



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Oceanografia

Marcela Ferreira Valença

**Dinâmica de comunidades bentônicas do entremarés de costões rochosos
como instrumento de monitoramento de efeitos de eventos extremos no
Sudoeste do Atlântico**

Rio de Janeiro

2024

Marcela Ferreira Valença

Dinâmica de comunidades bentônicas do entremarés de costões rochosos como instrumento de monitoramento de efeitos de eventos extremos no Sudoeste do Atlântico

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, área de concentração Caracterização, diagnóstico e evolução de ambientes marinhos.

Orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Skinner

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CTCC

V152 Valença, Marcela Ferreira.
Dinâmica de comunidades bentônicas do entremarés de costões rochosos como instrumento de monitoramento de efeitos de eventos extremos no Sudoeste do Atlântico / Marcela Ferreira Valença. – 2024.
103 f. : il.

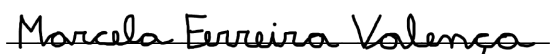
Orientador: Luis Felipe Skinner.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Oceanografia.

1. Oceanografia - Teses. 2. Comunidades bentônicas – Teses. 3. Mudanças climáticas - Teses. 4. Marés – Teses. 5. Gestão ambiental – Teses. I. Skinner, Luis Felipe. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Oceanografia. III. Título.

CDU: 551.46

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 7322

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.



Assinatura

08/10/2024

Data

Marcela Ferreira Valença

Dinâmica de comunidades bentônicas do entremarés de costões rochosos como instrumento de monitoramento de efeitos de eventos extremos no Sudoeste do Atlântico

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, área de concentração Caracterização, diagnóstico e evolução de ambientes marinhos.

Aprovada em 30 de agosto de 2024.

Orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Skinner
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a. Letícia Cotrim da Cunha
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Andrea de Oliveira Ribeiro Junqueira
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2024

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Marcio e Neusa, minha irmã Mariana, minha cachorrinha Gaia e a todos os meus familiares por me apoiarem.

Ao meu namorado Felipe Pires, por me ajudar em diversos momentos na elaboração deste trabalho, por me apoiar sempre, me incentivar, acreditar no meu sucesso e não me deixar desistir.

Ao meu orientador Dr. Luís Felipe Skinner, pela confiança, por me orientar, ajudar, apoiar e compartilhar seu vasto conhecimento.

Aos meus colegas do Laboratório de Ecologia e Dinâmica Bêntica Marinha, por toda ajuda e troca de conhecimento para a realização deste trabalho.

A Vitoria Ramos (minha cunhada), e aos colegas Ingrid Trindade e Guilherme Luiz, por me ajudarem em diversos momentos no decorrer deste trabalho como em elaboração de mapas, análise de dados e trocas de conhecimentos.

A Dr^a. Leticia Cotrim da Cunha, a Dr^a. Andrea de Oliveira Ribeiro Junqueira, ao Dr. Marcos Antonio dos Santos Fernandez e ao Dr. Bruno Pereira Masi, pela disponibilidade e por aceitarem serem parte da banca avaliadora e pelos ensinamentos no decorrer deste trabalho.

Ao CEADS-UERJ e funcionários, pelo apoio logístico fornecido, pela sua infraestrutura e acolhimento proporcionando a realização das saídas de campo.

Ao PPGOCN, por sempre auxiliar e apoiar seus alunos no que for preciso.

Aos colegas e professores do mestrado, pelo suporte e trocas de conhecimentos.

A FAPERJ e a CAPES, pelos auxílios e financiamento deste projeto.

A mim, por não desistir diante das dificuldades e seguir sempre em frente.

A todos que de alguma forma me ajudaram e me apoiaram durante a jornada do mestrado, muito obrigada!

“Even if you never have the chance to see or touch the ocean, the ocean touches you with every breath you take, every drop of water you drink, every bite you consume. Everyone, everywhere is inextricably connected to and utterly dependent upon the existence of the sea.”

Sylvia A. Earle

The World Is Blue: How Our Fate and the Ocean's Are One

RESUMO

VALENÇA, Marcela Ferreira. **Dinâmica de comunidades bentônicas do entremarés de costões rochosos como instrumento de monitoramento de efeitos de eventos extremos no Sudoeste do Atlântico**. 2024. 103 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

As comunidades bentônicas de costões rochosos têm sido indicadas como extremamente vulneráveis a eventos extremos associados às mudanças climáticas. Apesar disto ser bem estabelecido na literatura, estes registros e os limites que definem um evento extremo são escassos nas regiões tropicais. Neste trabalho foram acessados dados climatológicos e oceanográficos de 6 estações meteorológicas entre 19°21' S e 25°30' S e da base de dados oceanográficos da boia de monitoramento do Rio de Janeiro (RJ-3), a fim de delimitar valores meteo-oceanográficos que definem um evento climático extremo para utilização em estudos de comunidades bentônicas no Sudoeste do Atlântico. A partir da distribuição de frequência dos dados foram selecionados, os intervalos correspondentes a 1% (percentil 99) dos maiores e/ou menores valores a depender da variável, que retornaram os seguintes limites para eventos extremos: Precipitação superior a 42 mm.dia⁻¹; Temperatura do ar superior a 29,8°C e inferior a 9,2°C; Velocidade de vento superior a 3,3 m.s⁻¹; Direção dos ventos com concentração em um quadrante ou de quadrantes não usuais, como o Leste e Oeste em algumas localidades; Temperatura da superfície do mar superior a 31°C e inferior a 17,75°C; Altura máxima de onda superior a 4,06 m; Altura significativa de onda superior a 2,54 m e Períodos de onda superior a 9,2 m.s⁻¹. Foi também avaliada a estrutura e dinâmica de comunidades do entremarés de dois costões rochosos localizados na região da Ilha Grande, RJ: das enseadas de Dois Rios e Jorge Grego, procurando associar estes dois processos. Para isto, foi utilizada a metodologia baseada no protocolo da Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos, que divide os costões em cinco transecções verticais e que na região, vem sendo monitorados desde 2014. Em cada transecção, foram demarcados quadrates e fotografados periodicamente. Neste estudo, foram utilizados os intervalos de amostragem trimestrais dos anos de 2022 e 2023 (agosto de 2022, novembro de 2022, fevereiro de 2023 e julho de 2023) e semestral (período seco e chuvoso) dos anos de 2018 e 2019 (setembro de 2018 e agosto de 2019) das faixas de distribuição de *Chthamalus bisinuatus*, *Tetraclita stalactifera* e *Petalochonchus varians*. A amostragem foi realizada, por meio de fotografias dos quadrates, a partir da qual foram feitas a identificação e quantificação das espécies sésseis, estimada pela porcentagem de cobertura em cada quadrate. Os efeitos de condições climáticas extremas mais comumente reportados sobre as comunidades bentônicas são a ocorrência de eventos de mortandade em massa e alterações na estrutura das comunidades, em resposta principalmente a extremos de temperatura do ar ou da água, e da ação de ondas de tempestade. Dentre estes efeitos, foi possível identificar, uma ação extrema de ondas em Dois Rios, em agosto de 2019 capaz de reiniciar o processo sucessional de toda a comunidade, causando efeitos mais leves em Jorge Grego. A ocorrência de eventos extremos têm não apenas se intensificado, mas sofrido combinações que causam mudanças na estrutura de comunidades bentônicas e por isso, seu monitoramento é cada vez mais necessário.

Palavras-chave: eventos extremos; variáveis ambientais; comunidades bentônicas; mudanças climáticas; sudoeste do atlântico.

ABSTRACT

VALENÇA, Marcela Ferreira. **Dynamics of benthic communities in the intertidal of rocky shores as a tool for monitoring the effects of extreme events in the Southwest Atlantic.**

2024. 103 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

The benthic communities in rocky coastal environments have been indicated to be highly vulnerable to extreme events associated with climate change. Although it is well-established in the literature these recordings and the limits that define an extreme event are rare in tropical areas. In this work climatic and oceanographic data were collected from 6 weather stations between 19°21' S and 25°30' S, and from the oceanographic data base gained from the monitoring float of Rio de Janeiro (RJ-3) in order to delimit meteo-oceanographic values that define an extreme climatic event and their application on Atlantic Southwest benthic communities' studies. Through the frequency distribution of data were selected the range corresponding to 1% (percentile 99) of the highest and/or lowest values that depending of the variable returned the following limits for extreme events: Precipitation greater than 42 mm.day⁻¹; Air temperature greater than 29.8°C and below 9.2°C; Wind speed greater than 3.3 m.s⁻¹; Direction of winds with concentration in one quadrant or unusual quadrants, such as East and West in some locations; Sea surface temperature above 31°C and below 17.7°C; Maximum wave height greater than 4.06 m; Significant wave height greater than 2.54 m and wave periods greater than 9.2 m.s⁻¹. The structure and dynamics of intertidal communities on two rocky coasts located in the region of Ilha Grande, RJ, were also evaluated: the rocky coasts of the Dois Rios and Jorge Grego coves, seeking to associate these two processes. To do this, we applied the method developed by the *Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos* that divides the rocky coasts in 5 vertical transections that have been monitored since 2014. In each transect, quadrats were demarcated and photographed periodically. In this study, the quarterly sampling intervals of the years 2022 and 2023 (August 2022, November 2022, February 2023 and July 2023) and biannual (dry and rainy period) of the years 2018 and 2019 (September 2018 and August 2019) of the distribution ranges of *Chthamalus bisinuatus*, *Tetraclita stalactifera* and *Petalconchus varians* were used. The sampling was carried out quarterly, using photographs of the quadrats, from which the identification and quantification of sessile species were made estimated by the percentage of coverage in each quadrat. The most reported effects of extreme climatic conditions on benthic communities are the occurrence of mass mortality events and changes in community structure, mainly in response to extreme values of air or water temperature, and the action of storm waves. Among these effects, it was possible to identify that, during the monitoring of an extreme wave action in Dois Rios, in August 2019, we recorded the ecosystem in the beginning of the secondary succession process. At Jorge Grego, no event like this was observed. The occurrence of extreme events has not only intensified but has undergone combinations that cause changes in the structure of benthic communities and therefore their monitoring is increasingly necessary.

Keywords: extreme events; environmental variables; benthic communities; climatic changes; atlantic southwest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização das estações meteorológicas de Linhares, ES, Arraial do Cabo, RJ, Marambaia, RJ, Angra do Reis, RJ, Bertioga, SP e Morretes, PR, e da boia oceanográfica do Rio de Janeiro (RJ-3), abrangendo o Sudoeste do Atlântico.....	21
Figura 2 –	Precipitação (mm.dia^{-1}) para as 6 estações meteorológicas acompanhadas em seus respectivos períodos.....	26
Figura 3 –	Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) por hora para as 6 estações meteorológicas acompanhadas em seus respectivos períodos. Dados a partir de INMET. A linha tracejada em vermelho representa os valores 0,5% superiores e em verde representa os valores 0,5% inferiores.....	28
Figura 4 –	Direção e velocidade do vento (m/s) de dados por hora para as 6 estações meteorológicas acompanhadas em seus respectivos períodos. A linha tracejada em vermelho representa o valor do P99.....	30
Figura 5 –	Temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$), altura máxima de onda e altura significativa de onda, para a boia oceanográfica do Rio de Janeiro (RJ-3) do período de 15 de julho de 2016 a 31 de julho de 2023.....	32
Figura 6 –	Direção e período de onda (s) para a boia de monitoramento do Rio de Janeiro (RJ-3) do período de 15 de julho de 2016 a 31 de julho de 2023. A linha tracejada em vermelho representa os valores de percentil 99 superiores.....	33
Figura 7 –	Temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$) medida <i>in situ</i> na região da Ponta Leste, Angra do Reis, RJ no período de 03 de outubro de 2014 a 07 de novembro de 2020. A linha tracejada em vermelho representa os valores 0,5% superiores e em verde representa os valores 0,5% inferiores.....	34
Figura 8 –	Mapa de localização dos locais de estudo. Ilha Grande, RJ (quadrado vermelho), costão rochoso leste de Dois Rios (bola roxa) e costão rochoso leste da Ilha de Jorge Grego.....	51
Figura 9 –	Costão rochoso leste da enseada de Dois Rios.....	52
Figura 10 –	Costão rochoso leste da Ilha de Jorge Grego.....	53

Figura 11 –	Exemplo de marcação aproximada dos pontos fixos, faixas de distribuição dos organismos e posição dos quadrates delimitadores nas faixas de distribuição do costão de Dois Rios.....	55
Figura 12 –	Exemplo de marcação aproximada dos pontos fixos, faixas de distribuição dos organismos e posição dos quadrates delimitadores nas faixas de distribuição do costão de Jorge Grego.....	55
Figura 13 –	Quadrate delimitador de 20x20 cm utilizado para determinar as áreas de amostragem (quadrates) e para realização das fotografias.....	56
Figura 14 –	Utilização da técnica de intersecção de pontos pelo programa CPCe 4.1, onde são dispostos 50 pontos (5 linhas x 10 colunas) distribuídos em grade fixa sobre a área interna dos quadrates.....	57
Figura 15 –	Precipitação (mm.dia^{-1}) das estações meteorológicas de Marambaia e Angra dos Reis, RJ, entre as datas de amostragem das comunidades dos costões de Dios Rios e Jorge Grego.....	61
Figura 16 –	Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) das estações meteorológicas de Marambaia e Angra dos Reis, RJ, entre as datas de amostragem das comunidades dos costões de Dios Rios e Jorge Grego.....	62
Figura 17 –	Variáveis oceanográficas de temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$), altura máxima de onda (m) e altura significativa de onda (m) da boia oceanográfica do Rio de Janeiro (RJ-3), entre as datas de amostragem das comunidades dos costões de Dios Rios e Jorge Grego.....	63
Figura 18 –	Largura média das faixas de distribuição dos organismos durante os meses de amostragem no costão de Dois Rios.....	65
Figura 19 –	Largura média das faixas de distribuição dos organismos durante os meses de amostragem no costão de Jorge Grego.....	65
Figura 20 –	Porcentagem de cobertura dos táxons/categorias presentes na faixa de <i>Chthamalus bisinuatus</i> na enseada de Dois Rios e de Jorge Grego.....	72
Figura 21 –	Porcentagem de cobertura dos táxons/categorias presentes na faixa de <i>Tetracrita stalactifera</i> na enseada de Dois Rios e de Jorge Grego.....	73
Figura 22 –	Porcentagem de cobertura dos táxons/categorias presentes na faixa de <i>Petalochonchus varians</i> na enseada de Dois Rios.....	74
Figura 23 –	MDS das faixas de dominância de <i>Chthamalus bisinuatus</i> (A), <i>Tetracrita stalactifera</i> (B) e <i>Petalochonchus varians</i> (C) durante os	

	meses de amostragem para o costão de Dois Rios.....	76
Figura 24 –	MDS das faixas de dominância de <i>Chthamalus bisinuatus</i> (A) e <i>Tetraclita stalactifera</i> (B) durante os meses de amostragem para o costão de Jorge Grego.....	77
Figura 25 –	Análise de componentes principais (ACP) das variáveis ambientais em relação aos dados biológicos dos meses de amostragens dos costões estudados.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Meses de amostragens realizadas. Em azul os períodos selecionados para as comparações interanuais.....	58
Quadro 2 –	Datas de amostragens ocorridas nos costões rochosos de Dois Rios e Jorge Grego durante o período de monitoramento.....	60
Quadro 3 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Chthamalus bisinuatus</i> de Dois Rios entre os diferentes tempos Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Chthamalus bisinuatus</i> de Dois Rios entre os diferentes tempos.....	66
Quadro 4 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Tetraclita stalactifera</i> de Dois Rios entre os diferentes tempos.....	67
Quadro 5 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Petalochonchus varians</i> de Dois Rios entre os diferentes tempos.....	67
Quadro 6 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Jania</i> spp. de Dois Rios entre os diferentes tempos.....	68
Quadro 7 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Sargassum</i> spp. de Dois Rios entre os diferentes tempos.....	68
Quadro 8 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Chthamalus bisinuatus</i> de Jorge Grego entre os diferentes tempos.....	69
Quadro 9 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Tetraclita stalactifera</i> de Jorge Grego entre os diferentes tempos.....	69
Quadro 10 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Jania</i> spp. de Jorge Grego entre os diferentes tempos.....	70
Quadro 11 –	Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de <i>Sargassum</i> spp. de Jorge Grego entre os diferentes tempos.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores mínimos, máximos, médias, desvios padrão e valor limite do percentil 99 (P99) das variáveis ambientais em relação ao período e cada local, obtidas a partir das bases do INMET e do SiMCosta.....	24
Tabela 2 –	Valores percentil 99 (P99) limites considerados extremos das variáveis ambientais meteorológicas e oceanográficas analisadas.....	35
Tabela 3 –	Valores limites do percentil 99 (P99) das variáveis ambientais para locais próximos à região da Ilha Grande, RJ e por período de amostragem, obtidas a partir das bases do INMET e do SiMCosta.....	80

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1	ANÁLISE DE DADOS METEO-OCEANOGRÁFICOS PARA A DELIMITAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS NO SUDOESTE DO ATLÂNTICO COM ÊNFASE EM COMUNIDADES BENTÔNICAS	18
1.1	Introdução	18
1.2	Objetivos	20
1.3	Material e métodos	20
1.4	Resultados	23
1.4.1	<u>Dados Meteorológicos.....</u>	25
1.4.1.1	Precipitação	25
1.4.1.2	Temperatura do Ar	27
1.4.1.3	Direção e Velocidade do Vento	29
1.4.2	<u>Dados Oceanográficos</u>	31
1.4.2.1	Boia Oceanográfica SiMCosta do Rio de Janeiro (RJ-3).....	31
1.4.2.2	Temperatura da Superfície do Mar (<i>in situ</i>).....	33
1.5	Discussão.....	35
1.6	Conclusões.....	44
2	DINÂMICA DE COMUNIDADES BENTÔNICAS DO ENTREMARÉS DE COSTÕES ROCHOSOS NA ILHA GRANDE, RJ (SUDOESTE DO ATLÂNTICO) ASSOCIADO A EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS..	45
2.1	Introdução	45
2.2	Objetivos	49
2.2.1	<u>Objetivo geral.....</u>	49
2.2.2	<u>Objetivo específico.....</u>	49
2.3	Hipótese.....	49
2.4	Material e métodos.....	50
2.4.1	<u>Área de Estudo</u>	50
2.4.2	<u>Determinação da Área de Amostragem e Frequência de Amostragem</u>	53
2.4.3	<u>Dados Ambientais</u>	54
2.4.4	<u>Medição das Faixas de Dominância e Posicionamento das Unidades (quadrates)</u>	54

2.4.5	<u>Estimativa da Porcentagem de Cobertura dos Organismos.....</u>	57
2.4.6	<u>Obtenção da Composição e Porcentagem de Cobertura das Espécies.....</u>	58
2.4.7	<u>Análise de Dados.....</u>	58
2.4.7.1	Largura das Faixas de Distribuição.....	58
2.4.7.2	Porcentagem de Cobertura.....	59
2.5	Resultados.....	59
2.5.1	<u>Variáveis Ambientais e Períodos de Amostragem.....</u>	59
2.5.2	<u>Faixas de Dominância dos Organismos.....</u>	64
2.5.3	<u>Composição, Estrutura das Comunidades e Porcentagem de Cobertura.....</u>	71
2.5.3.1	Faixa de <i>Chthamalus bisinuatus</i>	71
2.5.3.2	Faixa de <i>Tetraclita stalactifera</i>	72
2.5.3.3	Faixa de <i>Petaloconchus varians</i>	74
2.5.4	<u>Escalonamento Multidimensional (MDS) e Análise de Componentes Principais (ACP)</u>	74
2.6	Discussão.....	80
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS	89

INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas e suas consequências diretas e indiretas trazem consigo diversas alterações ambientais e eventos climáticos extremos sem precedentes. Aumentos na temperatura do ar, temperatura superficial da água do mar (TSM) e no nível do mar, mudanças nos padrões de precipitação, na salinidade e na hidrodinâmica relacionadas à exposição a ondas, ressaca e circulação oceânica estão entre os impactos das mudanças climáticas globais previstas para os organismos e ecossistemas marinhos, impactando de alguma forma, as espécies marinhas em todos os estágios do seu ciclo de vida (HARLEY et al., 2006; HELMUTH et al., 2006; BIRCHENOUGH et al., 2011; COUTINHO et al., 2016). Isto pode ocorrer em diferentes escalas espaciais e temporais, ou em diferentes velocidades para cada região geográfica (BURROWS et al., 2011). Além disso, o aumento na frequência e na intensidade de tempestades que vem sendo registrada nas últimas décadas são considerados como eventos extremos e são uma resposta às mudanças climáticas. Tais eventos têm intensidade suficiente para causarem até mesmo a remoção completa dos organismos do costão rochoso (WEBSTER et al., 2005; HARLEY et al., 2006; IPCC, 2022). Eventos deste tipo além de alterar composição e diversidade das espécies, podem intensificar as interações biológicas (COUTINHO et al., 2016). Associado às tempestades, podemos ter também elevados índices pluviométricos, embora para a região do SO do atlântico (SE do Brasil) estes índices ocorram em maior intensidade em razão da combinação evaporação-relevo e não tanto associado às frentes frias (MATTOS; SILVA, 2016; FARIAS; ALVES, 2019). Alterações no regime pluviométrico, seja por períodos de seca ou de alta pluviosidade podem alterar a salinidade, trazendo consequências negativas aos organismos, como aumento da taxa de mortalidade, atrasos no desenvolvimento reprodutivo e na liberação de larvas dentre outros (CHAN; MORRITT; WILLIAMS, 2001; HARLEY et al., 2006). Dentre os ecossistemas presentes na zona de transição entre o ambiente terrestre e o marinho, a zona sob influência das marés como praias, manguezais, estuários, e dos costões rochosos estão sujeitos a uma maior variabilidade de condições ambientais. Estas mudanças podem incluir diferentes graus de exposição às ondas dependendo da orientação em relação aos ventos e ondas predominantes (MORENO; ROCHA, 2012; LATHLEAN; SEURONT; NG, 2017), diferenças em fluxos fluviais relacionados ao regime de chuvas (GOMES; BERNARDINO, 2020) ou diferenças na temperatura do ar durante a emersão (ROMÁN et al, 2020). Com isso, estes ambientes e suas comunidades bentônicas podem refletir as mudanças na intensidade e

frequência de ocorrência de eventos climáticos extremos relacionados às mudanças climáticas.

No caso específico dos costões rochosos no Sudeste do Brasil, as principais mudanças esperadas para a região são o aumento da temperatura, principalmente durante os períodos de exposição à maré baixa e mudanças na hidrodinâmica local (BERCHEZ et al., 2008; COUTINHO et al., 2016; SANDY, 2022). No entanto, na região costeira do Brasil, são poucos os projetos de monitoramento relacionados às comunidades bentônicas que poderiam detectar efeitos de eventos extremos e de mudanças climáticas, dentre eles, Silva et al. (2019) que observaram para a costa do Estado de São Paulo, padrões sazonais nas séries temporais de comunidades bentônicas relacionando variáveis ambientais e mudanças climáticas, como, temperatura superficial da água do mar e salinidade superficial (SANDY, 2022). Silva et al. (2023), apontaram para o Sudoeste do Atlântico que o rápido aumento da TSM pode modificar os padrões de distribuição espacial e a abundância de peixes de recife. Barboza & Skinner (2021) observaram para duas espécies de ascídias invasoras que sua ocorrência está altamente relacionada à temperatura da água. Em estudos realizados na Baía da Ilha Grande, Sudeste do Brasil, Creed, Pires e Figueiredo (2007) e Johnsson (2015) apontaram que as comunidades de organismos se diferem por estação (verão e inverno), sendo influenciada por variações sazonais na temperatura do ar e TSM, sendo mais altas no verão e mais baixas no inverno. De 2015 a 2019 para a mesma região, Fortunato et al. (2022), detectaram que após um aumento médio de 2°C na temperatura da superfície do mar e nos valores de precipitação, houve uma combinação de fatores que possivelmente levaram a uma alta taxa de mortalidade e ao declínio populacional da esponja *Desmapsamma anchorata* na primavera austral. Ainda para a Baía da Ilha Grande, foi observado por Cortez (2014), que altas temperaturas tenham causado estresse térmico afetando as populações de *Chthamalus* spp. que apresentou baixa cobertura nos costões da região.

Este trabalho está dividido em dois capítulos. O primeiro capítulo trata definição dos limites para que um evento climático seja considerado extremo na região do SO do Atlântico. No segundo capítulo, são abordados os possíveis efeitos de curto prazo na biodiversidade do mediolitoral de dois costões rochosos na Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ relacionado aos impactos de eventos climáticos extremos, utilizando parcialmente os dados ambientais obtidos no Capítulo 1.

