional de Praia Vermelha registrados durante cinco anos.

Tabela 4: Resultados significativos da análise par a par da PERMANOVA entres os anos amostrais, levando em consideração a estrutura funcional da Praia Vermelha.

Pares	p
Ano 1 × Ano 4	0,035
Ano 2 × Ano 3	0,019
Ano 2 × Ano 4	0,019
Ano 2 × Ano 5	0,044

Quatro grupos foram considerados característicos devido à grande influência da estruturação da comunidade entre marés no canal da BG ao longo dos cinco anos amostrais: Filamentosas Verdes (majoritariamente representado por *Cladophora* spp.), Folhosas Verdes, Corticadas Vermelhas (majoritariamente representado por *Chondracanthus* spp.) e o Biofilme Bacteriano (Fig. 6). Este último grupo funcional obteve uma grande ocupação durante os anos 1, 2 e 5, sinalizando a diminuição da cobertura de macroalgas e invertebrados marinhos nas amostras fotográficas. Nesse sentido, a drástica diminuição na representação do Biofilme Bacteriano nos anos 3 e 4 ocorreu concomitantemente com uma maior cobertura de Folhosas Verdes e Corticadas Vermelhas. Embora tenha ocorrido a diminuição da influência de um dos grupos funcionais mais representativos desta localidade durante estes anos, a riqueza funcional permaneceu baixa durante o ano 4 enquanto, de modo simultâneo, houve a dominância de folhosas verdes.

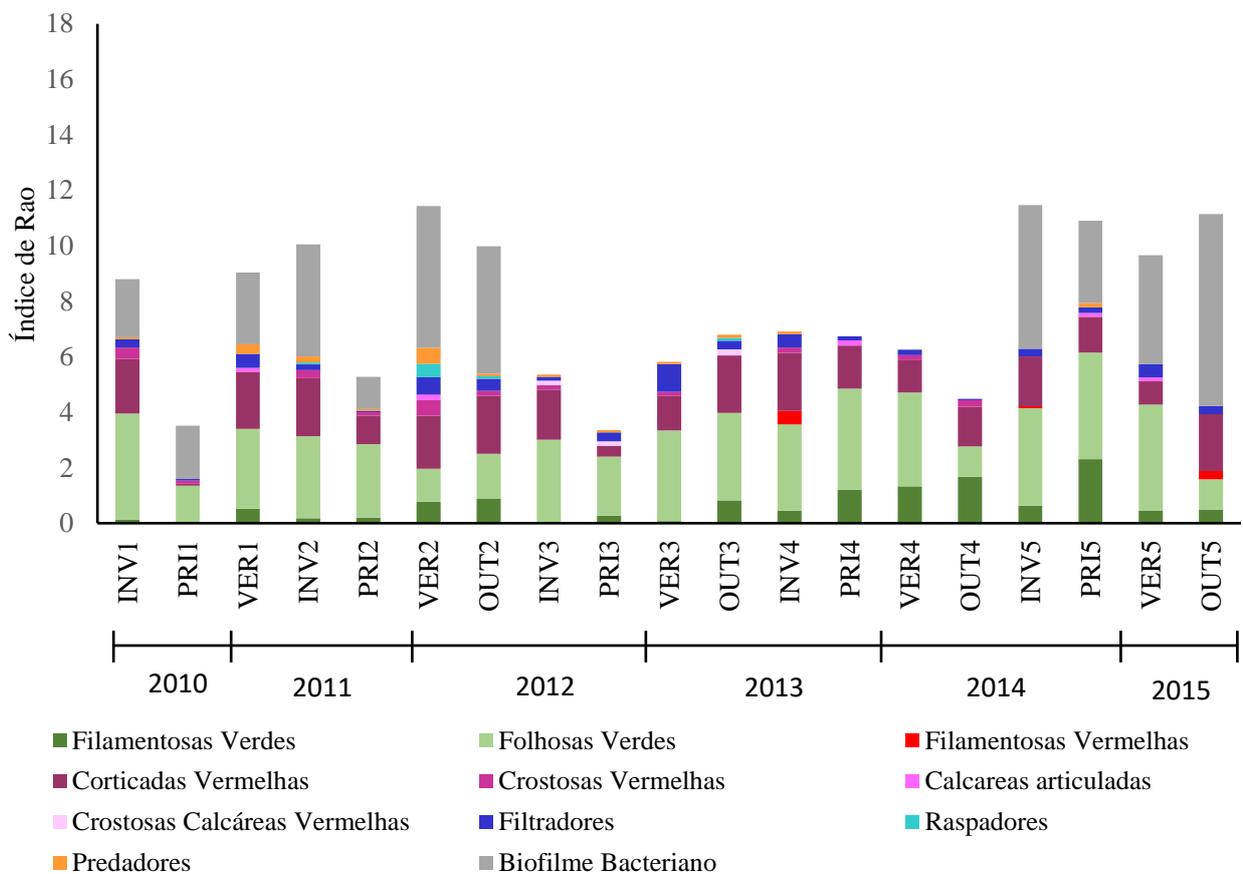


Figura 6: Estrutura Funcional da comunidade da faixa inferior da região entre mares de Boa Viagem registrada sazonalmente ao longo de cinco anos.

De acordo com a análise do modelo nulo, os grupos funcionais no canal da BG não apresentaram indícios de sobreposição de nicho ou exclusão competitiva ($p > 0,05$). A contribuição dos grupos funcionais no canal da baía foi estatisticamente diferente entre as estações do ano (pseudo-F = 3,57, df = 3, $p = 0,012$). Outono apresentou diferenças estatisticamente significativas com as estações Inverno, Primavera e Verão, sendo a diferença entre Inverno e Primavera estatisticamente significativa também. Durante o outono, a análise SIMPER indicou uma menor influência de Folhosas Verdes na estrutura funcional da comunidade e apontou este grupo funcional como o de maior contribuição para a DF entre as estações citadas (Inverno: 43%, Primavera: 35,86%, Verão: 42,80%). O mesmo grupo funcional também foi responsável pela dissimilaridade entre as estações Inverno e Primavera, com maior contribuição no Inverno (28,24%).

Quando considerados os anos amostrais, as análises nMDS e PERMANOVA apontaram diferenças significativas (pseudo-F = 8,58, df = 4, p = 0,001) (Fig. 7). Os anos 3 e 4 possuíram diferenças estatísticas entre os anos amostrais, em consequência do decréscimo da contribuição de Biofilme Bacteriano na estrutura funcional da comunidade do canal da baía (Tab. 5). Desta forma, a análise SIMPER indicou que este GF contribuiu entre 59% a 72% na dissimilaridade encontrada entre os anos amostrais.

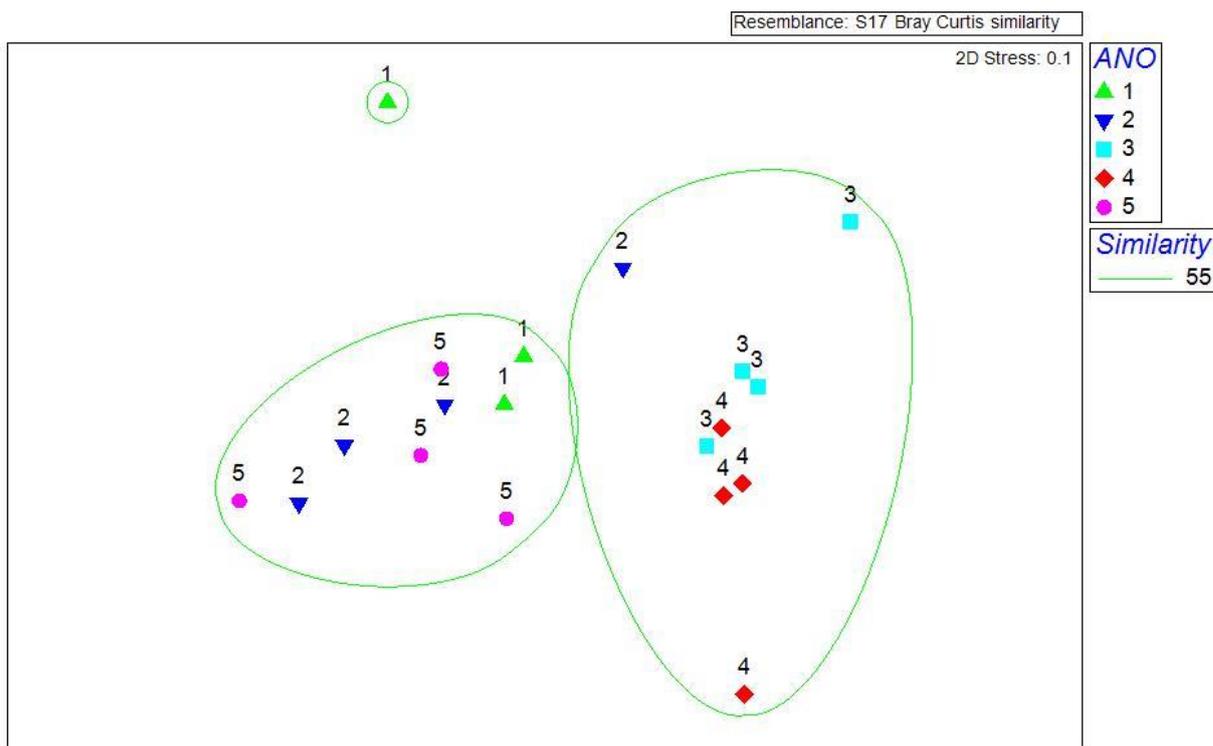


Figura 7: Análise multidimensional não métrica (nMDS) dos grupos funcionais que contribuem para a estrutura funcional de Boa Viagem registrados durante cinco anos.

Tabela 5: Resultados significativos da análise par a par da PERMANOVA entres os anos amostrais, levando em consideração a estrutura funcional da Boa Viagem.

Pares	p
Ano 1 × Ano 3	0,008
Ano 2 × Ano 3	0,004
Ano 2 × Ano 4	0,011
Ano 3 × Ano 4	0,016
Ano 3 × Ano 5	0,01
Ano 4 × Ano 5	0,004

A área localizada no interior da BG sustentou a menor riqueza funcional e a comunidade mais homogênea entre as localidades estudadas. Biofilme Bacteriano foi o grupo com maior influência na estruturação da comunidade, com exceção do quarto ano, apontando a grande frequência de espaços vazios e enlameados no costão rochoso desta localidade no decorrer do período amostral (Fig. 8). Além deste, Corticadas Vermelhas, Folhosas Verdes e Filtradores foram considerados grupos característicos dessa localidade pelo recorrente registro durante os cinco anos. O interior da BG também foi a localidade que apresentou a maior média de cirripédios mortos registrados nas amostras fotográficas ao longo do período amostral (11.4 % - $p < 0.001$).

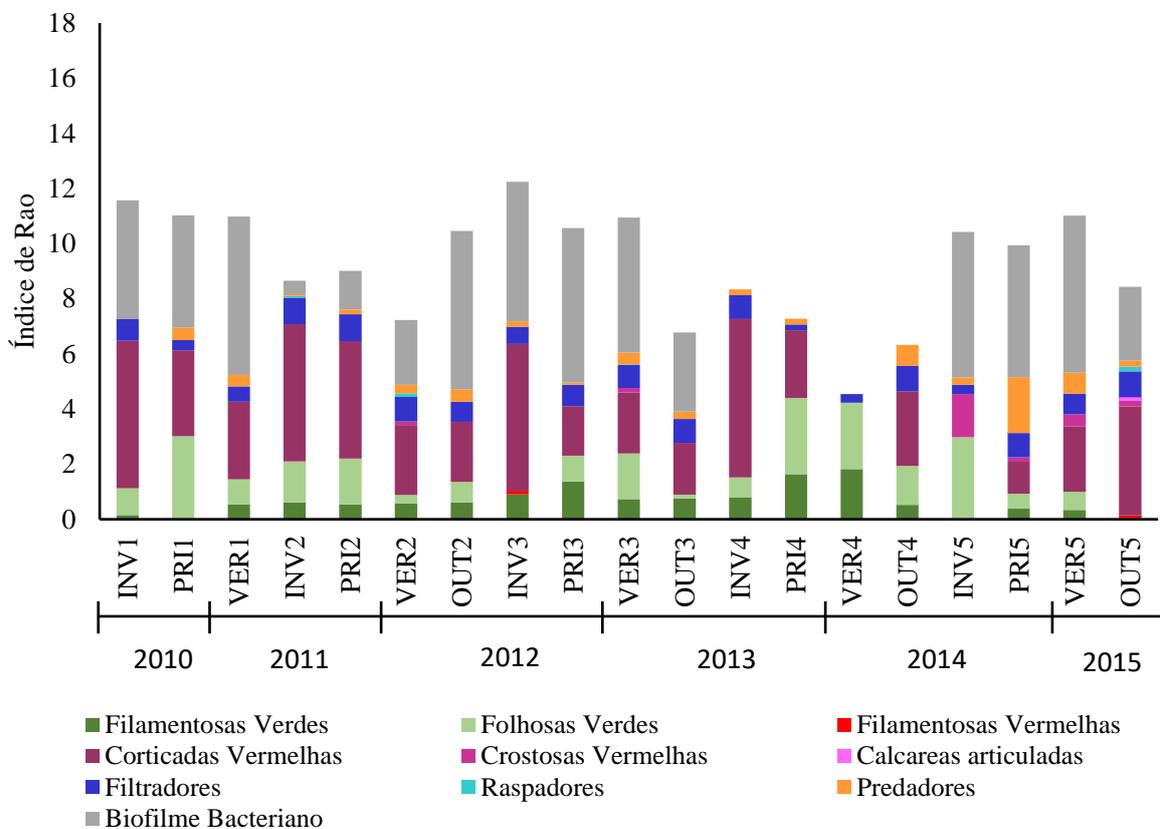


Figura 8: Estrutura funcional da comunidade da faixa inferior da região entre marés da Ilha dos Lobos - Arquipélago de Paquetá registrada sazonalmente ao longo de cinco anos.

