

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E HUMANAS

Helena Rodrigues Fragoso

**MONITORAMENTO DE UMA COMUNIDADE SUBTROPICAL DE  
MACROALGAS: VARIAÇÃO SAZONAL E RELAÇÃO COM FATORES  
ABIÓTICOS**

Santo André – SP

2018

Helena Rodrigues Fragoso

MONITORAMENTO DE UMA COMUNIDADE SUBTROPICAL DE MACROALGAS:  
VARIAÇÃO SAZONAL E RELAÇÃO COM FATORES ABIÓTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Centro de Ciências Naturais e Humanas da Universidade Federal do ABC como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Natália Pirani Ghilardi-Lopes  
(UFABC)

Co-orientador: Prof. Msc. André Luis Faccini (UNISANTA)

Santo André – SP

2018

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC  
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rodrigues Fragoso, Helena  
MONITORAMENTO DE UMA COMUNIDADE SUBTROPICAL DE  
MACROALGAS : VARIAÇÃO SAZONAL E RELAÇÃO COM FATORES  
ABIÓTICOS / Helena Rodrigues Fragoso. — 2018.

51 fls. : il.

Orientadora: Natália Pirani Ghilardi-Lopes  
Coorientador: André Luis Faccini

Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do ABC,  
Bacharelado em Ciências Biológicas, Santo André, 2018.

1. Ecologia. 2. Mudanças Climáticas Globais. 3. Costão rochoso. 4.  
Macroalgas. I. Pirani Ghilardi-Lopes, Natália. II. Luis Faccini, André. III.  
Bacharelado em Ciências Biológicas, 2018. IV. Título.

## BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



Universidade Federal do ABC

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do ABC e ao Bacharelado em Ciências Biológicas pela oportunidade e aprendizado.

À Fundação de Amparo à pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica concedida (processo 2016/02543-0).

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Natália Pirani Ghilardi-Lopes, por todo o aprendizado, paciência e dedicação. Muito obrigada por acreditar no meu potencial e por me apresentar ao mundo fascinante das algas!

Ao meu co-orientador, Prof. Me. André Luís Faccini, por todos os ensinamentos e apoio nas saídas de campo, fossem elas tranquilas ou cheias de “aventuras”. Obrigada também à sua família, por me fornecer ajuda e conforto em um momento de dificuldade.

Aos meus colegas e amigos do Laboratório de Evolução e Diversidade 1 (LED-1) pelo companheirismo, diversão e incentivo.

Aos meus amigos do Bacharelado em Ciências Biológicas, Felipe e Vinícius, e do Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Iara, Fabrício, Jéssica, Juliana e Leandro, por todas as conversas e companheirismo.

Aos meus pais, René e Denise, e ao meu irmão, Guilherme, pelo apoio em todas as situações e por acreditarem, às vezes mais do que eu mesma, nos meus sonhos.

**Muito obrigada!**

## RESUMO

As comunidades bentônicas de substrato rochoso constituem modelos contrastantes entre si para avaliação das consequências das mudanças climáticas globais (MCG). Neste ambiente, as macroalgas são sensíveis às alterações físico-químicas como aquelas resultantes das MCG, que podem prejudicar sua reprodução e sobrevivência. Neste trabalho objetivou-se, a partir do estabelecimento de uma estação de monitoramento de longo prazo no mediolitoral da praia do Pernambuco (Guarujá, SP), avaliar a dinâmica temporal da comunidade de organismos da faixa de algas e analisar se existe uma correlação entre os dados bióticos coletados e variáveis abióticas, como temperatura do ar, maré e velocidade do vento. O protocolo de monitoramento utilizado foi o da Rede de Monitoramento de Hábitats Bentônicos Costeiro (ReBentos) para costões rochosos, abrangendo dados coletados entre 2013 e 2017. A unidade operacional foram grupos morfofuncionais de macroalgas (GMM) e grupos de animais (GA) e os descritores primários foram: o recobrimento percentual, a diversidade e dominância dos GMM e GA; a amplitude e o deslocamento da posição inicial e final (em metros) da faixa de algas. Os dados abióticos foram analisados por análise de componentes principais (PCA) para verificação de possíveis padrões sazonais. Foi realizada ANOVA de medidas repetidas para verificar possíveis diferenças entre as estações do ano e as análises BEST, RELATE e DistLM, buscando verificar possíveis correlações entre os descritores primários e os fatores abióticos. A PCA evidenciou dois padrões anuais nos dados abióticos: um período quente e úmido e outro frio e seco. Nossos resultados demonstraram que a comunidade da faixa de algas da Praia do Pernambuco é naturalmente variável, sendo que as macroalgas foram mais representativas que os animais na maior parte do período amostrado, exceto a partir da primavera de 2017, quando os poliquetas passaram a dominar a comunidade. As algas calcárias articuladas foram dominantes na maior parte do período de estudo, possivelmente por serem boas competidoras e resistentes à herbivoria. O GMM das algas foliáceas e foliáceas corticadas, comuns em áreas de grande pressão antrópica, foram raras no local possivelmente devido à uma relação negativa com a dominância das calcárias articuladas. Dois GMM apresentaram correlação significativa com os fatores abióticos: o das calcárias crostosas (com temperatura do ar, umidade e chuva), que respondeu positivamente ao período quente e úmido e o das algas filamentosas (com temperatura do ar, velocidade do vento e maré) que teve seu crescimento acelerado possivelmente pela sinergia desses fatores. Nosso trabalho também evidenciou um deslocamento para baixo da posição da faixa de algas, nos últimos anos do período amostrado, mas não houve alterações na amplitude da faixa. Esse deslocamento para baixo pode estar relacionado com alterações no hidrodinamismo local (p.ex. diminuição na amplitude de ondas) ou com o deslocamento por competição com outros organismos, como os poliquetas. Este trabalho contribuiu com a geração de dados que podem ser utilizados em estudos de escala global sobre os efeitos das MCG sobre as comunidades marinhas.

**Palavras-chave:** costão rochoso, grupos morfofuncionais de macroalgas, mudanças climáticas globais

## ABSTRACT

Benthic communities of rocky substratum are contrasting models to evaluate the consequences of global climate change (GCC). In this environment, macroalgae are sensitive to physical-chemical changes such as those resulting from GCC, which may impair their reproduction and survival. The objective of this work was to evaluate the temporal dynamics of the community of organisms in the algae band and to analyze if there is a correlation between the collected biotic data and abiotic variables, such as air temperature, tide and wind speed. The monitoring protocol followed was from the Coastal Benthic Habitat Monitoring Network (ReBentos) for rocky shores, covering data collected between 2013 and 2017. The operational unit were morphofunctional groups of macroalgae (MGM) and groups of animals (GA) and the primary descriptors were the percent cover, the diversity and dominance of MGM and GA, the width and the initial and final displacement of position (in meters) of the algae band. Abiotic data were analyzed by principal component analysis (PCA) to verify possible seasonal patterns. Repeated measures ANOVA were used to verify possible differences between the seasons and the BEST, RELATE and DistLM analyzes to verify possible correlations between the primary descriptors and the abiotic factors. PCA showed two annual patterns in abiotic data: one hot and humid and one cold and dry. Our results showed that the algae band community of Pernambuco Beach is naturally variable, and macroalgae were more representative than animals during most of the sampled period, except in spring of 2017, when the polychaetes dominated the community. The articulated calcareous algae were dominant for most of the study period, possibly because they are good competitors and resistant to herbivory. The MGM of corticated foliose and foliose algae, common in areas of high anthropogenic pressure, were rare at the site possibly due to a negative relation with the dominance of articulated calcareous algae. Two MGMs showed a significant correlation with the abiotic factors: crustose calcareous (air temperature, humidity and rainfall), which responded positively to the hot and humid period and to the filamentous algae (with air temperature, wind speed and tide) that had its growth accelerated possibly by the synergy of these factors. Our work also showed a downward displacement of the position of the algae band in the last years of the sampled period, but there were no alterations in the width of the algae band. This downward shift may be related to changes in local hydrodynamism (eg, decrease in wave width) or to competing displacement with other organisms, such as polychaetes. This work has contributed to the generation of data that can be used in global scale studies on the effects of GCC on marine communities.

**Key-words:** rocky shores, morphofunctional groups of macroalgae, global climate change

## Sumário

1. Introdução .....	8
2. Objetivos .....	13
2.1. Objetivos gerais.....	13
3. Metodologia .....	14
3.1. Local, período e protocolo de monitoramento .....	14
3.2. Dados abióticos .....	17
3.3. Grupos Morfofuncionais de Macroalgas.....	18
3.4. Grupos de Animais.....	19
3.5. Análises laboratoriais e estatísticas .....	19
4. Resultados e Discussão .....	21
4.1. Dados abióticos .....	21
4.2. A Faixa de Algas .....	23
4.3. Recobrimento Médio Percentual .....	26
4.4. Recobrimento de Grupos Morfofuncionais de Macroalgas .....	29
4.5. Recobrimento de Animais.....	35
4.6. Índices de Diversidade .....	39
5. Conclusões .....	42
6. Considerações finais.....	43
7. Referências.....	45

## 1. Introdução

Os ecossistemas de costão rochoso são notáveis por sua diversidade biológica e importância socioeconômica, uma vez que muitas espécies de interesse humano nele se reproduzem e/ou se alimentam (Berchez *et al.*, 2008). Entretanto, devido à maior dificuldade de acesso aos ecossistemas marinhos e costeiros, em muitos casos, para estudo, nosso conhecimento a respeito dos efeitos das mudanças climáticas globais (MCG) sobre estes ambientes é muito baixo em comparação ao que sabemos para ambientes terrestres (Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010). Respostas em larga escala, como possíveis alterações nos padrões de distribuição biogeográficos das espécies e impactos socioeconômicos, são esperadas nos ecossistemas marinhos, pois diversas alterações ecológicas podem ocorrer devido aos efeitos das MCG (Harley *et al.*, 2006; Helmuth *et al.*, 2011).

Estudos que envolvem o aumento da concentração do CO<sub>2</sub> na água do mar, atrelado às MCG, são muito relevantes, pois este fenômeno pode resultar em alterações globais no pH (acidificação) e elevação da temperatura e do nível médio da água do mar (Harley *et al.*, 2012). A acidificação da água do mar altera o metabolismo do Carbono (fotossíntese e respiração), crucial tanto para organismos produtores quanto para consumidores, assim como a calcificação de certos organismos marinhos (Hurd *et al.*, 2009). Algas vermelhas da família Corallinaceae, por exemplo, apresentam uma diminuição na quantidade de tecidos saudáveis em águas mais ácidas, bem como uma maior mortalidade em resposta a altos níveis de acidificação associados a altas temperaturas (Diaz-Pulido *et al.*, 2012). Em cenários futuros de alterações, são previstas substituições destas algas, as quais são importantes estruturadoras em recifes de corais, por outros grupos funcionais de algas, como as foliáceas, corticadas ou os tapetes (Mumby & Steneck, 2008; Schoenrock *et al.*, 2015) ou mesmo por esponjas-do-mar (Bell *et al.*, 2013).

Estudos com foco nas macroalgas são necessários uma vez que, nas comunidades de costão rochoso, as macroalgas representam um dos principais produtores primários e organismos captadores de nitrogênio, regulando a concentração de nutrientes que chegam à coluna d'água e podendo superar, em alguns casos, até mesmo a produtividade das microalgas (McGlathery *et al.*, 1997; Dalsgaard, 2003). Além disso, nos ecossistemas marinhos, as macroalgas apresentam um importante papel ecológico, como componente chave no ciclo de Carbono Global, e também na manutenção da biodiversidade, pois são formadoras de habitat para outras espécies (Bellgrove, 2013). Finalmente, as macroalgas têm grande importância econômica, sendo utilizadas na culinária e nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (Griffiths *et al.*, 2016).

Pelo fato das macroalgas serem organismos sensíveis a alterações nas características físico-químicas do oceano, o seu crescimento, reprodução e taxas fotossintéticas podem ser limitados por alterações, por exemplo, na temperatura média da água na superfície (Harley *et al.*, 2012; Clark *et al.*, 2013). Sabe-se que organismos da região do mediolitoral possuem, em geral, uma maior tolerância a variações na temperatura do que organismos de infralitoral (Bellgrove, 2013), mas qualquer alteração, seja na temperatura ou no pH da água, que altere a taxa fotossintética e o crescimento das macroalgas (Koch *et al.*, 2013), prejudicará toda a comunidade marinha direta ou indiretamente associada a elas. Alterações em redes tróficas podem, por exemplo, resultar em modificações na fisionomia de comunidades marinhas, dependendo da susceptibilidade dos predadores (efeito top-down) e dos produtores primários (efeito bottom-up) aos diferentes estressores (O'leary & Mcclanahan, 2010; Jochum *et al.*, 2012; Harley *et al.*, 2006). Assim, linhas de pesquisa que tem como foco os efeitos das MCG na biota são importantes para se entender as possíveis respostas de espécies e comunidades de algas, bem como de espécies associadas a elas (Johnson *et al.*, 2011). Por exemplo, em um estudo sobre os efeitos isolados e associados do aumento da temperatura, nutrientes e sedimentação sobre o crescimento e sobrevivência das algas

fucóides formadoras de hábitat *Hormosira banksii* (Turner) Decaisne, *Cystophora torulosa* (R.Brown ex Turner) J.Agardh e *Durvillaea antarctica* (Chamisso) Hariot demonstrou-se que a sobrevivência e o crescimento dos gametófitos das três espécies diminuiu com o aumento da sedimentação e que temperaturas elevadas aumentavam a mortalidade de todas as espécies. Já o aumento de nutrientes na água gerou estresse na população de *D.antarctica*, mas *H. banksii* e *C. torulosa* se beneficiaram deste aumento. De uma forma geral, os efeitos de temperaturas elevadas e aumento de nutrientes estavam subordinados aos de aumento da sedimentação (Alestra & Schiel, 2015). Dessa forma, é importante considerar a sinergia entre estressores, não apenas locais como também globais (Russell *et al.*, 2009), para que projeções confiáveis de futuros cenários ambientais sejam elaboradas (Helmuth *et al.*, 2011).