1 ANÁLISE DE DADOS METEO-OCEANOGRÁFICOS PARA A DELIMITAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS NO SUDOESTE DO ATLÂNTICO COM ÊNFASE EM COMUNIDADES BENTÔNICAS

1.1 Introdução

As respostas às mudanças climáticas relacionadas ao aumento das concentrações de emissão de CO₂ na atmosfera, que em 2019 atingiram 410 ppm de concentração, são provavelmente os mais elevados nos últimos dois milhões de anos (IPCC, 2023). Este aumento tem ocasionado a elevação nas temperaturas do ar e da superfície do mar, alterações no gradiente de pressão atmosférica e intensificando os campos de vento ao longo das margens do oceano. Isso leva a mudanças na circulação atmosférica, influenciando padrões de precipitação e afetando a salinidade costeira, turbidez da água, a entrada de nutrientes e poluentes de origem terrestre, taxas de sedimentação e outras variáveis.

No século 20, as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa causaram um aumento de 0,4 a 0,8°C na temperatura média global. Esperava-se que até 2050 ocorresse um aquecimento de 0,4 a 1,1 °C (ALCOCK, 2003; HARLEY et al., 2006; STEINKE, 2012), mas, no entanto, as emissões de gases de efeito estufa já causaram o aquecimento global em cerca de 1,2°C entre os anos 2013-2022 (IPCC, 2023).

No Brasil, o INMET (2023), em análises de desvios de temperaturas médias anuais entre 1961 e 2022, registrou uma tendência de aumento significativo das temperaturas ao longo dos anos (aproximadamente + 0,15°C por década), associada à elevação da temperatura global. No entanto, houve alternâncias dos desvios de temperatura que podem ser relacionados aos fenômenos naturais de variabilidade climática, como o El Niño e a La Niña. Nos anos de 2015 e 2019, considerados os dois anos mais quentes desde 1961, foi registrado um valor de 0,9°C acima da média histórica. Estes anos estiveram sob a influência de El Niño (INMET, 2023). O ano de 2022, marcado pela ocorrência do fenômeno La Niña, foi considerado o vigésimo ano mais quente desde 1961, e foi marcado por chuvas mais concentradas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e escassez no Sul do Brasil.

Com todas estas alterações climáticas, danos a estruturas costeiras e continentais (CARVALHO et al., 2021; CARVALHO; GUERRA, 2023) e perdas cada vez mais irreversíveis nos ecossistemas marinhos costeiros têm sido registradas (IPBES, 2019). A

extensão e magnitude dos impactos das mudanças climáticas que causam o aumento na intensidade e frequência de eventos climáticos extremos tais como chuvas intensas, frio e ondas de calor intensas ou ondas de tempestades, apenas para citar os mais perceptíveis pelos seres humanos, são maiores do que o estimado em avaliações anteriores e apontam para um cenário diferente do observado há três ou quatro décadas (IPCC, 2022; INMET, 2023).

Eventos climáticos extremos (denominados “eventos extremos”) são definidos como a ocorrência de uma variável climatológica acima ou abaixo de um valor limite próximo ao limite superior ou inferior da faixa de valores observados (PINTO et al., 2021; IPCC, 2021, 2022; WMO, 2023). Podem ser definidos como eventos climáticos de alta intensidade e baixa frequência, que afetam e modificam ecossistemas (STEPHENSON, 2011; WERNBERG et al., 2013; SANZ-LAZARO, 2019; IPCC, 2022). Exemplos de eventos extremos incluem, mas não estão limitados a ondas de calor, ondas de frio, inundações, precipitação extrema, secas, tornados e ciclones tropicais (IPCC, 2022). O aumento na frequência e na intensidade de tempestades que vem ocorrendo nas últimas décadas, referidos como eventos extremos, são uma resposta às mudanças climáticas (WEBSTER et al., 2005; HARLEY et al., 2006; IPCC, 2022).

As comunidades bentônicas, sobretudo as de águas rasas como os recifes coralíneos, as comunidades de costões rochosos, de estuários e de planícies de marés têm sido indicadas como extremamente vulneráveis a eventos extremos, principalmente durante a ocorrência de marés baixas prolongadas (SANZ-LAZARO, 2019). Os ecossistemas em regiões sob influência das marés, são fortemente influenciados por alterações e intensificação das variáveis ambientais como aumentos na temperatura superficial da água, mudanças na salinidade e na hidrodinâmica relacionadas à exposição a ondas, ressacas mais intensas e alteração dos padrões de circulação oceânica (BIRCHENOUGH et al., 2011; COUTINHO et al., 2016; MIESZKOWSKA et al., 2021).

Os efeitos da acentuação destas condições associadas às mudanças climáticas podem influenciar diretamente ou indiretamente os organismos ao longo do ambiente bentônico, por meio da mortalidade, mudança nos limites de distribuição, mudanças na colonização e na interação das espécies, dinâmica populacional, estrutura da comunidade, além de causar impactos no desempenho individual durante as fases da vida através de mudanças na fisiologia, morfologia e comportamento (SARMIENTO et al., 2004; HARLEY et al., 2006; POLOCZANSKA et al., 2008; MIESZKOWSKA, 2009; GAYMER et al., 2010; HOCH; REYES, 2015; COUTINHO et al., 2016; WORM; LOTZE, 2016; MAZZUCO, 2015; IPCC, 2022).

Apesar de ser bem estabelecido que eventos climáticos extremos podem afetar as comunidades bentônicas, estes registros são escassos nas regiões tropicais e sobretudo no Sudoeste do Atlântico. A falta de uma delimitação clara que auxilie os pesquisadores de comunidades bentônicas a estabelecerem a ocorrência de eventos extremos para que assim possam assinalar e relacionar a estrutura e as modificações na comunidade ou populações com a ocorrência destes fenômenos meteo-oceanográficos é uma dificuldade adicional. Para tal, é necessário que se estabeleça para cada região, o que são estes eventos extremos. Assim, a obtenção de séries temporais de dados meteo-oceanográficos é imprescindível. Estes dados ambientais podem ser obtidos de estações terrestres, como as estações meteorológicas ou de estações marinhas flutuantes, como boias oceanográficas. Estes dados permitem então, que se analise o conjunto de oscilações ambientais registradas em uma determinada região e que estas informações possam de alguma forma, serem cruzadas com os dados biológicos.

Neste capítulo, acessamos dados climatológicos e oceanográficos a fim de delimitarmos valores meteo-oceanográficos que definem um evento climático extremo para utilização em estudos de comunidades bentônicas no Sudoeste do Atlântico. Além disso, procuramos associar a ocorrência de eventos extremos com modificações nas comunidades bentônicas já relatadas na literatura.

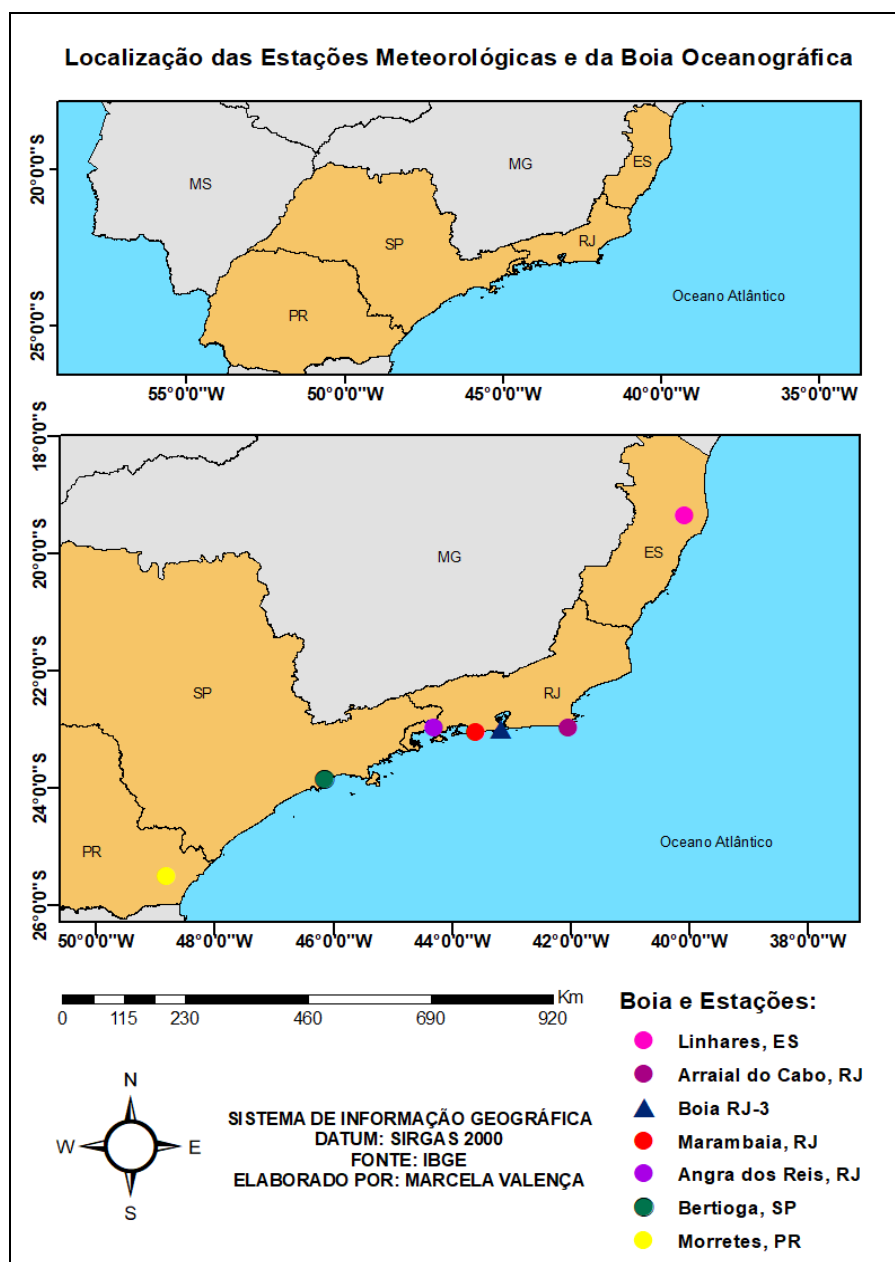
1.2 Objetivos

Estabelecer uma classificação de eventos climáticos extremos a partir da extração de dados meteorológicos, climatológicos e oceanográficos para uso em estudos de monitoramento de comunidades bentônicas do mediolitoral e infralitoral raso.

1.3 Material e métodos

A área de estudo encontra-se entre as coordenadas 19°21'S a 25°30'S de latitude e 40°4'O a 48°48'O de longitude, abrangendo o Sudoeste do Atlântico, desde Linhares, no estado do Espírito Santo até Morretes, no estado do Paraná, em aproximadamente 1.200km de extensão de costa, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Localização das estações meteorológicas de Linhares, ES, Arraial do Cabo, RJ, Marambaia, RJ, Angra do Reis, RJ, Bertioga, SP e Morretes, PR, e da boia oceanográfica do Rio de Janeiro (RJ-3), abrangendo o Sudoeste do Atlântico.



Fonte: A autora, 2023.

Foram acessados registros das bases de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para obtenção das variáveis associadas aos indicadores de mudanças climáticas, como: temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm.dia^{-1}), velocidade (m.s^{-1}) e direção de ventos (graus). Do Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta), foram obtidos os registros de temperatura média da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$), altura (m), período (m.s^{-1}), e direção de ondas (graus). Os dados meteorológicos (INMET)

(<https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut>) foram acessados a partir de 6 estações automáticas: Angra dos Reis, RJ (A628) (22°58'30.2"S, 44°18'10.4"W), no período de 01 de janeiro de 2018 a 31 julho de 2023; Marambaia, RJ (A602) (23°3'1.1"S, 43°35'44.2"W), no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 julho de 2023; Arraial do Cabo, RJ (A606) (22°58'31.1"S, 42°1'17"W), no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 julho de 2023; Bertioga, SP (A765) (23°50'40.9"S, 46°8'35.9"W), no período de 31 de janeiro de 2017 a 31 julho de 2023; Linhares, ES (A614) (19°21'24.9"S, 40°4'7"W), no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 julho de 2023; Morretes, PR (A873) (25°30'32"S, 48°48'31"W), no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 julho de 2023. Os dados oceanográficos (SiMCosta) (<https://simcosta.furg.br/downloads>) foram acessados a partir da bóia de monitoramento do Rio de Janeiro (RJ-3) (22°58'59"S, 43°10'28" W) do período de 15 de julho de 2016 a 31 de julho de 2023. Para comparação entre os períodos de dados das estações e bóia, foi estabelecido o ano de 2016, já que as medições da bóia começaram neste ano. Períodos diferentes destes, como ocorreu na estação de Bertioga, SP, correspondem ao tempo a partir do início da operação. Destaca-se em relação a estes dados que, apesar de existirem outras bóias nas áreas sob avaliação, os registros são incompletos temporalmente ou as bóias recentemente instaladas, e por isto não se aplicam na presente avaliação.

Além disso, foram utilizados dados de medição *in situ* de temperatura da superfície do mar, obtidos por meio de sensores *i-button* em coletas de dados anteriores para a região da Ponta Leste, Angra dos Reis, RJ, durante o período de 03 de outubro de 2014 a 07 de novembro de 2020 (SKINNER, 2022), a fim de ser utilizado para comparação com os dados da boia RJ-3.

Após obtidos os dados brutos para cada estação e boia, estes foram organizados em planilhas e tratados por meio dos programas Excel e Python para determinação dos valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão das variáveis em questão. Estes dados foram analisados para todo o período determinado. Como o funcionamento dos equipamentos de medição nem sempre foi regular, isso gerou algumas lacunas de dados no tempo que foram descartados, mas não impossibilitaram a análise.

Para o estabelecimento dos eventos extremos na região avaliada, selecionamos a partir da distribuição de frequência dos dados, os intervalos correspondentes a 1% dos maiores valores, ou seja, valores que ultrapassaram o percentil 99 (P99). Os valores máximos foram considerados para as variáveis de precipitação, velocidade do vento, período, altura significativa e altura máxima de onda. Essa abordagem estatística pode ser útil para identificar

eventos extremos com base em sua ocorrência em relação à distribuição histórica de dados (DERECZYNSKI; OLIVEIRA; MACHADO, 2009; IPCC, 2021; WMO, 2023).

Quando a variável avaliada implicava em possível efeito biológico em seus limites superiores ou inferiores, os valores nos dois extremos da distribuição foram considerados, como por exemplo, a temperatura do ar e da superfície do mar, em que a distribuição dos dados foi dividida entre os 0,5% maiores e menores valores, ou seja, nos extremos da distribuição (distribuição bicaudal). Estas escolhas levaram em conta princípios estatísticos de definição de intervalos de confiança (ZAR, 1984).

Foi utilizado para a variável de precipitação os valores internacionais de classificação dos níveis de intensidade de chuva, onde: chuva fraca, inferior a 2.5 mm.h⁻¹; chuva moderada: igual ou superior a 2.5 mm.h⁻¹ e inferior a 10 mm.h⁻¹; chuva forte: igual ou superior a 10 mm.h⁻¹ e inferior a 50 mm.h⁻¹; chuva violenta: superior a 50 mm.h⁻¹ (WMO, 2021). Os valores a partir do P99 foram considerados de acordo com essa classificação para a variável de precipitação. Além do mais, como este estudo considera áreas regionalizadas e conjuntos de dados, utilizou-se o acumulado de 24 horas para a variável de precipitação, como recomenda a WMO e como foi observado em outros estudos (IPCC, 2021; PINTO et al., 2021; WMO, 2023).

A partir dos dados das variáveis ambientais foram construídos gráficos de frequência para identificar eventos extremos com base em sua ocorrência em relação à distribuição histórica dos dados no período avaliado, sendo demarcado o percentil de cada variável e local. Para os dados de velocidade e direção de ventos e período e direção de ondas foram feitos gráficos polares, a fim de verificar os aumentos, tendências e os extremos dos períodos dos dados. Todos os gráficos foram feitos utilizando o programa Python.

1.4 Resultados

Dados Meteorológicos e Oceanográficos

Os valores obtidos de todos os dados e agrupados para todo o período considerado mostrou que para todas as variáveis e locais, a diferença observada entre o valor médio e o valor máximo alcança até duas ordens de grandeza (Tabela 1).

Tabela 1: Valores mínimos, máximos, médias, desvios padrão e valor limite do percentil 99 (P99) das variáveis ambientais em relação ao período e cada local, obtidas a partir das bases do INMET e do SiMCosta.

	<i>Período</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>P99</i>
<i>Angra dos Reis, RJ</i>	01/01/2018 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	0,0	225,8	5,3	14,8	62,2
		Temperatura do Ar (°C)	9,9	38,2	23,3	3,9	< 14,1 e > 34,2
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	0,0	8,1	0,7	0,8	3,3
<i>Marambaia, RJ</i>	01/01/2016 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	0,0	211,6	3,2	10,5	53,9
		Temperatura do Ar (°C)	11,0	40,7	23,4	3,8	< 14,6 e > 35,2
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	0,0	18,2	3,5	2,1	9,9
<i>Arraial do Cabo, RJ</i>	01/01/2016 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	0,0	201,0	2,4	9,8	42,2
		Temperatura do Ar (°C)	14,8	34,5	23,6	2,4	< 17,6 e > 29,8
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	0,1	20,0	4,8	2,7	11,3
<i>Bertioga, SP</i>	31/01/2017 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	0,0	288,8	7,8	20,5	103,7
		Temperatura do Ar (°C)	11,2	37,4	22,9	3,9	< 14 e > 32,9
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	0,1	12,5	1,4	0,9	4,2
<i>Linhares, ES</i>	01/01/2016 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	0,0	117,6	3,0	8,8	44,5
		Temperatura do Ar (°C)	13,9	37,5	24,3	3,6	< 16,5 e > 33,5
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	0,0	11,9	3,0	1,7	7,3
<i>Morretes, PR</i>	01/01/2016 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	0,0	125,0	4,9	11,0	52,7
		Temperatura do Ar (°C)	2,5	41,8	21,2	4,6	< 9,2 e > 33,9
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	0,0	13,6	0,6	0,9	4
<i>Rio de Janeiro - RJ3</i>	15/07/2016 a 31/07/2023	Temperatura da Água (°C)	12,1	30,8	23,4	2,3	< 17,7 e > 29,6
		Altura Max. de Onda (m)	0,1	7,4	1,8	0,7	4,1
		Altura Sig. de Onda (m)	0,1	4,1	1,1	0,5	2,5

		Período de Onda (m.s⁻¹)	3,0	11,6	6,2	1,1	9,2
--	--	---	-----	------	-----	-----	------------

Fonte: A autora, 2023.

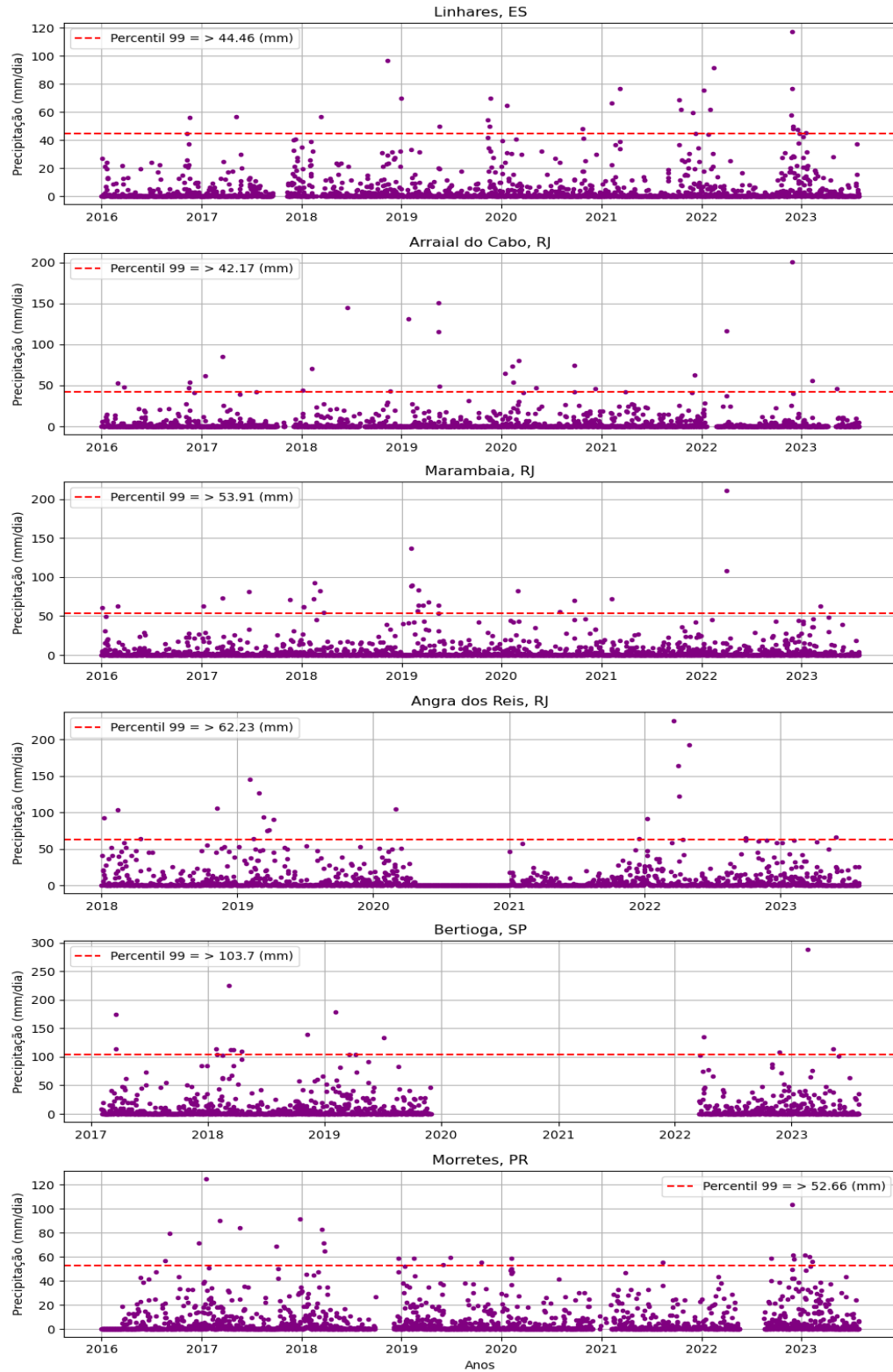
1.4.1 Dados Meteorológicos

1.4.1.1 Precipitação

Para a variável de precipitação, os valores P99 superiores para todas as 6 estações indicam que eventos extremos tiveram valores superiores a 42 mm.dia⁻¹ (Figura 2). Este valor foi adotado pois a aplicação da técnica dos percentis a cada uma das estações revelou que este representa o limite inferior para chuvas intensas nas localidades avaliadas. A maioria dos eventos extremos de precipitação ocorreram nos meses de verão, sobretudo nos anos de 2022 e 2023.

Segundo a classificação dos níveis de intensidade de chuva, os valores classificam e indicam a ocorrência de chuvas fortes a chuvas violentas para todos os locais (WMO, 2021). Na ordem crescente tivemos as estações de Arraial do Cabo, RJ (42,17 mm.dia⁻¹), Linhares, ES (44,46 mm.dia⁻¹), Morretes, PR (52,66 mm.dia⁻¹), Marambaia, RJ (53,91 mm.dia⁻¹), Angra dos Reis, RJ (62,23 mm.dia⁻¹) e Bertioga, SP (103,7 mm.dia⁻¹).

Figura 2: Precipitação (mm.dia-1) para as 6 estações meteorológicas acompanhadas em seus respectivos períodos. Dados a partir de INMET. A linha tracejada em vermelho representa o valor do P99.