Em contraste ao que foi verificado na entrada da baía, a análise do modelo nulo mostrou a predominância de exclusão competitiva na estrutura funcional das comunidades bentônicas do interior da baía quando utilizado todo os dados desta localidade juntos (Tab. 3). No entanto, ao realizar a análise de par a par dos grupos funcionais característicos desta localidade, a análise apontou a sobreposição de nicho entre Filtrador e Biofilme Bacteriano

(SES = 5,69, $p = 0,0002$) e a exclusão competitiva entre Folhosa Verde e Biofilme Bacteriano (SES= -1,79, $p = 0,032$).

Não foram encontradas diferenças estatísticas entre as estações dos anos, ressaltando a constância da influência dos grupos funcionais na estrutura funcional da comunidade do interior da baía. No entanto, houve diferença estatística significativa entre os anos amostrais (pseudo-F = 5,35, $df = 4$, $p = 0,003$) e tal resultado também foi apontado pela análise nMDS (Fig. 9). Os anos 1 e 4 reuniram a maior quantidade de diferenças estatísticas entre os anos amostrais e, assim como ocorreu na estrutura funcional da comunidade do canal da baía, os grupos funcionais que ocasionaram a diferença na DF entre estes anos foram Biofilme Bacteriano e Folhosas Verdes (Tab. 6). Durante o primeiro ano amostral, o Biofilme Bacteriano contribuiu entre 72% a 69 % para a dissimilaridade desse ano com os anos 2 e 4 devido a sua maior contribuição na estruturação da comunidade enquanto no quarto ano amostral a influência deste grupo é inexistente (Fig. 8). A diferença encontrada entre os anos 1 e 3 foi causado pelo aumento de influência de Folhosas Verdes na estrutura funcional durante o ano 1 (38%).

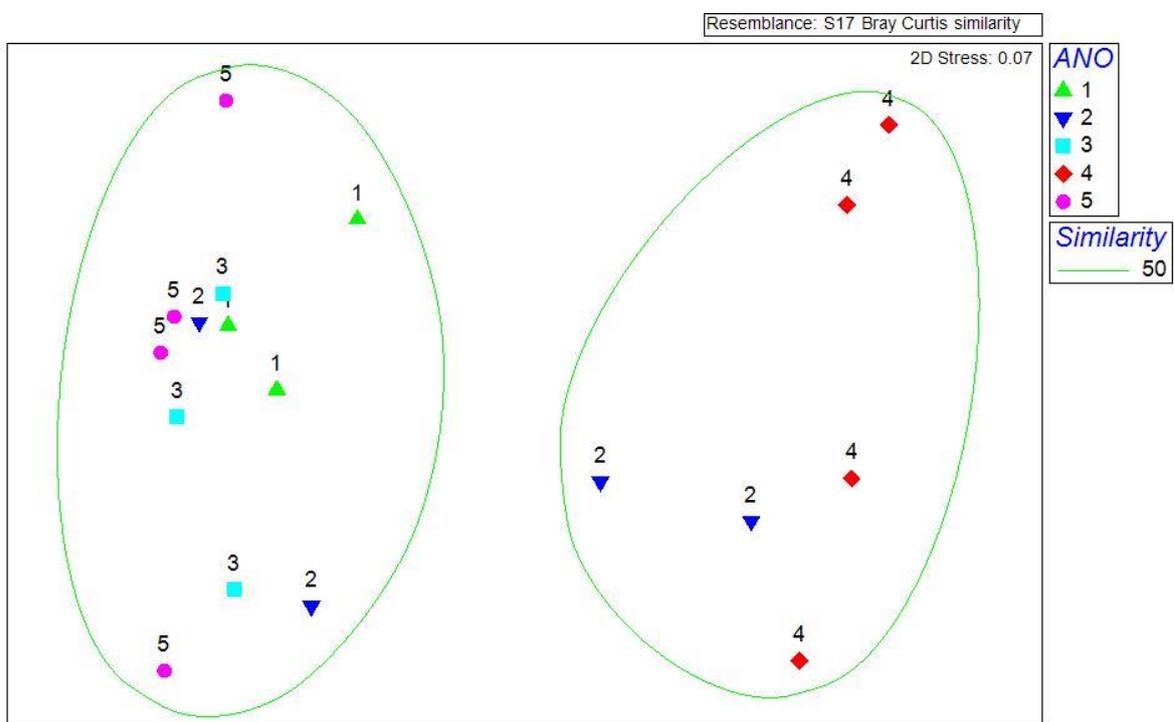


Figura 9: Análise multidimensional não métrica (nMDS) dos grupos funcionais que contribuem para a estrutura funcional de Ilha dos Lobos - Arquipélago de Paquetá registrados durante cinco anos.

Tabela 6: Resultados significativos da análise par a par de variância multivariada permutacional entres os anos amostrais, levando em consideração a estrutura funcional de Ilha dos Lobos - Arquipélago de Paquetá.

Pares	p
Ano 1 × Ano 2	0,009
Ano 1 × Ano 3	0,021
Ano 1 × Ano 4	0,002
Ano 3 × Ano 4	0,004
Ano 4 × Ano 5	0,035

Os modelos de regressão realizados com a média dos valores do índice de Rao de grupos de invertebrados e grupos de algas no costão rochoso foi estatisticamente significativo na entrada da baía (Fig. 10A) e no fundo da baía (Fig. 10B). A tendência da primeira área foi o aumento da influência de grupos de invertebrados concomitante com o aumento na influência de grupos de algas na estruturação funcional ($R^2 = 0.72$). No entanto, o fundo da baía apresentou tendência contrária em relação a ambos os grupos ($R^2 = 0.22$).

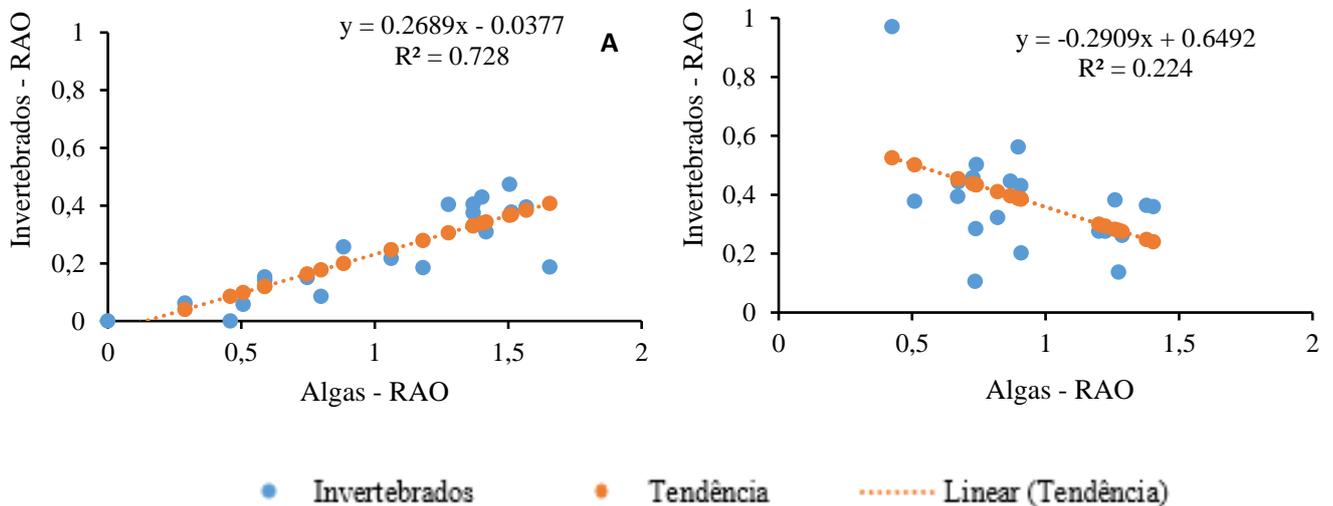


Figura 10: Modelos de Regressão Linear realizado entre os valores do Índice de Rao de grupos funcionais de invertebrados e de algas de Praia Vermelha (A) e Ilha dos Lobos - Arquipélago de Paquetá (B).

VARIÁVEIS AMBIENTAIS COMO DESCRITORES DOS GRUPOS FUNCIONAIS NA BAÍA DE GUANABARA

Em uma primeira abordagem, os valores da DF dos diferentes grupos funcionais foram reunidos independentemente do local de coleta e separados em maiores e menores médias por meio do “*K-means clustering*”. As variáveis ortofosfato e nitrato não apresentaram diferenças significativas que pudessem sustentar as separações de maior e menor média dos diferentes grupos funcionais. Por outro lado, a irradiância média, pluviosidade acumulada e concentração de clorofila *a* apresentaram correlações significativas com os grupos funcionais (Figura 11). Assim, as maiores médias da DF obtidas para Folhosas Verdes e Crostosas Calcáreas Vermelhas foram associadas às épocas de maior pluviosidade (2 semanas). Em contrapartida, o grupo funcional Corticadas Vermelhas teve a maior média de DF associada aos períodos de menor irradiância média (2 semanas) e menor pluviosidade (1 mês). As maiores médias de DF de Filtradores ocorreu concomitantemente aos períodos de maior concentração de clorofila *a* na superfície da água, enquanto as maiores médias de Crostosas Calcáreas Vermelhas foram associadas aos períodos de menor concentração. A PERMANOVA não apontou diferença significativa entre os valores da DF e as variáveis ambientais interagindo. Quando considerado os anos divididos em duas estações (seca= inverno e outono; chuvosa= primavera e verão) conforme literatura, não houve diferença significativa na pluviosidade e temperatura, mas houve diferença na concentração de clorofila *a* na superfície da água ($P = <0,001$) e na irradiância duas semanas antes da coleta ($P = <0,001$) entre estes períodos. Nesta perspectiva, o GF Filtradores apresentou a maior média da DF associada aos períodos chuvosos.

Em uma segunda abordagem, as análises foram realizadas por localidade, e desta vez surgiu uma maior quantidade de informações significativas acerca dos grupos funcionais e as variáveis ambientais. Assim como decorreu nos dados unidos para representar a Baía de Guanabara na primeira abordagem, não houve influência das variáveis relacionadas aos nutrientes (ortofosfato e nitrato) na comunidade da entrada da Baía de Guanabara (PV - Figura 11). Considerando as maiores médias dos valores de DF, Folhosas Verdes e Predador foram associados às épocas com menor irradiância média (2 semanas).

O canal da entrada da BG foi o local onde houve a maior quantidade de correlações entre as variáveis ambientais e grupos funcionais (BV - Figura 11). A maior média de valores da DF de Filtrador ocorreu durante os períodos de menor concentração de nitrato nas águas

do canal da baía. Já os períodos de maior concentração de ortofosfato na água foram associados à maior média de valores de DF das Filamentosas Verdes. Os GFs Biofilme Bacteriano, representado de forma predominante por cianobactérias, e Folhosas Verdes obtiveram os maiores valores de DF durante os períodos de maior pluviosidade (1 mês e 2 semanas). Períodos de baixa irradiância média (2 semanas) apresentaram correlação significativa com a maior média de cobertura de Corticadas Vermelhas. Essa mesma associação já havia sido registrada quando se utilizou os dados reunidos da BG. Ademais, a maior média de DF de Filtradores foram associadas aos períodos de maior concentração de clorofila na superfície da água. Quando considerado a separação por períodos secos e chuvosos, a maior média da DF dos Filtradores coincidiu com a época chuvosa.

O interior da Baía de Guanabara (IL), assim como a boca da baía, também apresentou poucas correlações entre as variáveis ambientais e a diversidade funcional (Fig. 11). Nitrato foi a única variável associada aos grupos funcionais, no qual a maior média de DF do grupo Biofilme Bacteriano ocorreu concomitantemente aos períodos de maior concentração de nitrato.