Entretanto, estudar uma comunidade de macroalgas ao nível de espécie nem sempre é viável, uma vez que inúmeros fatores bióticos e abióticos interferem diferentemente na sobrevivência e abundância das espécies, o que dificulta previsões no nível de comunidades (Steneck & Dethier, 1994). Desta forma, muitos trabalhos utilizam grupos morfofuncionais como parâmetro de estudo, pois mostram-se como uma unidade operacional mais facilmente aplicável, uma vez que não exige um conhecimento taxonômico detalhado e um grande gasto de tempo e recursos na identificação das algas em campo, como estudos ao nível de espécie (Balata *et al.*, 2011). Estudos anteriores demonstraram, por exemplo, que as algas filamentosas são beneficiadas em ambientes com alta concentração de nutrientes, sedimentos e carbono inorgânico, enquanto que algas calcificadas e/ou de ciclo de vida longo, como as calcárias articuladas e as calcárias crostosas, são prejudicadas (Eriksson *et al.*, 2002; Russell *et al.*, 2009; Diaz-Pulido *et al.*, 2012). No Brasil, grupos morfofuncionais de macroalgas foram utilizados como unidade operacional em diversos estudos, como os de impacto ambiental, distúrbios abióticos e, até mesmo, em cultivo de

macroalgas (Pagliosa *et al.*, 2012; Mariath *et al.*, 2013; Villaça & Pitombo, 1997; Marroig & Reis, 2015).

Apesar da grande importância socioeconômica dos ecossistemas marinhos, 85% dos estudos de ecologia marinha persistem por menos de dois anos em um mesmo local de estudo, o que limita o entendimento da dinâmica temporal de longo prazo destes ecossistemas (Jenkins & Uyà, 2016). No Brasil, apesar de sua imensa biodiversidade (Paknia *et al.*, 2015), existem poucos estudos de longa duração sobre os organismos marinhos, servindo como uma barreira para a inclusão da costa brasileira em estudos de escala global. Uma das poucas iniciativas nacionais que propõem estudos de longo prazo é a ReBentos (Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros) que busca, entre outros objetivos, monitorar, a longo prazo, os efeitos de alterações do ambiente marinho sobre as comunidades de costões rochosos do litoral brasileiro, bem como os efeitos das MCG sobre esse ecossistema, através de uma série histórica de levantamento de dados sobre a biodiversidade marinha ao longo da costa brasileira e criação de mapas de vulnerabilidade (Turra & Denadai, 2015).

Neste contexto, as perguntas de pesquisa associadas ao presente estudo foram:

**1) Dentro de um período de cinco anos, como uma faixa de algas de mediolitoral inferior de costão rochoso subtropical varia?**

Espera-se que a amplitude da faixa de algas não se altere ao longo do tempo, mas que o recobrimento percentual dos diferentes grupos morfofuncionais (GMM) se altere. Dessa forma, com a substituição dos GMM mais representativos ao longo dos diferentes períodos nos anos, espera-se que os índices de diversidade não se alterem significativamente.

**2) Os padrões bióticos observados no mediolitoral inferior de um costão rochoso subtropical apresentam relação com as variáveis abióticas?**

Perguntas secundárias associadas a esta pergunta:

- a. De que forma as variáveis abióticas se correlacionam com os padrões de recobrimento percentual de grupos morfofuncionais e largura da faixa de algas?

Por exemplo, espera-se que em períodos com maior agitação da água e maior turbidez (associados aos períodos mais frios do ano, em que há ocorrência de frentes frias), os GMM das calcárias articuladas e calcárias crostosa sejam beneficiados (Airoidi, 1998; Figueiredo *et al.*, 2004; Tâmega & Figueiredo, 2005; Jesus *et al.*, 2013; Mariath *et al.*, 2013). Nos períodos mais quentes do ano, associados ao estresse ocasionado por maiores índices de pluviosidade e aumento da eutrofização antropogênica, espera-se um aumento da representatividade do GMM das algas foliáceas e filamentosas, principalmente do grupo das algas verdes (Gorgula & Connel, 2004; Kraufvelin *et al.*, 2010; Fujii & Soares, 2011). Caso sejam observadas alterações no padrão de hidrodinamismo (ondas, marés) do local, espera-se que haja uma resposta de alteração na largura da faixa de algas.

- b. Qual a contribuição de cada variável abiótica para os padrões bióticos observados no local, durante o período de amostragem?

Espera-se uma contribuição importante da temperatura nos padrões observados para as algas.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivos gerais

- 1) Analisar a dinâmica temporal das macroalgas em uma estação de monitoramento de mediolitoral inferior na Praia do Pernambuco (Guarujá, São Paulo), utilizando grupos morfofuncionais como unidade operacional;
- 2) Avaliar a correlação entre os dados bióticos coletados com dados de fatores abióticos obtidos de estações meteorológicas.

### 2.2. Objetivos específicos

- Avaliar se a amplitude, a posição do ponto inicial e a posição do ponto final da faixa de algas são iguais entre as diferentes estações do ano;
- Avaliar se o recobrimento percentual médio dos grupos morfofuncionais de algas e dos animais é igual entre as diferentes estações do ano;
- Avaliar se a diversidade de organismos na faixa de algas é igual entre as diferentes estações do ano;
- Avaliar se as variáveis abióticas apresentam relação com os padrões bióticos observados e qual a porcentagem de contribuição de cada variável abiótica para esses padrões.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Local, período e protocolo de monitoramento

A amostragem foi realizada na Praia do Pernambuco ( $23^{\circ} 58' 22.96''$  S  $46^{\circ} 11' 13.44''$  W) localizada no Município do Guarujá, Estado de São Paulo (Figura 1 e 2a). O município do Guarujá se localiza em uma região climática “Cfa” pelo critério de Köppen-Geiger, caracterizada por ser de clima subtropical, sem uma estação fria definida e com verões quentes (Peel *et al.*, 2007). A Praia do Pernambuco possui comunidade de costão rochoso exposto ao mar aberto e com poucas irregularidades, sendo sua comunidade de macroalgas de mediolitoral inferior o foco desta pesquisa (Figura 2b). Por ser uma praia de fácil acesso, há grande visitação de moradores e turistas.



**Figura 1.** Mapa do Brasil com município do Guarujá (estado de São Paulo) em destaque.

(a)



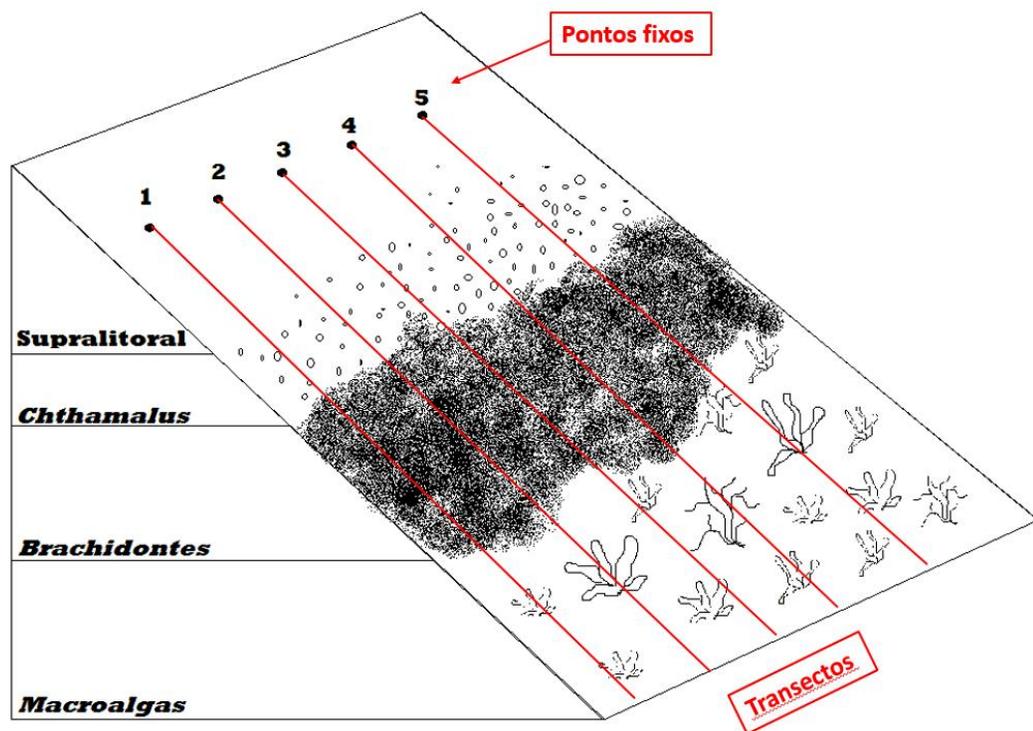
(b)



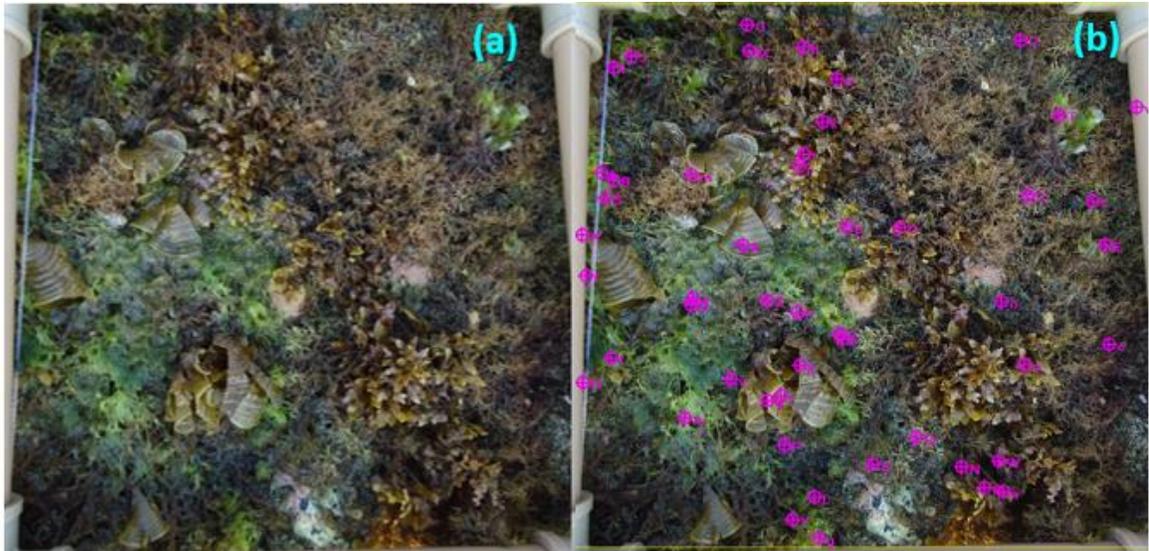
**Figura 2.** Mapa do município do Guarujá (estado de São Paulo) com a Praia do Pernambuco em destaque (a) e fotografia do costão rochoso estudado (b).

Esta pesquisa segue o protocolo de monitoramento de longo prazo de costões rochosos da ReBentos (Coutinho *et al.*, 2015). A estação de monitoramento da Praia do Pernambuco foi estabelecida em 2012, mas para este trabalho foram utilizados dados de coleta de março de 2013 a dezembro de 2017. A autora deste trabalho participou das coletas de dados de junho de 2015 a

dezembro de 2017. As coletas de dados foram realizadas durante o período de maré baixa em dias de lua cheia ou nova. Para o estabelecimento da estação, foram inicialmente aleatorizados na área cinco transectos, os quais foram reamostrados a cada três meses, em cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera) (Figura 3). A cada amostragem, foi realizada a medição da amplitude da faixa de algas (metros), da posição dos pontos inicial e final da faixa em relação ao ponto fixo (para cálculo do deslocamento relativo – em metros – destes pontos ao longo do tempo) e foi obtida uma fotografia digital (em elemento amostral de 20 x 20 cm) em cada transecto (Figura 4). O posicionamento da fotografia foi fixo para permitir a amostragem repetida de cada transecto ao longo do tempo, totalizando 100 fotografias do período amostral. Caso necessário, algumas amostras de macroalgas próximas à região dos elementos amostrais foram coletadas para a identificação em laboratório e fixadas em formol 4%.



**Figura 3.** Esquema ilustrativo das faixas de organismos e da posição dos transectos fixos no costão rochoso da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).



**Figura 4.** Fotografia digital original de um elemento amostral (a) e com 50 pontos aleatorizados pelo software CPCe (b).

### 3.2.Dados abióticos

Os seguintes fatores ambientais foram obtidos para cada mês em que houve coleta, sendo representados em termos de valores médios por mês: temperatura do ar (máxima, mínima e média) (°C), umidade do ar (máxima, mínima e média) (%), ponto de orvalho (máxima, mínima e média) (°C), pressão (hPA), velocidade do vento (máxima e média) (m/s), chuva (mm), maré (máxima, mínima e média) (m) e temperatura da água do mar (máxima, mínima e média) (°C). Os dados foram obtidos para a cidade de Santos, que possuía todos os dados necessários mais próximos do local de coleta, das estações da Marinha (Marinha, 2017), INPE (INPE, 2017), da Prefeitura de Santos e do aeroporto de Santos (Santos, 2017), da National Oceanic and Atmospheric Administration/United States Department of Commerce (NOAA, 2018) e do The Weather Company (TWC, 2017). Os dados diários faltantes foram substituídos pela média obtida a partir dos demais dias do trimestre correspondente a cada estação do ano considerada (janeiro a março = verão; abril a junho = outono; julho a setembro = inverno e outubro a dezembro = primavera).