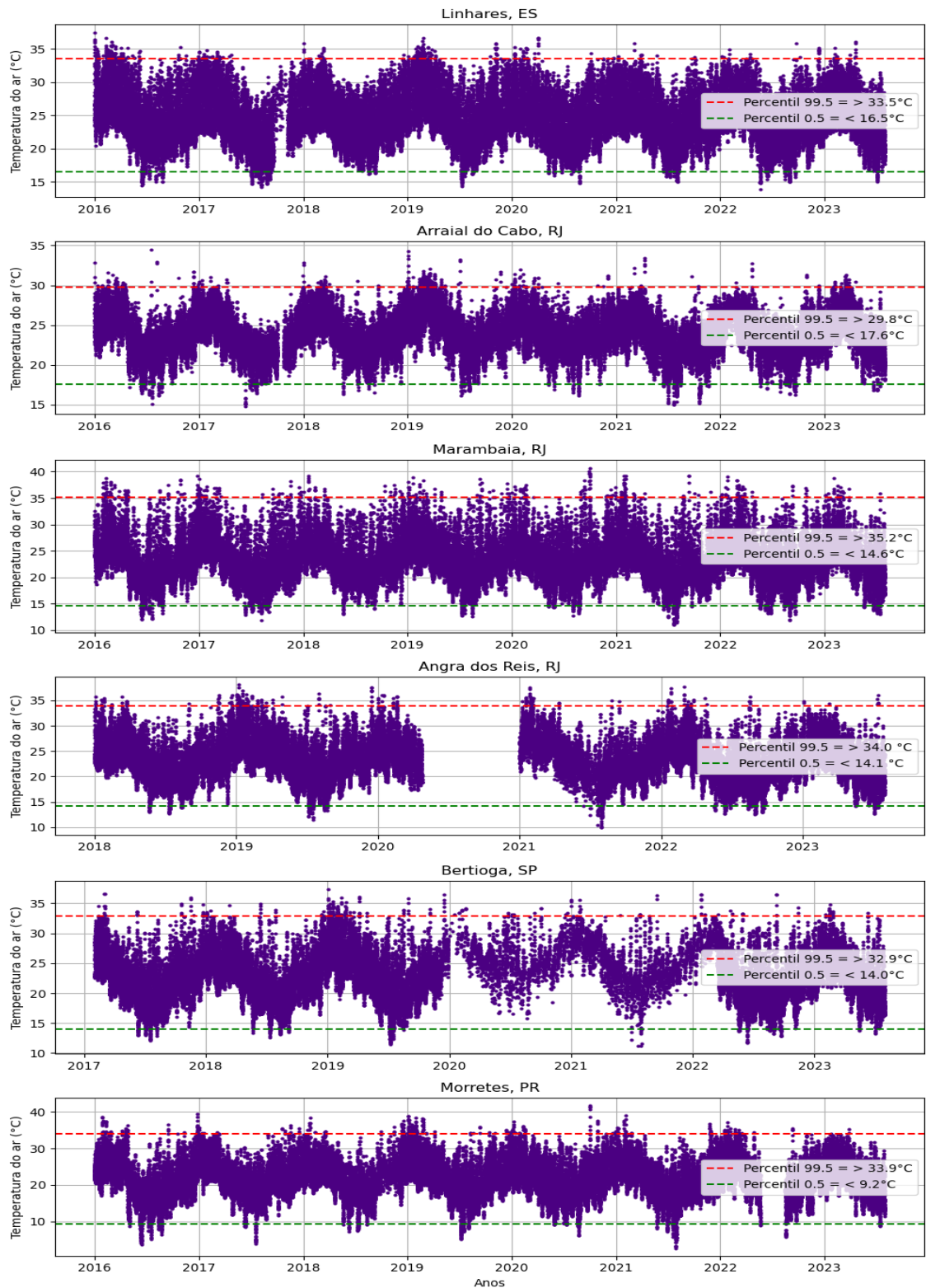
Fonte: A autora, 2023.

1.4.1.2 Temperatura do Ar

Para a variável temperatura do ar, os valores 0,5% superiores e 0,5% inferiores para todas as 6 estações indicam que os eventos extremos são representados por valores superiores a 29,8°C e inferiores a 9,2°C (Figura 3). Além disso, a maioria desses eventos extremos ocorreram nos meses de verão e inverno, respectivamente, com os maiores eventos extremos de temperaturas superiores registrados entre os anos de 2018 e 2019, e com os maiores eventos extremos de temperaturas inferiores registrados no ano de 2021.

Na ordem crescente dos valores superiores tivemos as estações de Arraial do Cabo, RJ (29,8°C), Bertioga, SP (32,9°C), Linhares, ES (33,5°C), Morretes, PR (33,9°C), Angra dos Reis, RJ (34°C) e Marambaia, RJ (35,2°C). Para os valores inferiores, em ordem crescente tivemos as estações de Morretes, PR (9,2°C), Bertioga, SP (14°C), Angra dos Reis, RJ (14,1°C), Marambaia, RJ (14,6°C), Linhares, ES (16,5°C) e Arraial do Cabo, RJ (17,6°C).

Figura 3: Temperatura do ar (°C) por hora para as 6 estações meteorológicas acompanhadas em seus respectivos períodos. Dados a partir de INMET. A linha tracejada em vermelho representa os valores 0,5% superiores e em verde representa os valores 0,5% inferiores.



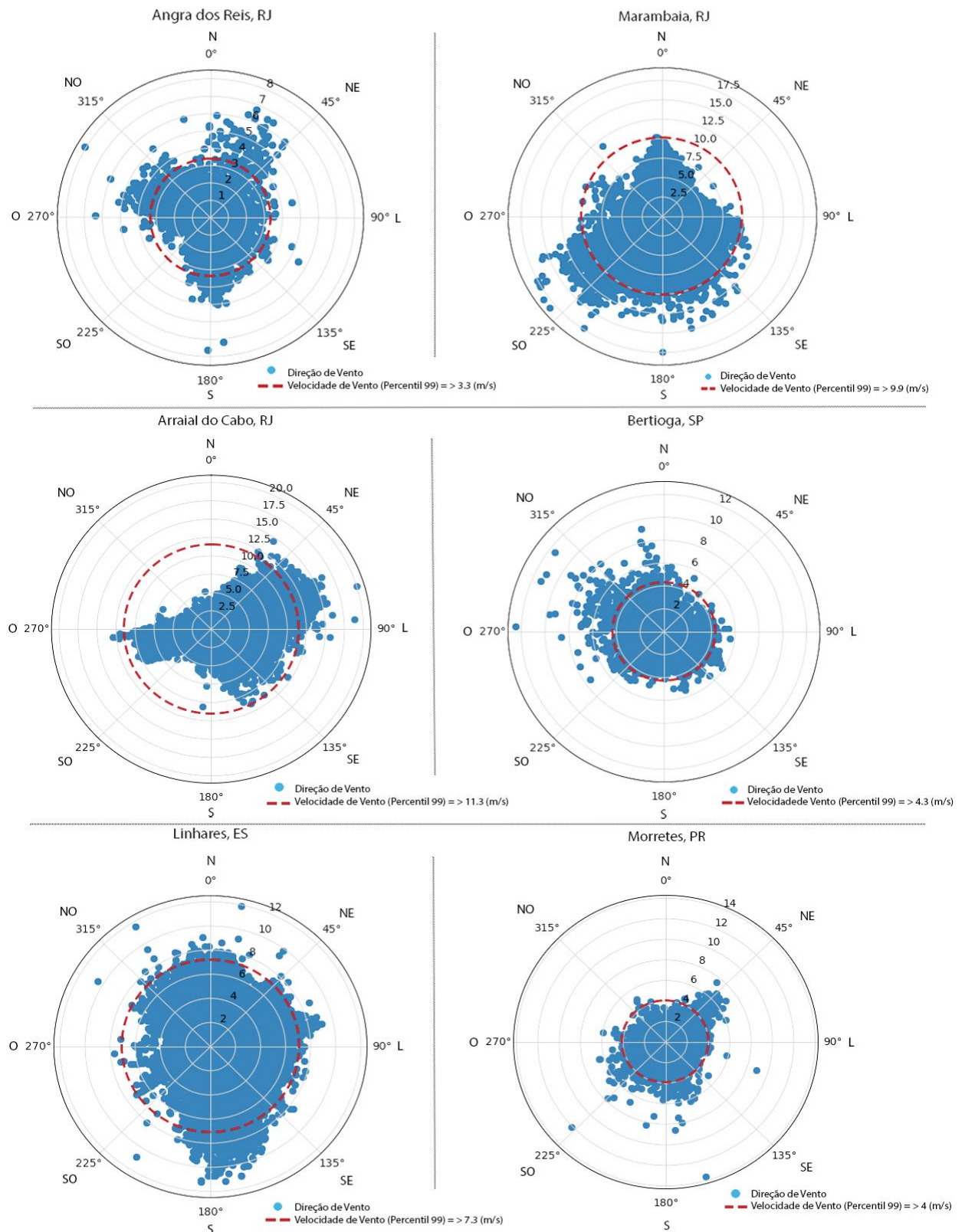
Fonte: A autora, 2023.

1.4.1.3 Direção e Velocidade do Vento

Para as variáveis de velocidade do vento, os valores extremos (P99) são superiores a $3,3 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 4). É notável o aumento da intensidade dos ventos nas direções predominantes locais, sobretudo nos ventos dos quadrantes N-L e SE-SO, embora em localidades como Arraial do Cabo os ventos de maior intensidade foram registrados no setor NE-E.

Na ordem crescente para velocidade do vento tivemos as estações de Angra dos Reis, RJ ($3,3 \text{ m.s}^{-1}$), Morretes, PR ($4,0 \text{ m.s}^{-1}$), Bertioga, SP ($4,3 \text{ m.s}^{-1}$), Linhares, ES ($7,3 \text{ m.s}^{-1}$), Marambaia, RJ ($9,9 \text{ m.s}^{-1}$), e Arraial do Cabo, RJ ($11,3 \text{ m.s}^{-1}$).

Figura 4 - Gráfico polar da direção e velocidade do vento (m/s) de dados por hora para as 6 estações meteorológicas acompanhadas em seus respectivos períodos. A linha tracejada em vermelho representa o valor do P99. Dados a partir de INMET.



Fonte: A autora, 2023.

1.4.2 Dados Oceanográficos

1.4.2.1 Boia Oceanográfica SiMCosta do Rio de Janeiro (RJ-3)

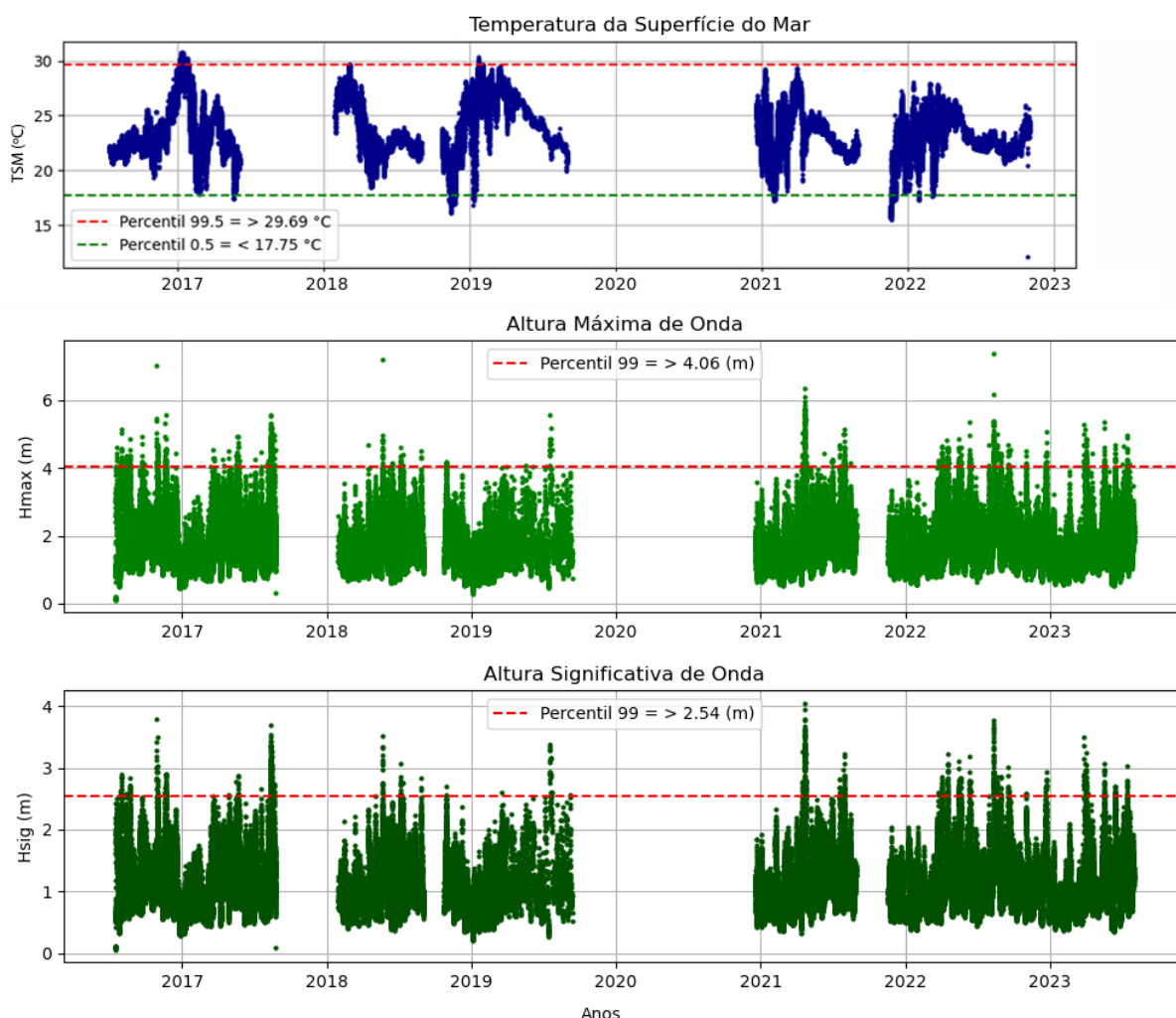
Foram construídos gráficos das variáveis de temperatura da superfície do mar (TSM), altura máxima de onda (Hmax), altura significativa de onda (Hsig), direção e período de onda mostrando os valores dos percentis (Figura 5).

Para TSM os valores extremos superiores possuem temperaturas acima de 29,7°C e os valores extremos inferiores possuem temperaturas abaixo de 17,7°C (Figura 5). Além disso, a maioria desses eventos extremos ocorreram nos meses de verão, com o maior evento de temperatura superior registrado no início do ano de 2017, e com o maior evento de temperatura inferior registrado no final do ano de 2021.

Para altura máxima de onda (Hmax) os maiores valores extremos (P99) dos dados possuem valores superiores a 4,1 metros, com valores máximos atingindo 7,4 metros de altura (Figura 5).

Para a altura significativa de onda (Hsig) os maiores valores extremos (P99) dos dados possui valores superiores a 2,5 metros, com valores máximos atingindo 4,1 metros de altura (Figura 5). Hsig é uma definição estatística que corresponde a um terço do total de ondas observadas, este valor corresponde a média das maiores ondas (COLI; MATA, 1996).

Figura 5 - Temperatura da superfície do mar (°C), altura máxima de onda e altura significativa de onda, para a boia oceanográfica do Rio de Janeiro (RJ-3) do período de 15 de julho de 2016 a 31 de julho de 2023. A linha tracejada em vermelho representa os valores de percentil superiores e em verde representa o valor de percentil 0,5% inferior. Dados a partir de INMET.

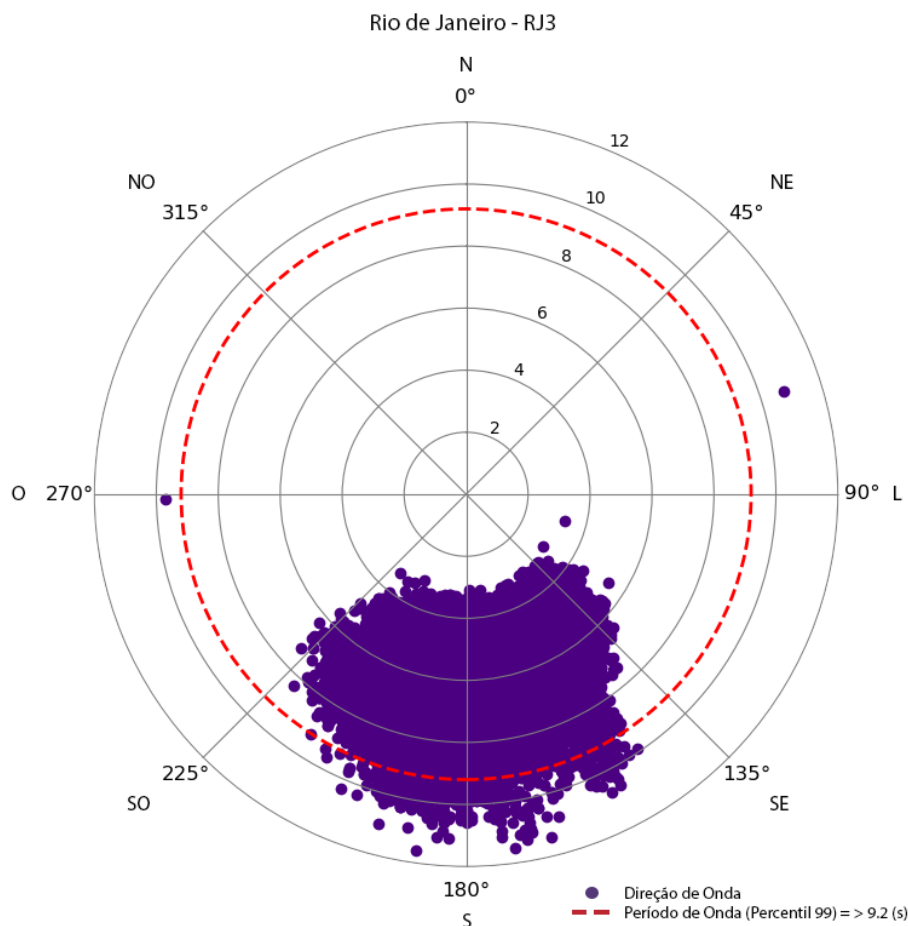


Fonte: A autora, 2023.

Para os dados de período e direção de onda, os maiores valores extremos (P99) dos dados apontam para valores de períodos de onda superiores a $9,2 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 6) com os extremos sendo originados do quadrante SE-SO. Na região, as ondas predominantes são do quadrante sul.

Já para ventos, os dois valores extremos (E e O) que podem ser visualizados no gráfico possuem valores 72° e 269° , com velocidade de $10,8$ e $9,7 \text{ m.s}^{-1}$, respectivamente, e ambos ocorreram no período de agosto/2017.

Figura 6 - Gráfico polar da direção e período de onda (s) para a boia de monitoramento do Rio de Janeiro (RJ-3) do período de 15 de julho de 2016 a 31 de julho de 2023. A linha tracejada em vermelho representa os valores de percentil 99 superiores. Dados a partir do SiMCosta.

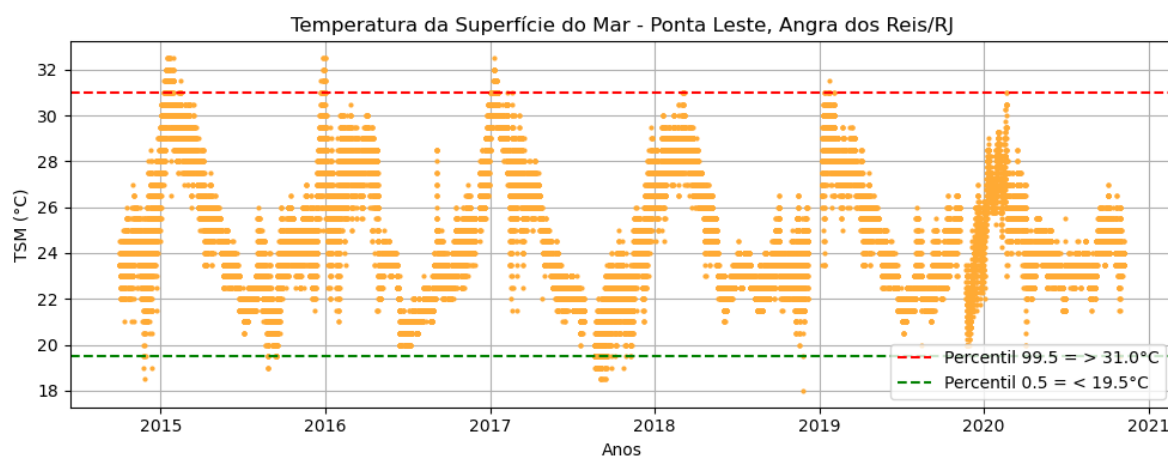


Fonte: A autora, 2023.

1.4.2.2 Temperatura da Superfície do Mar (*in situ*)

A TSM medido *in situ* na região da Ponta Leste, Angra dos Reis, RJ mostra que os 0,5% dos valores superiores possui temperaturas acima de 31°C e os 0,5% inferiores, possui temperaturas abaixo de 19,5°C (Figura 7). Além disso, a maioria desses respectivos eventos extremos ocorreram nos meses de verão, com os maiores eventos extremos de temperatura superiores registrados no início e final do ano de 2015 e início de 2017, e com o maior evento extremo de temperatura inferior registrado no final do ano de 2018.

Figura 7 - Temperatura da superfície do mar (°C) medida *in situ* na região da Ponta Leste, Angra do Reis, RJ no período de 03 de outubro de 2014 a 07 de novembro de 2020. A linha tracejada em vermelho representa os valores 0,5% superiores e em verde representa os valores 0,5% inferiores. Dados a partir de INMET.



Fonte: A autora, 2023.

Ao comparar os dados de TSM medidos *in situ* para a Ponta Leste (Figura 7) com os dados da boia oceanográfica RJ-3 (Figura 5), é possível observar que, apesar da falta de dados no período entre 2019 e 2021, em ambas as medições os dados registrados foram parecidos nos períodos em que podem ser comparados. E seus valores percentis não foram tão diferentes. Enquanto os eventos extremos superiores (0,5% dos dados) foram acima de 31°C na Ponta Leste e acima de 29,7°C na RJ-3, os eventos extremos inferiores (0,5% dos dados) foram abaixo de 19,5°C para a Ponta Leste e abaixo de 17,7°C na RJ-3.

Portanto, iremos considerar os valores limites de P99 de TSM entre as duas medições, desta forma, serão considerados eventos extremos superiores acima de 31°C e os eventos extremos inferiores abaixo de 17,7°C.

A partir dos dados ambientais obtidos, pudemos estabelecer os limites do que podem ser considerados eventos extremos para a região litoral do Sudoeste do Atlântico. Esta definição levou em conta que a ocorrência de eventos acima do limite do percentil 99, ou seja, 1% dos dados, podem ser classificados como extremos, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores percentil 99 (P99) limites considerados extremos das variáveis ambientais meteorológicas e oceanográficas analisadas.

<i>Limites</i>	<i>Variáveis</i>	<i>P99</i>
Meteorológicos	Precipitação (mm.dia⁻¹)	> 42 mm.dia⁻¹
	Temperatura do Ar (°C)	< 9,2°C e > 29,8°C
	Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	> 3,3 m.s⁻¹
Oceanográficos	Altura Sig. de Onda (m)	> 2,5 m
	Altura Max. de Onda (m)	> 4,1 m
	Temperatura da Água (°C)	< 17,7°C e > 31°C
	Período de Onda (m.s⁻¹)	> 9,2 m.s⁻¹

Fonte: A autora, 2023.

Assim, para o Sudoeste do Atlântico temos os seguintes limites meteorológicos e oceanográficos: Precipitação, com valores superiores a 42 mm.dia⁻¹ classificada como chuva forte a chuva violenta; Temperatura do ar, com valores 0,5% superiores a 29,8°C e 0,5% inferiores a 9,2°C; Velocidade de vento, com valores superiores a 3,3 m.s⁻¹; Direção dos ventos com concentração em um quadrante, como observado em Arraial do Cabo ou de quadrantes não usuais, como o Leste e Oeste nas outras localidades; Temperatura da superfície do mar (RJ-3 e Ponta Leste) com valores 0,5% superiores a 31°C e 0,5% inferiores a 17,75°C; Altura máxima de onda com valores superiores a 4,1 m; Altura significativa de onda com valores superiores a 2,5 m; Períodos de onda com valores superiores a 9,2 m.s⁻¹.

1.5 Discussão

Na literatura, um evento é considerado extremo se o valor de uma determinada variável excede um limite da média geralmente observada (IPCC, 2022; WMO, 2023), e a consequência que esses eventos causam é que vai determinar se os valores obtidos são extremos ou não (LAINO; IGLESIAS, 2023). A frequência e intensidade de alguns eventos extremos estão aumentando devido às alterações climáticas. Seus impactos extremos estão principalmente relacionados a eventos extremos de curta duração, sendo normalmente provocados e percebidos por tempestades severas, que provocam ventos fortes, elevação local do nível do mar, chuvas intensas, ondas de tempestade, perda de ecossistemas, salinização das

águas superficiais, causando danos por onde ocorrem (ZAMIR; ALPERT; RILOV, 2018; LAINO; IGLESIAS, 2023). Mudanças na temperatura, umidade, precipitação, principalmente em conjunto, podem produzir efeitos em larga escala, como secas, levando a impactos nos ecossistemas (LAINO; IGLESIAS, 2023).