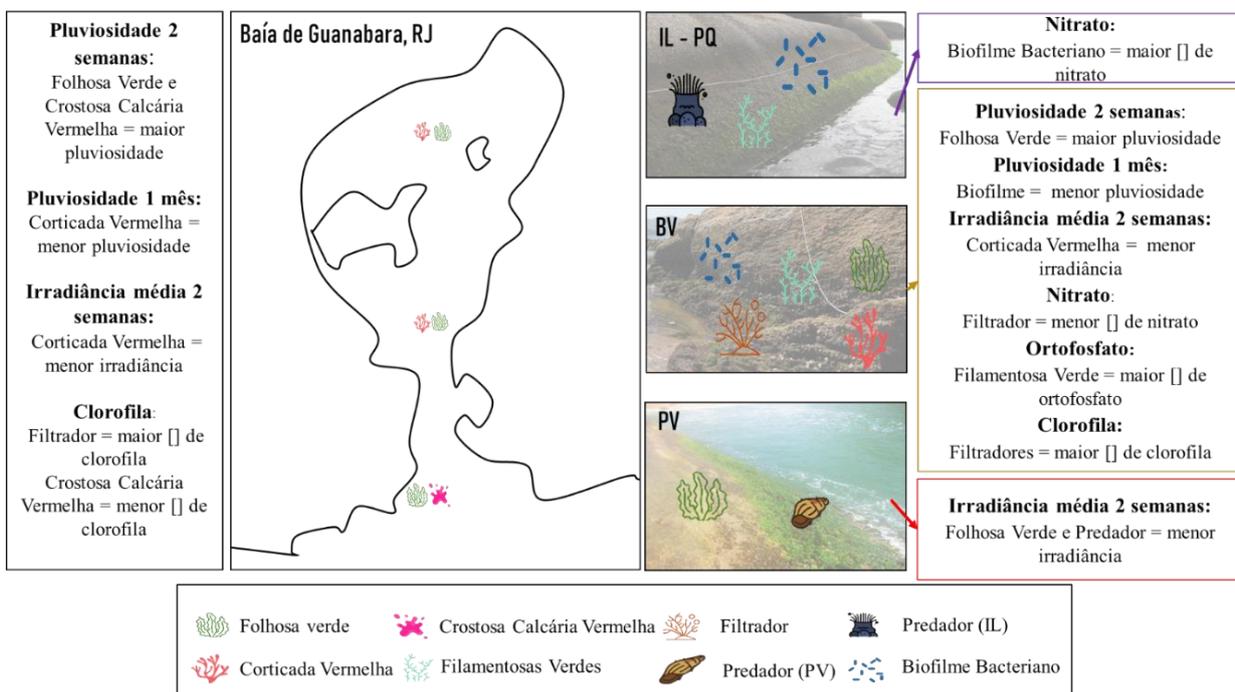


Figura 11: Relações entre as variáveis ambientais e os Grupos Funcionais ($p < 0,05$). A lista à esquerda contém as relações significativas encontradas para a Baía de Guanabara e a que está à direita as relações encontradas para as três localidades do estudo. PV: Praia Vermelha; BV: Boa Viagem e IL-PQ: Ilha dos Lobos – Arquipélago de Paquetá.

DISCUSSÃO

O monitoramento a longo prazo de comunidades bentônicas em três localidades da BG evidenciou a presença de um gradiente de riqueza funcional, no qual há maior quantidade de grupos funcionais específicos na entrada da baía (*i.e.* Praia Vermelha) e menor no interior da baía (*i.e.* Ilha dos Lobos). O mesmo gradiente também foi observado nos valores do Índice de Rao para cada localidade da BG, assim como registrado por Vinagre e colaboradores (2017) em costões rochosos de Portugal presentes em um gradiente de poluição orgânica. Esse padrão de gradiente de riqueza de espécies foi registrado por diversos autores em relação a diversos organismos de substratos consolidados e não consolidados da BG, incluindo macroalgas (Teixeira *et al.* 1987, Gestrinari and Yoneshigue-Valentin 2018), moluscos (Mendes *et al.* 2006, Neves *et al.* 2012), poliquetas (Santi *et al.* 2006, Soares-Gomes *et al.* 2012), foraminíferos (Macedo *et al.* 2013), crustáceos (Lavrado *et al.* 2000), e em estuários de outras partes do mundo do mundo (*e.g.* Middelboe and Sand-Jensen 2004, Arévalo *et al.* 2007, Vinagre *et al.* 2016).

Considerando a BG como unidade, ou seja, reunindo os dados de DF das três localidades, verificou-se o decréscimo de informações obtidas. Assim, não houve diferença entre as estações dos anos e os anos amostrais nesta abordagem e apenas três grupos funcionais (GF) apresentaram diferença significativa entre a média de DF e os máximos e mínimos das variáveis ambientais. As maiores médias de DF de Folhosas Verdes (*Ulva* spp.) e Crostosas Calcáreas Vermelhas foram associadas aos períodos de maior pluviosidade duas semanas antes da coleta, nos quais pode ter havido maior aporte de nutrientes orgânicos pelo aumento da vazão de rios poluídos que deságuam na baía e, em consequência, o favorecimento do crescimento destes GFs em detrimento de outros (Nelson 2009; Martins *et al.* 2012, Mello *et al.* 2018). A análise de sobreposição de nicho do modelo nulo apontou a predominância de exclusão competitiva entre os GFs na BG, indicando que estes grupos sobrepoem seus nichos menos do que ocorreria por acaso. Também não foi observado correlações significativas entre os nutrientes orgânicos e GFs reunidos da BG, apesar da baía ser considerada hipereutrofizada (Soares-Gomes *et al.* 2016). Esses resultados indicam que pode haver diferentes requisitos ambientais para cada GF na BG e reforça a necessidade de analisar cada área da baía separadamente.

As variáveis físico-químicas que atuam na BG formam um gradiente espacial/horizontal, diferenciando cada local amostrado (Mello *et al.* 2018). A entrada da BG (PV) possui maior

circulação de águas oceânicas e, em consequência, menor tempo de residência, maior inclinação do costão e maior ação de ondas, enquanto que o interior da baía (IL) apresenta maior aporte de nutrientes orgânicos, dejetos industriais e sedimentos provenientes dos rios da bacia hidrográfica da BG, os quais permanecem biodisponíveis por mais tempo devido à baixa circulação de águas (Fistarol *et al.* 2015, Fistarol and Tenenbaum 2018) e prejudicam a ocupação de GFs sensíveis a poluição orgânica (Teixeira *et al.* 1987, Airoidi *et al.* 2003, Vinagre *et al.* 2016). Essa diferença de influência de fatores ambientais reflete na estrutura funcional das comunidades bentônicas da baía e separa a região da entrada das demais regiões, como visto na análise nMDS e nas diferentes correlações significativas observadas entre os GFs na entrada e no interior da baía através da PERMANOVA. Assim, a estrutura funcional das comunidades da BG representa o padrão familiar de diversidade encontrado em estuários, onde há a transição de uma área externa com alta diversidade para uma área interna dominada por clorofíceas efêmeras (Elliot and Quintino 2019). Este padrão de diversidade ainda é agravado pela poluição histórica na baía, uma vez que, antes da década de 1970, a área do arquipélago de Paquetá (interior da baía) era povoada por espécies com alta exigência ambiental como demonstrado por De Paula e colaboradores (2020).

Embora a Praia Vermelha apresente maior riqueza funcional e a melhor qualidade de água entre os locais amostrados, o maior estruturador dessa comunidade bentônica ao longo de cinco anos amostrais foram as Folhosas Verdes (*Ulva* spp.), atingindo a cobertura completa do quadrado durante o inverno do ano 3. Por conseguinte, este GF sobrepõe o seu nicho mais do que esperado ao acaso ($SES > 0$) com *Crostosa Calcárea Vermelha*, *Biofilme Bacteriano* e *Raspador*, demonstrando ou um requerimento de nicho similar entre estes GFs ou a resistência destes GFs específicos frente a condição abiótica da PV. A dominância de espécies de *Ulva* (*i.e.*, morfologia simples, crescimento acelerado e oportunista) pode ser associada a áreas impactadas por poluição orgânica pela sua resistência a esse fator em comparação a outras espécies (Martins *et al.* 2012, Portugal *et al.* 2017, Puga *et al.* 2019).

Além de nutrientes, luz e temperatura exercem influência na esporulação e crescimento de macroalgas (Lobban and Harrison 1994). A análise de “*K-means clustering*” indicou que as maiores médias de DF de Folhosas Verdes e Predadores na PV foram associadas a períodos de menor irradiância média duas semanas antes da coleta. Há registros na literatura de que espécies do gênero *Ulva* crescem de forma mais eficiente em baixas intensidades de luz e possuem alta produtividade primária pelo formato do seu talo translúcido com poucas

camadas de células (Lobban and Harrison 1994; Solidoro *et al.* 1997). Já o grupo funcional Predadores, na entrada da baía, é formado também pela espécie *Bunodosoma caissarum* Corrêa in Belém, 1987, uma anêmona que ocupa habitats com menor exposição à luz do sol e temperaturas amenas a fim de evitar a dessecação de seu corpo mole (Scremin *et al.* 2013). Macroalgas com as características citadas e invertebrados tendem a dominar ambientes com baixa intensidade de luz, uma vez que espaços estariam disponíveis devido a limitação por irradiância de algas com talos roliços (Baynes 1999).

Grupos funcionais de algas pardas (*i.e.* filamentosas, corticada e crostosa) e o predador *Stramonita haemastoma* Linnaeus, 1767 foram restritos a área da entrada da Baía de Guanabara provavelmente devido à alta sensibilidade destas espécies aos ambientes eutrofizados, onde, por exemplo, hidrocarbonetos interferem na capacidade reprodutiva das algas pardas (*i.e.*, encontro entre gametas, Jaenicke 1977, García-Seoane *et al.* 2019). Os gastrópodes marinhos provavelmente são abundantes na entrada da BG devido a presença da presa nesta área. Em direção ao interior da BG há a diminuição do registro de moluscos em geral. Por serem áreas mais poluídas (Soares-Gomes *et al.* 2016), estes poderiam estar sofrendo prejuízo na capacidade reprodutiva, como é o caso da ocorrência de Imposex, registrados para este grupo de invertebrados na BG (LimaVerde *et al.* 2007).

As macroalgas marinhas apresentam suma importância na estruturação de comunidades bentônicas de costões rochosos, através de substrato para colonização, alteração da incidência da radiação solar e fluxo de água e criação de habitats (Bustamante *et al.* 2014, Barbosa *et al.* 2019). Desta forma, a complexidade (*i.e.* tridimensionalidade) e maior diversidade de GFs de macroalgas podem ser associadas a maior riqueza de GFs de invertebrados marinhos devido a heterogeneidade ambiental promovida por esses organismos fotossintetizantes (Crowe *et al.* 2013, Barbosa *et al.* 2019, Longo *et al.* 2019). Considerado o local com os maiores valores do Índice de Rao e riqueza funcional, a entrada da baía apresentou a tendência encontrada na literatura (Bustamante *et al.* 2014). Essa associação pode ser atribuída a diminuição da influência de Folhosas Verdes, que permite o aumento da contribuição de diferentes GFs, incluindo macroalgas com diferentes morfologias e invertebrados. O crescimento acentuado e rápido de espécies de *Ulva* pode promover o sombreamento de outros GFs, contribuindo para o desaparecimento de GFs que dependem de maior irradiação solar ou que apresentam taxa de crescimento menor do que as espécies de *Ulva* (Teixeira and Jorge 2001). Em contrapartida, há a tendência de

diminuição da contribuição de GFs de invertebrados em relação a algas no fundo da baía, indicando que filtros ambientais favorecem GFs resistentes a esses filtros, uma vez que há espaço livre no costão.

Ainda que o canal da baía apresente quatro grupos característicos e com influência recorrente na estruturação da comunidade ao longo de cinco anos amostrais, não foram encontrados GFs que apresentem correlações positivas (sobreposição de nicho) ou negativas (exclusão competitiva). No entanto, diversos GFs apresentaram associações significativas com variáveis ambientais físico-químicas. As maiores médias de DF de Filtradores na BV ocorreram de forma concomitante aos períodos de menor concentração de nitrato e nas estações chuvosas (primavera e verão). Diferente do que é relatado na literatura para a BG, as estações chuvosas dos cinco anos amostrais não foram diferentes das secas, com exceção aos níveis de clorofila *a* na superfície da água e à irradiância média das duas semanas antes da coleta que foram as mais altas durante a estação chuvosa (Fistarol *et al.* 2015). Tais condições indicam a proliferação de organismos fitoplanctônicos durante a estação chuvosa na BG, os quais são a base do recurso alimentar de animais filtradores (Dame 1993; Soares-Gomes *et al.* 2016; Tenenbaum *et al.* 2018). Entre as espécies que compõe o GF Filtradores do canal da entrada da baía estão cracas (*Tetraclita stalactifera* Lamarck, 1818, *Amphibalanus amphitrite* Darwin, 1854, etc.) e ostras (*Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828, *Saccostrea cucullata* Born, 1778) que apresentam um importante serviço ecossistêmico através da ciclagem de matéria orgânica e nutrientes de ambientes eutrofizados (Dame 1993; O'Connell-Milne *et al.* 2020). O aumento de biomassa de fitoplanctons e a ocorrência de filtradores pela disponibilidade de alimento foi registrado em diversos estuários ao redor do mundo (Flórida: Smaal *et al.* 2013; Mar Chiquita: Bruschetti *et al.* 2018; Mar Báltico: Kownacka *et al.* 2020; Waitete: O'Connell-Milne *et al.* 2020).

Além de Filtradores, os GF's Filamentosas Verdes e Corticadas Vermelhas também exibiram associações significativas com dados abióticos no canal central da baía. Considerado o GF Filamentosas Verdes, composto por espécies oportunistas como *Cladophora* spp. e *Chaetomorpha* spp., a maior média de DF na BV foi associada aos períodos com maior concentração de ortofosfato. As macroalgas que compõe esse GF possuem talos simples, são capazes de assimilar nutrientes (fosfato, nitrato e amônia) de forma mais rápida quando comparado com espécies de crescimento lento e, em consequência, são características de estágio sucessional inicial (Littler and Littler 1980;

Lobban and Harrison 1994; Zainee and Rozaimi 2020). Desta forma, este GF é favorecido em ambientes com altos níveis de nutrientes detrimento de GF's caracterizados por espécies de talo estruturalmente mais complexo (Lobban and Harrison 1994). Diferentemente de Filamentosas Verdes, a maior média de DF de Corticadas Vermelhas na BV ocorreu em períodos de menor irradiância média de duas semanas antes da coleta. Macroalgas marinhas são os organismos bentônicos mais propensos a sofrer danos metabólicos pelo aumento de irradiação solar (Altamirano *et al.* 2000). A espécie *Chondracanthus teedei* (Mertens ex Roth) Kützing, táxon predominante dentre as Corticadas Vermelhas, ocorre frequentemente em habitats escuros, protegidos e com águas turvas pelo revolvimento de sedimentos (Schmidt *et al.* 2012; Contador *et al.* 2019). A exposição a maiores graus de radiação UV-B pode ter efeitos deletérios à esta espécie como alterações na morfologia do talo, na organização celular e no metabolismo, e diminuição na eficiência fotossintética e taxa de crescimento (Schmidt *et al.* 2012).