### 3.3. Grupos Morfofuncionais de Macroalgas

Os grupos morfofuncionais de macroalgas (GMM) utilizados neste estudo seguem a descrição proposta por Steneck & Dethier (1994), sendo eles: calcárias articuladas (ex: *Corallina*), calcárias crostosas (ex: *Lithothamnion*), filamentosas (ex: *Cladophora*), foliáceas (ex: *Ulva* e *Porphyra*), foliáceas corticadas (ex: *Dictyota* e *Padina*), macrófitas coriáceas (ex: *Sargassum*) e macrófitas corticadas (ex: *Chondracanthus*) (Figura 5).



**Figura 5.** Exemplos de macroalgas pertencentes aos diferentes grupos morfofuncionais: (a) *Corallina officinalis* Linnaeus - calcária articulada; (b) *Lithothamnion glaciale* Kjellman - calcária crostosa; (c) *Cladophora valonioides* (Sonder) Kützing - filamentosas; (d) *Ulva rigida* C.Agardh - foliácea; (e) *Padina pavonica* (Linnaeus) Thivy - foliácea corticada; (f) *Sargassum elegans* Suhr - macrófita coriácea; (g) *Chondrus elatus* Holmes - macrófita corticada. Fonte: Algaebase. Guiry & Guiry, 2018.

### 3.4. Grupos de Animais

Os grupos de animais (GA) utilizados no presente estudo, com base no que foi observado no costão ao longo do período amostral, foram: antozoários, ascídias, bivalves, cracas, esponjas, moluscos (não bivalves) e poliquetas.

### 3.5. Análises laboratoriais e estatísticas

A análise do recobrimento médio percentual de cada grupo morfofuncional de macroalga e de cada grupo animal, nas fotografias, foi feita com o auxílio do software CPCe (Coral Point Count with Excel extensions) (Kohler & Gill, 2006). Foram utilizados 50 pontos aleatorizados em cada imagem (Figura 4b). Os dados de recobrimento percentual gerados estão apresentados em termos de valores médios por coleta e seus respectivos desvios padrão. Ainda, o software forneceu os dados de diversidade de Shannon-Weaver e diversidade de Simpson por elemento amostral. No caso, foi considerada a diversidade de grupos morfofuncionais ao invés de diversidade de espécies.

Os dados de recobrimento percentual nos elementos amostrais foram inseridos em uma matriz quantitativa de grupo morfofuncional (valor médio a cada estação do ano ou a cada ano) *versus* elemento amostral para realização de análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas no software Statistica 7.0 (StatSoft, 2004) com o objetivo de verificar possíveis diferenças ao longo do tempo. Quando encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), foi realizado teste *a posteriori* de Tukey. O mesmo foi feito para as medidas de amplitude média da faixa de macroalgas, deslocamento relativo médio dos pontos inicial e final da faixa de macroalgas e para os índices médios de diversidade de Simpson e Shannon-Weaver, no tempo de estudo.

Ainda, foi utilizado o software Primer 7.0 (Clarke & Gorley, 2006) para as análises PCA, RELATE, BEST e DistLM.

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada tanto para verificar a existência de correlações entre as variáveis abióticas selecionadas (permitindo dessa forma a seleção apenas

de algumas dentre elas para a realização das demais análises) e ainda, para verificação da existência de padrões sazonais a partir do agrupamento entre as estações do ano consideradas (verão, outono, inverno e primavera) ao longo do período amostrado.

A análise RELATE foi utilizada para verificar a correlação entre a matriz de similaridade, calculada com o índice de similaridade de Bray-Curtis, de cada dado biótico (ex: amplitude da faixa de algas, recobrimento percentual de grupos morfofuncionais de macroalgas, recobrimento de grupos de animais, etc) com a matriz de similaridade, baseada em distância euclidiana, dos dados abióticos. A análise permite verificar se existe correlação significativa entre os padrões de similaridade observados. A análise BEST realiza testes de permutação e foi utilizada para encontrar quais modelos abióticos, contendo de uma até cinco variáveis associadas, melhor contribuem para os padrões bióticos observados. A análise DistLM pertence ao pacote PERMANOVA e realiza permutações em uma matriz de similaridade com muitas variáveis. Neste trabalho a análise DistLM, utilizando-se o critério AICc e “Step-wise”, visou determinar quais das variáveis abióticas contribuíram, independentemente, para os padrões bióticos observados.

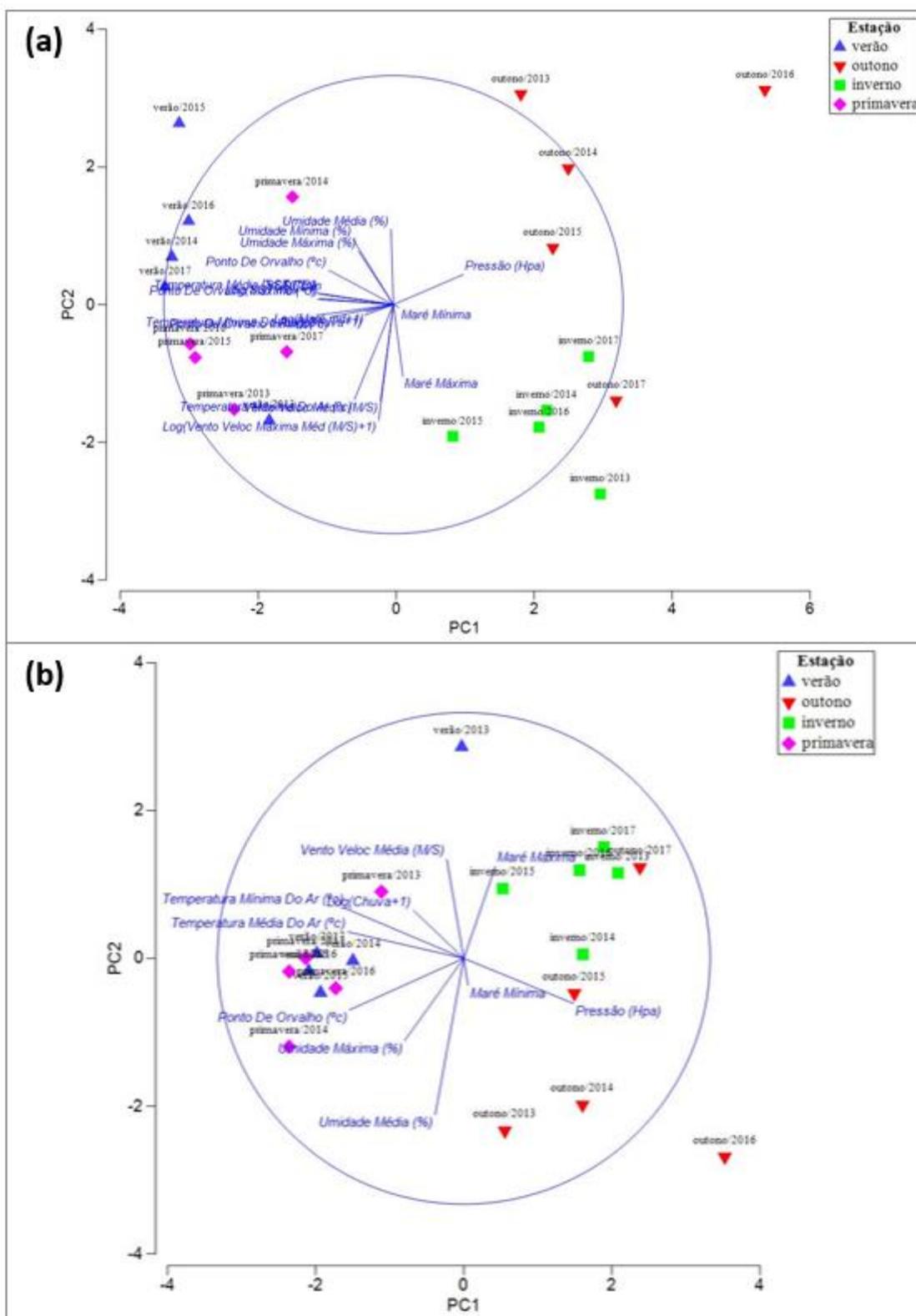
Antes de utilizar o software Primer 7.0, verificou-se se as variáveis apresentavam distribuição normal pelo software Statistica 7.0. Para normalizar algumas das variáveis foi necessário fazer uma transformação logarítmica,  $\log(x + 1)$ . Os dados de recobrimento percentual do grupo das macroalgas foliáceas e das foliáceas corticadas foram retirados da matriz de dados dos grupos morfofuncionais de macroalgas, por serem grupos de ocorrência muito rara (menos de 5% de recobrimento médio) e, portanto, apresentarem muitos zeros em suas matrizes, o que comprometia as análises. Dentre os grupos de animais, foram realizadas análises apenas para o grupo dos poliquetas, pois foi o único que apresentou um recobrimento estável na comunidade ao longo do período amostrado, enquanto que os outros animais ocorreram esporadicamente.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Dados abióticos

Pela PCA, observou-se o agrupamento do verão e da primavera em uma estação bem definida, caracterizada por ser mais quente, úmida, com maiores velocidades do vento e menores marés, e o agrupamento do outono e do inverno em uma estação característica por ser mais fria, seca, com menores velocidades do vento e marés mais altas (Figura 6a). A PCA também demonstrou a existência de variáveis correlacionadas e, por isso, algumas delas foram excluídas para a melhor visualização das estações (Figura 6b).

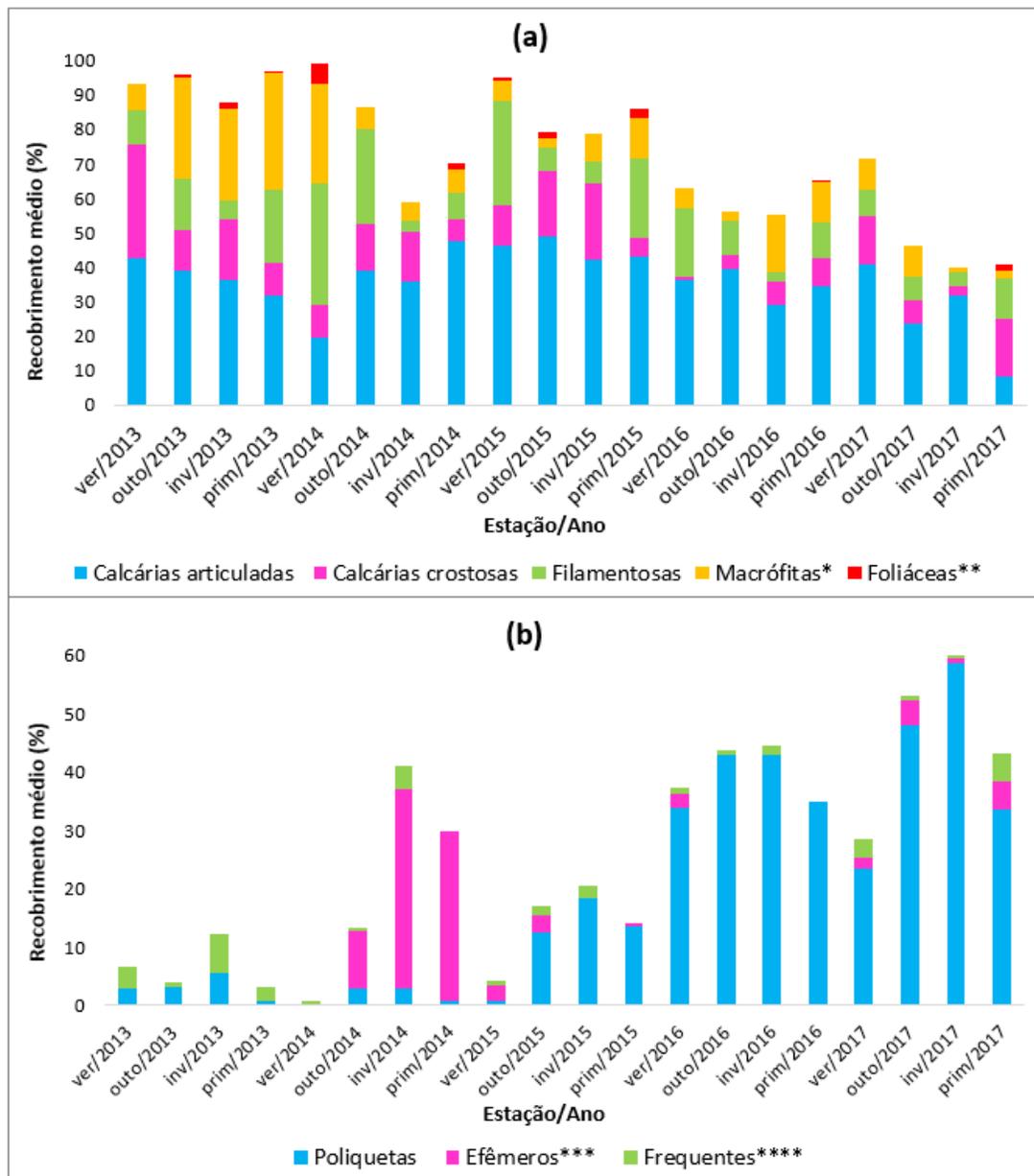
A presença de duas estações do ano marcadas é típica do clima subtropical da região (Peel *et al.*, 2007).



**Figura 6.** PCA para a faixa de macroalgas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP) indicando as estações do ano e contendo todas as variáveis abióticas (a) e, após a remoção das variáveis com alta correlação (b).