Como há uma grande variação nos padrões globais de precipitação, não é possível estabelecer uma definição de chuvas intensas que satisfaça todas as regiões. Não há distribuição homogênea de eventos extremos de precipitação, uma vez que existem variações regionais e sazonais (PINTO et al., 2021; WMO, 2023). Nossos dados de precipitação mostram que o percentil 99 (P99) de valores extremos estão também relacionados às questões orográficas, com as maiores precipitações registradas nas proximidades das encostas da Serra do Mar, como em Angra dos Reis, RJ e Bertioga. Mas mesmo áreas de baixadas litorâneas como Arraial do Cabo e Marambaia estão igualmente susceptíveis à ocorrência de chuva forte e violenta. Chuvas torrenciais têm sido reportadas em diversos locais do mundo. Em Lisboa (Portugal), Espinosa et al. (2022) observaram valores extremos de precipitação diária acumulando mais de 118,4 mm.dia⁻¹. Na Itália, as chuvas torrenciais foram superiores a 128 mm.dia⁻¹, com fortes picos nos anos do El Niño e na Espanha, os valores extremos de precipitação foram 64 mm.dia⁻¹ considerada pesada/torrencial (ALPERT et al., 2002). No Brasil, eventos de precipitação intensa foram estabelecidos com valores igual ou superior a 30 mm.dia⁻¹, em pelo menos cinco estações pluviométricas no Rio de Janeiro (DERECZYNSKI, OLIVEIRA e MACHADO, 2009) 50 mm.dia⁻¹ na Região Sul do Brasil (TEIXEIRA E SATYAMURTY, 2007) e no Estado de São Paulo, quando o valor de precipitação diária uma porcentagem da sua média sazonal ou anual (LIEBMANN, JONES E CARVALHO, 2001). Segundo o relatório do IPCC (2022), em regiões para o sudeste da América do Sul foi registrado aumento na precipitação anual. O ano de 2022 foi marcado por chuvas mais concentradas nas regiões Norte e Nordeste e escassez no Sul do Brasil, em parte, causada também pela persistência do fenômeno La Niña, sendo o vigésimo ano mais quente registrado (INMET, 2023).

Chuvas intensas são conhecidas por incrementarem o escoamento continental para o ambiente marinho, transportando elevada carga de nutrientes, grande quantidade de sedimentos e materiais em suspensão e também, diminuindo a salinidade e alterando a morfodinâmica e fisionomia de praias e estuários (PINHEIRO et al., 2021a; 2021b). Os registros dos efeitos do aumento do escoamento incluem, por exemplo, o aumento da produção primária (HAN et al., 2023), possíveis alterações nas cadeias tróficas, com o favorecimento de organismos detritívoros/suspensívoros e seus predadores (VINAGRE et al.,

2018), a alteração do comportamento/sobrevivência de larvas e adultos de invertebrados bentônicos devido à baixa salinidade (RICHMOND; WOODIN, 1996; WOODIN et al., 2020; DANKÓ; SCHAIBLE; DAÑKO, 2020; VÁZQUEZ et al., 2021; BARRETT et al., 2024) dentre outros. Na costa brasileira, os efeitos que mais têm sido reportados são em comunidades de fundos sedimentares, como a redução em 85% da densidade de *Polychaeta* em praias devido à redução da salinidade (LAURINO; TURRA, 2021). Pardal et al. (2021) testaram para atributos como tamanho e densidade da craca *Chthamalus bisinuatus* a relação com variáveis ambientais diversas. Foi observado que a baixa influência de rios (maior salinidade) favorecia maiores tamanhos. Santana et al. (2023) testaram para diversos invertebrados marinhos, incluindo corais, o efeito da turbidez ao longo da costa e verificaram que comunidades sésseis costeiras são mais tolerantes à sedimentação que comunidades oceânicas, mas ao mesmo tempo, não deixam claro a susceptibilidade destas ao aumento no fluxo de sedimentos e material particulado. De modo oposto, períodos de seca também são cada vez mais frequentes (CHAGAS; CHAFFE; BLÖSCHL, 2022) e também interferem nas comunidades bentônicas. Durante o evento de seca extrema de 2015-2016, foram observadas alterações na granulometria de fundos sedimentares de uma região estuarina, ocasionando uma mudança na estrutura de comunidades, com o predomínio de organismos cavadores superficiais (GOMES; BERNARDINO, 2020). Em substratos consolidados, foi observada salinização de estuários favorecendo a bioinvasão de espécies incrustantes e epibiontes (GOMES; SILVA, 2020).

Com relação à temperatura do ar, foi registrado um aumento na intensidade e frequência de extremos quentes e diminuição na intensidade e frequência de extremos frios no sudeste da América do Sul. Isto gerou previsões de tendências de crescimento na temperatura média do ar e calor extremo, com diminuição de períodos de frio (IPCC, 2022). O INMET (2023) em análises de desvios de temperaturas médias anuais do Brasil de 1961 a 2022, registrou uma tendência de aumento significativo das temperaturas ao longo dos anos (aproximadamente + 0,15°C por década), associada à mudança no clima em decorrência da elevação da temperatura global. Nos anos de 2015 e 2019, foram registrados valores 0,9°C acima da média histórica desde 1961, e estes anos foram considerados os dois anos mais quentes neste período. Cabe destacar que estes anos foram também, de influência de El Niño (INMET, 2023). A análise dos dados corrobora esta tendência a aumento dos períodos quentes, com destaque para o verão dos anos de 2018 e 2019, e diminuição dos períodos frios, mantendo-se de certa forma, o padrão latitudinal. Zamir, Alpert e Rilov (2018), verificaram temperaturas do ar extremas acima de 30°C na região de Habonim, na costa israelense. Pezza, Van Rensch

e Cai (2012) definiram onda de calor como “temperaturas acima do percentil 90, persistindo durante três ou mais dias”. Em nossos dados tivemos para a estação de Marambaia, que apresentou o maior limite acima do percentil 99 (35,2°C), cerca de 11 casos de temperaturas máximas diárias acima do limiar por três ou mais dias, com um dos casos ocorrendo por mais de uma semana, todos em períodos de verão. Dash e Mamgain (2011) categorizaram ondas de calor e ondas de frio na Índia utilizando limiares com temperaturas máximas e mínimas diárias superiores a 40°C e inferiores ou iguais a 10°C, respectivamente. Médias acumuladas de temperaturas no litoral da Região Sudeste do Brasil apresentam pequena variação entre verão e inverno, com valores oscilando entre 25°C e 26°C no verão e entre 22°C e 23°C no inverno (DERECZYNSKI; MENEZES, 2015).

Temperaturas mais elevadas do ar afetam mais diretamente os organismos da zona entremarés durante o período de exposição ao ar (ROMÁN et al., 2020; DOMÍNGUEZ et al., 2021), sobretudo se as marés baixas ocorrerem durante o dia, o que pode levar a mortalidade em massa de espécies do entremarés, como foi registrado para o ouriço do mar *Lytechinus variegatus* em Cabo Frio (JUNQUEIRA et al., 1997). Comunidades de costões também apresentam influência sazonal da exposição ao ar, com maiores tolerâncias no outono-inverno e menores na primavera-verão austral (MASI; ZALMON, 2012).

Assim como a temperatura do ar, o aquecimento dos oceanos é um dos principais eventos que afetam os organismos e os ecossistemas marinhos, causando mudanças fisiológicas, reprodutivas, declínio de populações e diminuição ou novas relações interespecíficas, dentre outros. Os eventos mais frequentes e de mais rápida percepção em registros são o branqueamento e a mortandade em massa da biota marinha. Ambos os eventos são cada vez mais frequentes nos oceanos (OLIVER et al., 2018; SEN GUPTA et al., 2020; HORTA et al., 2020; SMITH et al., 2023).

Outro tipo de mudança são as expansões e contrações na distribuição dos organismos do entremarés associadas a ondas de calor marinhas. Em regiões temperadas, têm sido observadas mudanças lentas na composição de espécies. Durante os períodos de aquecimento climático, as espécies adaptadas ao calor aumentam em abundância e espécies adaptadas ao frio diminuem, levando a aumentos gerais na diversidade, com padrões reversos sendo observados durante os períodos de resfriamento (SOUTHWARD; HAWKINS; BURROWS, 1995; WORM; LOTZE, 2016). Barry et al. (1995) observaram mudanças semelhantes no noroeste do Pacífico (Monterey Bay, Califórnia), onde oito das nove espécies do sul de invertebrados entremarés aumentaram em abundância entre as décadas de 1930 e 1990, enquanto cinco das oito espécies do norte diminuíram. Temperaturas mais quentes reduziram

o recrutamento de mexilhões e cracas no Noroeste do Atlântico (PETRAITIS; DUDGEON, 2020) e o limite vertical superior de mexilhões no Nordeste do Pacífico (HARLEY, 2011) e sudoeste do Pacífico (SORTE et al., 2019). Em regiões tropicais, o aquecimento pode levar à perda de espécies e ao declínio da diversidade, pois as tolerâncias máximas de temperatura podem ser excedidas (CONNELL, 1961; WORM; LOTZE, 2016; JURGENS; ASHLOCK; GAYLORD, 2021).

A variação registrada de TSM em nossa área de estudo foi entre 31°C a 17,7°C, com valores máximos ocorrendo nos meses de verão austral e sendo maiores do que o já observado por outros autores para a região (KJERFVE et al., 2021). O maior valor de TSM foi registrado em janeiro de 2017, e o menor, em agosto de 2023. Medições de verão mostraram temperaturas da água bem abaixo de 20°C, que é um indicativo de evento de intrusão de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (KJERFVE et al., 2021).

Os estudos com a craca *Semibalanus balanoides* têm trazido resultados preocupantes. Esta espécie deve praticamente desaparecer do sudoeste da Inglaterra até a década de 2050, levando as cracas *Chthamalus* a aumentarem a sua abundância e a distribuição vertical em toda esta região costeira dada a ausência de competição com *S. balanoides* (POLOCZANSKA et al., 2008). O aumento da TSM foi o principal fator na dinâmica populacional desta espécie, apontando para uma mortalidade precoce, 10 anos antes do previsto (FINDLAY, 2010). Vários outros grupos de organismos tem sido indicado como susceptíveis a aumentos de temperatura, refletindo mudanças na estrutura do ecossistema, mudando de um domínio de mexilhões para uma comunidade dominada por algas e cracas no Nordeste do Pacífico (WOOTTON, PFISTER E FORESTER, 2008). No Oeste do Havaí, após ondas de calor marinhas de 2015, a abundância de peixes aumentou e o limite de branqueamento de corais de 28°C foi excedido, fazendo com que a cobertura de corais mortos aumentasse (OLSEN et al., 2022). Segundo os autores, o aumento e a estabilidade na abundância de peixes desafiam a suposição de que o branqueamento dos corais leva a uma perda líquida de peixes de recife dependentes de corais. Além disso, as reduções na cobertura de corais vivos supostamente aumentam a disponibilidade de recursos de algas, o que pode atrair herbívoros para uma determinada área (OLSEN et al., 2022). Moreno et al. (2012) registraram que anomalias regionais de TSM foram correlacionadas ao alto índice de doenças em corais do Caribe e do Pacífico. Em uma baía tropical no Sudeste do Brasil, a combinação entre o aumento da TSM e aumento médio da precipitação possivelmente promoveram o aumento da taxa de mortalidade da esponja marinha *Desmapsamma anchorata* (FORTUNATO et al., 2022). Silva et al. (2023), apontaram que o rápido aumento da TSM pode modificar os padrões de distribuição

espacial e a abundância de peixes de recife, visto o aumento progressivo da frequência e intensidade das ondas de calor marinha no Sudoeste do Atlântico na última década. Barboza e Skinner (2021) observaram para duas espécies de ascídias invasoras que sua ocorrência está altamente relacionada à temperatura da água. Na costa brasileira, modelos de distribuição potencial confirmam a perda de nicho e mudanças na ocorrência de *Sargassum* spp., sugerindo que mesmo espécies com afinidades tropicais podem sofrer perdas em baixas latitudes e deslocar-se para sul até 2100 (HORTA et al., 2020).

O monitoramento por 10 anos de uma comunidade bentônica no norte do Chile mostrou que as populações de algas marinhas, ouriços-do-mar e estrelas-do-mar foram fortemente afetadas por anomalias térmicas marinhas, com uma extinção local da alga *Macrocystis integrifolia* após o El Niño de 1997-98. Muito provavelmente, essa extinção foi causada pelo aumento de até 3 vezes no número do ouriço-do-mar *T. niger* durante o La Niña de 1999–2000; já as estrelas do mar *M. gelatinosus* e *L. magellanica* diminuíram em número após o El Niño, e aumentaram após o La Niña (VÁSQUEZ; VEJA; BUSCHMANN, 2006). Gaymer et al. (2010) observaram que o recrutamento de ouriços-do-mar e estrelas-do-mar foi maior durante condições neutras e menor durante o La Niña, provavelmente pelo transporte larval causado pelo aumento da ressurgência; o recrutamento de caranguejos foi maior em condições neutras e a abundância de algas parecia ser controlada por processos pós-assentamento como refletido após La Niña, quando a abundância de peixes herbívoros aumentou fortemente. No Sudeste do Brasil, Skinner e Coutinho (2002) relacionam o recrutamento das cracas *Chthamalus bisinuatus* e *Tetraclita stalactifera* aos eventos de incidência e relaxamento da ressurgência, como promotores do ciclo reprodutivo (SKINNER; MACHARET; COUTINHO, 2011). Neste trecho do litoral, os eventos climáticos possuem grande importância no ciclo ressurgência-não ressurgência (VALENTIN, 2001).

O aumento da TSM também se relaciona à elevação do nível do mar. Foi observado, para o centro do Chile, um aumento significativo na altura do nível do mar a uma taxa de aproximadamente 5 mm por ano entre 1982 a 2016. Os eventos El Niño de 1982–1983 e 1997–1998 causaram um aumento extremo de 15 a 20 cm no nível médio do mar (IPCC, 2022). Uma das consequências desta elevação é o deslocamento dos organismos do entremarés para níveis superiores de costões rochosos (SKINNER et al., 2008).

As áreas oceânicas e costeiras do sul e sudeste do Brasil são caracterizadas por atividades ciclogênicas, com frentes frias movendo-se na direção SE-NE (OLIVEIRA et al. 2011). Esta região é diretamente influenciada pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que causa aumento de nebulosidade e velocidade do vento (DERECZYNSKI e

MENEZES, 2015; CARVALHO; DALBOSCO; GUERRA, 2020). O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) gera ventos sinóticos de N-NE, NE e L-NE aproximadamente 60% do tempo, como foi visto para a região de Cabo Frio e já destacado por Kjerfve et al. (2021). Ao longo do litoral do Rio de Janeiro, os ventos sopram normalmente de 5 m.s^{-1} da direção dominante NE e com a passagem das frentes frias, as velocidades do vento SO ultrapassam $11,1 \text{ m.s}^{-1}$ (KJERFVE et al., 2021). Embora os registros indiquem como limite inferior para velocidade de ventos valores ainda considerados como brisa fraca ($>3,3 \text{ m.s}^{-1}$), observamos que há uma grande quantidade de registros que se aproximam do limite superior, de até 20 m.s^{-1} classificado como vendaval ($17.2 - 20.7 \text{ m.s}^{-1}$) (WMO, 2021) no final do ano de 2017. Para regiões do sudeste da América do Sul, de Oliveira et al. (2011) observaram velocidades de vento com limites em torno de $5,0$ a $8,0 \text{ m.s}^{-1}$, com aumento da intensidade dos ventos nas direções predominantes locais, sobretudo nos ventos dos quadrantes N-L e SE-SO, embora localidades como Arraial do Cabo os ventos de maior intensidade estão nas imediações da orientação NE. Dereczynski e Menezes (2015) observaram para a Baía de Santos ventos que ao longo do ano sopram predominantemente de NE, com intensidade moderada entre 6 e 7 m.s^{-1} . No outono, este valor fica entre 4 e 5 m.s^{-1} e na primavera, entre 7 e 8 m.s^{-1} . Os autores ainda observaram que ventos intensos (superiores a 10 m.s^{-1}) são mais frequentes na primavera e no verão e que, as velocidades médias dos ventos de N e NE ($8,01$ e $7,27 \text{ m.s}^{-1}$, respectivamente) são superiores aos ventos provenientes das demais direções, indicando que, além dos ventos intensos de SO ($6,02 \text{ m.s}^{-1}$), provenientes de sistemas transientes, também os ventos de N e NE atingem velocidades elevadas, o que em geral ocorre antes da penetração de sistemas frontais e outros distúrbios atmosféricos na região (DERECZYNSKI; MENEZES, 2015).

Estes movimentos de massas de ar, interagem com o oceano e promovem sua agitação, que se constitui de um dos principais eventos climáticos extremos na costa brasileira, gerando impactos diretos na hidrodinâmica de praias, costões rochosos e nos organismos que habitam estes locais (MACHADO et al., 2016; SILVA et al., 2023).

Em 2012, a passagem do furacão Sandy provocou agitação marinha e a altura das ondas no oeste de Long Island Sound atingiram cerca de $3,3 \text{ m}$, e em Kings Point, NY, cerca de $4,5 \text{ m}$ (MARSOOLI; LIN, 2018). Nossos resultados apontam para a ocorrência, no litoral do Sudeste do Brasil, de ondas de tempestades equivalentes aquelas geradas por furacões com os resultados destes autores para o extremo de altura de ondas, em que os valores registrados para a região costeira do Sudoeste do Atlântico apontam para alturas de ondas equivalentes a

ondas de tempestades geradas por furacões. Coli e Mata (1996), observaram para o Atlântico Sul Ocidental que dentre as alturas significativas de onda verificadas ao ano, os maiores valores médios ocorreram no outono e inverno, cujos limites variaram entre 1,8 e 3,8 m, valores superiores ao registrado por Chelton, Hussey e Parke (1981), que encontraram médias de alturas significativas de onda no inverno entre 2 e 3 m. Este aumento é reportado no relatório do IPCC (2022), em que já é real a maior frequência na ocorrência de ciclones extratropicais na região sul-sudeste do Brasil e extremo sul do Brasil e na ocorrência de eventos intensos de convecção severa, com ventos fortes de sul ou sudeste e níveis altos de água afetando o sul do Brasil.

A costa E-O do litoral do Rio de Janeiro, geralmente possuem ondas de tempestades e ondulações provenientes principalmente de SO a SE (CARVALHO; DALBOSCO; GUERRA, 2020). Segundo Parente, Nogueira e Ribeiro (2015) e Klumb-Oliveira, Pereira e Leão (2015), curtos períodos de ondas de 2,5 a 10 s, são associados ao mar de bom tempo com direção proveniente de L-NE, mais frequentes nos meses de verão e com menores alturas de ondas. E períodos maiores do que 10 s são associados ao *swell* gerado pelo sistema frontal (mau tempo) com direção proveniente do quadrante SO-S-SE, que normalmente ocorre com condição local de nebulosidade e chuva com ventos de SO, mais frequentes nas estações de outono, inverno e primavera, e com maiores alturas de onda (KLUMB-OLIVEIRA; PEREIRA; LEÃO, 2015; PARENTE; NOGUEIRA; RIBEIRO, 2015). Parente, Nogueira e Ribeiro (2015) identificou uma situação de mar severa na Baía de Campos, com altura significativa de 6,4 m com direção de SO. Klumb-Oliveira, Pereira e Leão (2015) relataram ondas mais altas (> 2,5 m) com frequências mais baixas do quadrante S, ao longo da costa do Rio de Janeiro, principalmente entre maio e setembro. Carvalho e Guerra (2023) observaram para a região altura das ondas entre 0,4 e 5 m, com valores mais frequentes entre 1 e 2 m, período de ondas entre 3 e 18 s, com valores mais frequentes entre 6 e 9 s, e direção média das ondas de SE, com ondas de L e S mais frequentes.

O efeito de grandes ondas pode trazer consequências à dinâmica populacional, à distribuição e a estratégias reprodutivas de espécies costeiras. Na região de Rhode Island, no Atlântico Norte, foi observado o aumento na capacidade de adesão no costão rochoso do bivalve *Mytilus edulis* em períodos de grandes ondas de inverno. No entanto, esta capacidade reduz-se em períodos reprodutivos (CARRINGTON, 2002). Na costa do Reino Unido após tempestades extremas de inverno de 2013/2014, foram registradas mudanças físicas e biológicas nos ambientes costeiros rochosos, mas nenhum impacto significativo nas comunidades e na biodiversidade, embora tenha sido observadas mudanças em curto prazo em

algumas espécies, mas comunidades regressaram à composição dentro de alguns anos (MIESZKOWSKA et al., 2021). Skinner, Cavalcante da Silva e Miranda (2008) avaliaram a ação de grandes ondas sobre a comunidade bêntica de um costão rochoso localizado na região de Itacoatiara, Niterói, RJ, onde observaram uma dominância do bivalve *Perna perna* durante o período de verão, com 85% de cobertura, e após a ocorrência de tempestades e grandes ondas, no outono-inverno, a dominância da espécie foi reduzida a 5% de cobertura, deixando espaços vazios no costão que foram colonizados por espécies oportunistas de algas. Os autores observaram ainda a redução da espécie em períodos de inverno, porém a sua recuperação em períodos de verão. Na porção norte da Baía da Ilha Grande, a ação de ondas foi considerada como um dos fatores relevantes para modificar padrões em comunidades de algas coralinas articuladas e do coral mole *Palythoa*, tanto em escala local quanto regional (CARNEIRO et al., 2021). Machado et al. (2016) avaliaram a influência de ondas de tempestade na estrutura da comunidade intertidal de uma praia arenosa no litoral norte do Rio de Janeiro, Brasil, onde depois de eventos de tempestades e ondas altas foi observado mudanças significativas na estrutura da comunidade, apresentando vulnerabilidade e falha na recuperação da comunidade. Em uma planície entremarés abrigada no Canal de São Sebastião, Sudeste do Brasil, foram observadas diminuição na riqueza, abundância e biomassa de espécies de invertebrados após tempestades e ondas fortes, levando a mudanças na diversidade da fauna local, mas apresentando uma rápida recuperação num curto espaço de tempo após as tempestades (CORTE et al., 2017). Um estudo na região da Baía de Paranaguá, Sul do Brasil, não apresentou efeitos na riqueza, abundância e diversidade de espécies da macrofauna estuarina a curto prazo após condições de tempestades. No entanto, os autores destacam que o aumento da dispersão das espécies pode estar mais associado a eventos de tempestades, em vez de mortalidade (NEGRELLO FILHO; LANA, 2013).

Embora existam iniciativas de monitoramento de comunidades marinhas para a costa brasileira, como por exemplo, a ReBentos (TURRA; DENADAI, 2015), o monitoramento de fatores abióticos ou a realização de campanhas após os registros de eventos extremos ainda são escassos. Até o momento, a falta de determinação local da magnitude para se considerar um evento extremo ou não dificultavam uma maior relação entre eventos e suas consequências biológicas, o que esperamos que possa ser atenuado a partir deste estudo. Os dados aqui levantados em termos de padrões sazonais nos extremos das variáveis ambientais concordam com a sazonalidade indicada por Silva et al. (2019) para costões rochosos do litoral de São Paulo. Outro aspecto importante é a carência de dados oceanográficos de longo prazo e a pequena cobertura espacial de boias oceanográficas em uma costa com 8.500km de

litoral (SiMCOSTA, 2024). As respostas biológicas nas regiões costeiras provavelmente resultarão em novas condições ecológicas em climas futuros, sem precedentes na história evolutiva das espécies e comunidades (HAWKINS et al., 2009; MIESZKOWSKA et al., 2021) e por este motivo, é importante melhorar a compreensão dos impactos climáticos relacionados a eventos extremos ou distúrbios causados pelo clima no ambiente natural, sobretudo em relação às respostas que as comunidades bentônicas podem mostrar.

1.6 Conclusões

Os acessos históricos às bases de dados de estações meteorológicas e de boias oceanográficas são um importante instrumento de metanálise para detecção de eventos extremos em variáveis oceanográficas e meteorológicas. Infelizmente a falta de dados e equipamentos, principalmente de boias, ainda é grande, o que acaba impedindo a realização de estudos mais aprofundados.

As variáveis ambientais aqui analisadas se mostraram como sendo bons indicadores da ocorrência de eventos extremos para a região do Sudoeste do Atlântico, a partir da classificação de intervalos correspondentes aos determinados maiores e menores valores das variáveis, que ultrapassaram o valor de percentil 99.

Na literatura sobre efeitos de eventos extremos sobre comunidades bentônicas de substrato consolidado, tanto para o entremarés quanto para o infralitoral raso predominam estudos sobre os efeitos de temperaturas extremas, tanto do ar quanto da água, como por exemplo, mortalidade em massa ou branqueamento de corais. O efeito de ondas de tempestade juntamente com ventos de superfície também é indicado como indutores de mudanças na estrutura e dinâmica de comunidades bentônicas de substrato consolidado.