Costões rochosos são ecossistemas conhecidos por conter uma grande diversidade de espécies e intensas interações ecológicas por um recurso limitado: espaço (Xavier *et al.* 2008, Puga *et al.* 2019). Entretanto, ambientes altamente degradados e eutrofizados podem estabelecer um filtro ambiental, permitindo a coexistência apenas de espécies funcionalmente similares e mais tolerantes à intensidade e à frequência dos distúrbios ecológicos (Dobelth *et al.* 2013, Amaral *et al.* 2018). Como exemplo, o par de grupos funcionais com maior SES positivo (5,69; $p < 0,0002$) em IL foi Filtrador e Biofilme Bacteriano, apontando que há mais sobreposição de seus nichos do que ocorreria por acaso. No interior da BG, Filtradores foram representados principalmente pela espécie *Amphibalanus amphitrite* Darwin, 1854, a qual é reconhecida pela sua resistência a poluição (Puga *et al.* 2019). Em contrapartida, quanto considerados todos os GFs que contribuíram para a estrutura funcional da comunidade bentônica em IL, foi encontrado que há menos sobreposição de seus nichos do que ocorreria por acaso (exclusão competitiva). Estuários que sofrem impactos antropogênicos são caracterizados por baixa diversidade, espécies com ciclos reprodutivos rápidos, alta produtividade e alta taxa de *turnover*, fazendo com que o ecossistema permaneça no estágio sucessional inicial e as espécies sejam substituídas constantemente (Elliot and Quintino 2019). Mudanças na riqueza de espécies e na diversidade beta de macroalgas, nos últimos dois séculos devido a hipereutrofização na BG, foram registradas por De Paula e colaboradores (2020).

A comunidade avaliada no interior da BG apresentou Biofilme Bacteriano (*i.e.* espaço vazio) como GF de maior frequência e a maior média de cirripédios mortos ($p < 0.05$), indicando que poucas espécies são capazes de assentar e estabelecer uma população estável. Kim e colaboradores (2014) observaram que o desenvolvimento rápido de Biofilme Bacteriano pode afetar negativamente a diversidade de espécies na Baía de Gwangyang (Coreia do Sul), através da facilitação de assentamento de tufos de algas (ex. *Chondracanthus* spp.) e a possível supressão do estabelecimento de outras espécies pela cobertura desses tufos. Ademais, Littler e colaboradores (2010) também registraram a inibição do assentamento, recrutamento e expansão de Crostosas Calcáreas Vermelhas devido a proliferação de cianobactérias. Dinâmicas semelhantes podem ter ocorrido em comunidades bentônicas do interior da BG, uma vez que Corticadas Vermelhas apresentam grande influência na estruturação funcional da comunidade do interior da BG e são caracterizadas por possuírem crescimento acelerado, serem espécies r-estrategistas e apresentarem alta tolerância a impactos físicos e biológicos (Orfanidis *et al.* 2011, Gaspar *et al.* 2017, Huguenin *et al.* 2019). A sedimentação, processo comum na coluna de água nas áreas internas da BG, também pode ter influenciado a estruturação da comunidade ao beneficiar espécies oportunistas (ex. *Chondracanthus acicularis* (Roth) Fredericq) (Airoidi *et al.* 2003, Soares-Gomes *et al.* 2016).

Variáveis químicas apresentaram correlações significativas com Biofilme Bacteriano, corroborando com a hipótese postulada inicialmente. As maiores médias de DF de Biofilme Bacteriano ocorreram concomitantemente com os períodos de maior concentração de nitrato na água. Segundo Littler e colaboradores (2010), a proliferação de cianobactérias é estimulada pelo aumento de nutrientes disponíveis na água. Apesar das condições favoráveis para a dominância de Filamentosas Verdes, como ocorre em ambientes eutrofizados, não houve alta contribuição deste grupo para a estrutura funcional da comunidade do interior da baía (Elliot and Quintino 2019). Tal resultado também foi registrado por Díez e colaboradores (2013), no qual levanta-se a hipótese de que há outros fatores que atuam de forma sinérgica com a disponibilidade de nutrientes para influenciar a cobertura de filamentosas verdes.

Ecossistemas marinhos tropicais são caracterizados por possuírem poucas mudanças sazonais em comparação com ecossistemas temperados (Bishop *et al.* 2006). Na BG, há registros de espécies planctônicas com padrões sazonais, mas ainda não foi observado em

comunidades bentônicas de substrato rochoso (Valentin *et al.* 2018). Apesar de não haver padrões claros de sazonalidade, diferenças significativas foram encontradas entre as estações dos anos em duas localidades, a entrada e o canal central da baía, devido as diferentes influências de GFs na estruturação funcional. Em ambas as áreas, a estação outono acumulou as maiores diferenças significativas, no qual na entrada da baía houve a maior riqueza de GFs e a maior contribuição de Crostosas Calcáreas Vermelhas frente as demais estações (60,06%) enquanto a menor influência de Folhosas Verdes contribuiu para a dissimilaridade desta época com as demais no canal da baía (43% - 35%). A estrutura funcional da comunidade bentônica no interior da baía não apresentou diferença entre as estações do ano, evidenciando a permanência somente de grupos funcionais resistentes a ambientes hipereutrofizados e a baixa diversidade.

Características biológicas são comumente utilizadas para o entendimento adequado de um ecossistema marinho pois podem delimitar a resposta das interações entre espécies e o ambiente (Vinagre *et al.* 2017, Liu *et al.* 2019, Taupp and Wetzel 2019). As Crostosas Calcáreas apresentam maior resistência à dessecação e à ação de ondas em costões rochosos expostos em relação a espécies de talo ereto (Dethier 1994). Estas macroalgas são também conhecidas por facilitar o recrutamento e assentamentos de macroalgas com talos complexos e prover substratos propícios para propágulos de algas e larvas de invertebrados (Asnaghi *et al.* 2015). Desta forma, Crostosas Calcáreas Vermelhas podem ter sido importantes na estruturação da comunidade bentônica da entrada da BG enquanto o decréscimo na influência de Folhosas Verdes pode ter sido importante para o aparecimento de outros GFs no canal central da baía.

As três localidades amostradas obtiveram diferenças estatísticas significativas com relação aos valores anuais do Índice de Rao para os grupos funcionais. Na Praia Vermelha, a dissimilaridade funcional encontrada entre os anos amostrais 2 (2011-2012) coincidiu com a ocorrência do fenômeno climático *La Niña* (categoria moderada) (INPE, 2020; NOAA 2021). O aumento na produtividade primária (nitrogênio e clorofila a) e salinidade ocorridos na BG concomitantemente ao fenômeno *La Niña* podem ter estimulado a elevada diversidade funcional ($p < 0.05$) encontrada no segundo ano amostral na Praia Vermelha (Mello *et al.* 2018). A localidade no canal central da baía apresentou diferenças significativas entre os anos 3 (2012-2013) e 4 (2013-2014), no qual ocorreu a diminuição da influência do Biofilme Bacteriano na estrutura funcional da comunidade e o aumento de riqueza funcional.

O mesmo padrão de diminuição do Biofilme Bacteriano do ano 4 também foi observado na localidade no interior da BG. Além do quarto ano amostral, o ano 1 (2011-2012) acumulou a maior quantidade de diferenças significativas entre os anos amostrais, no qual ocorreu o aumento de contribuição de Biofilme Bacteriano e Folhosas Verdes. Nenhum dos dados abióticos coletados neste trabalho apresentaram diferenças significativas para separar os anos amostrais. Vale salientar que outras variáveis ambientais locais junto aos fenômenos climáticos podem também afetar de forma positiva ou negativa a comunidade bentônica dos costões rochosos e que, portanto, não devem ser descartadas ao examinar o funcionamento desses ecossistemas.

Atributos morfológicos e fisiológicos de organismos bentônicos marinhos são amplamente utilizados para compreensão de processos ecológicos em costões rochosos ao redor do mundo (Vinagre *et al.* 2017, Huguenin *et al.* 2019, Liu *et al.* 2019). Porém, essa abordagem funcional por meio de índices de DF ainda é pouco utilizada e desenvolvida nesses ecossistemas da costa brasileira (Portugal *et al.* 2017, Caldeira *et al.* 2017, Mantelatto *et al.* 2018, Martinez *et al.* 2019). Apesar da Baía de Guanabara ser um importante centro turístico, econômico e ambiental da costa brasileira (Soares-Gomes *et al.* 2016), poucas pesquisas que debatem diversidade funcional foram realizadas na Baía de Guanabara e, até o momento, nenhuma aplicou índices dessa abordagem (Jesus *et al.* 2013, Braga *et al.* 2014, Machado *et al.* 2016). Ademais, considerando a falta de sistematização temporal e espacial em amostragem de trabalhos prolongados realizados no passado na Baía de Guanabara, ainda há lacunas no conhecimento de dinâmicas das comunidades bentônicas dos costões rochosos deste local. Desta forma, métodos realizados a longo prazo poderiam fornecer importantes dados para o entendimento da atual conjuntura bentônica marinha da Baía de Guanabara.

CONCLUSÃO

A Diversidade Funcional (DF) é uma importante ferramenta para avaliação de estrutura das comunidades de costão rochoso. Ao analisar os grupos funcionais em conjunto para a Baía de Guanabara (BG), observou-se a redução de informações e acurácia em comparação as análises com as localidades separadas, posto que cada área da baía apresenta diferentes características físicas e físico-químicas. Considerando a riqueza funcional, verificou-se que apenas os grupos funcionais de macroalgas marinhas que foram associadas aos seus respectivos filós evidenciaram a separação das áreas amostradas. Desta forma, foi possível registrar um gradiente de riqueza funcional, no qual a localidade na entrada da baía apresentou a maior riqueza funcional e, inclusive, grupos funcionais exclusivos, enquanto a localidade no interior da baía apresentou a menor riqueza funcional. No entanto, as três localidades exibiram medianas similares e não apresentaram diferença estatística significativa.

Uma tendência de aumento de grupos funcionais de invertebrados marinhos na entrada da BG e diminuição no fundo da baía em relação a riqueza funcional de macroalgas marinhas foi registrada. Esses resultados validam a hipótese encontrada na literatura acerca do aumento da diversidade de grupos funcionais de macroalgas bentônicas e aumento da heterogeneidade espacial. Vale salientar que a estrutura da comunidade bentônica na localidade do interior da BG abrigou grupos funcionais de macroalgas com morfologia simples e rápido ciclo de vida, pouco diferenciadas e com estratégias de vida oportunistas, em consequência ao maior nível de distúrbio antropogênico.

As análises de modelo nulo indicaram que na comunidade da entrada da baía, onde a qualidade da água é melhor, há sobreposições de nichos mais do que esperado ao acaso, enquanto a do interior da baía, local com maior impacto antrópico, apresentou registro tanto de exclusão competitiva quanto sobreposição de nicho. Grupos funcionais de algas verdes, vermelhas e de invertebrados marinhos estavam envolvidos nestas relações, onde ao menos dois grupos de algas vermelhas apresentaram uma relação de exclusão competitiva entre si.

Para as três localidades, houve diferenças significativas em relação aos fatores ambientais aos quais estão sujeitas. Assim, embora estejam próximas geograficamente e compartilhem, em sua maioria, os mesmos grupos funcionais, as localidades parecem ter sua dinâmica regida de forma diferenciada. Os nutrientes mostraram-se estatisticamente significativos na

estrutura funcional das comunidades do canal e interior da baía, enquanto fatores físicos foram significativos na localidade da entrada da baía. Grupos funcionais de macroalgas de talo simples e representados por espécies efêmeras apresentaram as maiores médias de DF relacionadas às variáveis de concentração de ortofosfato, nitrato e pluviosidade duas semanas antes da coleta.

Em oposição ao aventado na hipótese inicial, verificou-se diferenças estatísticas significativas na estrutura funcional das áreas da baía com relação às estações do ano, anos amostrais e períodos seco ou chuvoso. Outono foi a estação do ano que reuniu a maior quantidade de diferenças estatísticas na entrada e canal da baía. Com relação aos anos amostrais, Praia Vermelha obteve a maior riqueza funcional e dissimilaridade durante o segundo ano amostral, no qual foi registrado a ocorrência do fenômeno *La Niña*. Os anos 1, 3 e 4 também acumularam diferenças estatísticas significativas pela mudança na influência de grupos funcionais nas comunidades de Boa Viagem e Ilha dos Lobos. Contudo, estas mudanças não parecem cíclicas pois não foram representadas pelos mesmos grupos funcionais ou respostas iguais a mudanças nas variáveis ambientais.