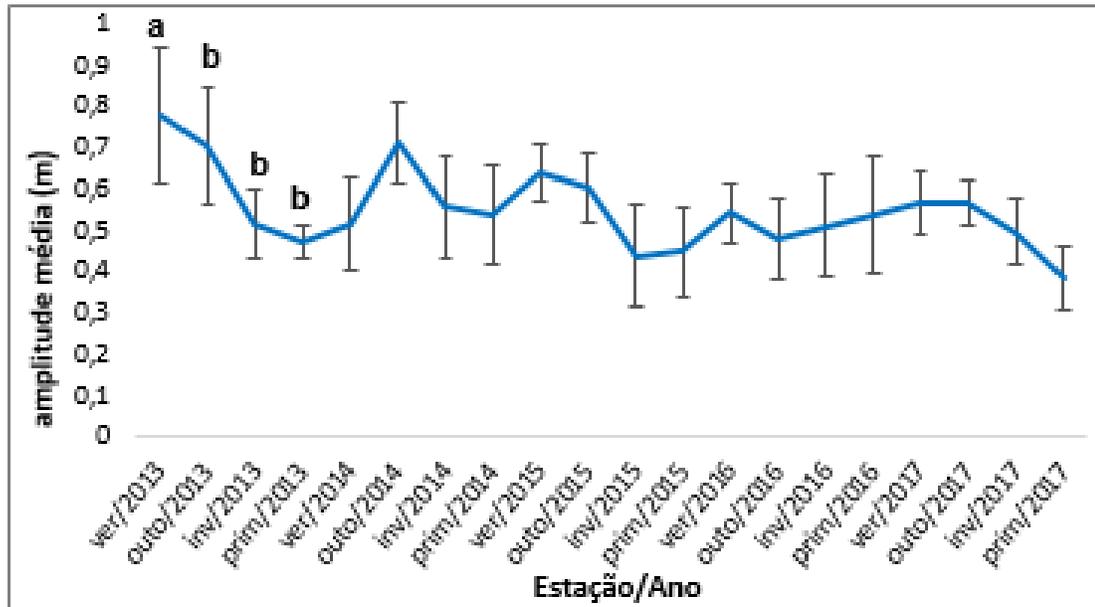
## 4.2. A Faixa de Algas

A comunidade de organismos presentes na faixa de algas da Praia do Pernambuco foi muito diversa e naturalmente variável, ao longo do período amostral, pois, além dos GMM (veja item 4.3), foram observados GA (veja item 4.4) em diferentes elementos amostrais e períodos (Figura 7).



**Figura 7.** Recobrimento médio percentual dos grupos morfofuncionais de macroalgas (GMM) (a) e dos grupos de animais (GA) (b) por período amostrado na Praia do Pernambuco (Guarujá, SP). \*macrofitas coriáceas e macrofitas corticadas; \*\*foliáceas e foliáceas corticadas; \*\*\*antozoários, ascídias e bivalves; \*\*\*\* cracas, esponjas e moluscos (não bivalves). Ver = verão; outo = outono; inv = inverno e prim = primavera.

A amplitude média da faixa de algas (Figura 8) apresentou uma queda no outono, inverno e primavera de 2013 em relação ao verão do mesmo ano (Tabela 1a e 2a), mas não variou entre os anos (Tabela 1b).

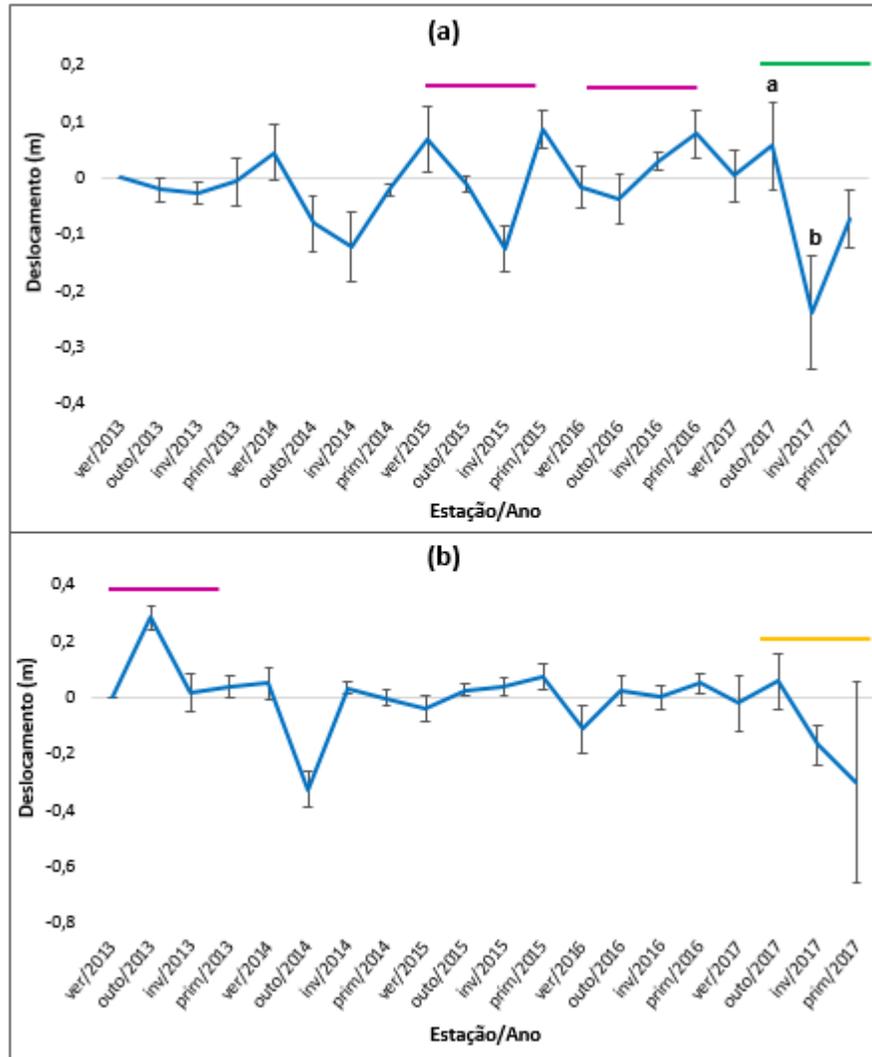


**Figura 8.** Amplitude média (m) da faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP) por período amostrado. As barras verticais representam o erro padrão. As letras indicam as estações que apresentaram diferença significativa entre si. Ver = verão; outo = outono; inv = inverno e prim = primavera.

A posição do ponto inicial (Figura 9a) apresentou um deslocamento para baixo em 2017 (no inverno em relação ao outono) (Tabela 1a e 2a). Entre os anos, a posição do ponto inicial se deslocou para baixo no costão em 2017, em relação a 2015 e 2016 (Tabela 1b e 2b). A posição do ponto final da faixa (Figura 9b) não variou entre as estações, mas entre os anos, se deslocou para baixo em 2017 em relação a 2013 (Tabela 1b e 2b).

O padrão de distribuição vertical dos organismos nos costões rochosos, conhecido como zonação, pode sofrer alterações diretamente relacionadas à resistência dos organismos à exposição ao ar durante o período de maré baixa (Harley *et al.*, 2006; Connel, 1972). Nossos resultados sugerem que a faixa de algas não está aumentando ou diminuindo (amplitude), corroborando a hipótese inicial de que a amplitude da faixa de algas é igual entre os diferentes meses amostrados, mas a sua posição (ponto inicial e ponto final) pode estar sendo deslocada com o tempo devido à

inferioridade das algas na competição com organismos presentes nas outras faixas do costão que são contíguas à faixa de algas, como por exemplo *Sargassum* (mais abaixo no infralitoral) ou *Brachidontes* (mais acima no mediolitoral), ou mesmo com organismos presentes na própria faixa de algas, como os poliquetas do gênero *Phragmatopoma* (ver seção 4.5).



**Figura 9.** Deslocamento relativo (m) do ponto inicial (a) e do ponto final (b) da faixa de algas, no costão da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP), por período amostrado. As barras verticais representam o erro padrão. As letras indicam as estações que apresentaram diferença significativa entre si e as barras horizontais coloridas indicam os anos que apresentaram diferença significativa entre si. Ver = verão; outo = outono; inv = inverno e prim = primavera.

**Tabela 1.** ANOVA de medidas repetidas entre as estações (a) e entre os anos (b) para os descritores primários medidos na faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP). \*o verão de 2013 foi excluído para a realização desta ANOVA, pois não continha variância entre suas amostras.

(a)					
Descritor	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
Amplitude	1,05530	19	0,05554	3,43400	0,000066
Deslocamento do ponto inicial	0,58967	18*	0,03276	2,68850	0,001588

(b)					
Posição	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
Amplitude	0,033741	4	0,008435	1,78253	0,181709
Deslocamento do ponto inicial	0,020934	4	0,005233	4,704422	0,010587
Deslocamento do ponto final	0,113042	4	0,02826	3,321368	0,036749

**Tabela 2.** Diferenças significativas entre as estações (a) e entre os anos (b) para os descritores primários medidos na faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

(a)				
Descritor	Ano	Relação entre estações	Diferença (m)	p
Amplitude	2013	verão > outono	0,304	0,036745
		verão > inverno	0,348	0,006607
		verão > primavera	0,394	0,000997
Deslocamento inicial	2017	outono > inverno	-0,238	0,011751

(b)			
Descritor	Relação entre anos	Diferença (m)	p
Deslocamento inicial	2015 > 2017	-0,0665	0,042271
	2016 > 2017	-0,076	0,017541
Deslocamento final	2013 > 2017	-0,085	0,03076

#### 4.3. Recobrimento Médio Percentual

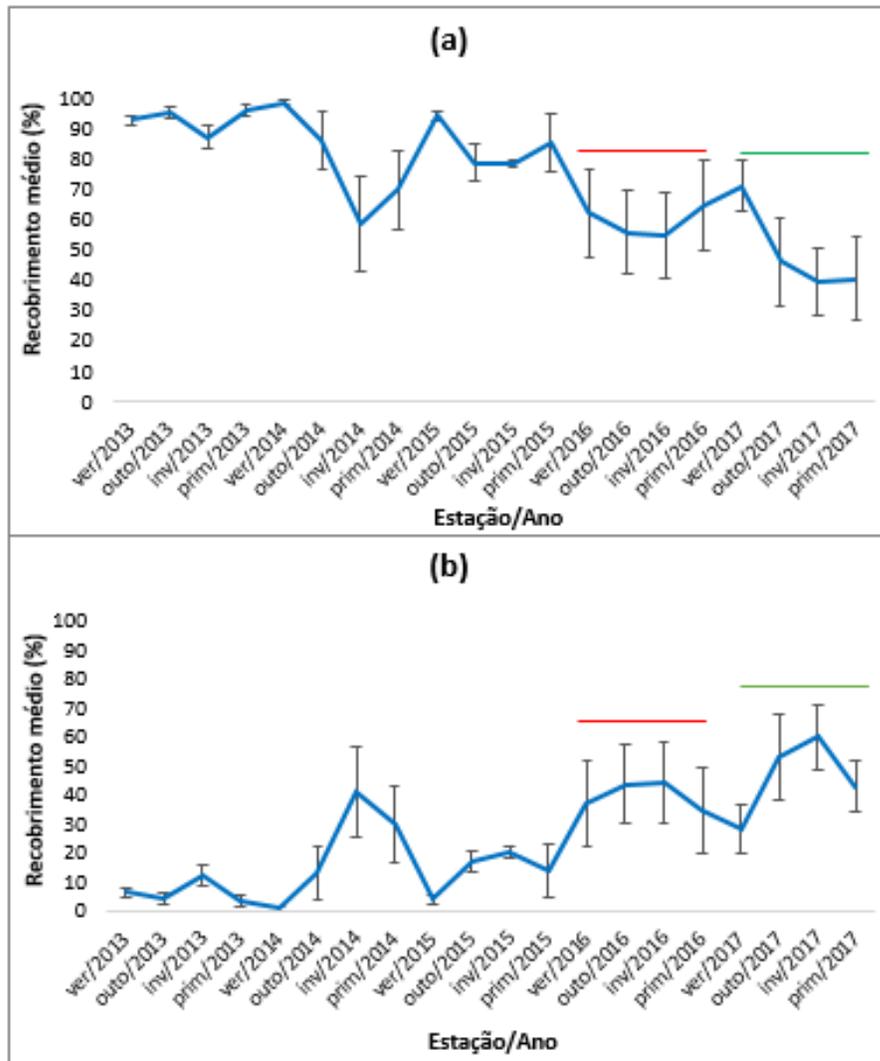
As macroalgas foram dominantes na comunidade da faixa de algas na maioria do período amostrado, como esperado, porém, foi observada uma variabilidade muito grande entre os elementos amostrais, sendo que alguns foram dominados por animais e outros por macroalgas. Entre 2013 e o primeiro trimestre de 2017 as macroalgas foram os organismos mais representativos

da comunidade, mas não nos últimos três trimestres de 2017, quando os animais passaram a possuir uma representatividade maior que a das algas (Figura 10). O padrão de dominância das diferentes faixas (zonação) do costão rochoso pode ser determinada pela resistência dos organismos, presentes nessas comunidades, à exposição aos fatores ambientais, especialmente ação das ondas. Os animais, em geral, são mais resistentes e, portanto, tendem a ser dominantes em ambientes onde há alta exposição às ondas, enquanto as algas tendem a ser dominantes em ambientes de baixa exposição (Ballantine, 1961). As algas calcárias articuladas e as algas calcárias crostosas, entretanto, são GMM resistentes à ação das ondas, podendo ser dominantes em locais de alta exposição (Boaventura *et al.*, 2002; Figueiredo *et al.*, 2004; Tâmega & Figueiredo, 2005; Jesus *et al.*, 2013; Mariath *et al.*, 2013). Assim, pelo fato das calcárias articuladas terem sido o GMM dominante na maior parte do período amostral (veja item 4.2) e, posteriormente, os animais passarem a ser os organismos dominantes, significa que o costão rochoso da Praia do Pernambuco pode ser considerado um ambiente de alta exposição às ondas.