Ainda segundo a literatura, a ocorrência de eventos extremos tem não apenas se intensificado, mas sofrido combinações que causam mudanças em diversas espécies de organismos e ecossistemas, inclusive na estrutura de comunidades bentônicas de costões rochosos e por isso, seu monitoramento é cada vez mais necessário.

2 DINÂMICA DE COMUNIDADES BENTÔNICAS DO ENTREMARÉS DE COSTÕES ROCHOSOS NA ILHA GRANDE, RJ (SUDOESTE DO ATLÂNTICO) ASSOCIADO A EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

2.1 Introdução

Os costões rochosos são um tipo de substrato consolidado que favorecem a fixação de larvas e esporos de diversas espécies de organismos bentônicos, que incluem desde bactérias e outros microorganismos até invertebrados e macroalgas, que conseguem sobreviver ao estresse característico desta zona de transição, que incluem em linhas gerais, a ação de ondas e a exposição ao ar (MILANELLI, 2003; LATHLEAN; SEURONT; NG, 2017). Dentre os macroorganismos, uma variedade de táxons importantes economicamente e estruturalmente habita esta região incluindo algas, moluscos, equinodermos, cnidários e crustáceos (MIESZKOWSKA, 2009; MELO; RAIMUNDO; SANDY, 2018; JURGENS et al., 2021; IPCC, 2022).

O costão rochoso é um habitat costeiro altamente produtivo (BRANCH, 2001) utilizado para alimentação, refúgio, crescimento, reprodução e moradia de uma variedade de espécies de organismos (FERREIRA; GONÇALVES; COUTINHO, 2001; COUTINHO; ZALMON, 2009; MELO; RAIMUNDO; SANDY, 2018). Sendo um ecossistema presente na região entremarés e um habitat da zona costeira, os costões rochosos também são considerados relevantes por conter uma alta riqueza de espécies de grande importância ecológica e econômica (FERREIRA; GONÇALVES; COUTINHO, 2001; COUTINHO; ZALMON, 2009; LATHLEAN; SEURONT; NG, 2017; MELO; RAIMUNDO; SANDY, 2018). Um costão rochoso é um ecossistema de elevada biomassa e alta produção primária de microfitobentos e de macroalgas, por ser um ambiente receptor de grande quantidade de nutrientes advindos de sistemas terrestres (COUTINHO; ZALMON, 2009). Branch (2001) estimou para a costa Leste da África do Sul, que as biomassas (peso seco livre de cinzas m^{-2}) podem alcançar valores de até 600g.m^{-2} para algas, 2400g.m^{-2} para animais filtradores e 200g.m^{-2} para herbívoros. Castro e Huber (2003) indicam que de modo geral a produtividade de diferentes de ambientes bentônicos, pode variar entre 370 a $450\text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ em florestas de mangue, entre 550 a $1100\text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ em bancos de ervas-marinhas, entre 640 a $1800\text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ em bancos de algas e em recifes de corais, entre 1500 a $3700\text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$. Estes

valores podem mudar dependendo do momento e da localização. Lalli e Parsons (1997) indicam que a produtividade média anual das regiões entremarés de costões rochosos do mundo é da ordem de $100 \text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$, no entanto taxas de produção de cerca de $1000 \text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ podem ocorrer dependendo do local. A produtividade dos costões é estimada entre 300 a $1500 \text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ (Norte do Atlântico - Europa Ocidental, Nova Inglaterra), 200 a $1000 \text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ (Sul do Atlântico - Brasil, África do Sul); 50 a $300 \text{ g C.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ (Oceano Antártico e Oceano Austral) (DAYTON, 1971; VALIELA, 1995; MENGE; BRANCH, 2001; HURD et al., 2014)¹.

A distribuição dos organismos no ambiente de costão rochoso é heterogênea, mas pode variar dependendo dos fatores bióticos e abióticos que agem direta ou indiretamente no ambiente (CHAPPUIS et al., 2014). No ambiente rochoso do entremarés ocorre uma série de estresses e mudanças ambientais que influenciam a distribuição vertical dos organismos (HOCH; REYES, 2015) e que estabelecem um padrão de distribuição característico. Os fatores físicos que mais influenciam são a incidência de luz, a temperatura do ar, temperatura do substrato, topografia, tipo de substrato (composição química e mineralógica) e fatores hidrodinâmicos como estresse do vento, amplitude e oscilação das marés, ação de ondas, temperatura da água e salinidade (GAYMER et al., 2010; MORENO; ROCHA, 2012; HOCH; REYES, 2015; COUTINHO et al., 2016). Além dos fatores ambientais, os fatores biológicos como disponibilidade de alimentos, predação, competição entre as espécies de organismos e estresse fisiológico também possuem grande importância nesta distribuição (STEPHENSON; STEPHENSON, 1949; GAYMER et al., 2010; HOCH; REYES, 2015).

Neste ambiente, os organismos sempre estarão submetidos a uma ação conjunta de fatores, como por exemplo, o nível de umidade, a quantidade e intensidade de ondas e a intensidade solar durante a maré baixa, que submetem os organismos ao seu limite de tolerância (MILANELLI, 2003; MIESKOWNSKA, 2009; GAYMER et al., 2010; MAZZUCO, 2015). Este conjunto de fatores exige que os organismos presentes na região do entremarés dos costões rochosos possuam diversas adaptações a estas amplas variações (COUTINHO; ZALMON, 2009; MORENO; ROCHA, 2012; COUTINHO et al., 2016).

Estes fatores físicos juntamente com os fatores biológicos do ambiente, influenciam o padrão de distribuição natural dos organismos bentônicos no ambiente do costão. Desta

¹ Dados e bibliografias obtidos com auxílio de IA com as seguintes perguntas: “Qual é a produtividade dos costões rochosos em g C/m^2 nos diferentes oceanos?” e “Em quais bibliografias se baseou?”

forma, a distribuição de espécies e comunidades ocorre ao longo de gradientes ambientais em diferentes níveis verticais no costão rochoso, sendo este um padrão observado em todo o mundo, chamado de zonação (STEPHENSON; STEPHENSON, 1949; COUTINHO, 1995; HARLEY et al., 2006; MORENO; ROCHA, 2012; CHAPPUIS et al., 2014; COUTINHO et al., 2016).

As comunidades presentes na região do entremarés são as mais sensíveis às variações ambientais e às mudanças climáticas (FOSTER, 1969; COUTINHO et al., 2016; JURGENS et al., 2021), pois sua distribuição já é fortemente influenciada por condições ambientais extremas. A acentuação destas condições associadas a mudanças climáticas (ondas de calor atmosférico, maior intensidade e/ou frequência de ondas de tempestade, aquecimento da água do mar, dentre outros) pode influenciar diretamente na distribuição dos organismos ao longo do costão, por meio da mortalidade, mudança nos limites de distribuição, mudanças na colonização e na interação das espécies. Assim, a zonação vai refletir os estresses físico locais, acentuando gradientes ambientais, e exibindo padrões que mudam à medida que o ambiente também muda (HARLEY et al., 2006), principalmente quando o ambiente for afetado por eventos extremos associados às mudanças climáticas.

Um costão rochoso é um ecossistema presente em uma zona de transição entre os ambientes terrestre e marinho, ocupando regiões de influência, por exemplo, das marés, estando sujeito a diferentes graus de exposição às ondas dependendo da orientação em relação aos ventos e ondas predominantes (MORENO; ROCHA, 2012; LATHLEAN et al., 2017). O que o torna um ambiente altamente estressante e que varia constantemente, assim os organismos da região entremarés podem fornecer uma visão única e um modelo ideal para se estudar os impactos das mudanças climáticas nos ambientes aquáticos e terrestres (HELMUTH et al., 2006; MIESZKOWSKA, 2009). As mudanças climáticas podem provocar alterações, mesmo que pequenas, que afetam e modificam a densidade ou a largura das faixas de distribuição desses organismos, especialmente em relação à ocorrência de eventos extremos (HAWKINS et al., 2003; HARLEY et al., 2006; HELMUTH et al., 2006; HAWKINS et al., 2008; HARLEY, 2011).

As respostas biológicas às mudanças climáticas em sistemas naturais são variáveis, não lineares e difíceis de interpretar (HARRIS et al., 2011; MIESZKOWSKA et al., 2021). A mudança climática causa influências complexas e interativas na fisiologia dos organismos, com respostas específicas da espécie devido a diferentes características funcionais,

sensibilidade e capacidades adaptativas e aclimatárias² (MIESZKOWSKA et al., 2021; IPCC, 2022). As respostas biológicas incluem mudanças nas distribuições de espécies (HAWKINS et al., 2009) que provavelmente resultarão em novas condições ecológicas em climas futuros sem precedentes (MIESZKOWSKA et al., 2021). Portanto, é importante melhorar a compreensão dos impactos climáticos ocasionados por eventos extremos ou distúrbios causados pelo clima no ambiente natural e a resposta que as comunidades bentônicas do entremarés podem mostrar (MIESZKOWSKA et al., 2021).

Nesse capítulo, vamos analisar os efeitos de eventos extremos e de possíveis respostas como simuladores das alterações na comunidade bentônica em função de mudanças climáticas, possibilitando também compreendermos melhor os efeitos de curto prazo na biodiversidade da região entremarés de dois costões rochosos na Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ. Para isso, foi utilizada a classificação de eventos climáticos extremos estabelecido no Capítulo 1. Assim, espera-se determinar como os eventos climáticos extremos podem influenciar e/ou alterar a estrutura e dinâmica das comunidades sésseis do entremarés nos costões rochosos na região estudada, e como esta influência pode determinar e apontar os diferentes impactos e as consequências das mudanças climáticas para o ecossistema estudado.

Este estudo está inserido e baseado no protocolo da Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros (ReBentos), que foi criada em 2011 por um grupo de pesquisadores brasileiros com o objetivo de recolher informações sobre a estrutura e a dinâmica das populações bentônicas ao longo da costa, criando um histórico e assim, viabilizar estudos futuros de análises temporais e de efeitos relacionados às mudanças climáticas regionais e globais (TURRA; DENADAI, 2015; MELO; RAIMUNDO; SANDY, 2018). A estruturação dessas bases científicas e metodológicas neste protocolo permite, além identificação antecipada dos efeitos climáticos, a possibilidade de ações mitigadoras e a formação de um banco de dados (TURRA; DENADAI, 2015; MELO; RAIMUNDO; SANDY, 2018).

² A capacidade aclimatária refere-se à habilidade dos organismos de ajustar suas funções fisiológicas e comportamentais em resposta a mudanças e estressores ambientais, como variações na temperatura, salinidade, ou outros fatores. Esses ajustes geralmente são temporários, não havendo mudanças permanentes no organismo.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo Geral

Avaliar e comparar, temporalmente, a estrutura e a dinâmica da comunidade bentônica sésil da zona do entremarés de dois costões na região da Ilha Grande, buscando por efeitos de eventos climáticos extremos na composição e/ou abundância de espécies.

2.2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar, trimestralmente, a estrutura e dinâmica das comunidades sésseis dos dois costões rochosos no período entre 2022 e 2023 e realizar comparações interanuais com dados disponíveis de anos anteriores (2018 e 2019);
- b) Analisar a oscilação temporal da largura das faixas de dominância das principais espécies bentônicas sésseis durante o período de estudo.

2.3 Hipótese

A hipótese a ser testada neste trabalho é de que as comunidades avaliadas temporalmente refletem um histórico local de condições ambientais e que por isso, é possível relacionar a estrutura de tais comunidades com as condições ambientais acumuladas no período entre amostragens, incluindo as condições extremas.

2.4 Material e métodos

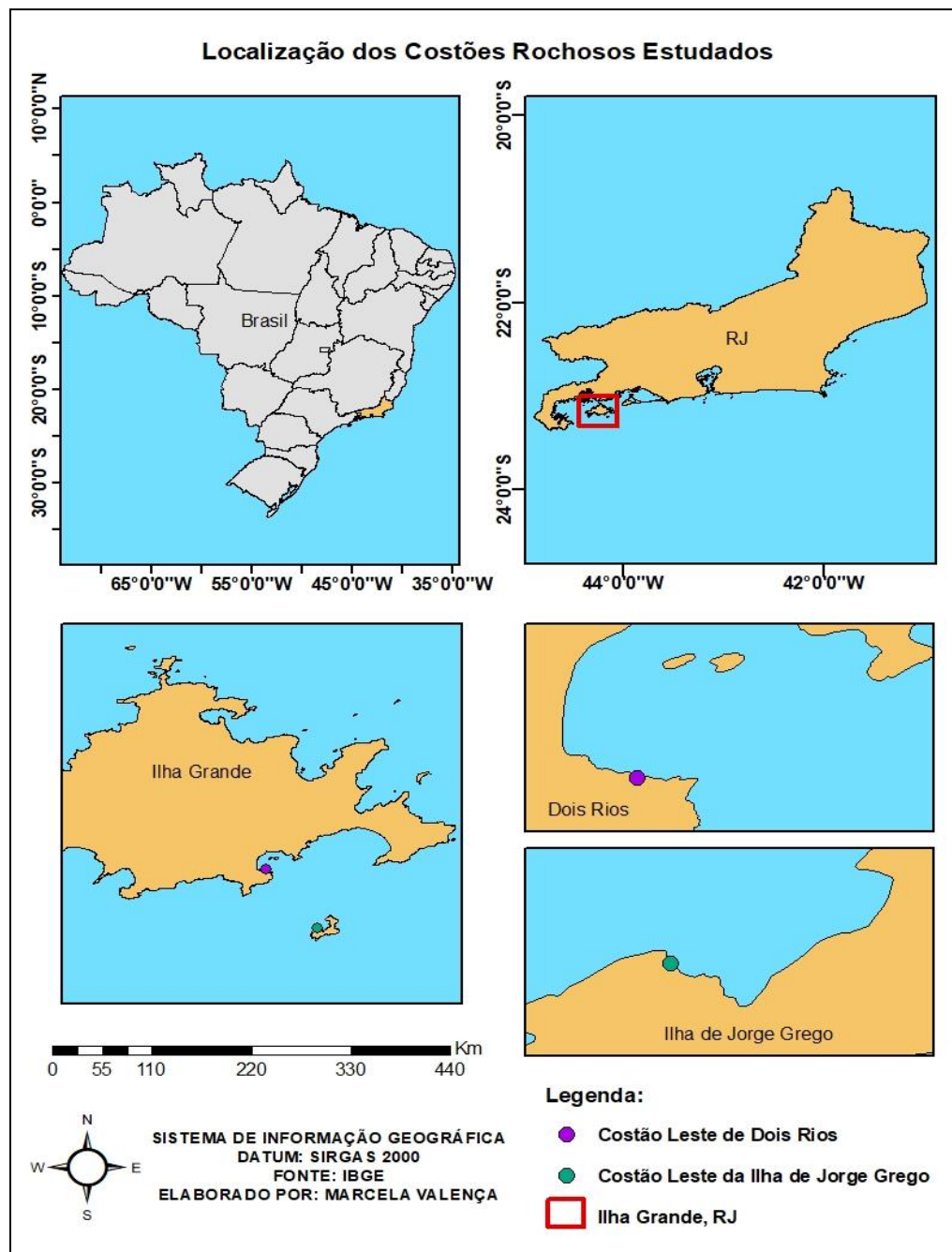
2.4.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada na região da Ilha Grande – no litoral sudoeste do Estado do Rio de Janeiro. Esta é a maior ilha do litoral fluminense com cerca de 193km² e delimita a baía do mesmo nome, estando localizada entre as coordenadas 23°05'S a 23°14'S de latitude e 44°05'O a 44°23'O de longitude (Figura 8). A região é considerada de grande relevância ambiental, pois possui uma grande diversidade de habitats marinhos, como costões rochosos, ilhas, praias arenosas e manguezais. O relevo de seu entorno é montanhoso, constituído por vários picos, morros e pontões, com as costas da ilha recortada por diversas enseadas e penínsulas, com vegetação característica de mata atlântica, mangue e restinga (SANTOS et al., 2010). A Ilha possui uma combinação de fatores estáticos (localização geográfica e topografia) e dinâmicos (incidência de massas de ar, frentes frias e tropicais, dinâmica de ondas oceânicas), que ajudam na produção de microclimas e nas variações do regime pluvial, de temperatura e circulação dos ventos, que favorecem a riqueza e diversidade de espécies (CREED; PIRES; FIGUEIREDO, 2007; INEA, 2011). É extremamente rica em espécies bênticas (CREED; PIRES; FIGUEIREDO, 2007), que podem ser encontradas nas praias arenosas e na zona de entremarés dos inúmeros costões rochosos da região.

A Baía da Ilha Grande apresenta duas grandes conexões com o oceano, uma a oeste e outra a leste, separadas por um canal central (KJERFVE et al., 2021). Esta baía, como a região sudeste do Brasil, está sob influência da Corrente do Brasil que carrega águas acima de 25 °C (SANTOS et al., 2010; GODOI et al., 2011). O clima é tropical quente e úmido, com elevadas temperaturas e alta pluviosidade concentrada em maior número no verão. A média anual da temperatura do ar da Ilha Grande é de 22,5°C e as temperaturas máximas podem ser superiores a 30°C no verão, enquanto no inverno a mínima pode chegar aos 10°C. Os ventos na região são predominantemente do quadrante sul, sopram na direção oceano-continente, e no litoral sul as ondas de maior energia são originadas dos quadrantes S, SO e SE atribuídas a tempestades e ciclones extratropicais do extremo sul do oceano Atlântico, com capacidade de gerar ondas superiores a 5m altura no oceano aberto (INEA, 2013). Eventos de ressacas possuem capacidade de atingir regiões normalmente preservadas atribuindo altos riscos de fragmentação e remoção total de comunidades do entremarés (GODOI et al., 2011).

Dois pontos foram escolhidos nesta região para realização deste trabalho, dando continuidade ao monitoramento iniciado em 2014. Estes pontos estão localizados nos costões rochosos leste da enseada de Dois Rios ($23^{\circ}11'27.9''\text{S}$, $44^{\circ}11'03.9''\text{W}$), e leste da Ilha de Jorge Grego ($23^{\circ}13'19.7''\text{S}$, $44^{\circ}09'25.9''\text{W}$) (Figura 8, 9 e 10).

Figura 8 - Mapa de localização dos locais de estudo. Ilha Grande, RJ (quadrado vermelho), costão rochoso leste de Dois Rios (bola roxa) e costão rochoso leste da Ilha de Jorge Grego (bola verde).



Fonte: A autora, 2023.

Os costões escolhidos preenchem os requisitos do protocolo ReBentos: ambos são voltados para o N-NE; são localizados em mar aberto, porém são abrigados de ventos de direção SO; recebem incidência de luz (maior desenvolvimento de comunidades de algas); possuem inclinação intermediária (45 a 65°); estão distantes de saídas permanentes de água doce e de fontes de poluição orgânica.

Figura 9 - Costão rochoso leste da enseada de Dois Rios



Fonte: Luís Felipe Skinner.

Figura 10 - Costão rochoso leste da Ilha de Jorge Grego



Fonte: Luís Felipe Skinner.

2.4.2 Determinação da Área de Amostragem e Frequência de Amostragem

Foi utilizado o método para estudo de comunidades bentônicas do entremarés baseada no protocolo da Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos (SISBIOTA) (COUTINHO et al., 2016), vinculada a Sub-Rede Zonas Costeiras da Rede Clima (MCT) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC). O protocolo ReBentos sugere monitoramento *in loco*, para coleta de dados de temperatura do costão e da água, porcentagem de cobertura dos organismos e medição da largura das faixas de dominância nos costões rochosos escolhidos para o estudo.

Foram utilizados dados de porcentagem de cobertura das espécies e largura das faixas obtidos através de amostragens realizadas nos meses de setembro de 2018 e agosto de 2019 para serem utilizados como comparações interanuais com dados de amostragens atuais, aproximadamente trimestrais, realizadas entre os meses de agosto de 2022, novembro de 2022, fevereiro de 2023 e julho de 2023, a fim de avaliar as mudanças em escalas menores que o aplicado no protocolo.

Ambos os costões foram divididos em cinco transecções verticais que foram sorteadas no início do monitoramento, em 2014 (Dois Rios) e em 2018 (Jorge Grego), e que são pontos fixos nos costões. As faixas de zonação e as unidades amostrais (quadrates) acompanham os limites estabelecidos pelo primeiro ponto fixo (Figura 11 e 12).

2.4.3 Dados Ambientais

A partir dos registros ambientais trabalhados no Capítulo 1, selecionamos aqueles das estações locais de Angra dos Reis, RJ (A628) (22°58'30.2"S, 44°18'10.4"W) e Marambaia, RJ (A602) (23°3'1.1"S, 43°35'44.2"W), além da boia de monitoramento do Rio de Janeiro (RJ-3) (22°58'59"S, 43°10'28" W).

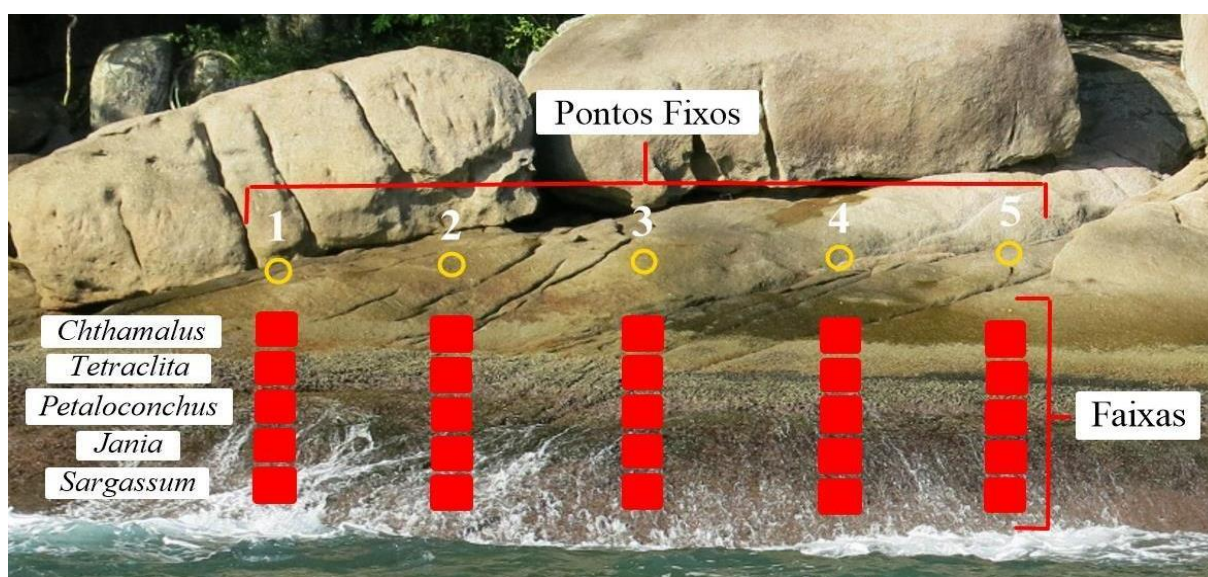
Estes dados foram transformados em $\log X+1$ para utilização em análises multivariadas de componentes principais e correlação com os dados biológicos. Estas análises foram realizadas no programa Primer-e, V. 6.2.

2.4.4 Medição das Faixas de Dominância e Posicionamento das Unidades (quadrates)

Uma trena perpendicular ao costão foi estendida desde o ponto fixo superior até o limite inferior do substrato (desde o marco inicial no topo do costão até o limite de distribuição dos organismos de cada faixa) de forma a orientar a determinação e a medição das faixas de dominância dos organismos, a porcentagem de cobertura de cada espécie e, o posicionamento dos quadrates, seguindo o padrão de zonação para fornecer dados de abundância e distribuição. Com a largura de cada faixa de dominância é possível descrever a variação sazonal e interanual das comunidades de organismos.