Em suma, a BG é um estuário hipereutrófico devido a entrelaçada relação da sociedade com os seus biótopos. Estudos a longo prazo dos organismos bentônicos de costões rochosos podem oferecer uma compreensão apropriada da dinâmica que ocorre neste ecossistema frente a condição abiótica da baía. A caracterização espacial e temporal destas comunidades bentônicas foi realizada neste trabalho pela perspectiva da Diversidade Funcional, a qual se mostrou eficiente para avaliar a dinâmica dos grupos funcionais e suas relações com as variáveis ambientais. Assim, os resultados encontrados aqui reforçam os efeitos da poluição nos organismos que habitam a baía, o gradiente de diversidade e a homogeneização das comunidades bentônicas no interior da baía, sinalizando a necessidade imediata de medidas governamentais para atenuar o impacto nesses ecossistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, Ilene Matano, Renato Campello Cordeiro, Abilio Soares-Gomes, Denis Moledo S. Abessa, Luciane Alvez Maranhão, and Ricardo Erthal Santelli. 2016. "Ecological risk evaluation of sediment metals in a tropical Eutrophic Bay, Guanabara Bay, Southeast Atlantic". *Marine Pollution Bulletin* 109, no. 1:435-445. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.030>.
- Airoidi, Laura. 2003. "The Effects of Sedimentation on Rocky Coast Assemblages." In *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, edited by R. N. Gibson and R. J. A. Atkinson, 161-236. London: CRC Press.
- Altamirano, M., A. Flores-Moya, and F. L. Figueroa. 2000. "Long-Term Effects of Natural Sunlight under Various Ultraviolet Radiation Conditions on Growth and Photosynthesis of Intertidal *Ulva rigida* (Chlorophyceae) Cultivated in Situ." *Botanica Marina* 43, no. 2: 5-51. doi: <http://dx.doi.org/10.1515/bot.2000.012>.
- Amador, Elmo da Silva. 1997. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: homem e natureza*. Rio de Janeiro: ReproArte Grafica e Editora Ltda.
- Amaral, Hanna Brum François, Renata Perpetuo Reis, Marcia Abreu de Oliveira Figueiredo, and Alexandre de Gusmão Pedrini. 2018. "Decadal shifts in macroalgae assemblages in impacted urban lagoons in Brazil." *Ecological Indicators* 85: 869-877. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.055>.
- Anfuso, G., Allan Williams, G. Casas Martínez, C. M. Botero, J. A. Cabrera Hernández, and Enzo Pranzini. 2017. "Evaluation of the scenic value of 100 beaches in Cuba: Implications for coastal tourism management." *Ocean & Coastal Management* 142: 173-185. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.029>.
- Arévalo, Raquel, Susana Pinedo, and Enric Ballesteros. 2007. "Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae." *Marine Pollution Bulletin* 55, no.1-6: 104-113. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.023>.

- Asnaghi, Valentina, Simon F. Thrush, Judi E. Hewitt, Luisa Mangialajo, Riccardo Cattaneo-Vietti, and Mariachiara Chiantore. 2015. "Colonization processes and the role of coralline algae in rocky shore community dynamics." *Journal of Sea Research* 95:132-138. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2014.07.012>.
- Balata, David, Luigi Piazzzi, and Lisandro Benedetti-Cecchi. 2007. "Sediment Disturbance and Loss of Beta Diversity on Subtidal Rocky Reefs." *Ecology* 88, no.10:2455-2461. doi: <http://dx.doi.org/10.1890/07-0053.1>.
- Baptista Neto, José Antônio, and Estefan Monteiro da Fonseca. 2011. "Variação sazonal, espacial e composicional de lixo ao longo das praias da margem oriental da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro) no período de 1999-2008." *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 11, no.1: 31-39.
- Barbosa, Débora Ferreira, Thelma Lúcia Pereira Dias, Sérgio de Faria Lopes, Rafaela Cristina de Souza Duarte, and Fernanda Maria Duarte do Amaral. 2019. "Community structure and functional traits of mollusks associated with coastal reef macroalgae in Northeastern Brazil." *Marine Ecology* 40, no. 5. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/maec.12563>.
- Baynes, Tracy W. 1999. "Factors structuring a subtidal encrusting community in the southern gulf of California." *Bulletin of Marine Science* 64, no. 3: 419-450.
- Beisiegel, Kolja, Alexander Darr, Mayya Gogina, and Michael L. Zettler. 2017. "Benefits and shortcomings of non-destructive benthic imagery for monitoring hard-bottom habitats." *Marine Pollution Bulletin* 121, no. 1-2 :5-15. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.009>.
- Bell, Caroline, Christopher D. Mcquaid, and Francesca Porri. 2015. "Barnacle settlement on rocky shores: substratum preference and epibiosis on mussels." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 473: 195-201. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2015.09.006>.
- Bello, F., J. Lepš, S. Lavorel, and M. Moretti. 2007. "Importance of species abundance for assessment of trait composition: an example based on pollinator communities." *Community Ecology* 8, n. 2: 163-170. doi: <http://dx.doi.org/10.1556/comec.8.2007.2.3>.

- Bertocci, Iacopo, Jorge A. Domínguez Godino, Cristiano Freitas, Monica Incera, Ana Bio, and Rula Domínguez. 2017. "Compounded perturbations in coastal areas: contrasting responses to nutrient enrichment and the regime of storm-related disturbance depend on life-history traits." *Functional Ecology* 31, no. 5: 1122-1134. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.12815>.
- Bishop, Melanie J., Sean P. Powers, Hugh J. Porter, and Charles H. Peterson. 2006. "Benthic biological effects of seasonal hypoxia in a eutrophic estuary predate rapid coastal development." *Estuarine, Coastal And Shelf Science* 70, no. 3: 415-422. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2006.06.031>.
- Bokenham, N., and T.A. Stephenson. 1938. *The colonization of denuded rock surfaces in the intertidal region of the Cape Peninsula*. [S.L.]: Annals of the Natal Museum.
- Borowitzka, M. A. 1972. "Intertidal algal species diversity and the effect of pollution." *Marine and Freshwater Research* 23, no. 2: 73-84. doi: <http://dx.doi.org/10.1071/mf9720073>.
- Botta-Dukát, Zoltán. "Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits." *Journal of Vegetation Science* 16, no. 5: 533-540. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02393.x>.
- Bracken, Matthew E. S., Sara E. Friberg, Cirse A. Gonzalez- Dorantes, and Susan L. Williams. 2008. "Functional consequences of realistic biodiversity changes in a marine ecosystem." *Proceedings of The National Academy of Sciences* 105, no. 3: 924-928. doi: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0704103105>.
- Braga, Ana Carolina da Silva, Frederico Tapajós de Souza Tâmega, Alexandre de Gusmão Pedrini, and Raquel de Azeredo Muniz." Composição e estrutura da comunidade fitobentônica do infralitoral da praia de Itaipu, Niterói, Brasil: subsídios para monitoramento e conservação." *Iheringia Série Botânica* 69, no.2: 267-276.
- Breves-Ramos, André, Helena Passeri Lavrado, Andrea de Oliveira Ribeiro Junqueira, and Sérgio Henrique Gonçalves da Silva. 2005. "Succession in rocky intertidal benthic communities in areas with different pollution levels at Guanabara Bay (RJ-Brazil)." *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48, no. 6: 951-965. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-89132005000800012>.

- Bruschetti, Carlos Martin, Mariana Addino, Tomas Luppi, and Oscar Iribarne. 2018. "Effects of nutrient enrichment and grazing by an invasive filter feeder on phytoplankton biomass in a South West Atlantic coastal lagoon." *Biological Invasions* 20, no. 8: 2245-2256. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-018-1699-y>.
- Bulleri, Fabio, Lisandro Benedetti- Cecchi, Stefano Acunto, Francesco Cinelli, and Stephen J. Hawkins. 2002. "The influence of canopy algae on vertical patterns of distribution of low-shore assemblages on rocky coasts in the northwest Mediterranean." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 267, no. 1: 89-106. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-0981\(01\)00361-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-0981(01)00361-6).
- Bustamante, María, Javier Tajadura, José María Gorostiaga, and José Ignacio Saiz-Salinas. 2014. "Response of rocky invertebrate diversity, structure, and function to the vertical layering of vegetation." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 147: 148-155. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2014.06.001>.
- Caldeira, Aline Queiroz, Joel de Paula, Renata Perpetuo Reis, Rodolfo Gutterres Giordano. 2017. "Structural and functional losses in macroalgal assemblages in a southeastern Brazilian bay over more than a decade." *Ecological Indicators* 75: 242-248. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.029>.
- Camargo, Manuela Zeglin, Leonardo Sandrini-Neto, Renato S. Carreira, and Mauricio G. Camargo. 2017. "Effects of hydrocarbon pollution in the structure of macrobenthic assemblages from two large estuaries in Brazil." *Marine Pollution Bulletin* 125, no. 1-2: 66-76. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.074>.
- Carneiro, M. E. R., A. N. Marques, R. C. Pereira, M. M. O. Cabral, and V. L. Teixeira. 1987. "Estudos populacionais de *Ulva fasciata* Delile, indicadora de poluição na Baía de Guanabara." *Nerítica* 2: 201 – 212.
- Carvalho, Diego Gomes de, José Antonio Baptista Neto. 2016. "Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil." *Ocean & Coastal Management* 128: 10-17. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.009>.
- Chaves, Maria Clara Nunes Ramos, Ana Clara Sampaio Franco, Luana Barbosa Seixas, Lívia Rodrigues da Cruz, and Luciano Neves dos Santos. 2018. "Testing the ecocline concept for fish assemblages along the marine-estuarine gradient in a highly-eutrophic

- estuary (Guanabara Bay, Brazil).” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 211: 118-126. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.004>.
- Cianciaruso, Marcus Vinicius, Igor Aurélio Silva, Marco Antônio Batalha. 2009. “Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades.” *Biota Neotropica* 9, no. 3: 93-103. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1676-06032009000300008>.
- Clemente, Iara Martins Matos Moreira, Frederico Sobrinho da Silva, Lazaro Luiz Mattos Laut, Fabrizio Frontalini, Vitor Lima da Costa, Maria Antonieta da Conceição Rodrigues, Egberto Pereira *et al.* 2015. “Biochemical Composition and Foraminiferal Content of Sediments for Determining Bottom Sector Environments in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil).” *Journal of Coastal Research* 31, no. 5. doi: <http://dx.doi.org/10.2112/jcoastres-d-14-00104.1>.
- Coll, Marta, Chiara Piroddi, Jeroen Steenbeek, Kristin Kaschener, Frida Ben Rais Lasram, Jacopo Aguzzi, Enric Ballesteros *et al.* 2010. “The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats.” *Plos One* 5, no. 8. doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0011842>.
- Contador, Cristian Bulboa, Ignacio Pérez Massad, Loretto Contreras-Porcia, Javier Zapata, Francisco Castañeda, María Eliana Ramírez, and Patricia Gil-Kodaka. 2019. “Concise review of genus *Chondracanthus* (Rhodophyta: gigartinales).” *Journal of Applied Phycology* 32, no. 2: 773-785. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-019-01956-w>.
- Cotovicz, Luiz C., Bastiaan A. Knoppers, Nilva Brandini, Dominique Poirier, Suzan J. Costa Santos, and Gwenaël Abril. 2016. “Spatio-temporal variability of methane (CH₄) concentrations and diffusive fluxes from a tropical coastal embayment surrounded by a large urban area (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil).” *Limnology and Oceanography* 61, no. 1: 238-252. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/lno.10298>.
- Coutinho, Ricardo. 2002. “Bentos de Costão Rochoso.” In *Biologia Marinha*, edited by Renato Crespo Pereira and Abílio Soares-Gomes. Rio de Janeiro: Interciência.
- Crowe, Tasman P., Mathieu Cusson, Fabio Bulleri, Dominique Davoult, Francisco Arenas, Rebecca Aspden, Lisandro Benedetti-Cecchi *et al.* 2013. “Large-Scale Variation in Combined Impacts of Canopy Loss and Disturbance on Community Structure and

- Ecosystem Functioning.” *Plos One* 8, no. 6. doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0066238>.
- Dame, Richard F. 1993. *Bivalve Filter Feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- De Paula, Joel Campos, Erick Alves Pereira Lopes-Filho, Wanderson Fernandes de Carvalho, Amanda Cunha de Souza Coração, and Yocie Yoneshigue-Valentin. 2020. “Long-term changes in macroalgae assemblages reveal a gradual biodiversity loss over the last 200 years in the hypereutrophic Guanabara Bay.” *Marine Environmental Research* 162: 1-9. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105153>.
- Deter, Julie, Pierre Descamp, Pierre Boissery, Laurent Ballesta, and Florian Holon. 2012. “A rapid photographic method detects depth gradient in coralligenous assemblages.” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 418-419: 75-82. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2012.03.006>.
- Dethier, Megan. N. 1994.” The ecology of intertidal algal crusts: variation within a functional group.” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 177, no. 1: 37-71. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(94\)90143-0](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(94)90143-0).
- Dias, Gustavo M., Ronaldo A. Christofoletti, Karina Kitazawa, and Stuart R. Jenkins. 2017. “Environmental heterogeneity at small spatial scales affects population and community dynamics on intertidal rocky shores of a threatened bay system.” *Ocean & Coastal Management* 164: 52-59. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.12.001>.
- Díaz, Sandra, Andy Purvis, Johannes H. C. Cornelissen, Georgina M. Mace, Michael J. Donoghue, Robert M. Ewers, Pedro Jordano, and William D. Pearse 2013. “Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability.” *Ecology and Evolution* 3, no. 9: 2958-2975. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.601>.
- Díez, I., A. Santolaria, N. Muguerza, and J. M. Gorostiaga. 2013. “Measuring restoration in intertidal macrophyte assemblages following sewage treatment upgrade.” *Marine Environmental Research* 84: 31-42. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.11.006>.