O recobrimento percentual médio de todas as macroalgas em conjunto variou entre um máximo de 99,18 ( $\pm 1,83$ ) % no primeiro trimestre de 2014 e um mínimo de 40,89 ( $\pm 30,46$ ) % no quarto trimestre de 2017 (Figura 10a). Não houve variação significativa entre as estações de um mesmo ano, mas houve uma queda na representatividade em 2016 e 2017, em comparação aos anos anteriores (Tabela 3 e 4a).

O recobrimento percentual médio dos animais, como um todo, variou entre um máximo de 60,01 ( $\pm 25,09$ ) % no terceiro trimestre de 2017 e um mínimo de 0,82 ( $\pm 1,83$ ) % no verão de 2014 (Figura 10b). Não houve variação significativa entre as estações de um mesmo ano, mas houve um aumento na representatividade em 2016 e 2017, em comparação a 2013 e 2015 (Tabela 3 e 4b). Assim, podemos observar que a queda significativa no recobrimento das macroalgas foi

acompanhada por um aumento significativo no recobrimento dos animais, ou seja, houve substituição de um pelo outro na comunidade.



**Figura 10.** Recobrimento médio total dos grupos morfofuncionais de macroalgas (GMM) (a) e dos grupos de animais (GA) (b) por período amostrado na Praia do Pernambuco (Guarujá, SP). As barras verticais representam o erro padrão. As barras horizontais vermelhas indicam os anos em que houve queda na representatividade e as verdes indicam os anos em que houve aumento. Ver = verão; outo = outono; inv = inverno e prim = primavera.

**Tabela 3.** ANOVA de medidas repetidas entre os anos para o recobrimento percentual médio descritores primários medidos na faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

Recobrimento médio	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
Macroalgas	6574,236	4	1643,559	10,88595	0,000186
Animais	6012,599	4	1503,15	8,86423	0,000569

**Tabela 4.** Diferenças significativas entre os anos no recobrimento percentual médio das macroalgas (a) e dos animais (b) da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

<b>(a)</b>		
<b>Relação entre anos</b>	<b>Diferença (média total)</b>	<b>p</b>
2013 > 2016	33,63531	0,004172
2013 > 2017	43,7649	0,000432
2014 > 2017	29,07159	0,01335
2015 > 2016	25,29854	0,034653
2015 > 2017	35,42813	0,002667

<b>(b)</b>		
<b>Relação entre anos</b>	<b>Diferença (média total)</b>	<b>p</b>
2013 < 2016	33,53531	0,006906
2013 < 2017	39,65306	0,001639
2015 < 2016	28,16466	0,025151
2015 < 2017	34,2824	0,005775

#### 4.4. Recobrimento de Grupos Morfofuncionais de Macroalgas

Os grupos morfofuncionais de macroalgas (GMM) encontrados entre o ano de 2013 e 2017 foram: calcárias articuladas, calcárias crostosas, filamentosas, foliáceas, foliáceas corticadas, macrófitas coriáceas e corticadas.

O grupo morfofuncional de macroalgas (GMM) das calcárias articuladas foi o dominante, entre as macroalgas, na maior parte do período amostrado, exceto no verão de 2014, quando as algas filamentosas foram as dominantes, com recobrimento médio igual a 35,31 ( $\pm 29,76$ ) %, e no quarto trimestre de 2016, quando as algas crostosas foram as dominantes com recobrimento médio de 16,51 ( $\pm 14,32$ ) % (Figura 11). As algas calcárias articuladas apresentaram sua maior representatividade no outono de 2015 ( $r = 48,88 \pm 26,65\%$ ) (Figura 11a). Não houve variações significativas entre as estações de um mesmo ano e nem entre os anos.

O GMM das algas calcárias crostosas apresentou sua maior representatividade no verão de 2013 ( $r = 33,11 \pm 23,25\%$ ) (Figura 11b). Não houve variações significativas entre as estações de um mesmo ano e nem entre os anos. O recobrimento médio das algas calcárias crostosas

apresentaram correlação significativa com os dados abióticos ( $p = 0,179$ ;  $p = 0,050$ ). Nenhum fator abiótico contribuiu independentemente para a variação encontrada no recobrimento desse GMM, porém a análise BEST apontou que o melhor modelo de correlação ( $\text{corr} = 0,249$ ) consiste de quatro variáveis: temperatura mínima do ar, umidade média, umidade máxima e chuva. No caso, maiores temperaturas mínimas e maiores valores de umidade e precipitação (condições características do verão) favorecem estas algas. Este modelo provavelmente está relacionado ao fato desse GMM ser pouco tolerante à dessecação, necessitando, inclusive, do borrifar constante das ondas para a manutenção da umidade, em períodos de maré baixa, para sua sobrevivência (Dudgeon *et al.*, 1995; Ortlieb *et al.*, 1996; Padilla, 1984; Littler & Littler, 1984b). Apesar da correlação entre as algas calcárias crostosas e os dados abióticos ser significativa ( $p=0,050$ ), o valor do coeficiente de correlação de postos de Spearman foi próximo de 0 ( $\rho=0,179$ ), o que sugere que a correlação entre esses dois grupos de dados (recobrimento percentual médio de calcárias crostosas e variáveis abióticas) é baixa, porém não é aleatória.

O GMM das filamentosas apresentou sua maior representatividade no verão de 2014 ( $r = 35,31 \pm 29,76 \%$ ) (Figura 11c). Não houve variações significativas entre as estações de um mesmo ano e nem entre os anos. As algas filamentosas apresentaram correlação positiva e significativa com os dados abióticos ( $p = 0,156$ ;  $p = 0,047$ ) e os fatores abióticos que melhor contribuíram, independentemente, para a variação encontrada no recobrimento, foram: temperatura do ar média ( $p = 0,005$ ;  $\text{prop} = 0,278$ ), ponto de orvalho mínimo ( $p=0,023$ ;  $\text{prop}=0,428$ ), velocidade média do vento ( $p = 0,023$ ;  $\text{prop}=0,149$ ) e maré máxima ( $p=0,006$ ;  $\text{prop}=0,143$ ). O melhor modelo de correlação ( $\text{corr} = 0,259$ ), apontado pela análise BEST, é formado por temperatura média do ar, velocidade média do vento e maré mínima. Modelos de correlação que consideram a sinergia de várias variáveis, como o nosso, apresentam resultados mais próximos da realidade e ajudam a criar cenários de MCGs mais realistas. A temperatura, por exemplo, não aumenta o crescimento de algas

filamentosas em um ecossistema dominado por “kelps”, porém a associação do aumento da temperatura com o aumento da acidificação da água do mar proporciona a maior taxa de crescimento dessas algas (Johnson *et al.*, 2017). O fato do valor do coeficiente de correlação de postos de Spearman ser próximo de 0 ( $\rho = 0,156$ ), sugere que a correlação entre esses dois grupos de dados (recobrimento percentual médio de algas filamentosas e variáveis abióticas) é baixa, porém não é aleatória ( $p = 0,047$ ), assim como para as algas calcárias crostosas.

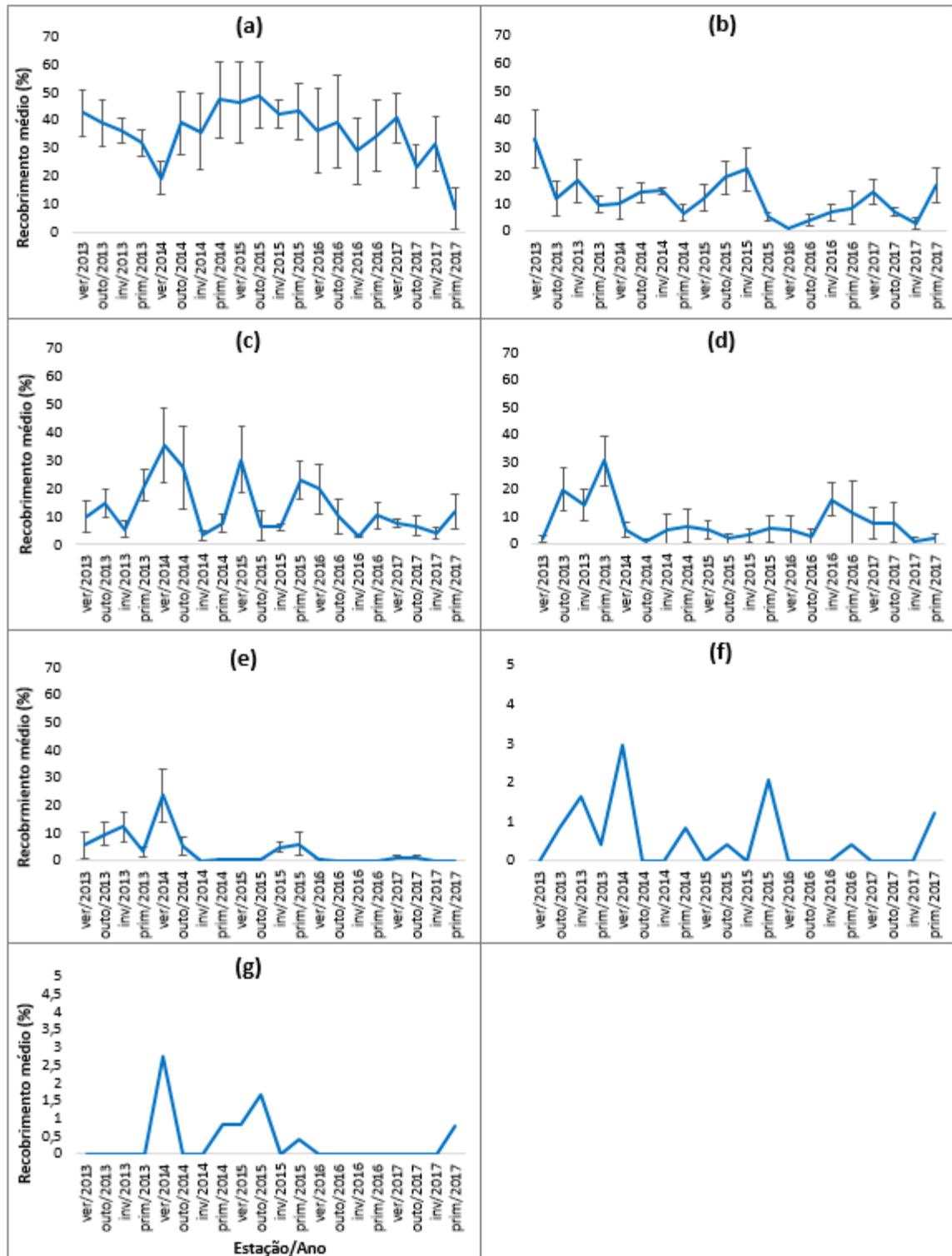
As macrófitas coriáceas possuíram sua maior representatividade no quarto trimestre de 2013 ( $r = 30,68 \pm 13,49\%$ ) (Figura 11d) e as macrófitas corticadas no primeiro trimestre de 2014 ( $r = 23,79 \pm 21,43\%$ ) (Figura 11e). Por serem GMMs de distribuição rara nessa comunidade, não foram realizadas ANOVA para as estações, já que os dados não apresentaram distribuição normal. As macrófitas coriáceas apresentaram uma queda em 2014, 2015 e 2017, quando comparado com 2013 (Tabelas 5 e 6). As macrófitas corticadas apresentaram uma diferença significativa entre os anos, mas o teste *a posteriori* de Tukey não indicou quais foram esses anos (Tabela 5). As macrófitas coriáceas, como espécies do gênero *Sargassum*, possuem uma forte competição interespecífica com algas do grupo das calcárias articuladas, que substituem a cobertura das macrófitas coriáceas logo após a sua senescência (Figueiredo *et al.*, 2004; Amado Filho *et al.*, 2006). Assim, como o costão da Praia do Pernambuco foi dominado na maior parte do período amostral pelas calcárias articuladas, as macrófitas não apresentaram um recobrimento alto e estável no local.

As foliáceas (Figura 11f) e as foliáceas corticadas (Figura 11g) foram GMM raros no local, durante o período amostrado. Nos poucos trimestres em que estiveram presentes, o máximo de recobrimento encontrado foi igual 2,96 % e 2,72 %, respectivamente, ambos no primeiro trimestre de 2014. Por serem GMMs de distribuição rara nessa comunidade, não foram realizadas ANOVA para as estações. Entre os anos, não foram encontradas diferenças significativas.