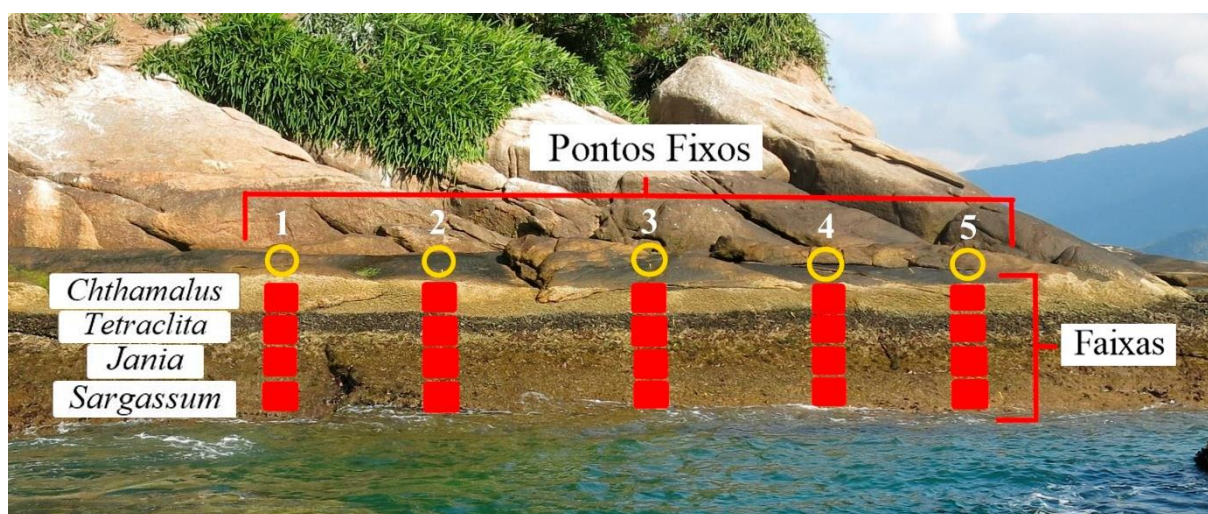
Até cinco faixas das respectivas espécies de dominância no costão foram distribuídas e horizontalmente dispostas desde o limite superior até o limite inferior do mediolitoral (Figura 11 e 12). O costão de Dois Rios conta com 5 faixas distribuídas horizontalmente, as faixas das cracas *Chthamalus bisinuatus* e *Tetracilita stalactifera*, a faixa do Vermetidae *Petalocochus varians* e as faixas das algas *Jania* spp e *Sargassum* spp (Figura 11). Já o costão de Jorge Grego conta com apenas 4 faixas de distribuição, as faixas das cracas *Chthamalus bisinuatus* e *Tetracilita stalactifera* e as faixas das algas *Jania* spp e *Sargassum* spp (Figura 12).

Figura 11 - Exemplo de marcação aproximada dos pontos fixos, faixas de distribuição dos organismos e posição dos quadrates delimitadores nas faixas de distribuição do costão de Dois Rios.



Fonte: Imagem modificada/Luís Felipe Skinner.

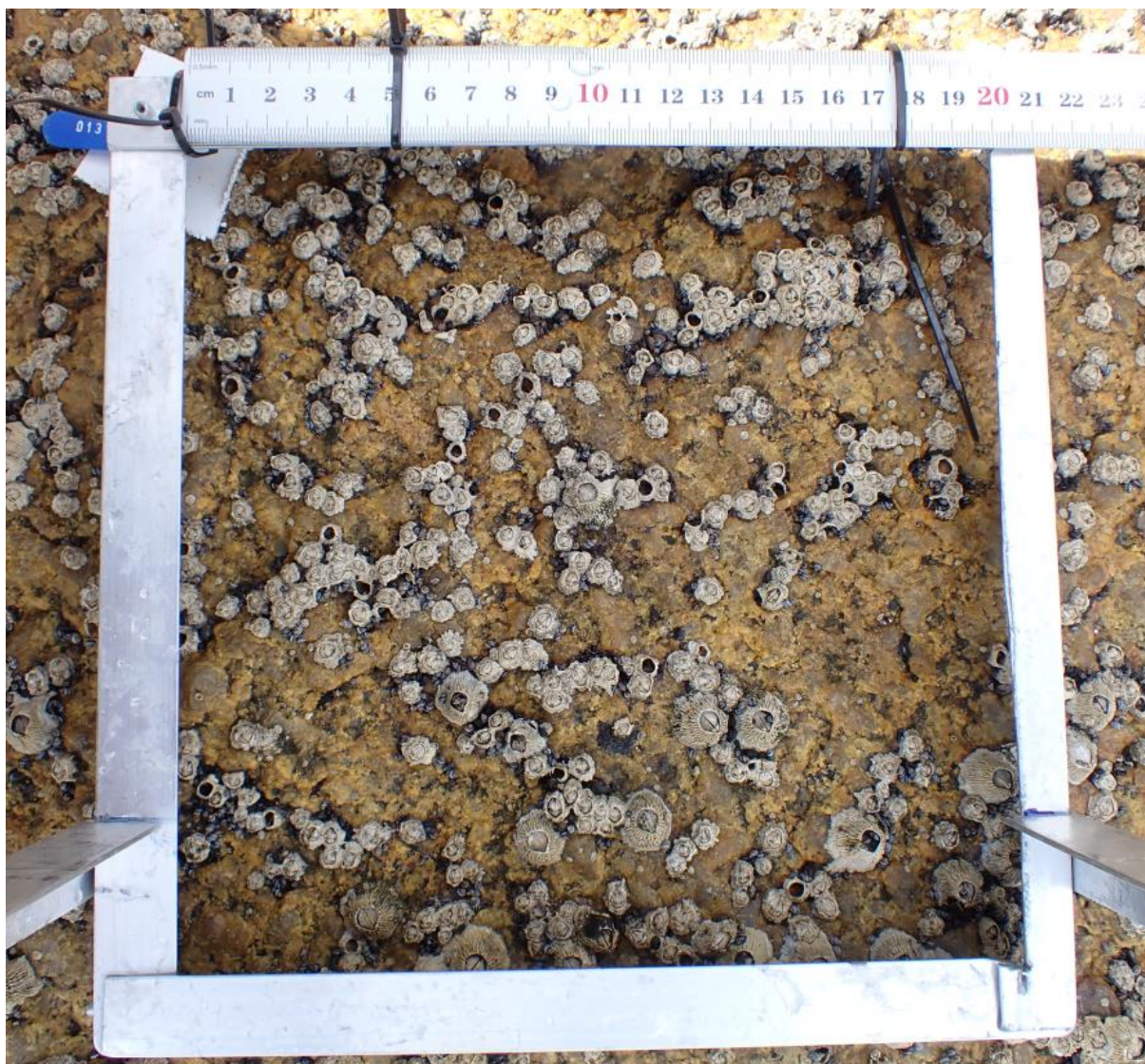
Figura 12 - Exemplo de marcação aproximada dos pontos fixos, faixas de distribuição dos organismos e posição dos quadrates delimitadores nas faixas de distribuição do costão de Jorge Grego.



Fonte: Imagem modificada/Luís Felipe Skinner.

Parafusos e lacres numerados foram fixados nos pontos fixos em cada faixa dominante de cada transecção vertical, totalizando vinte e cinco pontos de monitoramento (quadrates) no costão de Dois Rios e vinte pontos de monitoramento (quadrates) no costão de Jorge Grego. Foi estabelecida uma área de 100 cm² (10 x 10 cm) para a faixa superior (Faixa de *Chthamlaus*) e de 400 cm² (20 x 20 cm) para as demais faixas do costão, onde os quadrates foram marcados e fotografados como estabelecido pelo protocolo ReBentos. Foram utilizados quadrates delimitadores com molduras nas medidas internas dos quadrates e colocados sobre as áreas permanentemente marcadas para serem fotografadas, de modo a caracterizar a dominância específica ao longo da transecção vertical (Figura 13).

Figura 13 - Quadrate delimitador de 20x20 cm utilizado para determinar as áreas de amostragem (quadrates) e para realização das fotografias

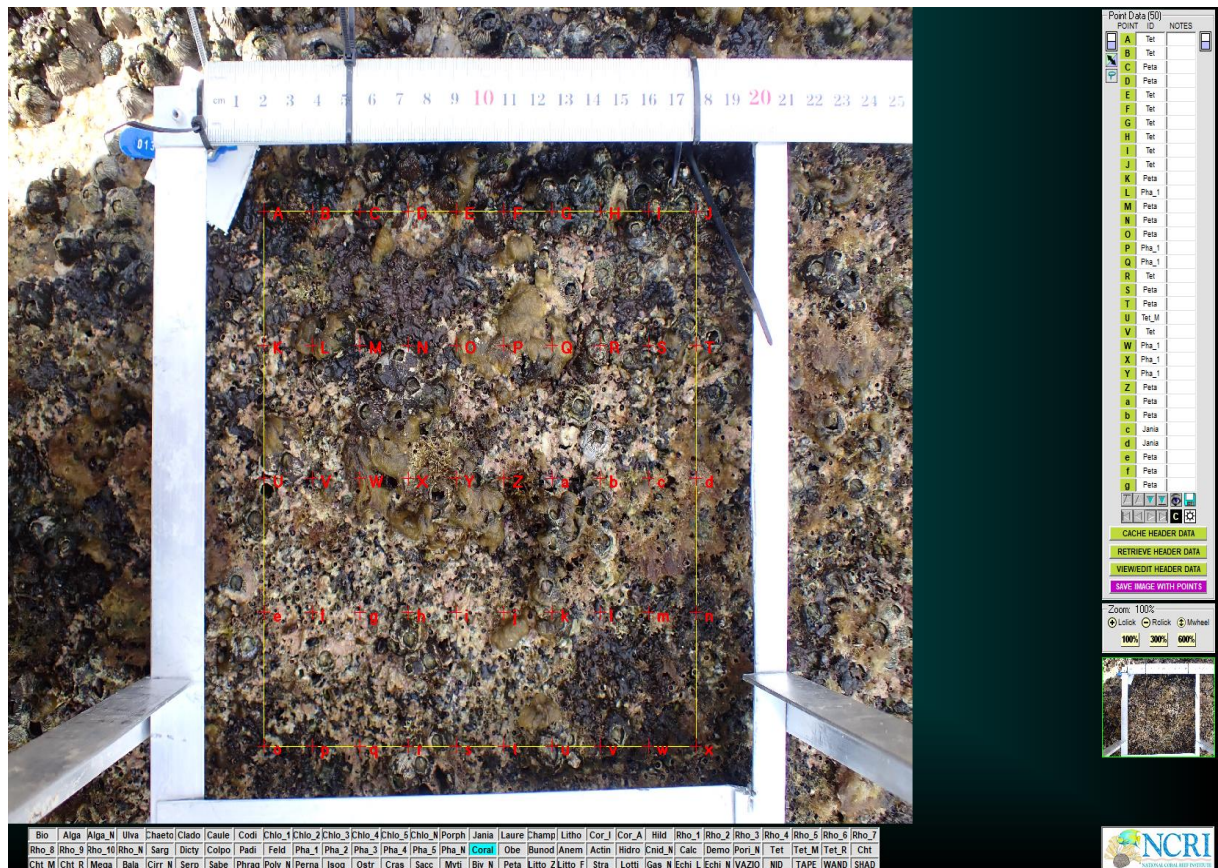


Fonte: Luís Felipe Skinner.

2.4.5 Estimativa da Porcentagem de Cobertura dos Organismos

Os quadrates foram fotografados um a um, *in situ*, durante as amostragens, com auxílio de uma câmera fotográfica digital em resolução máxima. Desta forma a identificação e quantificação das espécies sésseis é estimada por meio da porcentagem de cobertura de cada quadrado, realizada com o auxílio do programa de computador CPCe 4.1, utilizando-se a técnica de intersecção de pontos, onde são dispostos 50 pontos (5 linhas x 10 colunas) distribuídos em grade fixa sobre a área interna dos quadrates (Figura 14).

Figura 14 - Utilização da técnica de intersecção de pontos pelo programa CPCe 4.1, onde são dispostos 50 pontos (5 linhas x 10 colunas) distribuídos em grade fixa sobre a área interna dos quadrates.



Fonte: A autora, 2023 / CPCe 4.1.

2.4.6 Obtenção da Composição e Porcentagem de Cobertura das Espécies

Foram realizadas amostragens para medições de largura das faixas de organismos, das temperaturas do costão e da água e de porcentagem de cobertura dos quadrates por meio de fotografias.

O quadro (Quadro 1) apresenta as datas de amostragens interanuais, entre os períodos de setembro de 2018, agosto de 2019, agosto de 2022 e julho de 2023 e análises trimestrais a partir de agosto de 2022. Cabe destacar que no intervalo entre o verão de 2020 e o verão de 2022 as amostragens foram impossibilitadas por eventos extremos que atingiram a região e também, pelas restrições sanitárias da SARS-Covid19.

Quadro 1 Meses de amostragens realizadas. Em azul os períodos selecionados para as comparações interanuais.

<i>Locais/Meses</i>	<i>Set. 2018</i>	<i>Ago. 2019</i>	<i>Ago. 2022</i>	<i>Nov. 2022</i>	<i>Fev. 2023</i>	<i>Jul. 2023</i>
<i>Dois Rios</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Jorge Grego</i>	X	X	X	X	X	X

Fonte: A autora, 2023.

2.4.7 Análise de Dados

2.4.7.1 Largura das Faixas de Distribuição

Os dados das larguras de faixas foram obtidos no campo medindo-se a distância linear entre o primeiro e o último indivíduo vivo da espécie ao longo do transect demarcado. Os resultados foram anotados em planilha no programa Excel, onde foram calculadas as médias de largura de cada faixa, para cada mês e local. Com estes dados foi feita uma análise de variância (ANOVA) para comparar a largura de cada faixa entre os diferentes tempos e locais.

2.4.7.2 Porcentagem de Cobertura

Com as fotografias dos quadrates foram feitas as leituras das imagens no programa CPCe, onde são calculadas as porcentagens de cobertura das espécies e táxons de cada quadrate das faixas de dominância, para cada mês e localidade de estudo, sendo gerados então os dados da comunidade (composição, abundância/porcentagem de cobertura e riqueza). Estes dados foram salvos e organizados em planilhas no programa Excel onde foram feitas as médias de porcentagem de cobertura de cada faixa, mês e local.

Após isso, esses dados foram importados para o programa Primer 6, onde foram transformados para raiz quarta (BAKKER, 2024) a fim de reduzir a discrepância das porcentagens de cobertura. Em seguida, foram analisados por meio de análise multivariada usando o Índice de Similaridade de Bray-Curtis, com projeção em MDS (escalamento multidimensional) (CLARKE; GORLEY, 2006).

Foram realizados estes procedimentos acima para as faixas de dominância de *Chthamalus bisinuatus*, *Tetraclita stalactifera* para cada uma das localidades e para a faixa de *Petaloconchus varians*, somente para Dois Rios.

2.5 Resultados

2.5.1 Variáveis Ambientais e Períodos de Amostragem

A partir das análises de eventos extremos realizado no capítulo 1, foram montados gráficos com os históricos e limites dos eventos climáticos e as datas de coleta conforme o quadro 2, a fim de relacionarmos as variáveis ambientais selecionadas com os resultados obtidos nas amostragens das comunidades dos costões rochosos nos costões rochosos de Dois Rios e Jorge Grego (Quadro 2).

Quadro 2 - Datas de amostragens ocorridas nos costões rochosos de Dois Rios e Jorge Grego durante o período de monitoramento.

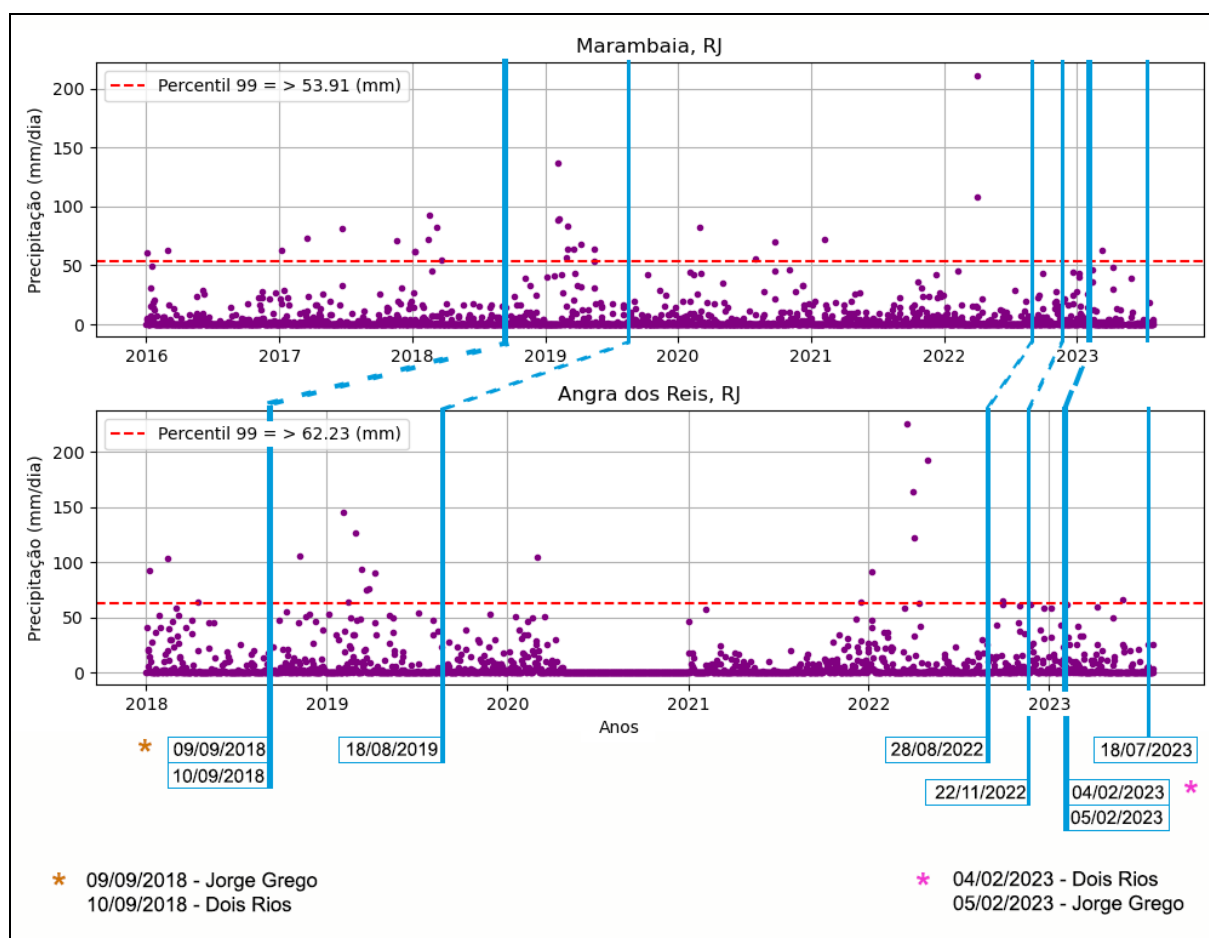
<i>Datas de amostragem</i>	<i>Local (costão rochoso)</i>
09/09/2018	Jorge Grego
10/09/2018	Dois Rios
18/08/2019	Dois Rios / Jorge Grego
28/08/2022	Dois Rios / Jorge Grego
22/11/2022	Dois Rios / Jorge Grego
04/02/2023	Dois Rios
05/02/2023	Jorge Grego
18/07/2023	Dois Rios / Jorge Grego

Fonte: A autora, 2023.

Para a região da Ilha Grande, os dados ambientais das estações meteorológicas de Marambaia, RJ e Angra dos Reis, RJ, e os dados oceanográficos da boia RJ-3, no Rio de Janeiro retornaram os seguintes resultados.

Foram observados valores de precipitação diária alta, acima do percentil (P99), principalmente nos meses que antecederam as amostragens de agosto de 2019 e agosto de 2022 (Figura 15).

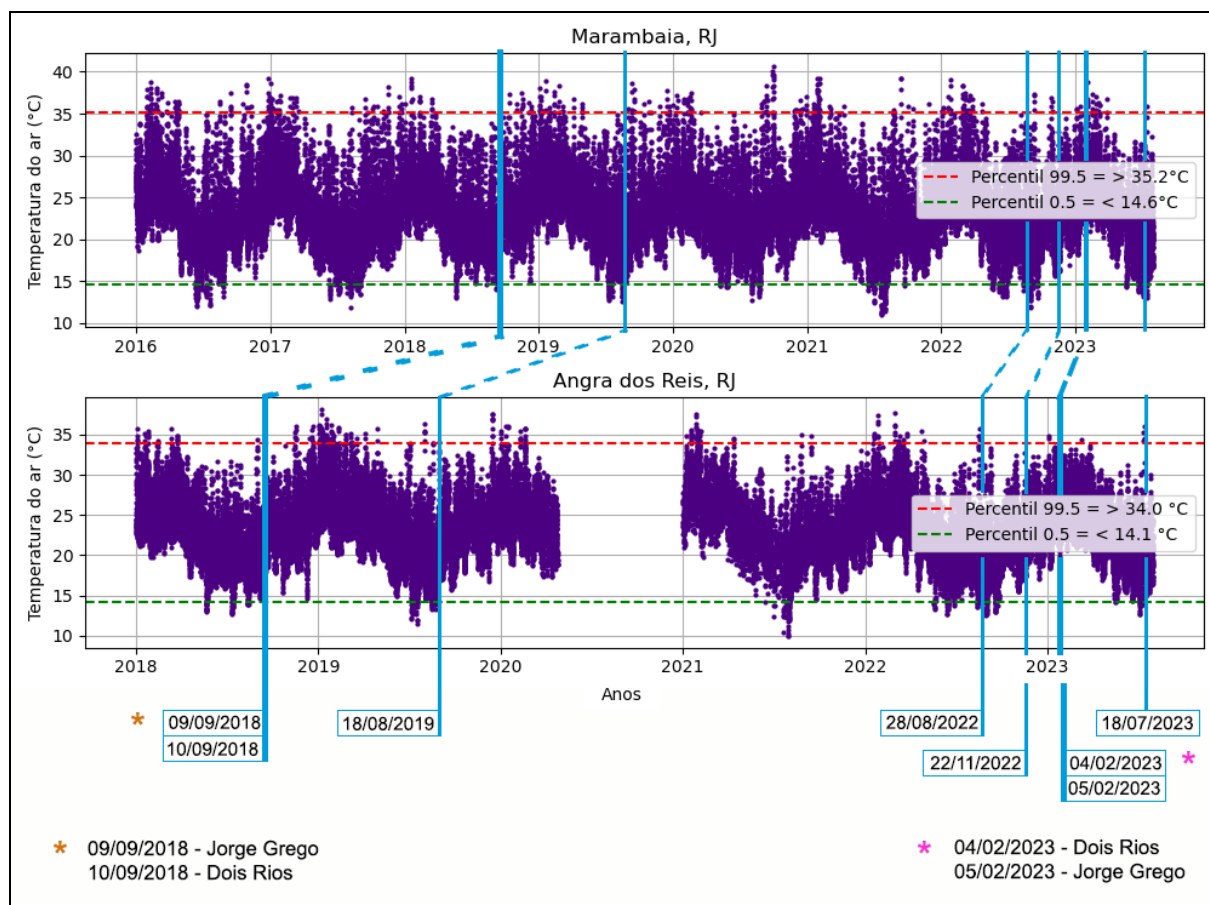
Figura 15 - Precipitação (mm.dia^{-1}) das estações meteorológicas de Marambaia e Angra dos Reis, RJ, entre as datas de amostragem das comunidades dos costões de Dois Rios e Jorge Grego



Fonte: A autora, 2023.

Para a temperatura do ar durante o período estudado, foram observados resultados apresentando temperaturas que ultrapassaram os valores percentis menores e maiores a 0,5%, em ambas as localidades, principalmente nos dias e meses que antecederam as datas de amostragens de agosto de 2019, agosto de 2022 e julho de 2023. Nos períodos próximos das amostragens de agosto de 2019 é possível observar resultados abaixo dos valores percentis menores a 0,5%. Nos períodos próximos das amostragens de fevereiro de 2023 é possível observar resultados acima dos valores percentis maiores a 0,5% (Figura 16).