- Elliott, Michael and Victor Quintino. 2019. "The Estuarine Quality Paradox Concept." In *Encyclopedia of Ecology*, edited by Brian Fath, 78-85. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11054-1>.
- Escobar, Joan B., Christopher Knight, and Sergio A. Navarrete. 2018. "Predation on competing mussel species: patterns of prey consumption and its potential role in species coexistence." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 504: 38-46. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2018.03.008>.
- Ferreira, Ana, Ana Sofia Alves, João Carlos Marques, and Sónia Seixas. 2017. "Ecosystem response to different management options in Marine Protected Areas (MPA): A case study of intertidal rocky shore communities." *Ecological Indicators* 81: 471-480. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.028>.
- Ferreira, M. and S Rosso. 2009. "Effects of human trampling on a rocky shore fauna on the Sao Paulo coast, southeastern Brazil." *Brazilian Journal of Biology* 69, no. 4: 993-999. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-69842009000500003>.
- Fistarol, Giovana de Oliveira, Felipe H. Coutinho, Ana Paula B. Moreira, Tainá Venas, Alba Cánovas, Sérgio E. M. de Paula Júnior, Ricardo Coutinho *et al.* 2015. "Environmental and Sanitary Conditions of Guanabara Bay, Rio de Janeiro." *Frontiers in Microbiology* 6. doi: <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2015.01232>
- Fistarol, Giovana de Oliveira and Denise Rivera Tenenbaum. 2018. "Evolução, causas e consequências dos impactos ambientais." In *A Baía de Guanabara – Passado, presente e futuro de um ecossistema ameaçado*, edited by Jean Louis Valentin, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. Curitiba: Editora CRV.
- García-Seoane, R., J. A. Fernández, M. T. Boquete, J.R. Aboal. 2019." Application of macroalgae analysis to assess the natural variability in selected pollution concentrations (N and Hg), and to detect sources of it in coastal environments." *Science of the Total Environment* 650: 1403-1411. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.156>.
- Gaspar, Rui, Leonel Pereira, and João M. Neto. 2017. "Intertidal zonation and latitudinal gradients on macroalgal assemblages: Species, functional groups and thallus morphology approaches." *Ecological Indicators* 81: 90-103. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.060>.

- Gestinari, Lísia Monica de Souza and Yocie Yoneshigue-Valentin. 2018. “Alterações decadais nas comunidades macroalgáceas.” In *A Baía de Guanabara – Passado, presente e futuro de um ecossistema ameaçado*, edited by Jean Louis Valentin, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. Curitiba: Editora CRV.
- Gibson, Timothy M., Patrick M. Shih, Vivien M. Cumming, Woodward W. Fischer, Peter W. Crockford, Malcolm S.W. Hodgskiss, Sarah Wörndle *et al.* 2017.” Precise age of *Bangiomorpha pubescens* dates the origin of eukaryotic photosynthesis.” *Geology* 46, no. 2: 135-138. doi: <http://dx.doi.org/10.1130/g39829.1>.
- Gomes, Inês, Laura Peteiro, Juan Bueno-Pardo, Rui Albuquerque, Sergi Pérez-Jorge, Eduardo R. Oliveira, Fátima L. Alves, and Henrique Queiroga. 2018. “What's a picture really worth? On the use of drone aerial imagery to estimate intertidal rocky shore mussel demographic parameters.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 213: 185-198. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.020>.
- Gómez, Iván and Pirjo Huovinen. 2011. “Morpho-functional patterns and zonation of South Chilean seaweeds: the importance of photosynthetic and bio-optical traits.” *Marine Ecology Progress Series* 422: 77-91. doi: <http://dx.doi.org/10.3354/meps08937>.
- Gómez, Iván, Nelso P. Navarro, and Pirjo Huovinen. 2019. “Bio-optical and physiological patterns in Antarctic seaweeds: A functional trait-based approach to characterize vertical zonation.” *Progress in Oceanography* 174: 17-27. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2018.03.013>.
- Gotelli, Nicholas J. and Gary R. Graves. 1996. “Niche overlap.” In *Null Models in Ecology*, edited by Nicholas J. Gotelli and Gary R. Graves, 65-94. Washington, DC: Smithsonian Institution Press.
- Howell, Kerry L., Ross D. Bullimore, and Nicola L. Foster. 2014. “Quality assurance in the identification of deep-sea taxa from video and image analysis: response to Henry and Roberts.” *ICES Journal of Marine Science* 71, no. 4: 899-906. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsu052>.
- Hubas, Cédric and Dominique Davoult. 2006. “Does seasonal proliferation of *Enteromorpha* sp. affect the annual benthic metabolism of a small macrotidal estuary? (Roscoff Aber

- Bay, France).” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70, no. 1-2: 287-296. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2006.06.019>.
- Huerta-Diaz, Miguel Angel, Francisco de León-Chavira, María Lucila Lares, Alfredo Chee-Barragán, and Arturo Siqueiros-Valencia. 2007. “Iron, manganese and trace metal concentrations in seaweeds from the central west coast of the Gulf of California.” *Applied Geochemistry* 22, no. 7: 1380-1392. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.03.052>.
- Huguenin, L., Y. Lalanne, M. N. de Casamajor, J. M. Gorostiaga, E. Quintano, M. Salerno, and M. Monperrus. 2019. “Impact of wastewater treatment plant discharges on macroalgae and macrofauna assemblages of the intertidal rocky shore in the southeastern Bay of Biscay.” *Continental Shelf Research* 181: 34-49. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2019.04.014>.
- INEA. 2021. “Balneabilidade das Praias.” Accessed March 2, 2021. <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/como-e-feito-o-monitoramento-das-praias/>.
- INPE. 2020. “Monitoramento do El Niño.” Accessed February 20, 2020. <http://enos.cptec.inpe.br>.
- Jackson, J. B. C. 1977. “Competition on Marine Hard Substrata: The Adaptive Significance of Solitary and Colonial Strategies.” *The American Naturalist* 111, no. 980: 743-767. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/283203>.
- Jaenicke, L. 1977. “Sex hormones of brown algae.” *Naturwissenschaften* 64, no. 2: 69-75. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/bf00437346>.
- Janas, Urszula, Dorota Burska, Halina Kendzierska, Dorota Pryputniewicz-Flis, and Katarzyna Łukawska-Matuszewska. 2019. “Importance of benthic macrofauna and coastal biotopes for ecosystem functioning – Oxygen and nutrient fluxes in the coastal zone.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 225: 1-15. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2019.05.020>.
- Jänes, Holger, Jonne Kotta, Merli Pärnoja, Tasman P. Crowe, Fabio Rindi, and Helen Orav-Kotta. 2016. “Functional traits of marine macrophytes predict primary production.” *Functional Ecology* 31, no. 4: 975-986. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.12798>.

- Jesus, Perla Baptista, Gisa Eneida Marques Machado, and Raquel de Azeredo Muniz. 2013. “Macroalgas Marinhas como Indicadores de Impactos Ambientais em Itacoatiara, Niterói, RJ: Subsídios para Futuros Programas de Monitoramento Ambiental.” *Caderno de Estudos Geoambientais – CADEGEO* 4, no. 1: 67-80.
- Junqueira, Andrea de Oliveira Ribeiro, Laís Raquel de Araújo, Camila Augusto Puga, Isabella Benvenuti Alcântara de Oliveira, Amanda Cunha de Souza Coração, Yocie Yoneshigue-Valentin, and Joel Campos de Paula. “Bentos de Costões Rochosos.” In *A Baía de Guanabara – Passado, presente e futuro de um ecossistema ameaçado*, edited by Jean Louis Valentin, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. Curitiba: Editora CRV.
- Kim, Sangil, Yun Hee Kang, Chang Jae Choi, Nam-II Won, In-Soo Seo, Hyuk Je Lee, Sukgeun Jung, and Sang Rul Park. 2014. “Effects of intensity and seasonal timing of disturbances on a rocky intertidal benthic community on the southern coast of Korea.” *Ecological Research* 29, no. 3: 421-431. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-014-1134-5>.
- Kinzie, Robert A. 2008. “Four decades of macroalgal stasis and change on an urban coral reef.” *Micronesia* 40: 101–122.
- Kjerfve, Björn, Cesar H. A. Ribeiro, Gilberto T. M. Dias, Alessandro M. Filippo, and Valéria da Silva Quaresma. 1997. “Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil.” *Continental Shelf Research* 17, no. 13: 1609-1643. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s0278-4343\(97\)00028-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0278-4343(97)00028-9).
- Kohler, K. E. and S. M. Gill. 2006.” Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology.” *Computers & Geosciences* 32, no. 9: 1259-1269. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.009>
- Kownacka, Janina, Joanna Całkiewicz, and Ryszard Kornijów. 2020. “A turning point in the development of phytoplankton in the Vistula Lagoon (southern Baltic Sea) at the beginning of the 21st century.” *Oceanologia* 62, no. 4: 538-555. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceano.2020.08.004>.

- Lavrado, Helena P., Ana Paula Falcão, P. Carvalho-Cunha, and S. H. G. Silva. 2000. "Composition and distribution of Decapoda from Guanabara Bay, RJ" *Nauplius* 8, no. 1: 15-23.
- Laut, Lázaro L. M., Vanessa M. Laut, Frederico S. Silva, and Alberto G. Figueiredo Júnior. 2011. "Modern Diatom Distributions in Guanabara Bay Sediment and Oceanic Areas, Rio de Janeiro (Brazil)." *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ* 34: 64-87.
- Limaverde, Aricelso Maia, Angela de L. Rebello Wagener, Marcos A. Fernandez, Arthur de L. Scofield, and Ricardo Coutinho. 2007. "Stramonita haemastoma as a bioindicator for organotin contamination in coastal environments." *Marine Environmental Research* 64, no. 3: 384-398. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2007.03.001>.
- Littler, Mark M. and Diane S. Littler. 1980. "The Evolution of Thallus Form and Survival Strategies in Benthic Marine Macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model." *The American Naturalist* 116, no. 1: 25-44. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/283610>.
- Littler, Mark M., Diane S. Littler, and Barrett L. Brooks. 2010. "The effects of nitrogen and phosphorus enrichment on algal community development: artificial mini-reefs on the Belize barrier reef sedimentary lagoon." *Harmful Algae* 9, no. 3: 255-263. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2009.11.002>.
- Liu, Kun, Lin Heshan, He Xuebao, Huang Yaqin, Li Zhong, Lin Junhui, Mou Jianfeng *et al.* 2019. "Functional trait composition and diversity patterns of marine macrobenthos across the Arctic Bering Sea." *Ecological Indicators* 102: 673-685. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.029>.
- Lobban, Christopher S. and Paul J. Harrison. 1994. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Longo, Pedro Augusto dos Santos, Karine Ferreira Ribeiro Mansur, Fosca Pedini Pereira Leite, and Flávio Dias Passos. 2019. "The highly diverse gastropod assemblages associated with *Sargassum* spp. (Phaeophyceae: Fucales) habitats." *Journal of The Marine Biological Association of The United Kingdom* 99, no. 6: 1295-1307. doi: [10.1017/S0025315419000304](https://doi.org/10.1017/S0025315419000304).

- Lourenço, Sérgio O., Elisabete Barbarino, Andyara Nascimento, Joana N. P. Freitas, and Graciela S. Diniz. 2006. "Tissue Nitrogen and Phosphorus in Seaweeds in a Tropical Eutrophic Environment: what a long-term study tells us." *Journal of Applied Phycology* 18, no. 3-5: 389-398. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-006-9035-9>.
- Macedo, Mariana Cardoso, Vilela, Claudia Guterres, and José Antonio Baptista Neto. 2013. "Registro da Influência Marinha Através da Distribuição de Foraminíferos Bentônicos na Baía de Guanabara, Estado do Rio de Janeiro, Brasil." *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* 362, no. 1: 117-128. doi: http://dx.doi.org/10.11137/2013_2_117_128.
- Machado, Gisa Eneida Marques, Vitor Lopes Tutunji Cavalcante da Silva, Graça Maria Bispo, and Rodrigo Gaião Brault de Miranda. 2016. "Comunidade Macrobentônica de Costões Rochosos de duas Praias do Município de Niterói-RJ." *Semioses Inovação Desenvolvimento e Sustentabilidade* 10, no. 2: 40-50. doi: <http://dx.doi.org/10.15202/1981996x.2016v10n2p40>.
- Mantelatto, Marcelo Checoli, Igor Cristino Silva Cruz, and Joel Christopher Creed. 2018. "A review of the knowledge of shallow subtidal benthic communities in Brazil." *Marine Environmental Research* 140: 69-77. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.05.022>.
- Martin, G. D., Rejomon George, P. Shaiju, K. R. Muraleedharan, S. M. Nair, and N. Chandramohanakumar. 2012. "Toxic Metals Enrichment in the Surficial Sediments of a Eutrophic Tropical Estuary (Cochin Backwaters, Southwest Coast of India)." *The Scientific World Journal* 2012: 1-17. doi: <http://dx.doi.org/10.1100/2012/972839>.
- Martinez, Aline S., Mariana Mayer-Pinto, and Ronaldo A. Christofolletti. 2019. "Functional responses of filter feeders increase with elevated metal contamination: Are these good or bad signs of environmental health?" *Marine Pollution Bulletin* 149. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110571>.
- Martins, Cintia D. L., Noele Arantes, Caroline Faveri, Manuela B. Batista, Eurico C. Oliveira, Paulo R. Pagliosa, Alessandra L. Fonseca *et al.* 2012. "The impact of coastal urbanization on the structure of phytobenthic communities in southern Brazil." *Marine Pollution Bulletin* 64, no. 4: 772-778. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.01.031>.