A presença de *Corallina officinalis* Linnaeus, uma alga calcária articulada, inibe o crescimento de *Ulva lactuca* Linnaeus, uma alga foliácea, pois *C. officinalis* retém umidade em sua matriz, conseqüentemente diminuindo-a em sua superfície. Assim, algas como *U. lactuca* sofrem os efeitos de dessecação de forma mais intensa na presença de *C. officinalis* (Daleo *et al.*, 2006). Portanto, um dos fatores que pode estar relacionado com o fato das algas foliáceas e foliáceas corticadas serem raras nesta comunidade é a dominância das algas calcárias articuladas na maior parte do período amostral. Uma outra hipótese relacionada ao fato das algas foliáceas e foliáceas corticadas serem raras na comunidade de costão rochoso da Praia do Pernambuco, poderia estar relacionada à eutrofização, uma vez que o crescimento de *Ulva* spp. pode ser estimulado pelo aumento da concentração de nutrientes dissolvidos na água, especialmente nitrogênio inorgânico e fósforo (Teichberg *et al.*, 2010). De fato, algas epífitas filamentosas e foliáceas são comuns em locais submetidos à alta pressão antrópica (Fujii & Soares, 2011; Laquila, 2006). Entretanto, como a Praia do Pernambuco fica localizada em região altamente exposta à pressões antrópicas, como despejo de esgoto, a hipótese de que o local seria pobre em nutrientes pode ser descartada. O fato das algas calcárias articuladas terem perdido a dominância apenas para os grupos que apresentaram correlação com os fatores abióticos (filamentosas no verão de 2014 e calcárias crostosas no outono de 2016) talvez esteja associado às condições ambientais desses períodos, mas não podemos descartar hipóteses de interações bióticas. As algas calcárias articuladas foram provavelmente o GMM dominante durante a maior parte do período amostral por serem algas particularmente resistentes à herbivoria e à ação das ondas, pois possuem adaptações no talo, como impregnação de carbonato de cálcio, que promovem maior dureza e baixo valor calórico (Littler & Littler, 1984a). A perda de dominância para as algas filamentosas, durante o verão de 2014, pode estar relacionada a uma maior concentração de sedimentos na água (fator não quantificado neste estudo), pois o aumento de sedimentos provoca uma queda na taxa fotossintética, no sucesso reprodutivo e

no estabelecimento de espécies com morfologia e ciclo de vida complexos como as calcárias articuladas, mas não prejudicam as algas filamentosas, que possuem talos horizontais e ciclo de vida rápido (Balata, 2015). De fato, a reprodução vegetativa é o principal fator que permite que as algas filamentosas cresçam em condições de distúrbios e não sejam afetadas pela sedimentação (Airoldi, 1998). Apesar das algas calcárias articuladas possuírem adaptações de resistência a herbivoria, o GMM mais resistente a este fator são as algas crostosas, particularmente as algas calcárias crostosas, que só são predadas por alguns animais pastadores (Steneck & Dethier, 1994). Além disso, as algas calcárias crostosas e as algas eretas, como as calcárias articuladas e as macrófitas, possuem uma correlação negativa entre si, pois as algas eretas sombreiam e crescem sobre as calcárias crostosas, reduzindo sua cobertura (Figueiredo *et al.*, 2004). Estes fatores poderiam explicar a perda de dominância das calcárias articuladas para as algas crostosas no outono de 2016.

As alterações no recobrimento relativo e na ocorrência dos GMM estão de acordo com o esperado inicialmente (ver pergunta de pesquisa 1) e, como esperado, as correlações com os fatores abióticos foram diferenciadas entre os GMM (pergunta 2a) e a temperatura apresentou um contribuição importante nos padrões observados (pergunta 2b), pois foi uma das variáveis apresentada nos melhores modelos de correlação para as algas calcárias crostosas e para as algas filamentosas.



**Figura 11.** Recobrimento médio percentual de cada grupo morfofuncional de macroalgas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP), por período amostrado. (a) calcárias articuladas; (b) calcárias crostosas; (c) filamentosas; (d) macrófitas coriáceas; (e) macrófitas corticadas; (f) foliáceas; (g) foliáceas corticadas. As barras verticais representam o erro padrão. Note que as escalas do eixo y são diferentes entre os grupos. Ver = verão; outo = outono; inv = inverno e prim = primavera.

**Tabela 5.** ANOVA de medidas repetidas entre os anos para os grupos morfofuncionais de macroalgas (GMM) na faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

GMM	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
Calcárias crostosas	941,9109	4	235,4777	2,67973	0,069603
Calcárias articuladas	462,7296	4	115,6824	1,950759	0,150978
Filamentosas	409,1553	4	102,2888	1,899629	0,159688
Macrófitas coriáceas	554,7377	4	138,6844	8,704214	<b>0,000626</b>
Macrófitas corticadas	266,1489	4	66,53723	3,664552	<b>0,026551</b>
Foliáceas (total)	9,52894	4	2,38224	2,39566	0,093560

**Tabela 6.** Diferenças significativas entre os anos no recobrimento percentual médio das macrofitas coriáceas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

Relação entre anos	Diferença (média total)	Valor de p
2013 > 2014	12,16482	<b>0,001627</b>
2013 > 2015	12,09428	<b>0,001713</b>
2013 > 2017	11,99186	<b>0,001846</b>

#### 4.5. Recobrimento de Animais

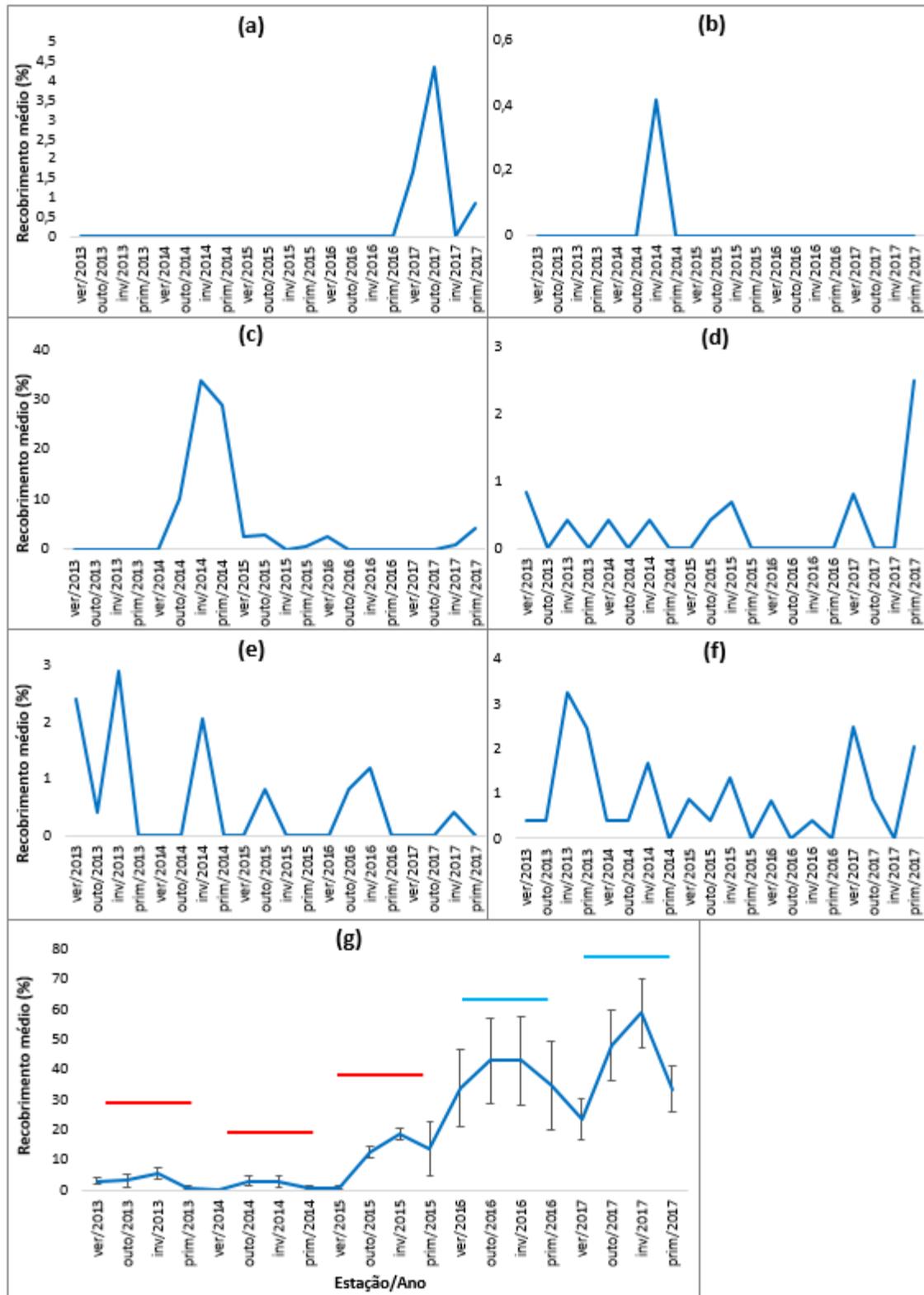
Os grupos de animais (GA) encontrados na faixa de algas, durante o período amostral foram: antozoários, ascídias, bivalves, cracas, esponjas, moluscos (não bivalves) e poliquetas (Figura 12). Os GA apresentaram padrões de recobrimento na faixa de algas diferentes entre si, sendo que os antozoários, ascídias, e bivalves são efêmeros na comunidade (Figura 12a, 12b e 12c, respectivamente) tendo ocorrido em um curto período da amostragem (recobrimento percentual médio máximo no período estudado de 4,35 %, 0,42 % e 33,60 %, respectivamente). As cracas, esponjas, moluscos (não bivalves) e poliquetas (Figura 12d, 12e, 12f e 12g, respectivamente) são organismos frequentes na faixa de algas, porém, com exceção dos poliquetas, apresentam baixa representatividade (recobrimento percentual médio máximo no período estudado de 2,49%, 2,91 %, 3,28 % e  $58,796 \pm 25,39$  %, respectivamente).

Os poliquetas do gênero *Phragmatopoma* Mörch, 1863 constituíram o único GA que apresentou alta representatividade na comunidade, chegando a ser o organismo dominante da faixa de algas no segundo ( $r = 47,98 \pm 26,31 \%$ ) e terceiro ( $r = 58,796 \pm 25,39 \%$ ) trimestres de 2017 (Figura 12g). Houve um aumento na representatividade no inverno de 2017 em relação ao verão do mesmo ano (Tabela 7a e 8a) e um aumento, entre os anos, em 2016 e 2017 em relação aos três anos anteriores (Tabela 7b e 8b). Os outros grupos de animais reunidos (antozoários, ascídias, bivalves, cracas, esponjas e moluscos não bivalves) apresentaram um aumento na representatividade em 2014 em relação a 2015 e 2016 (Tabela 7b e 8b).

O aumento do recobrimento dos poliquetas ao longo dos anos, ao ponto de se tornarem o grupo dominante na faixa de algas durante alguns períodos de amostragem foi um resultado inesperado deste estudo. Alterações na distribuição geográfica dos poliquetas estão fortemente correlacionadas ao aumento da temperatura, em cenários de MCGs (Faroni-Perez, 2017). De fato, o período em que ocorreu o aumento drástico no recobrimento médio de poliquetas (entre 2015 e 2016) e que permitiu seu estabelecimento e crescimento na Praia do Pernambuco, corresponde ao período do fenômeno climático El Niño, que no Brasil resultou no aumento da temperatura e da chuva na região sudeste (Ruiz, 2016).

Em costões rochosos, após um evento que facilite a colonização e dominação de espaço por *Phragmatopoma californica*, uma espécie de poliqueta que forma “tubos”, como os observados em nosso estudo, há uma subsequente queda na abundância de macroalgas e micro invertebrados, possivelmente causada pela limitação de espaço pelo recrutamento e crescimento acelerado das colônias (Taylor & Littler, 1982). A presença dessas colônias bem estabelecidas e ativas de poliquetas cercam as macroalgas da comunidade, impedindo o seu crescimento, e somente após o envelhecimento das colônias de poliquetas e seu enfraquecimento, as macroalgas conseguem voltaram a ocupar o espaço perdido (Wilson, 1971).

O estabelecimento larval e a metamorfose de poliquetas são influenciados por vários fatores e interações abióticas e bióticas (Qian, 1999). A presença de algas calcárias articuladas, por exemplo, é um desses fatores, pois as concreções formadas e a retenção dos sedimentos geram um micro-habitat favorável ao estabelecimento dos poliquetas (Giangrande, 1988). Portanto, podemos concluir que o fato das calcárias articuladas serem o GMM dominante na maioria do período amostral, pode ter facilitado o estabelecimento e crescimento dos poliquetas nesta comunidade.



**Figura 12.** Recobrimento médio percentual de cada grupo de animal, por período amostrado da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP). (a) antozoários; (b) ascídias; (c) bivalves; (d) cracas; (e) esponjas; (f) moluscos (não bivalves); (g) poliquetas. Note que as escalas do eixo y são diferentes entre os grupos. As barras verticais representam o erro padrão. As barras horizontais coloridas indicam os anos que apresentaram diferença significativa entre si. Ver = verão; outo = outono; inv = inverno e prim = primavera.

**Tabela 7.** ANOVA de medidas repetidas entre as estações (a) e entre os anos (b) para os grupos de animais (GA) na faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP). \*O verão de 2014 foi excluído para a realização desta ANOVA, pois não continha variância entre suas amostras.