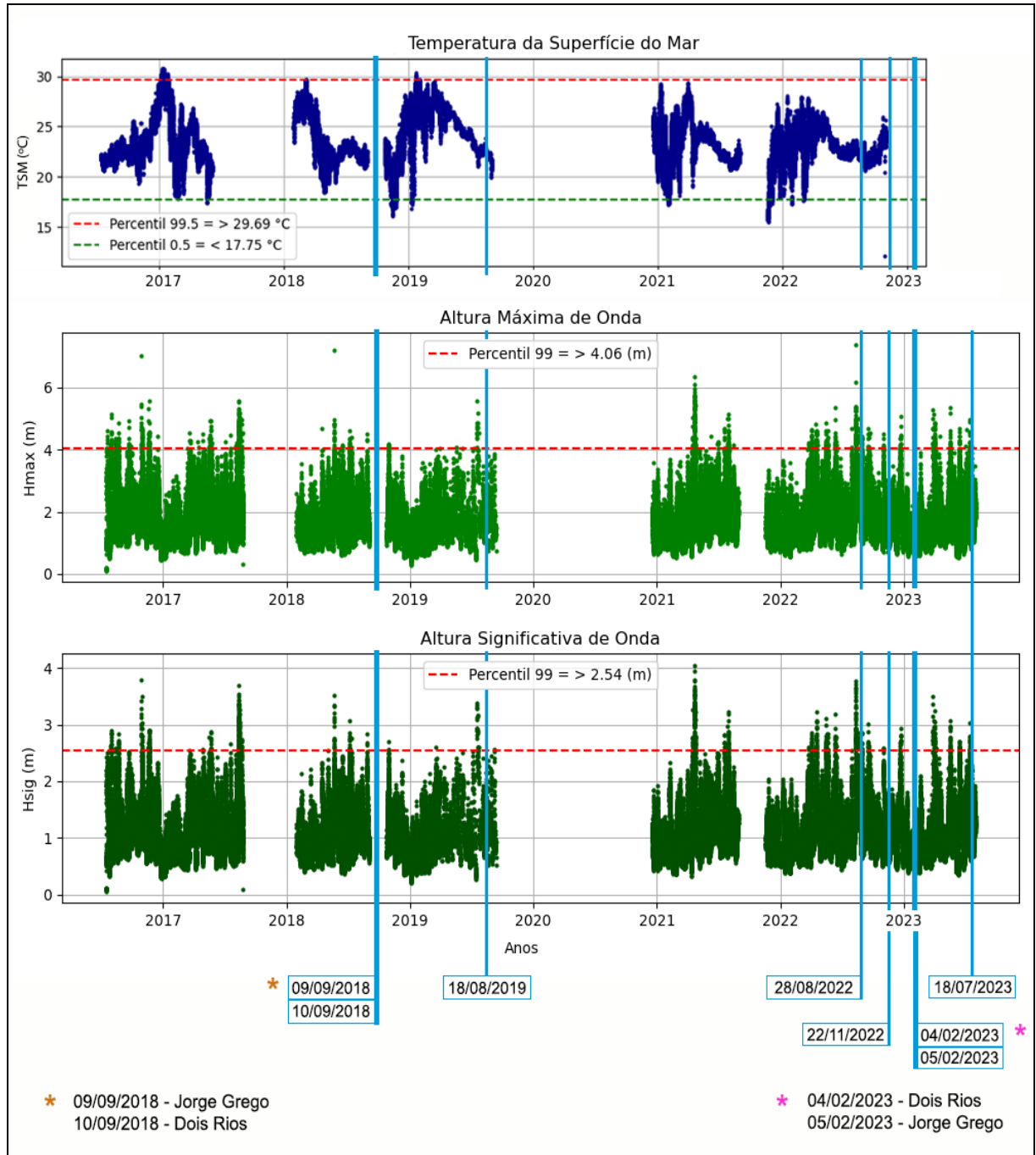
Figura 16 - Temperatura do ar (°C) das estações meteorológicas de Marambaia e Angra dos Reis, RJ, entre as datas de amostragem das comunidades dos costões de Dios Rios e Jorge Grego.



Fonte: A autora, 2023.

Para os dados oceanográficos (Figura 17), é possível observar que as temperaturas da superfície do mar (TSM) foram medianas nos períodos que antecederam as datas das amostragens, não apresentando nestes períodos temperaturas que tenham ultrapassado os valores percentis menores e maiores a 0,5%. No entanto, o ano de 2019 apresentou um acúmulo TSM mais altas do que o visto nos outros anos. Os dados de altura máxima de onda (Hmax) e altura significativa de onda (Hsig) apresentaram valores acima do percentil 99 em todos os períodos antecedentes e/ou próximos às datas de amostragem, valores maiores foram observados no período próximo às amostragens de agosto de 2019 e os maiores valores foram registrados em crescimento durante um período próximo às amostragens de agosto de 2022, atingindo até 7,4 metros de altura de onda, sendo o maior valor registrado em todo o período de dados.

Figura 17 - Variáveis oceanográficas de temperatura da superfície do mar (°C), altura máxima de onda (m) e altura significativa de onda (m) da boia oceanográfica do Rio de Janeiro (RJ-3), entre as datas de amostragem das comunidades dos costões de Dios Rios e Jorge Grego



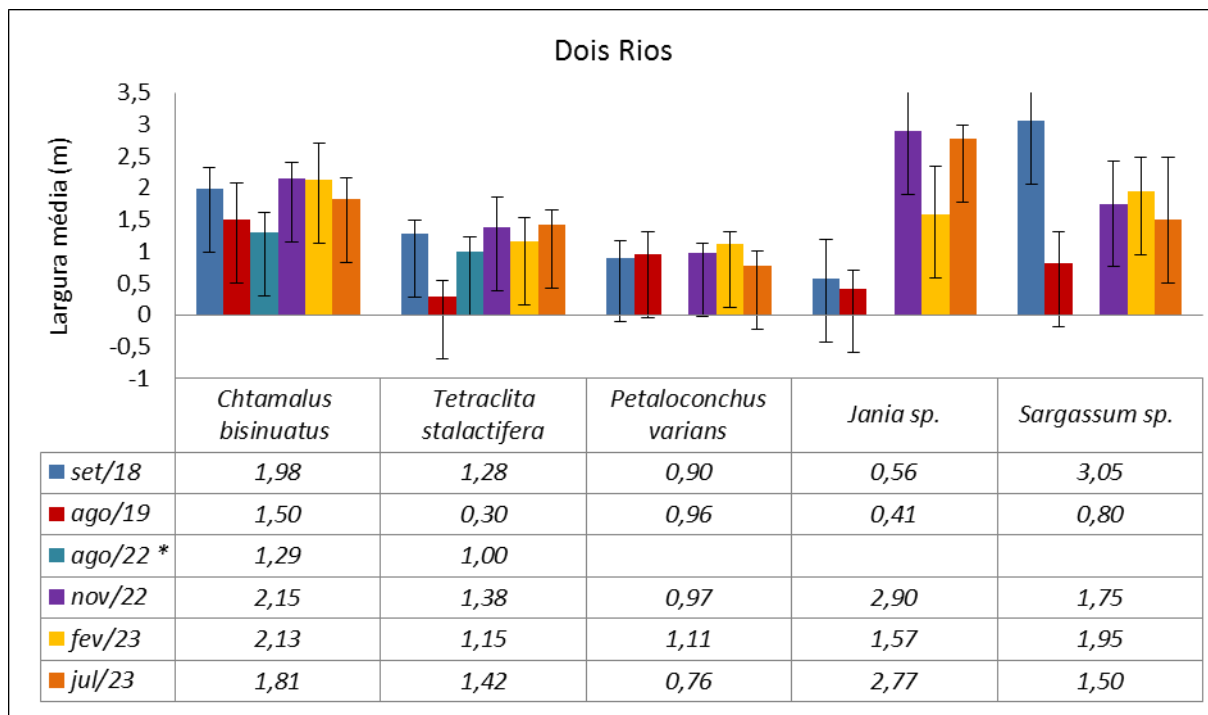
Fonte: A autora, 2023.

2.5.2 Faixas de Dominância dos Organismos

A partir dos dados obtidos da medição da largura das faixas de dominância, foi possível observar que a faixa de *Petaloconchus* está presente em todos os meses de amostragens para Dois Rios (Figura 18). No entanto, o mesmo não foi observado para Jorge Grego, estando presente a faixa de dominância de *Petaloconchus* apenas em agosto de 2019 (Figura 19).

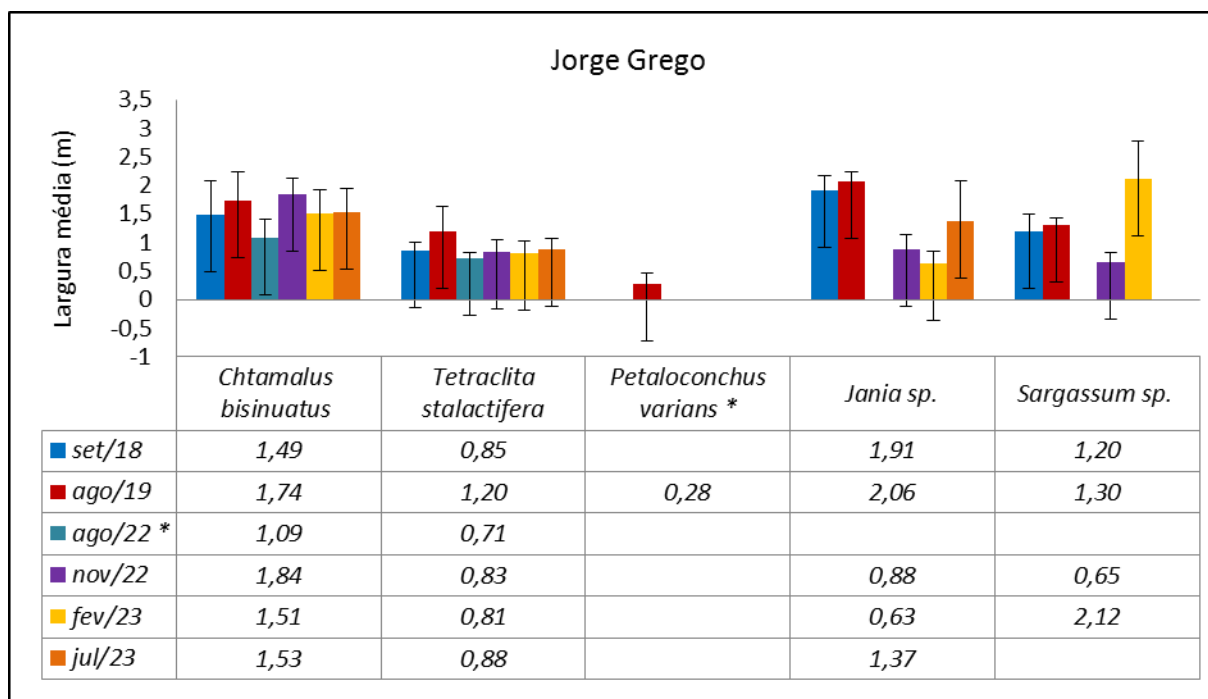
Comparando dois períodos de tempo aproximadamente iguais em anos diferentes em Dois Rios (setembro de 2018 e agosto de 2019) (Figura 18), foi possível observar que houve uma diminuição na largura das faixas de dominância dos organismos e o contrário foi observado para Jorge Grego durante o mesmo período de tempo, onde na verdade houve um aumento na largura das faixas de dominância (Figura 19). Um dos motivos que poderia explicar essa diferença foi uma ressaca, um evento climático extremo que ocorreu próximo da data de amostragem de agosto de 2019, causando esse efeito sobre a dominância e distribuição dos organismos no costão de Dois Rios. Embora os dois costões possuam muitas características similares, os dois diferem na influência de impactos de ondas de tempestades. Em Jorge Grego a enseada é voltada para N (Norte), enquanto em Dois Rios a enseada está voltada para SE (Sueste). Desta forma quando ocorrem ressacas na região geralmente estas são vindas do quadrante SO (Sudoeste). Porém neste caso, a origem das ondas de ressaca foi de SE (Sueste), e assim, o costão de Dois Rios foi diretamente afetado pela ressaca enquanto o mesmo não aconteceu no costão de Jorge Grego. Isso poderia explicar o fato das faixas de dominância dos organismos do costão de Jorge Grego não responderem da mesma forma que as faixas de dominância dos organismos do costão de Dois Rios neste período.

Figura 18 - Largura média das faixas de distribuição e desvio padrão dos organismos durante os meses de amostragem no costão de Dois Rios.



Fonte: A autora, 2023.

Figura 19 - Largura média das faixas de distribuição e desvio padrão dos organismos durante os meses de amostragem no costão de Jorge Grego



Fonte: A autora, 2023.

Com estes dados foi feita uma análise de variância de medidas repetidas (ANOVA) para comparar a largura de cada faixa entre os diferentes tempos e locais. Em Dois Rios, para as faixas de *Petalconchus* (Quadro 5) e *Jania* (Quadro 6) não foram observadas diferenças significativas entre faixas nem entre amostragens. Porém, para as faixas de *Chthamalus* (Quadro 3), *Tetraclita* (Quadro 4) e *Sargassum* (Quadro 7) foram detectadas diferenças significativas entre as amostragens. O teste a posteriori indicou que a largura da faixa de *Chthamalus* (Quadro 3) em agosto de 2022 diferenciou-se em largura daquelas observadas em relação a setembro de 2018, novembro de 2022 e julho de 2023, possivelmente relacionado à recuperação da população, já para *Tetraclita* (Quadro 4) a amostragem de agosto de 2019 difere das larguras nas amostragens de setembro de 2018, agosto de 2022 e julho de 2023, como um efeito direto da ressaca e da recuperação da população, enquanto que para *Sargassum* (Quadro 7) a amostragem de agosto de 2019 difere de todas as outras, provavelmente como um efeito direto da ressaca. Para as faixas de *Chthamalus* (Quadro 8), *Tetraclita* (Quadro 9), *Jania* (Quadro 10) e *Sargassum* (Quadro 11) em Jorge Grego não foram observadas diferenças significativas nem entre faixas nem entre os anos de amostragem.

Quadro 3 - Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Chthamalus bisinuatus* de Dois Rios entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	2.0441	0.511	4.8791 (4,20)	0.00655
Fator B: Entre anos (colunas)	5	3.0864	0.6173	5.8938 (5,20)	0.001667
Erro	20	2.0947	0.1047		
Total	29	7.2252	0.2491		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 4: Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Tetracrita stalactifera* de Dois Rios entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	0.8369	0.2092	2.7734 (4,20)	0.05538
Fator B: Entre anos (colunas)	5	4.3346	0.8669	11.4917 (5,20)	0.00002502
Erro	20	1.5088	0.07544		
Total	29	6.6803	0.2304		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 5 - Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Petalochonchus varians* de Dois Rios entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	0.2957	0.07392	1.2351 (4,16)	0.3354
Fator B: Entre anos (colunas)	4	0.3149	0.07873	1.3154 (4,16)	0.3064
Erro	16	0.9577	0.05985		
Total	24	1.5683	0.06535		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 6: Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Jania* spp. de Dois Rios entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	4.3143	1.0786	0.1759 (4,4)	0.9396
Fator B: Entre anos (colunas)	4	14.3806	3.5951	0.5863 (4,4)	0.6912
Erro	4	24.5295	6.1324		
Total	28	43.2243	1.5437		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 7 - Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Sargassum* spp. de Dois Rios entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	7.9871	1.9968	7.8031 (4,20)	0,002446
Fator B: Entre anos (colunas)	3	13.3355	4.4452	17.3711 (3,12)	0,0001155
Erro	12	3.0707	0,2559		
Total	19	24.3933	1.2839		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 8 - Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Chthamalus bisinuatus* de Jorge Grego entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	0.7542	0.1886	1.0419 (4,20)	0.4104
Fator B: Entre anos (colunas)	5	2.2174	0.4435	2.4505 (5,20)	0.06908
Erro	20	3.6196	0.181		
Total	29	6.5913	0.2273		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 9 - Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Tetraclita stalactifera* de Jorge Grego entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	0.2823	0.07056	1.0252 (4,20)	0.4184
Fator B: Entre anos (colunas)	5	0.7216	0.1443	2.0968 (5,20)	0.1082
Erro	20	1.3765	0.06883		
Total	29	2.3804	0.08208		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 10: Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Jania* spp. de Jorge Grego entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	2262.48	565.62	0.2842 (4,25)	0.8854
Fator B: Entre anos (colunas)	4	2218.88	554.72	0.2787 (4,25)	0.8889
Erro	25	49756.32	1990.2528		
Total	49	54237.68	1106.8914		

Fonte: A autora, 2023.

Quadro 11: Análise de variância (ANOVA) para a largura da faixa de *Sargassum* spp. de Jorge Grego entre os diferentes tempos.

Fonte	GL	Somas dos quadrados (SS)	Quadrado médio (MS)	Estatística F (df ₁ , df ₂)	Valor de P
Fator A: Entre faixas (linhas)	4	2786.35	696.5875	0.483 (4,20)	0.748
Fator B: Entre anos (colunas)	3	680.6	226.8667	0.1573 (3,20)	0.9237
Erro	20	28842.65	1442.1325		
Total	39	32309.6	828.4513		

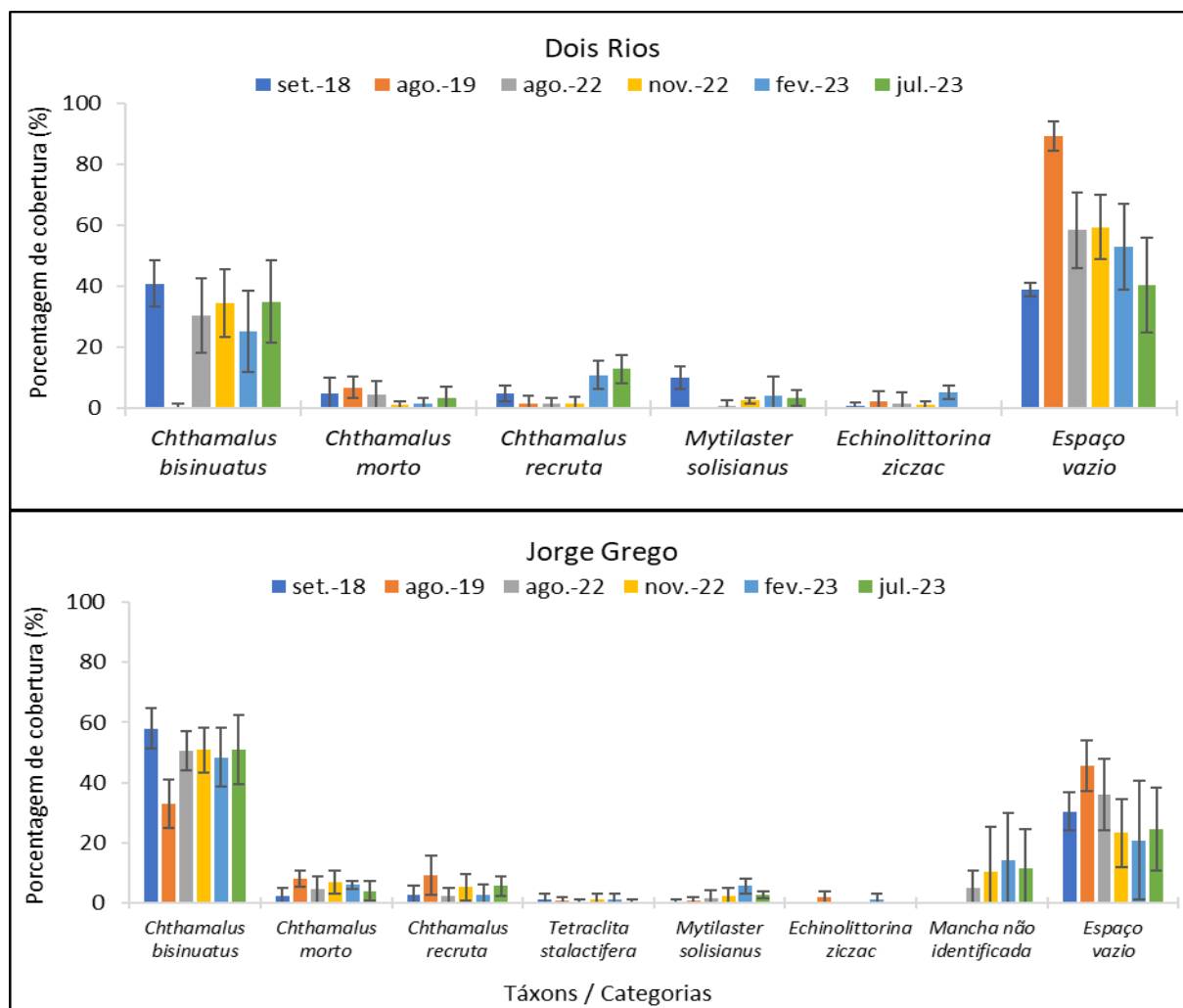
Fonte: A autora, 2023.

2.5.3 Composição, Estrutura das Comunidades e Porcentagem de Cobertura

2.5.3.1 Faixa de *Chthamalus bisinuatus*

Além da largura das faixas, a composição e a cobertura das espécies variaram ao longo do tempo e localidades. O costão de Dois Rios apresentou menor cobertura de *Chthamalus* vivos do que no costão de Jorge Grego, com destaque para o mês de agosto de 2019, que não apresentou qualquer indivíduo da espécie. A maior cobertura de *Chthamalus* vivos foi identificada em setembro de 2018 e julho de 2023, em ambas as localidades. A mortalidade e o recrutamento foram similares ao longo do tempo nas duas localidades. Porém, a disponibilidade de substrato livre (espaço vazio) foi maior em Dois Rios com pico exatamente no mês de agosto de 2019, logo após intensa ressaca com grandes ondas de tempestade. Efeitos em menores escalas desta ressaca também foram observados em Jorge Grego, sendo visível o pico de substrato livre no mês de agosto de 2019. Contudo, os resultados mostram que logo em seguida, a porcentagem de substrato livre começa a diminuir, dando indícios de estar sendo colonizado e após cerca de 5 anos, praticamente retorna aos níveis pré-ressaca de agosto de 2019 (Figura 20).

Figura 20 - Porcentagem de cobertura e desvio padrão dos táxons/categorias presentes na faixa de *Chthamalus bisinuatus* na enseada de Dois Rios e de Jorge Grego. Fonte



Fonte: A autora, 2023.

2.5.3.2 Faixa de *Tetraclita stalactifera*

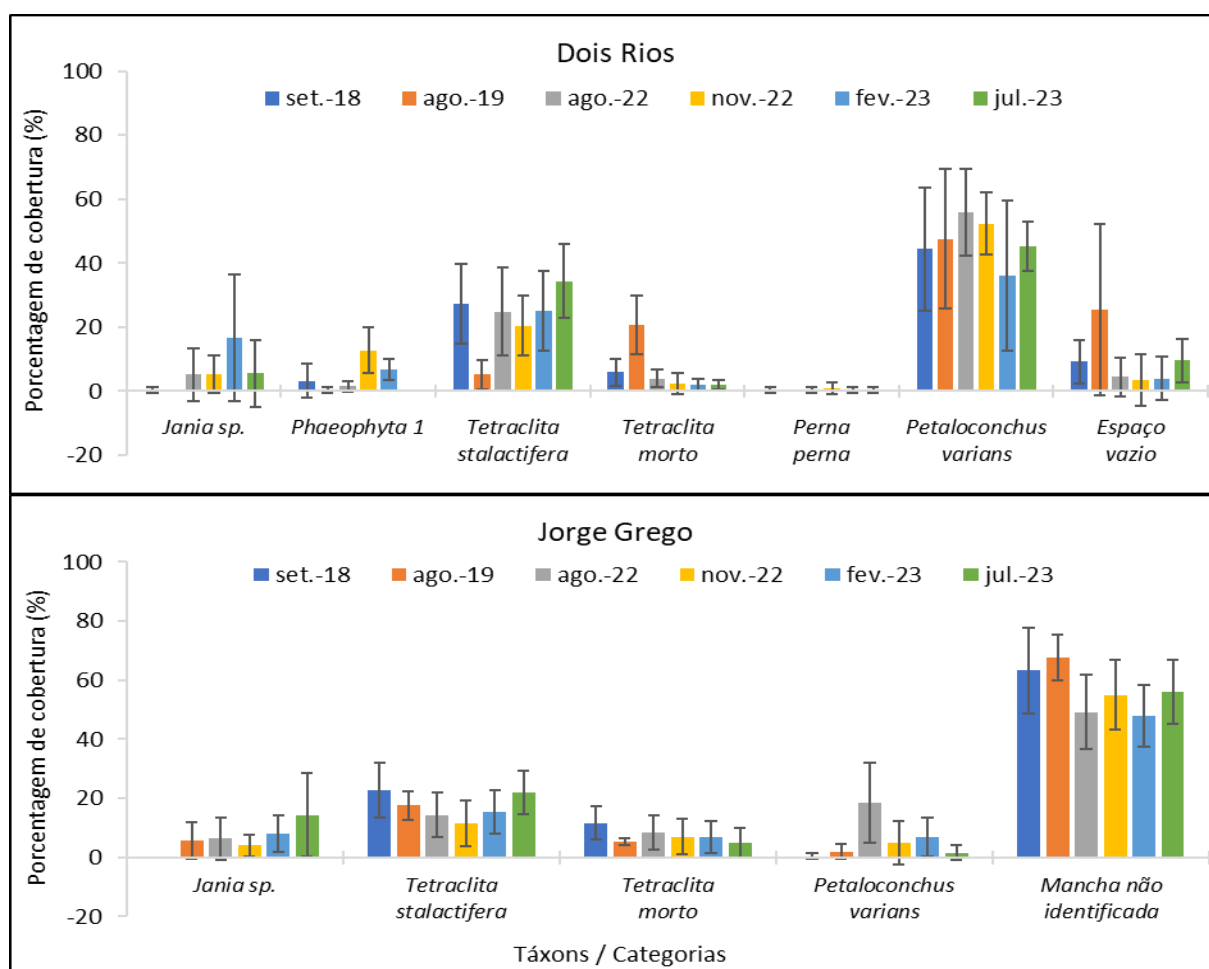
A intensa ressaca gerada por grandes ondas de tempestade que ocorreu em agosto de 2019, causou efeitos também na faixa de *Tetraclita*. O costão de Dois Rios apresentou maior cobertura de *Tetraclita* vivos do que no costão de Jorge Grego, com exceção do mês de agosto de 2019, onde a cobertura de vivos foi menor e a mortalidade foi maior em Dois Rios. A maior cobertura de *Tetraclita* vivos foi identificada em setembro de 2018 e julho de 2023, em ambas as localidades. A disponibilidade de substrato livre (espaço vazio) em Dois Rios foi maior exatamente no mês de agosto de 2019. Contudo, assim como observado para a faixa de *Chthamalus*, os resultados mostram que logo em seguida, a porcentagem de substrato livre

começa a diminuir em Dois Rios, dando indícios de estar sendo colonizado e após cerca de 5 anos, praticamente retorna aos níveis pré-ressaca de agosto de 2019 (Figura 21).