- Martins, Gustavo M., Cláudia Hipólito, Filipe Parreira, Afonso C. L. Prestes, Maria A. Dionísio, José M. N. Azevedo, and Ana I. Neto. 2016. "Differences in the structure and functioning of two communities: Frondose and turf-forming macroalgal dominated habitats." *Marine Environmental Research* 116: 71-77. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.03.004>
- McGuinness, K.A. and A. J. Underwood. 1986. "Habitat structure and the nature of communities on intertidal boulders." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 104, no. 1-3: 97-123. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90099-7](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(86)90099-7).
- Mello, Marianne Pataro Mello, Fernando Neves Pinto, Anderson de Souza Cabral, and Rodolfo Pinheiro da Rocha Paranhos. "Tendências decadais da qualidade das águas". In *A Baía de Guanabara – Passado, presente e futuro de um ecossistema ameaçado*, edited by Jean Louis Valentin, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. Curitiba: Editora CRV.
- Menconi, Maria de Fátima Guadalupe, T. A. Silva, M. L. Fonseca, S. O. F. Lima, E.F. A. Lima, H. P. Lavrado, and A. G. Figueiredo Júnior. 2012. *Baía de Guanabara: Síntese do conhecimento ambiental*. Rio de Janeiro: BR Petrobras.
- Mendes, C.L.T., Abilio Soares-Gomes, and Marcos Tavares. 2006. "Seasonal and spatial distribution of sublittoral soft-bottom mollusks assemblages at Guanabara bay, Rio de Janeiro, Brazil." *Journal of Coastal Research* 39: 1877 - 1881.
- Middelboe, Anne Lise L. and Kaj Sand-Jensen. 2004. "Patterns of Species Number and Abundance in Macroalgal Communities in Coastal Waters." *Hydrobiologia* 511, no. 1: 173-183. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/b:hydr.0000014039.00942.8c>.
- Millar, Russel B. and Marti J. Anderson. 2004. "Remedies for pseudoreplication." *Fisheries Research* 70, no. 2-3: 397-407. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2004.08.016>.
- Ministério da Educação - Brasil. 2020. "Programa de pesquisa ecológica divulga projetos ganhadores. Accessed March 8, 2020. <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/40681>.
- Miranda, Ricardo J., José de Anchieta C. C. Nunes, Eduardo Mariano-Neto, James Z. Sippo, and Francisco Barros. 2018. "Do invasive corals alter coral reef processes? An empirical

- approach evaluating reef fish trophic interactions.” *Marine Environmental Research* 138: 19-27. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.03.013>.
- Moraes, R.B.C. *et al.* 2012. “Bioindicadores de elementos-traço e micropoluentes orgânico.” In *Baia de Guanabara: Síntese do conhecimento ambiental*, edited by Maria de Fátima Guadalupe Menconi, T. A. Silva, M. L. Fonseca, S. O. F. Lima, E.F. A. Lima, H. P. Lavrado, and A. G. Figueiredo Júnior. Rio de Janeiro: BR Petrobras.
- Nelson, Wendy A. 2009. “Calcified macroalgae - critical to coastal ecosystems and vulnerable to change: a review.” *Marine and Freshwater Research* 60, no. 8: 787-801. doi: <http://dx.doi.org/10.1071/mf08335>.
- Neves, Raquel A. F., Carlos Alejandro Echeverría, Leandro Amaro Pessoa, Paulo Cesar Paiva, Rodolfo Pinheiro da Rocha Paranhos, and Jean Louis Valentin. 2012. “Factors influencing spatial patterns of molluscs in a eutrophic tropical bay.” *Journal of The Marine Biological Association of The United Kingdom* 93, no. 3: 577-589. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/s0025315412001105>.
- NOAA. 2021. “National Weather Service. Cold & Warm Episodes by Season.” Accessed February 18, 2021. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.
- O’connell-Milne, Sorrel A., Stephen R. Wing, Sutara H. Suanda, Jacquetta A. Udy, Leonardo M. Durante, Nichola H. Salmond, and Lucy C. Wing. 2020. “Interactions between bivalve filter feeding and oceanographic forcing drive the fluxes of organic matter and nutrients at an estuarine-coastal interface.” *Marine Ecology Progress Series* 655: 29-42. doi: <http://dx.doi.org/10.3354/meps13522>.
- Oliveira, Lejeune P. H. 1947. “Distribuição geográfica da fauna e flora da Baía de Guanabara.” *Memória do Instituto Oswaldo Cruz* 45, no. 3: 709-735.
- Oliveira, Lejeune P. H., Luiza Krau, and Rubem do Nascimento. 1953. “Observações hidrobiológicas na cisterna da Ilha do Pinheiro.” *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 51: 503-524.
- Omena, Elianne Pessoa, Helena Lavrado, Rodolfo Pinheiro da Rocha Paranhos, and T. A. Silva. 2012. “Spatial distribution of intertidal sandy beach polychaeta along an estuarine

- and morphodynamic gradient in an eutrophic tropical bay.” *Marine Pollution Bulletin* 64, no. 9: 1861-1873. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.06.009>.
- Orfanidis, Sotiris, Panayotis Panayotidis and K. Ugland. 2011. “Ecological Evaluation Index continuous formula (EEI-c) application: a step forward for functional groups, the formula and reference condition values.” *Mediterranean Marine Science* 12, no. 1: 199-231. doi: <http://dx.doi.org/10.12681/mms.60>.
- Paranhos, Rodolfo Pinheiro da Rocha and Leticia M. Mayr. 1993. “Temperature and Salinity in Guanabara Bay (Brazil) from 1980 to 1990.” *Fresenius Environmental Bulletin* 2, no. 11:647-652.
- Paranhos, L. and R. Andrade. 2012. “Caracterização Físico-química da coluna d’água e a qualidade das águas.” In *Baía de Guanabara: Síntese do conhecimento ambiental*, edited by Maria de Fátima Guadalupe Menconi, T. A. Silva, M. L. Fonseca, S. O. F. Lima, E.F. A. Lima, H. P. Lavrado, and A. G. Figueiredo Júnior. Rio de Janeiro: BR Petrobras.
- Parravicini, Valeriano, Carla Morri, Giada Ciribilli, Monica Montefalcone, Giancarlo Albertelli, and Carlo Nike Bianchi. 2009. “Size matters more than method: Visual quadrats vs photography in measuring human impact on Mediterranean rocky reef communities.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81, no. 3: 359-367. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2008.11.007>.
- Pessoa, Leandro Amaro, Paulo Cesar de Paiva, Rodolfo Pinheiro da Rocha Paranhos, Marcos Freitas, Carlos Alejandro Echeverría, and Rodolfo Nascimento. 2019. “Intra-annual variation in rainfall and its influence of the adult’s *Cyprideis* spp. (Ostracoda, Crustacea) on a eutrophic estuary (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil).” *Brazilian Journal of Biology* 11, no. 11. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.216263>.
- Petchey, Owen L. and Kevin J. Gaston. 2006. “Functional diversity: back to basics and looking forward.” *Ecology Letters* 9, no. 6: 741-758. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>.
- Pfaff, Maya C. and Ronel Nel. 2019. “Intertidal Zonation.” *Encyclopedia of Ecology* 97-107. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11184-4>.
- Portugal, Adriana Brizon, Fabrício Lopes Carvalho, Marcelo de Oliveira Soares, Paulo Antunes Horta, and José Marcos de Castro Nunes. 2017. “Structure of macroalgal

- communities on tropical rocky shores inside and outside a marine protected area.” *Marine Environmental Research* 130: 150-156. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.07.019>.
- Puga, Camila A., Arthur S. S. Torres, Paulo Cesar de Paiva, Yocie Yoneshigue-Valentin, and Andrea Oliveira Ribeiro Junqueira. 2019. “Multi-year changes of a benthic community in the mid-intertidal rocky shore of a eutrophic tropical bay (Guanabara Bay, RJ – Brazil).” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 226. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106265>.
- Raffo, María P., Virginia Lo Lorusso, and Evangelina Schwindt. 2014. “Introduced and native species on rocky shore macroalgal assemblages: Zonation patterns, composition and diversity.” *Aquatic Botany* 112:57-65. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.07.011>.
- Rao, Radhakrishna C. 1982. “Diversity and dissimilarity coefficients: A unified approach.” *Theoretical Population Biology* 21, no. 1:24-43. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0040-5809\(82\)90004-1](http://dx.doi.org/10.1016/0040-5809(82)90004-1).
- Raven, Peter H., Ray F. Evert, and Susan E. Eichhorn. 1996. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Rindi, Fabio and Michael D. Guiry. 2004. “A long-term comparison of the benthic algal flora of Clare Island, County Mayo, western Ireland.” *Biodiversity And Conservation* 13, no. 3:471-492. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/b:bioc.0000009496.32334.82>.
- Barreto, Nathália Rodrigues, Daniel Vasconcelos Shimada-Brotto, Rodolfo Guterres-Giordano, Áthila Andrade-Bertoncini, and Luciano Neves dos Santos. 2017. “The rocky reef fishes of Vermelha Beach, a marine estuarine transitional zone at Guanabara Bay, Brazil.” *Latin American Journal of Aquatic Research* 45, no. 1:33-40. doi: <http://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-4>.
- Roleda, Michael Y. and Catriona L. Hurd. 2019. “Seaweed nutrient physiology: application of concepts to aquaculture and bioremediation.” *Phycologia* 58, no. 5:552-562. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00318884.2019.1622920>.
- Santi, Leonardo, Marcos Tavares, Elianne Pessoa Omena. 2006. “Patterns of Species Richness and Species Density of Sublittoral Soft-bottom Polychaetes in a Grossly

- Polluted Urban Bay: Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil.” *Journal of Coastal Research* 39:1127-1131.
- Santos, Gleice S., Douglas C. Burgos, Simone M. A. Lira, and Ralf Schwamborn. 2015. “The Impact of Trampling on Reef Macrobenthos in Northeastern Brazil: How Effective are Current Conservation Strategies?” *Environmental Management* 56, no. 4: 847-858. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-015-0552-7>.
- Scremin, Renato, Suelen Furquim, and Janete Dubiaski-Silva. 2013. “Fatores determinantes na distribuição de *Bunodosoma caissarum* Corrêa in Belém, 1987 (Cnidaria, Actiniaria) em um costão rochoso na costa sudeste do Brasil.” *Estudos de Biologia* 35, no. 85:153-161. doi: <http://dx.doi.org/10.7213/estud.biol.35.085.ao06>.
- Silberfeld, Thomas, Jessica W. Leigh, Heroen Verbruggen, Corinne Cruaud, Bruno de Reviers, and Florence Rousseau. 2010. “A multi-locus time-calibrated phylogeny of the brown algae (Heterokonta, Ochrophyta, Phaeophyceae): investigating the evolutionary nature of the brown algal crown radiation.” *Molecular Phylogenetics and Evolution* 56, no. 2:659-674. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2010.04.020>.
- Silva, Maria Augusta Martins, André Luiz Carvalho da Silva, Carla Luiza dos Santos, Carolina Pereira Silvestre, Raphael Viana Marinho, Ana Beatriz Coelho da Cunha, Jaciele da Costa Abreu Gralato, and Renata Domingues de Souza. 2016. “Praias da Baía de Guanabara no Estado do Rio de Janeiro.” *Revista Brasileira de Geomorfologia* 17, no. 2. doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.839>.
- Silva-Junior, Luiz Constantino, Sérgio Ricardo Santos, Márcio Chagas Macedo, Gustavo Wilson Nunan, and Marcelo Vianna. 2019. “Use of a species-rich and highly eutrophic tropical estuary in the South Atlantic by Pleuronectiformes (Teleostei: Acanthopterygii).” *Biota Neotropica* 19, no. 2. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0561>.
- Smaal, A. C., T. T. Schellekens, M.R.van Stralen, and J.C.Kromkamp. 2013. “Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing?” *Aquaculture* 404-405:28-34. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.04.008>.
- Schmidt, Éder C., Beatriz Pereira, Carime L. Mansur Pontes, Rodrigo dos Santos, Fernando Scherner, Paulo Antunes Horta, Roberta de Paula Martins *et al.* 2011. “Alterations in

- architecture and metabolism induced by ultraviolet radiation-B in the carragenophyte *Chondracanthus teedei* (Rhodophyta, Gigartinales).” *Protoplasma* 249, no. 2:353-367. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00709-011-0286-1>.
- Soares-Gomes, A., B. A. P. da Gama, J. A. Baptista Neto, D. G. Freire, R. C. Cordeiro, W. Machado, M. C. Bernardes *et al.* 2016. “An environmental overview of Guanabara Bay, Rio de Janeiro.” *Regional Studies in Marine Science* 8: 319-330. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2016.01.009>.
- Soares-Gomes, A., C. L. T. Mendes, M. Tavares, and L. Santi. 2012. “Taxonomic sufficiency of polychaete taxocenes for estuary monitoring.” *Ecological Indicators* 15, no. 1:149-156. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.030>.
- Solidoro, C., V. E. Brando, D. Franco, R. Pastres, G. Pecelik, and C. Dejak. 1997. “Simulation of the seasonal evolution of macroalgae in the lagoon of Venice.” *Environmental Modeling and Assessment* 2, no. 1/2:65-71. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/a:1019028404014>.
- Spalding, Mark D., Helen E. Fox, Gerald R. Allen, Nick Davidson, Zach A. Ferdaña, Max Finlayson, Benjamin S. Halpern *et al.* 2007. “Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas.” *Bioscience* 57, no. 7:573-583. doi: <http://dx.doi.org/10.1641/b570707>.
- Steneck, Robert S. and Megan N. Dethier. 1994. “A functional group approach to the structure of algal-dominated communities.” *Oikos* 69:476-498.
- Taouil, André and Yocie Yoneshigue-Valentin. 2002. “Alterações na composição florística das algas da Praia de Boa Viagem (Niterói, RJ).” *Revista Brasileira de Botânica* 25, 405–412. doi: <https://doi.org/10.1590/s0100-84042002012000004>
- Taupp, Thomas and Markus A. Wetzel. 2019. “Functionally similar but taxonomically different: Benthic communities in 1889 and 2006 in an industrialized estuary.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 217:292-300. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2018.11.012>.
- Taylor, W. Randolph. 1930. “Algae collected by the Hassler, Albatross and Schmitt expeditions.” *American Journal of Botany* XVII, no. 7:627-635.