(a)					
GA	SS	Graus de liberdade*	MS	F	p
Poliquetas	22898,79	18	1272,155	10,93359	0,000000

(b)					
GA	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
Poliquetas	7451,431	4	1862,858	9,707731	0,000350
Outros	1125,675	4	281,4186	3,806533	0,023286

**Tabela 8.** Diferenças significativas entre as estações (a) e entre os anos (b) para para os grupos de animais (GA) na faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

(a)				
GA	Ano	Relação entre as estações	Diferença (média total)	p
Poliquetas	2017	verão < inverno	35,21612	0,008077

(b)			
GA	Relação entre anos	Diferença (média total)	p
Poliquetas	2013 < 2016	35,5106	0,007166
	2013 < 2017	37,81793	0,004268
	2014 < 2016	37,01256	0,005112
	2014 < 2017	39,31989	0,003061
	2015 < 2016	27,95802	0,039245
	2015 < 2017	30,26536	0,023494
Outros animais	2014 > 2015	17,20707	0,041331
	2014 > 2016	18,17056	0,029322

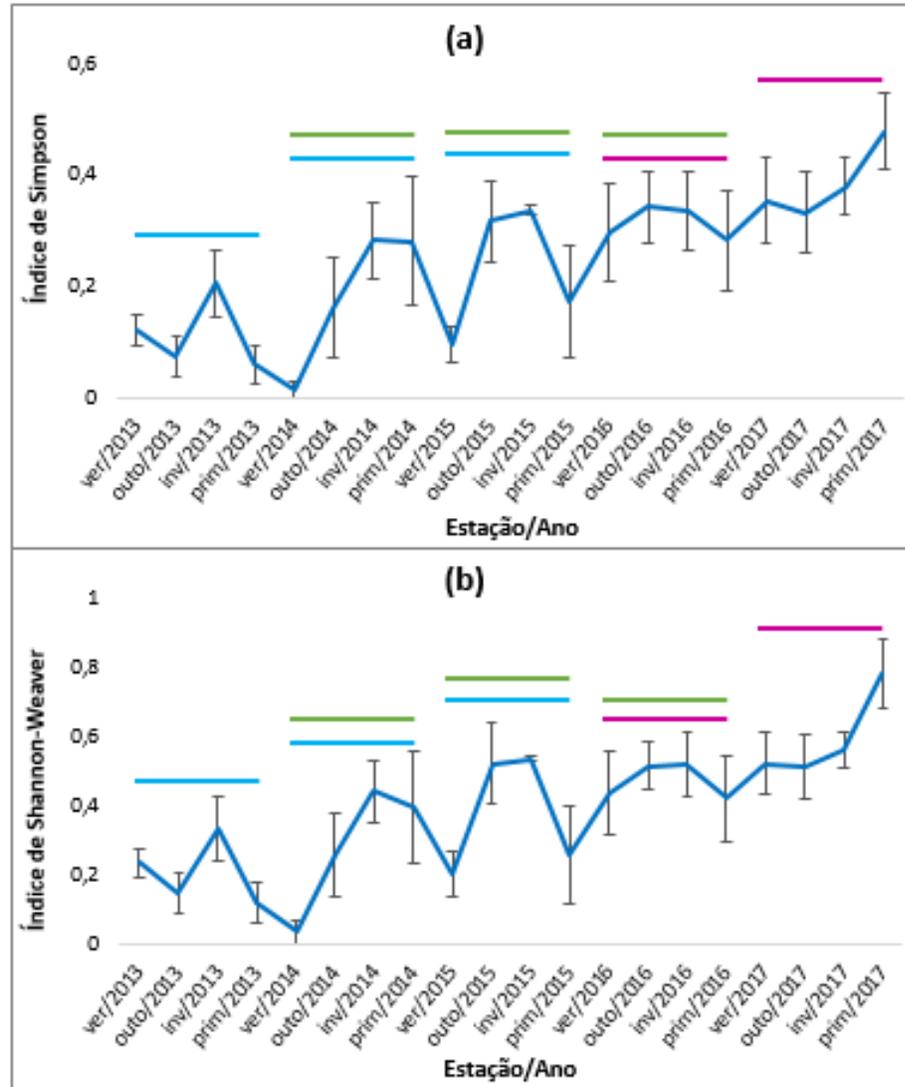
#### 4.6. Índices de Diversidade

Para o índice de diversidade de Simpson (SI) (Figura 13a) e para o índice de diversidade de Shannon-Weaver (SW) (Figura 13b), não foram encontradas diferenças significativas entre as estações de um mesmo ano, mas houve um aumento em 2016 em relação a 2013 e em 2017 em relação a 2013, 2014 e 2015 para os dois índices (Tabelas 9 e 10).

O aumento dos valores dos índices de SI e SW sugerem que, de fato, houve um aumento da diversidade na comunidade da faixa de algas, que provavelmente está relacionada a diminuição do recobrimento de GMM e aumento do recobrimento e da ocorrência de grupos diferentes de animais, ao longo do período amostral. As alterações no recobrimento e na ocorrência dos GMM refutam a hipótese de que a diversidade de grupos morfofuncionais de algas é igual entre os diferentes meses amostrados (ver pergunta de pesquisa 1).

A substituição de macroalgas por animais na comunidade resulta na diminuição da produção primária e no abrigo formado por algas formadores de dossel ou micro habitats, a outros organismos (Hawkins *et al.*, 2009). Assim, apesar do aumento da diversidade no período amostrado, essa alteração na razão da representatividade de macroalgas e animais pode resultar em uma futura queda da biodiversidade local. O aumento da biodiversidade, durante o período amostral, pode estar relacionado a interações bióticas, como predação e competição por espaço, e/ou a fatores ambientais. Em comunidades de costão rochoso, a predação e a competição por espaço estão relacionadas e constituem as principais interações bióticas que possuem efeitos sobre a biodiversidade local. Se a predação for baixa, a competição por espaço pode se tornar muito alta, gerando perda de diversidade por exclusão competitiva e, se a predação for muito intensa, também há perda de biodiversidade pela eliminação de táxons mais suscetíveis (Menge & Sutherland, 1976). Já os distúrbios ambientais, como ação das ondas, se muito altos ou muito baixos, aumentam a dominância por poucas espécies, enquanto distúrbios de frequência e intensidade intermediários aumentam a biodiversidade local (Sousa, 1979). Em relação às macroalgas, a curto prazo, o aumento da concentração de nutrientes na água, por exemplo, pode aumentar a biodiversidade local, pois várias espécies de GMM efêmeros, como as filamentosas, foliáceas e as foliáceas corticadas se beneficiam muito destas condições, crescendo rapidamente. (Kraufvelin *et al.*, 2010). Entretanto, a longo prazo, o sucesso no estabelecimento de alguns destes grupos favorecidos pelas

condições abióticas pode levar a uma perda da biodiversidade local, já que outros grupos podem ser eliminados por não serem tolerantes a condições extremas (Amaral *et al.*, 2018).



**Figura 13.** Índice de diversidade de Simpson (a) e diversidade de Shannon-Weaver (b) para a faixa de algas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP) no período amostrado. As barras verticais representam o desvio padrão. As barras horizontais coloridas indicam os anos que apresentaram diferença significativa entre si. Ver = verão; outo = outono; inv = inverno e prim = primavera.

**Tabela 9.** Resultados da ANOVA de medidas repetidas para os índices de diversidade de Simpson (SI) e Shannon-Weaver (SW) entre entre os anos na faixa de macroalgas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

Índices	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
SI	0,227417	4	0,056854	9,32474	0,000435
SW	0,46984	4	0,11746	11,45486	0,000140

**Tabela 10.** Diferenças significativas entre os anos no índice de diversidade de Simpson (a) e no de Shannon-Weaver (b) na faixa de macroalgas da Praia do Pernambuco (Guarujá, SP).

(a)		
Relação entre anos	Diferença	p
2013 < 2016	0,198211	0,007776
2013 < 2017	0,270118	0,000549
2014 < 2017	0,200491	0,007073
2015 < 2017	0,165903	0,02831

(b)		
Relação entre anos	Diferença	p
2013 < 2016	0,264709	0,006118
2013 < 2017	0,386059	0,000271
2014 < 2017	0,312938	0,001438
2015 < 2017	0,230401	0,017726

## 5. Conclusões

A principais conclusões deste estudo foram:

- A faixa de algas é naturalmente variável, não sendo possível, no período amostrado, estabelecer um padrão temporal periódico claro;
- A amplitude da faixa de algas não se alterou, mas os pontos inicial e final da faixa se deslocaram para baixo no costão em alguns períodos amostrados, pela ocupação da porção superior da faixa por organismos como os poliquetas do gênero *Phragmatopoma* com consequente deslocamento por competição das macroalgas;
- O GMM das calcárias articuladas foi dominante na maior parte do período amostral, provavelmente por serem resistentes à ação das ondas e herbivoria, que devem ser característicos do local;
- As macroalgas dominaram a faixa de algas na maior parte do período amostral, com exceção dos últimos três trimestres de 2017, quando os animais, especialmente os poliquetas, foram mais representativos. O aumento do recobrimento médio dos poliquetas

pode ter sido causado por diversos fatores relacionados a interação com fatores bióticos e abióticos, como facilitação fornecida pelas algas calcárias articuladas e/ou aquecimento da água relacionado com evento de El Niño;

- O GMM das calcárias crostosas apresentou correlação com fatores abióticos (temperatura do ar, umidade e chuva). No caso, maiores temperaturas mínimas e maiores valores de umidade e precipitação (condições características do verão) favorecem estas algas, que são pouco tolerantes à dessecação;
- O GMM das filamentosas apresentou correlação com fatores abióticos (temperatura do ar, velocidade do vento e maré). Neste caso, a sinergia dos fatores abióticos possivelmente favorece o crescimento acelerado deste grupo, característico por ter um ciclo de vida rápido e ser resistente à sedimentação;
- A diversidade aumentou no período estudado, devido principalmente ao aumento na representatividade de grupos de animais no costão. Sugere-se que, a longo prazo, esta diversidade possa vir a cair pela diminuição da abundância relativa ou até eliminação de organismos competitivamente inferiores;

## 6. Considerações finais

Os resultados do presente estudo demonstram quão naturalmente dinâmica e variável é uma comunidade de faixa de algas de costão rochoso, ao longo do tempo. Estudos futuros, de campo e laboratoriais, que busquem o entendimento das interações entre as variáveis bióticas e abióticas nas diferentes faixas de organismos (zonação) são extremamente necessários para a criação de modelos e cenários ambientais de mudanças climáticas globais. Além disso, outros estudos que considerem o efeito da sinergia de fatores abióticos e estudos que levem em conta fatores abióticos não considerados aqui ou, ainda, fatores bióticos que devem ser importantes para a determinação

das variações observadas, são essenciais, pois os grupos de macroalgas estudados apresentaram respostas diferentes às mesmas condições ecológicas.

Como o presente trabalho foi realizado em apenas um ponto do litoral de São Paulo, a intenção não é extrapolarmos os resultados obtidos aqui para outras áreas da costa, mas sim iniciarmos observações e séries temporais de longo prazo que possam subsidiar a formulação de hipóteses sobre respostas das algas às variações nos fatores ambientais (médios e extremos que venham a ocorrer no período estudado). A união destes dados com os que estão sendo obtidos em outras estações de monitoramento da ReBentos, que estão sendo estabelecidas por outros pesquisadores, ao longo do litoral brasileiro, permitirá o entendimento de padrões mais amplos e a tomada de decisões frente às alterações que as comunidades de costões venham a sofrer futuramente em cenários de mudanças climáticas.

## 7. Referências

- Airoldi, L. Roles of disturbance, sediment stress, and substratum retention on spatial dominance in algal turf. **Ecology**, v. 79, n.8, p. 2759-2770, 1998.
- Alestra, T.; Schiel, D. R. Impacts of local and global stressors in intertidal habitats: Influence of altered nutrient, sediment and temperature levels on the early life history of three habitat-forming macroalgae. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 468, p. 29–36, 2015.
- Amado Filho, G. M.; Horta, P. A.; Brasileiro, P. S.; Barros-Barreto, M. B.; Fujii, M. T. Subtidal benthic marine algae of the marine state park of Laje de Santos (São Paulo, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 54, n. 4, p. 225-234, 2006.
- Amaral, H. B. F.; Reis, R. P.; de Oliveira Figueiredo, M. A.; de Gusmão Pedrini, A. Decadal shifts in macroalgae assemblages in impacted urban lagoons in Brazil. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 869-877, 2018.
- Balata, D.; Piazzzi, L.; Bulleri, F. Sediment deposition dampens positive effects of substratum complexity on the diversity of macroalgal assemblages. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 467, p. 45-51, 2015.
- Balata, D.; Piazzzi, L.; Rindi, F. Testing a new classification of morphological functional groups of marine macroalgae for the detection of responses to stress. **Marine Biology**, v. 158, p. 2459–2469, 2011.
- Ballantine, W. J. **A biologically-defined exposure scale for the comparative description of rocky shores**, p.1-19, 1961.
- Bell, J. J.; Davy, S. K.; Jones, T.; Taylor, M. W.; Webster, N. S. Could some coral reefs become sponge reefs as our climate changes? **Global Change Biology**, v. 19, n. 9, p. 2613– 2324, 2013.
- Bellgrove, A. Turning up the heat. **Journal of Phycology**, v. 49, n. 4, p. 627–629, 2013.
- Berchez, F.; Amancio, C. E.; Ghilardi, N. P.; Oliveira, E. C. D. **Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas Globais nas comunidades de organismos marinhos bentônicos da costa brasileira**. In: Marcos Silveira Buckeridge (Ed.). *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. São Carlos: Rima, p. 167–180, 2008.

- Boaventura, D.; Ré, P.; da Fonseca, L. C.; Hawkins, S. J. Intertidal rocky shore communities of the continental Portuguese coast: analysis of distribution patterns. **Marine Ecology**, v.23, n.1, p. 69-90, 2002.
- Clarke, K.R. & Gorley, R.N. **PRIMER v6: User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth, p. 192, 2006
- Clark, J. S.; Poore, A. G. B.; Ralph, P. J.; Doblin, M. A. Potential for adaptation in response to thermal stress in an intertidal macroalga. **Journal of Phycology**, v. 49, n. 4, p. 630–639, 2013.
- Connell, J. H. Community interactions on Marine Rocky Intertidal Shores. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 3, p. 169-192, 1972.
- Coutinho, R.; Széchy, M. T. M.; López, M. S.; Christofolletti, R. A., Berchez, F., Yaginuma, L. E., Rocha, R. M.; Siviero, F. N.; Ghilardi-Lopes, N. P.; Ferreira, C. E. L.; Gonçalves, E. A.; Masi, B. P.; Correia, M. D.; Sovierzoski, H. H.; Skinner, L. F.; Zalmon, I. R. **Monitoramento de Longo Prazo de Costões Rochosos**. In: Turra. & Denadai M.R. Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros - Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos. Universidade de São Paulo. Biblioteca Digital da Produção Intelectual – BDPI, 2015. cap. 13, p. 180-193.
- Daleo, P.; Escapa, M.; Alberti, J.; Iribarne, O. Negative effects of an autogenic ecosystem engineer: interactions between coralline turf and an ephemeral green alga. **Marine Ecology Progress Series**, v. 315, p. 67-73, 2006.
- Dalsgaard, T. Benthic primary production and nutrient cycling in sediments with benthic microalgae and transient accumulation of macroalgae. **Limnology and Oceanography**, v.48, n.6, p. 2138–2150, 2003.
- Diaz-Pulido, G.; Anthony, K. R. N.; Kline, D. I.; Dove, S.; Hoegh-Guldberg, O. Interactions Between Ocean Acidification and Warming on the Mortality and Dissolution of Coralline Algae. **Journal of Phycology**, v. 48, n. 1, p. 32–39, 2012.
- Dudgeon, S. R.; Kübler, J. E.; Vadas, R. L.; Davison, I. R. Physiological responses to environmental variation in intertidal red algae: does thallus morphology matter? **Marine Ecology Progress Series**, v. 117, p.193-206, 1995.
- Eriksson, B. K.; Johansson, G.; Snoeijs, P. Long-Term Changes in the Macroalgal Vegetation of the Inner Gullmar Fjord, Swedish Skagerrak Coast. **Journal of Phycology**, v. 38, n. 2, p. 284–296, 2002.