- Teixeira, Valéria Laneuville and M.R. Jorge. 2001. “A estratégia de dominância de *Ulva fasciata* Delile na Baía de Guanabara” In *Efeitos de Poluentes Em Organismos Marinhos. Arte e Ciência*, edited by R. Moraes. São Paulo: Villipress.
- Teixeira, Valéria Laneuville, R. C. Pereira, A. N. Marques, C. M. Leitão, and C. A. R. Silva. 1987. “Seasonal variations in infralittoral seaweed communities under a pollution gradient in Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (Brazil).” *Ciência & Cultura* 39, no.4:423-428.
- Tenenbaum, Denise Rivera, Maria Célia Villac, Piter Douglas Ferreira Gomes, Erika Werneck e Werneck, José Juan Barrera-Alba, Márcio Murilo Barbosa Tenório, Mariângela Menezes *et al.* 2018. “Fitoplâncton: abundância e diversidade taxonômica.” In *A Baía de Guanabara – Passado, presente e futuro de um ecossistema ameaçado*, edited by Jean Louis Valentin, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. Curitiba: Editora CRV.
- Valentin, Jean Louis, Denise Rivera, A. C. T. Bonecker, Sérgio L. C. Bonecker, C. R. Nogueira, Rodolfo Pinheiro da Rocha Paranhos, and M. C. Villac. 1999. “Caractéristiques hydrobiologiques de la Baie de Guanabara (Rio de Janeiro, Brésil).” *Journal de Recherche Océanographique* 24:33-41.
- Valentin, Jean Louis, Claudio Leandro Gomes, and Giovanna Venâncio Gouvêa. 2018. “Mesozooplâncton: Uma série temporal de longa duração.” In *A Baía de Guanabara – Passado, presente e futuro de um ecossistema ameaçado*, edited by Jean Louis Valentin, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. Curitiba: Editora CRV.
- Valentin, Jean Louis, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. 2018. *A Baía de Guanabara: Passado Presente e Futuro de um Ecossistema Ameaçado*. Curitiba: Editora CRV.
- Vinagre, Pedro Almeida, Helena Veríssimo, Antónia Juliana Pais-Costa, Stephen John Hawkins, Ángel Borja, João Carlos Marques, and João Magalhães Neto. 2017. “Do structural and functional attributes show concordant responses to disturbance? Evidence from rocky shore macroinvertebrate communities.” *Ecological Indicators* 75:57-72. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.023>.

- Vinagre, Pedro Almeida, Antónia Juliana Pais-Costa, Rui Gaspar, Ángel Borja, João Carlos Marques, and João Magalhães Neto. 2016. "Response of macroalgae and macroinvertebrates to anthropogenic disturbance gradients in rocky shores." *Ecological Indicators* 61:850-864. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.038>.
- Watson, Setphen C. L., David M. Peterson, Stephen Widdicombe, and Nicola J. Beaumont. 2018. "Evaluation of estuarine biotic indices to assess macro-benthic structure and functioning following nutrient remediation actions: A case study on the Eden estuary Scotland." *Regional Studies in Marine Science* 24:379-391. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2018.09.012>.
- Xavier, Eduardo de Almeida, Bernardo Antonio Perez da Gama, Tiago Filgueiras Porto, Bruno Lopes Antunes, and Renato Crespo Pereira. 2008. "Effects of disturbance area on fouling communities from a tropical environment: Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil." *Brazilian Journal of Oceanography* 56, no. 2:73-84. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592008000200001>.
- Yoneshigue-Braga, Yocie. 1970a. "Flora Marinha Bentônica da Baía de Guanabara e cercanias. I - Chlorophyta." *Instituto de Pesquisas Marítimas* 42:1-51.
- Yoneshigue-Braga, Yocie. 1970b. "Flora Marinha Bentônica da Baía de Guanabara e cercanias. II - Phaeophyta." *Instituto de Pesquisas Marítimas* 45:1-31.
- Yoneshigue-Braga, Yocie. 1971. "Flora Marinha Bentônica da Baía de Guanabara e cercanias. III- Rhodophyta, 1 Goniotrichales, Bangiales, Compsogonales, Nemalionales e Gelidiales." *Instituto de Pesquisas Marítimas* 55: 1-36.
- Yoneshigue-Valentin, Yocie, D. R. P. Fernandes, and Joel Campos de Paula. 2012. "Macroalgas Marinhas." In *A Baía de Guanabara – Passado, presente e futuro de um ecossistema ameaçado*, edited by Jean Louis Valentin, Paulo Cesar de Paiva, and Paulo Sergio Solomon. Curitiba: Editora CRV.
- Zainee, Nur Farah Ain and Rozaimi, Mohammad. 2020. "Influence of monsoonal storm disturbance on the diversity of intertidal macroalgae along the eastern coast of Johor (Malaysia)." *Regional Studies in Marine Science* 40. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101481>.

Tabela Suplementar 1: Grupos Funcionais Abrangentes, Específicos e as espécies encontradas na Praia Vermelha (PV), Boa Viagem (BV) e Ilha dos Lobos – Arquipélago de Paquetá (PQ) correspondentes a cada grupo funcional.

Grupos Funcionais Abrangentes	Grupos Funcionais Específicos	Espécies
Folhosas	Folhosas Verdes (Chlorophyta)	<i>Ulva compressa</i> Linnaeus ^{PV, BV, PQ}
		<i>Ulva fasciata</i> Delile ^{PV, BV, PQ}
		<i>Ulva flexuosa</i> Wulfen ^{PQ}
		<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus ^{PV, BV, PQ}
		<i>Ulva linza</i> Linnaeus ^{BV, PQ}
		<i>Ulva prolifera</i> O.F.Müller ^{PV}
Filamentosas	Filamentosas Verdes (Chlorophyta)	<i>Ulva rigida</i> C.Agardh ^{PV, BV, PQ}
		<i>Boodlea composita</i> (Harvey) F.Brand ^{PV, BV, PQ}
		<i>Bryopsis pennata</i> J.V.Lamouroux ^{PV, BV, PQ}
		<i>Chaetomorpha antennina</i> (Bory) Kützing ^{PV, BV}
		<i>Chaetomorpha brachygona</i> Harvey ^{PQ}
		<i>Cladophora brasiliiana</i> G.Martens ^{PV, PQ}
		<i>Cladophora catenata</i> Kützing ^{BV, PQ}
		<i>Cladophora corallicola</i> Børgesen ^{PQ}
		<i>Cladophora crispula</i> Vickers ^{BV}
		<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillwyn) Kützing ^{PQ}
		<i>Cladophora lehmanniana</i> (Lindenberg) Kützing ^{BV, PQ}
		<i>Cladophora prolifera</i> (Roth) Kützing ^{BV, PQ}
		<i>Cladophora rupestris</i> (Linnaeus) Kützing ^{BV, PQ}
		<i>Cladophora sericea</i> (Hudson) Kützing ^{BV, PQ}
		<i>Cladophora vagabunda</i> (Linnaeus) Hoek ^{PV, BV, PQ}
		<i>Cladophoropsis macromeres</i> W.R.Taylor ^{BV, PQ}
		<i>Cladophoropsis membranacea</i> (Hofman Bang ex C.Agardh) Børgesen ^{BV, PQ}
		<i>Lychaete pellucidoidea</i> (C.Hoek) M.J.Wynne ^{BV}
<i>Rhizoclonium riparium</i> (Roth) Harvey ^{BV, PQ}		
<i>Willeella brachyclados</i> (Montagne) M.J.Wynne ^{BV, PQ}		
Filamentosa Vermelha	(Rhodophyta)	<i>Bryocladia thyrsgera</i> (J.Agardh) F.Schmitz ^{BV, PQ}
		<i>Centroceras gasparrinii</i> (Meneghini) Kützing ^{PV, BV, PQ}
		<i>Ceramium brasiliense</i> A.B.Joly ^{BV, PQ}
		<i>Ceramium brevizonatum</i> H.E.Petersen ^{PV, BV}
		<i>Ceramium cimbricum f. flaccida</i> (H.E.Petersen) G.Furnari & Serio ^{PV}
<i>Ceramium tenerimum</i> (G.Martens) Okamura ^{PV}		
Filamentosa Parda	(Ochrophyta)	<i>Feldmannia indica</i> (Sonder) Womersley & A.Bailey ^{PV}
		<i>Feldmannia irregularis</i> (Kützing) Hamel ^{PV}
		<i>Feldmannia mitchelliae</i> (Harvey) H.-S.Kim ^{PV}

		<i>Bostrychia radicans</i> (Montagne) Montagne ^{PV, PQ}
		<i>Ceratodiction variabile</i> (J.Agardh) R.E.Norris ^{BV}
		<i>Champia parvula</i> (C.Agardh) Harvey ^{PV}
		<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq ^{PV, BV, PQ}
		<i>Chondracanthus saundersii</i> C.W.Schneider & C.E.Lane ^{PV, BV, PQ}
		<i>Chondracanthus teedei</i> (Roth) Fredericq ^{BV, PQ}
		<i>Gastroclonium parvum</i> (Hollenberg) C.F.Chang & B.M.Xia ^{PV, BV}
		<i>Gelidium americanum</i> (W.R.Taylor) Santelices ^{BV, PQ}
		<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux ^{PV}
		<i>Gelidium pusillum</i> (Stackhouse) Le Jolis ^{PV, BV, PQ}
		<i>Grateloupia cuneifolia</i> J.Agardh ^{PV, BV}
		<i>Grateloupia doryphora</i> (Montagne) M.Howe ^{PV}
		<i>Grateloupia filicina</i> (J.V.Lamouroux) C.Agardh ^{PV, BV}
		<i>Gymnogongrus griffithsiae</i> (Turner) C.Martius ^{PV, BV, PQ}
		<i>Hypnea spinella</i> (C.Agardh) Kützing ^{PQ}
	Corticada Vermelha (Rhodophyta)	<i>Millerella pannosa</i> (Feldmann) G.H.Boo & L.Le Gall ^{BV}
		<i>Palisada cervicornis</i> (Harvey) Collado-Vides, Cassano & M.T.Fujii ^{PV}
		<i>Pterocladia bartlettii</i> (W.R.Taylor) Santelices ^{BV, PQ}
		<i>Pterocladia caerulescens</i> (Kützing) Santelices & Hommersand ^{BV}
		<i>Pterocladia capillacea</i> (S.G.Gmelin) Santelices & Hommersand ^{PV}
Corticadas		<i>Pterocladia media</i> (E.Y.Dawson) G.H.Boo & K.A.Miller ^{BV}
	Corticada Parda (Ochrophyta)	<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès & Solier ^{PV}
	Crostosa Vermelha (Rhodophyta)	<i>Hildenbrandia rubra</i> (Sommerfelt) Meneghini ^{PV}
Crostosa	Crostosa Parda (Ochrophyta)	<i>Neoralgsia expansa</i> (J.Agardh) P.-E.Lim & H.Kawai ex Cormaci & G.Furnari ^{PV}
	Crostosa Calcárea (Rhodophyta)	Lithothamniaceae ^{PV, BV}
Calcáreas Articuladas	Calcáreas Articuladas (Rhodophyta)	<i>Amphiroa beauvoisii</i> J.V.Lamouroux ^{PV, BV, PQ}
		<i>Amphiroa brasiliiana</i> Decaisne ^{PV}
		<i>Arthrocardia gardinneli</i> Manza ^{PV}
		<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus ^{BV}

Jania adhaerens J.V.Lamouroux ^{PV, BV}
Jania capillacea Harvey ^{BV, PQ}
Jania cubensis Montagne ex Kützing ^{BV}
Jania rubens (Linnaeus) J.V.Lamouroux ^{PV, BV}

Amphibalanus amphitrite Darwin, 1854 ^{PV, BV, PQ}
Amphibalanus eburneus Gould, 1841 ^{PQ}
Bugula neritina Linnaeus, 1758 ^{BV, PQ}
Chthamalus bisinuatus Pilsbry, 1916 ^{BV}
Crassostrea rhizophorae Guilding, 1828 ^{PV, BV, PQ}
Hidrozoário ^{PV, BV, PQ}

Filtrador

Filtrador

Megabalanus coccopoma Darwin, 1854 ^{BV}
Mytilaster solisianus d'Orbigny, 1842 ^{PV}
Outros Briozoários ^{PV, BV, PQ}
Perna perna Linnaeus, 1758 ^{PV, BV}
Phragmatopoma ^{BV}
Saccostrea cucullata Born, 1778 ^{BV}
Serpulidae ^{PV, BV, PQ}
Styela plicata Lesueur, 1823 ^{BV, PQ}
Tetraclita stalactifera Lamarck, 1818 ^{PV, BV}

Raspador

Raspador

Fissurella clenchi Pérez Farfante, 1943 ^{PV, BV, PQ}
Lottia subrugosa d'Orbigny, 1846 ^{PV, BV}

Predador

Predador

Bunodosoma caissarum Corrêa in Belém, 1987 ^{PV, BV}
Diadumene lineata (Verrill, 1869) ^{BV, PQ}
Stramonita haemastoma Linnaeus, 1767 ^{PV}

Biofilme

Biofilme Bacteriano

Cianobactérias ^{PV, BV, PQ}

Bacteriano