- Faroni-Perez, L. Climate and environmental changes driving idiosyncratic shifts in the distribution of tropical and temperate worm reefs. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 97, n. 5, p. 1023-1035, 2017.
- Figueiredo, M. A.; Barreto, M. B. B.; Reis, R. P. Caracterização das macroalgas nas comunidades marinhas da Área de Proteção Ambiental de Cairuçu, Parati, RJ-subsídeos para futuros monitoramentos. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 1, p. 11-17, 2004.
- Fujii, M. T & Soares, L. P. Uso dos tipos morfofuncionais na caracterização da comunidade de macroalgas epífitas da Praia De Boa Viagem, Recife - PE, Brasil. In: **X Congresso de Ecologia do Brasil**, 16 a 22 de Setembro de 2011, São Lourenço – MG.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. **AlgaeBase**. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2018.
- Giangrande, A. Polychaete zonation and its relation to algal distribution down a vertical cliff in the western Mediterranean (Italy): a structural analysis. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 120, n. 3, p. 263-276, 1988.
- Gorgula, S. K.; Connel, S. D. Expansive covers of turf-forming algae on human-dominated coast: the relative effects of increasing nutrient and sediment loads. **Marine Biology**, v. 145, p. 613-619, 2004.
- Griffiths, M.; Harrison, S. T. L.; Smit, M.; Maharajh, D. **Major Commercial Products from Micro- and Macroalgae**. In: Bux F., Chisti Y. (eds) *Algae Biotechnology. Green Energy and Technology*. Springer, Cham, 2016.
- Harley, C. D. G.; Anderson, K. M.; Demes, K. W.; Jorve, J. P.; Kordas, R. L.; Coyle, T. A.; Graham, M. H. Effects of Climate Change on Global Seaweed Communities. **Journal of Phycology**, v. 48, n. 5, p. 1064–1078, 2012.
- Harley, C. D. G.; Hughes, A. R.; Hultgren, K. M.; Miner, B. G.; Sorte, C. J. B.; Thorn-Ber, C. S.; Rodriguez, L. F.; Tomanek, L.; Williams, S. L. The impacts of climate change in coastal marine systems. **Ecology Letters**, v. 9, p. 228–241, 2006.
- Hawkins, S. J.; Sugden, H. E.; Mieszkowska, N.; Moore, P. J.; Poloczanska, E.; Leaper, R.; Herbert, R. J. H.; Genner, M. J.; Moschella, P. S.; Thompson, R. C.; Jenkins, S. R.; Southward, A. J.; Burrows M. T. Consequences of climate-driven biodiversity changes for ecosystem functioning of North European rocky shores. **Marine Ecology Progress Series**, v. 396, p. 245-259, 2009.

- Helmuth, B.; Yamane, L.; Lalwani, S.; Matzelle, A.; Tockstein, A.; Gao, N. Hidden signals of climate change in intertidal ecosystems: What (not) to expect when you are expecting. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 400, n. 1-2, p. 191–199, 2011.
- Hoegh-Guldberg, O.; Bruno, J. F. The impact of climate change on the worlds marine ecosystems. **Science**, v. 328, p. 1523– 1528, 2010.
- Hurd, C. L.; Hepburn, C. D.; Currie, K. I.; Raven, J. A.; Hunter, K. A. Testing the Effects of Ocean Acidification on Algal Metabolism: Considerations for Experimental Designs. **Journal of Phycology**, v. 45, n. 6, p. 1236–1251, 2009.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acesso em dez/2016.
- Jenkins, S. & Uyà, M. Temporal scale of field experiments in benthic ecology. **Marine Ecology: progress series**, v. 547, p. 273-286, 2016.
- Jesus, P. B.; Machado, G. E. M.; Muniz, R. A. Macroalgas marinhas como indicadores de impactos ambientais em Itacotiara, Niterói, RJ: subsídios para futuros programas de monitoramento ambiental. **Cadernos de Estudos Geoambientais – CADEGEO**, v. 4, n. 1, 2013.
- Jochum, M.; Schneider, F. D.; Crowe, T. P.; Brose, U.; O’gorman, E. J. Climate-induced changes in bottom-up and top-down processes independently alter a marine ecosystem. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 367, p. 2962–2970, 2012.
- Johnson, C. R.; Banks, S. C.; Barrett, N. S.; Cazassus, F.; Dunstan, P. K.; Edgar, G. J.; Frusher, S. D.; Gardner, C.; Haddon, M.; Helidoniotis, F.; Hill, K. L.; Holbrook, N. J.; Hosie, G. W.; Last, P. R.; Ling, S. D.; Melbourne-Thomas, J.; Miller, K.; Pecl, G. T.; Richardson, A. J.; Ridgway, K. R.; Rintoul, S. R.; Ritz, D. A.; Ross, D. J.; Sanderson, J. C.; Shepherd, S. A.; Slotwinski, A.; Swadling, K. M.; Taw, N. Climate change cascades: Shifts in oceanography, species’ ranges and subtidal marine community dynamics in eastern Tasmania. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 400, n. 1-2, p. 17–32, 2011.
- Johnson, M. D.; Comeau, S.; Lantz, C. A.; Smith, J. E. Complex and interactive effects of ocean acidification and temperature on epilithic and endolithic coral-reef turf algal assemblages. **Coral Reefs**, v.36, n.4, p.1059-1070, 2017.
- Koch, M.; Bowes, G.; Ross, C.; Zhang, X. Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. **Global Change Biology**, v. 19, p. 103–132, 2013.

- Kohler, K.E. & Gill, S.M. 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 and Geosciences**, v. 32, n. 9, p. 1259-1269, 2006.
- Kraufvelin, P.; Lindholm, A.; Pedersen, M. F.; Kirkerud, L. A.; Biomass, diversity and production of rocky shore macroalgae at two nutrient enrichment and wave action levels. **Marine Biology**, v. 157, n. 1, p. 29-47, 2010.
- Laquila, V. **Estrutura de comunidades de algas marinhas bentônicas no Canal de São Sebastião, SP e presença dos hidrocarbonetos de petróleo**. 2006. Dissertação (mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente). Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- Littler, M.M; Littler, D.S. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 74, n. 1, p. 13-34, 1984a.
- Littler, M. M.; Littler, D. S. Models of Tropical Reef Biogenesis: The Contribution of Algae. **Progress in Phycological Research**, v. 3, p. 323–364, 1984b.
- Mariath, R.; Rodriguez, R. R.; Figueiredo, M. A. Succession of crustose coralline red algae (Rhodophyta) on coralline reefs exposed to physical disturbance in the southwest Atlantic. **Helgoland marine research**, v. 67, n. 4, p. 687, 2013.
- Marinha do Brasil. **Marinha do Brasil**. Disponível em <https://www.marinha.mil.br/>. Acesso em dez/2017.
- Marroig, R. G., & Reis, R. P. Biofouling in Brazilian commercial cultivation of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex PC Silva. **Journal of applied phycology**, v. 28, n. 3, p. 1803-1813, 2016.
- McGlathery, K. J.; Krause-Jensen, D.; Rysgaard, S.; Christensen, P. B. Patterns of ammonium uptake within dense mats of the filamentous macroalga *Chaetomorpha linum*. **Aquatic Botany**, v.59, p.99-115, 1997.
- Menge, B. A. & Sutherland, J. P. Species diversity gradients: synthesis of the roles of predation, competition, and temporal heterogeneity. **The American Naturalist**, v. 110, n. 973, p. 351-369, 1976.
- Mumby, P. J.; Steneck, R. S. Coral reef management and conservation in light of rapidly evolving ecological paradigms. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 23, n. 10, p. 555–563, 2008.

- NOAA -National Oceanic and Atmospheric Administration. **United States of America, Department of Commerce**. Disponível em: <http://www.noaa.gov/>. Acesso em abr/2018.
- O’Leary, J. K.; Mcclanahan, T. R. Trophic cascades result in large-scale coralline algae loss through differential grazer effects. **Ecology**, v. 91, n. 12, p. 3584–3597, 2010.
- Ortlieb, L.; Barrientos, S.; Guzman, N. Coseismic Coastal Uplift and Coralline Algae Record in Northern Chile: The 1995 Antofagasta Earthquake Case. **Quaternary Science Reviews**, v. 15, p. 949–960, 1996.
- Padilla, D. K. The Importance Of Form: Differences In Competitive Ability, Resistance To Consumers And Environmental Stress In An Assemblage Of Coralline Algae. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 79, p. 105–127, 1984.
- Pagliosa, P. R.; Cantor, M.; Scherner, F.; Otegui, M. B. P.; Lemes-Silva, A. L.; Martins, C. D. L.; Alves, G. F; Fonseca, A.; Horta Jr, P. A. Influence of piers on functional groups of benthic primary producers and consumers in the channel of a subtropical coastal lagoon. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, n.1, p. 65-73, 2012.
- Paknia, O.; Rajaei, S. H.; Koch A. Lack of well-maintained natural history collections and taxonomists in megadiverse developing countries hampers global biodiversity exploration. **Organisms Diversity & Evolution**, v. 15, p. 619-629, 2015.
- Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences discussions**, v. 4, n. 2, p. 439-473, 2007.
- Prefeitura de Santos**. Ouvidoria, Transparência e Controle - Departamento de Gestão da Tecnologia de Informação e Comunicações - Secretaria de Comunicação, 2017.
- Qian, P. Y. Larval settlement of polychaetes. **Hydrobiologia**, v. 402, p. 239–253, 1999.
- Ruiz, A. O legado do El Niño 2015. **Climatempo**, 22 de setembro de 2016. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/09/22/o-legado-do-el-nino-2015-0199>. Acesso em ago/2018.
- Russell, B. D.; Thompson, J. A. I.; Falkenberg, L. J.; Connell, S. D. Synergistic effects of climate change and local stressors: CO<sub>2</sub> and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats. **Global Change Biology**, v. 15, p. 2153–2162, 2009.
- Schoenrock, K. M.; Schram, J. B.; Amsler, C. D.; McClintock, J. B.; Angus, R. A.; Vohra, Y. K. Climate change confers a potential advantage to fleshy Antarctic crustose macroalgae over

- calcified species. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 474, p. 58–66, 2015.
- Simkanin, C.; Power, A.; Myers, A.; Mcgrath, D.; Southward, A.; Mieszkowska, N.; Leaper, R.; O’Riordan, R. Using historical data to detect temporal changes in the abundances of intertidal species on Irish shores. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 85, p. 1329–1340, 2005.
- Sousa, W. P. Experimental investigations of disturbance and ecological succession in a rocky intertidal algal community. **Ecological Monographs**, v. 49, n. 3, p. 227-254, 1979.
- StatSoft, Inc. **STATISTICA (data analysis software system)**, version 7, 2004.
- Steneck, R. S.; Dethier, M. N. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. **Oikos**, v. 69, n. 3, p. 476-498, 1994.
- Tâmega, F. T. S.; Figueiredo, M. A. O. Distribuição das algas calcárias incrustantes (Corallinales, Rhodophyta) em diferentes habitats na Praia do Forno, Armação dos Búzios, Rio de Janeiro. **Rodriguésia**, v. 56, n. 87, p. 123-132, 2005.
- Taylor, P. R., & Littler, M. M. The roles of compensatory mortality, physical disturbance, and substrate retention in the development and organization of a sand-influenced, rocky-intertidal community. **Ecology**, v. 63, n.1, p. 135-146, 1982.
- Teichberg, M.; Fox, S. E.; Olsen, Y. S.; Valiela, I.; Martinetto, P.; Iribarne, O., Muto, E.; Petti, Corbisier, T.; Soto-Jiménez, M.; Páez-Osuna, F.; Castro, P.; Freitas, H.; Zitelli, A.; Cardinaletti, M.; Tagliapietras, D. Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. **Global Change Biology**, v.16, n.9, p. 2624-2637, 2010.
- Turra, A.; Denadai, M. R. **Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros - rede de monitoramento de habitats bentônicos costeiros**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Biblioteca Digital da Produção Intelectual - BDPI, 2015.
- TWC - The Weather Company**. IBM - International Business Machines, 2017.
- Villaça, R. & Pitombo, F. B. Benthic communities of shallow-water reefs of Abrolhos, Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 45, n. 1-2, p. 35-43, 1997.
- Wilson, D. P. *Sabellaria* colonies at Duckpool, North Cornwall, 1961–1970. **Journal of the marine biological Association of the United Kingdom**, v. 51, n.3, p. 509-580, 1971.