Além disso, a cobertura de *Petalocochus* em Dois Rios apresentou maior porcentagem durante todo o período, com maior pico em agosto de 2022. Em Jorge Grego o mesmo não foi observado, no entanto, houve também um maior pico de cobertura em agosto de 2022.

Em Jorge Grego foi observado grande cobertura do que chamamos de “mancha não identificada”, que poderia ser um biofilme ou mesmo uma mancha de óleo que infelizmente precisaria de melhores análises e não foi possível identificar neste trabalho. Tendo maior cobertura em agosto de 2019, diminuiu nos anos subsequentes e apresentou novamente um pico mais alto em novembro de 2022 e julho de 2023.

Figura 21 - Porcentagem de cobertura e desvio padrão dos táxons/categorias presentes na faixa de *Tetracilita stalactifera* na enseada de Dois Rios e de Jorge Grego

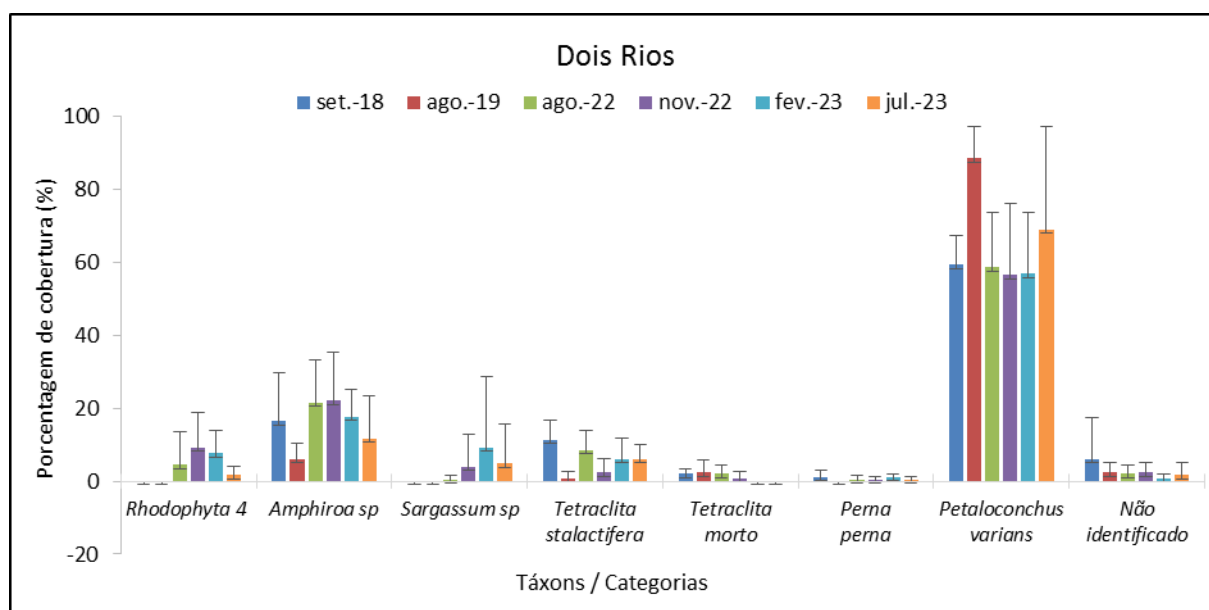


Fonte: A autora, 2023.

2.5.3.3 Faixa de *Petalococonchus varians*

A faixa de *Petalococonchus* no costão de Dois Rios também sofreu com os efeitos pós-ressaca de agosto de 2019, mas de forma oposta, apresentando a maior porcentagem de cobertura neste mês, que representou para as demais faixas maiores disponibilidade de substrato livre (espaço vazio) e maiores porcentagens de mortalidade. Este evento indica o alto potencial de *P. varians* de tolerar a ação de ondas de grande intensidade. Contudo, os resultados mostram que logo em seguida, a porcentagem de cobertura de *Petalococonchus* começa a diminuir ao longo dos anos, dando indícios de normalização das colonizações dos organismos e suas faixas de dominância, retornando praticamente aos níveis pré-ressaca de agosto de 2019 (Figura 22).

Figura 22 - Porcentagem de cobertura e desvio padrão dos táxons/categorias presentes na faixa de *Petalococonchus varians* na enseada de Dois Rios.



Fonte: A autora, 2023.

2.5.4 Escalonamento Multidimensional (MDS) e Análise de Componentes Principais (ACP)

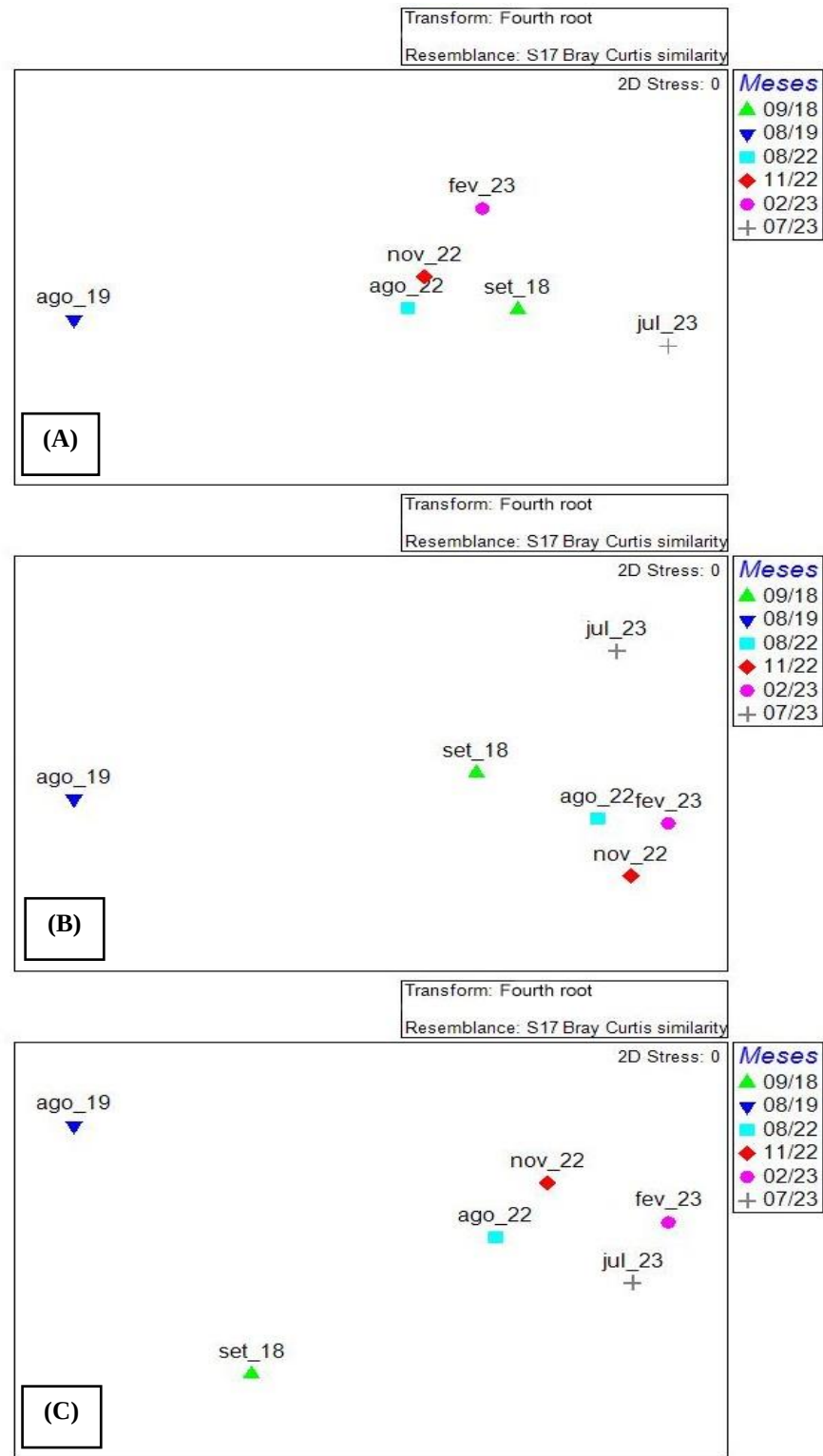
Foram realizados a partir dos dados da porcentagem de cobertura dos organismos para as faixas de dominância de *Chthamalus bisinuatus*, *Tetraclita stalactifera* e *Petalococonchus varians*, dos costões de Dois Rios (Figura 23) e de Jorge Grego (Figura 24), análises a partir

de MDS (escalonamento multidimensional) utilizando o Índice de Similaridade de Bray-Curtis, que permite observar padrões de similaridade entre as diferentes estruturas de comunidade dos costões ao longo do tempo. Foram levados em conta o mês e ano da leitura das espécies dominantes na porcentagem de cobertura.

Em Dois Rios foi observado que o período de agosto de 2019 se distanciou em similaridade dos demais períodos de amostragem para as três faixas de dominância (Figura 23), consequência de uma ressaca com grandes ondas de tempestades que levou a exclusão total dos organismos do costão, até mesmo dos organismos mortos, deixando o substrato exposto. Em Jorge Grego a mesma situação não foi observada (Figura 24) mas, no entanto, é possível observar que esta mesma ressaca produziu efeitos sobre as comunidades, com o período de agosto de 2019 se distanciando também dos outros períodos para a faixa de *Chthamalus* (Figura 24.A). Essa diferença entre os períodos ocorreu, pois havia uma grande quantidade de espaços vazios entre os organismos das faixas de dominância, fazendo com que agosto de 2019 se destacasse e agrupasse os demais períodos.

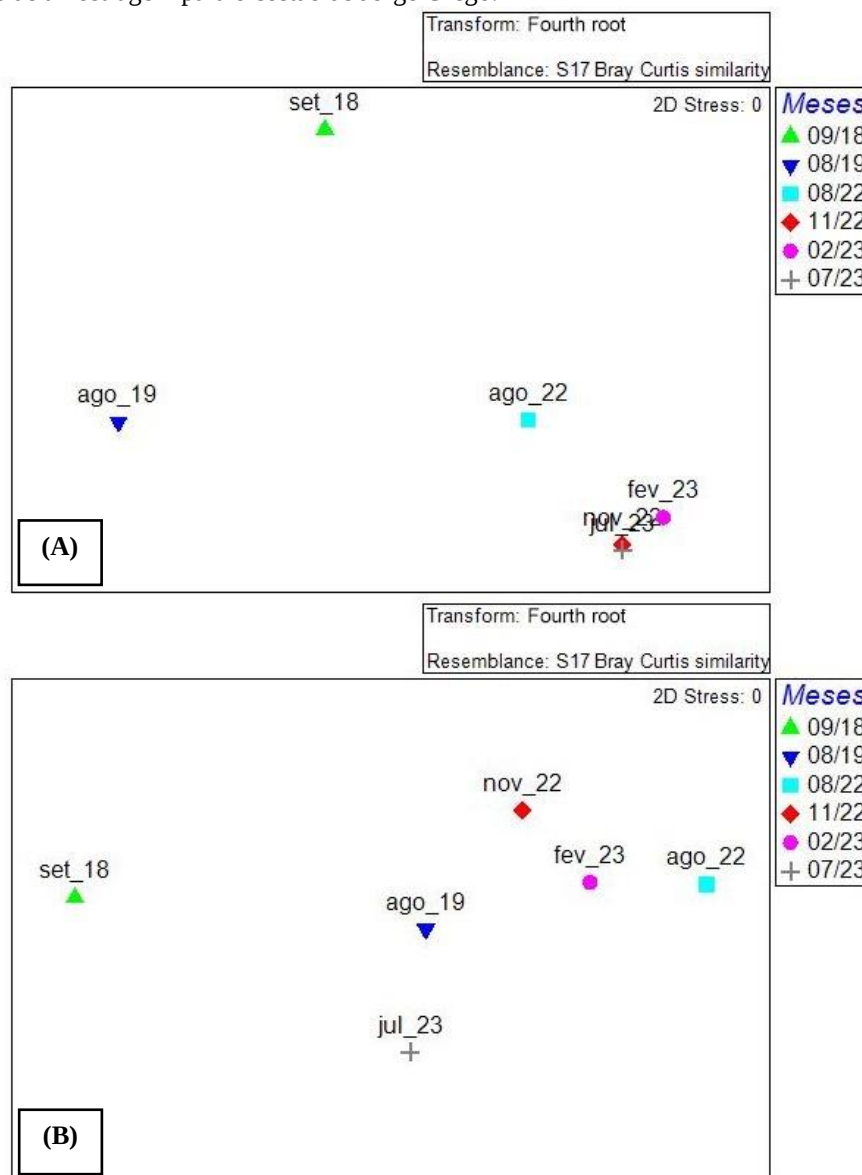
Em ambas as localidades os meses de setembro de 2018 e julho de 2023 apresentaram as maiores coberturas de *Chthamalus* e *Tetraclita*, o que explica o pequeno distanciamento destes períodos, com destaque para setembro de 2018, em relação aos outros nas faixas de dominância. Essa diferença entre os períodos ocorreu, pois havia uma quantidade maior de cobertura entre os organismos das faixas de dominância, fazendo com que setembro de 2018 e, por vezes, julho de 2023 se destaquem dos demais períodos (Figura 23 e 24).

Figura 23: MDS das faixas de dominância de *Chthamalus bisinuatus* (A), *Tetracita stalactifera* (B) e *Petalconchus varians* (C) durante os meses de amostragem para o costão de Dois Rios.



Fonte: A autora, 2023.

Figura 24: MDS das faixas de dominância de *Chthamalus bisinuatus* (A) e *Tetracrita stalactifera* (B) durante os meses de amostragem para o costão de Jorge Grego.



Fonte: A autora, 2023.

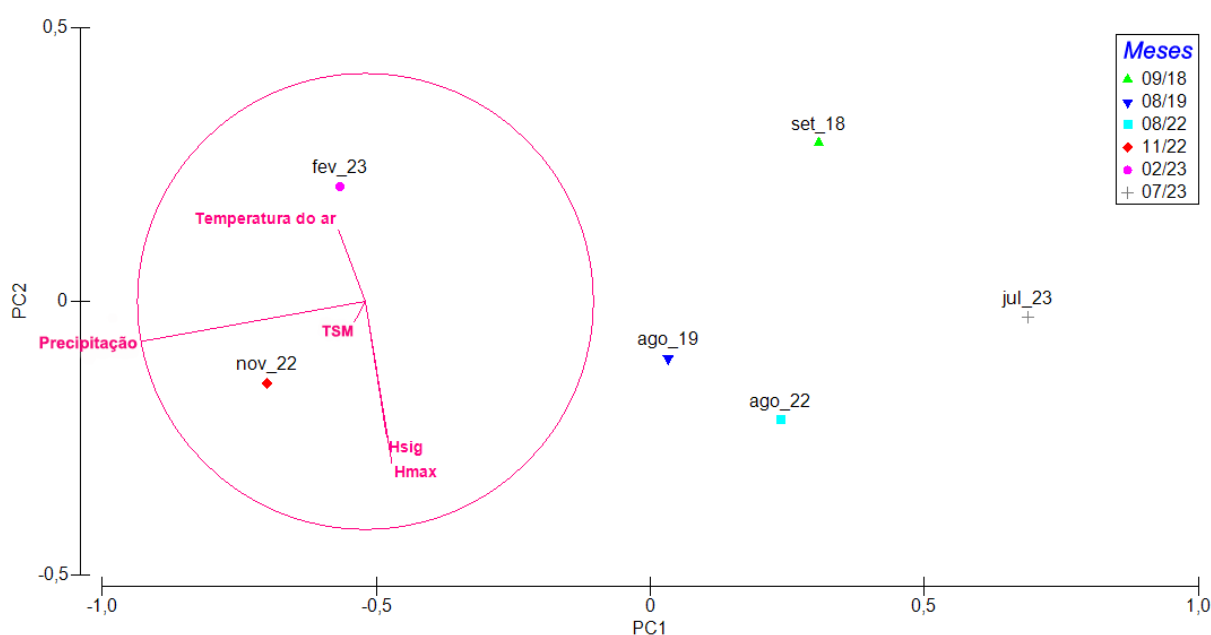
A partir dos dados de cobertura das espécies vistos anteriormente pelos MDS e acrescentando os dados das variáveis ambientais (temperatura do ar, TSM, precipitação, Hsig e Hmax) nestas correlações, foi feita a análise de componentes principais (ACP), através do programa Primer 6, a fim de mostrar as variáveis ambientais que mais influenciaram as faixas de organismos nas determinadas épocas de monitoramento dos costões estudados (Figura 25).

Os resultados da ACP indicaram que o eixo 1, representado pela altura significativa de ondas (HSig) responde por 86,9% da variação. O segundo eixo mais importante foi a altura máxima de onda (HMax) respondendo por 12,6% da variação. Os meses de inverno (agosto 2019, agosto 2022 e julho 2023) apresentaram correlação positiva entre alturas de ondas

(HMax e HSig) (Figura 25), o que demonstra a já conhecida influência da maior agitação marinha neste período e indicando a importância deste fator para comunidades do entremarés.

Nos demais meses, como fevereiro de 2023 (fev_23) foram observadas relações positivas com a temperatura do ar, e novembro de 2022 (nov_22) indicando correlação positiva com precipitação e temperatura da água (TSM) (Figura 25). Estes resultados são esperados pois correspondem ao mês mais quente do ar e o aumento da precipitação e aquecimento das águas superficiais na região. Cabe destacar que estes períodos estiveram em oposição à altura de ondas. Contudo, estas variáveis não tiveram influência detectável sobre a estrutura e desenvolvimento das comunidades.

Figura 25 - Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis ambientais em relação aos dados biológicos dos meses de amostragens dos costões rochosos estudados



Fonte: A autora, 2023.

A partir desses dados foram feitas, pelo Primer 6, análises das relações existentes entre as variáveis biológicas (porcentagem de cobertura das espécies transformada para raiz quarta) e as variáveis ambientais, a fim de visualizar o quanto estas se relacionavam. Isso foi feito usando a ferramenta *RELATE* do programa que calcula o coeficiente de correlação de Spearman entre as matrizes de similaridade ambiental calculada pelo índice de distância euclidiana e a matriz de dados biológicos calculada pelo índice de Bray Curtis.

No costão de Dois Rios foi obtido para a faixa de *Chthamalus* o coeficiente de correlação de -0,261 ($p = 81,4\%$); para faixa de *Tetraclita* o coeficiente de correlação foi de -

0,075 ($p= 58,8\%$) e para a faixa de *Petalochuchus* o coeficiente de correlação foi de -0,254 ($P= 84,1\%$). No costão rochoso de Jorge Grego, o coeficiente de correlação foi de -0,136 ($p= 67,6\%$) para a faixa de *Chthamalus* e de -0,029 ($p= 53,7\%$) na faixa de *Tetracrita*. Assim, as variáveis ambientais analisadas em ambos os costões possuem bom poder de explicação dos dados para as faixas de *Chthamalus* e *Petalochuchus*, e médio poder de explicação para as faixas de *Tetracrita*, embora as relações sejam fracas.

A análise dos dados indicou que a altura significativa das ondas (HSig) e a altura máxima das ondas (HMax) foram as principais variáveis ambientais explicativas que mais afetaram as comunidades dos costões rochosos, respondendo por 86,9% e 12,6% da variação, respectivamente. Essa dominância dos fatores relacionados à agitação marinha é coerente com os resultados de estudos anteriores que destacam a importância das variáveis físicas, como as ondas, na determinação da estrutura das comunidades entremarés (HAWKINS et al., 2008; SANDY, 2022).

As variáveis ambientais têm um poder explicativo considerável, particularmente para as faixas de *Chthamalus* e *Petalochuchus*. O coeficiente de correlação negativo para *Chthamalus* em Dois Rios (-0,261) e Jorge Grego (-0,136) sugere uma relação inversa entre a presença desses organismos e as condições de alta energia de ondas, indicando que condições de alta energia de ondas são desfavoráveis para essas espécies, corroborando os achados de Cortez (2014) sobre a sensibilidade das populações de *Chthamalus* a variações climáticas extremas na Baía da Ilha Grande. Worm e Lotze (2016) também relataram que mudanças nas condições ambientais, como aumento da variabilidade climática, podem levar a alterações significativas na composição das comunidades marinhas. No entanto, a faixa de *Tetracrita* apresentou um coeficiente de correlação menor, indicando uma menor sensibilidade às condições de ondas em comparação com outras espécies. Isso pode ser atribuído à sua posição mais protegida nos costões ou a uma maior resiliência a condições físicas extremas, conforme observado por Santos e Silva (2022) em seus estudos sobre a cobertura e diversidade de espécies marinhas. Além disso, a *Tetracrita* é resistente a efeitos do hidrodinamismo (MILANELLI, 2003), apesar dos efeitos aqui discutidos para os eventos de agosto de 2019.

Portanto, a partir dos resultados de observação e monitoramento das comunidades bentônicas do entremarés dos costões rochosos de Dois Rios e Jorge Grego pudemos estabelecer alguns dos efeitos de eventos climáticos extremos sobre a comunidade das faixas de dominância de *Chthamalus bisinuatus*, *Tetracrita stalactifera* e *Petalochuchus varians*. A delimitação, a partir dos dados ambientais com base em estações meteorológicas e boia

oceanográfica próximas a Ilha Grande, que podem ser considerados para a região como eventos extremos é de suma importância para esta e futuras avaliações regionais (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores limites do percentil 99 (P99) das variáveis ambientais para locais próximos a região da Ilha Grande, RJ e por período de amostragem, obtidas a partir das bases do INMET e do SiMCosta.

	<i>Período</i>	<i>Variáveis</i>	<i>P99</i>
<i>Angra dos Reis, RJ</i>	01/01/2018 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	62,2
		Temperatura do Ar (°C)	< 14,1 e > 34,2
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	3,3
<i>Marambaia, RJ</i>	01/01/2016 a 31/07/2023	Precipitação (mm.dia⁻¹)	53,9
		Temperatura do Ar (°C)	< 14,6 e > 35,2
		Velocidade do Vento (m.s⁻¹)	9,9
<i>Rio de Janeiro - RJ3</i>	15/07/2016 a 31/07/2023	Temperatura da Água (°C)	< 17,7 e > 29,6
		Altura Max. de Onda (m)	4,1
		Altura Sig. de Onda (m)	2,5
		Período de Onda (m.s⁻¹)	9,2

Fonte: A autora, 2023.

Destas variáveis, aquela que teve o potencial identificado de produzir respostas mais rápidas e intensas foi o efeito de ondas de tempestade, como a ocorrida em 2019 e que promoveu a remoção quase total da comunidade do costão. Este efeito já é bem conhecido e descrito na literatura e tem a capacidade de alterar significativamente a estrutura e a composição dos ecossistemas costeiros, incluindo a erosão de habitats e a mortalidade de espécies sensíveis a variações abruptas nas condições ambientais (MIESZKOWSKA et al., 2021; SONG et al., 2023).

2.6 Discussão

A acentuação da frequência e/ou intensidade das ondas de tempestades tem promovido mudanças diversas, como já relatado para a região de Rhode Island, no Atlântico Norte, em que foi observado o aumento na capacidade de adesão ao costão rochoso do bivalve *Mytilus edulis* em períodos de grandes ondas de inverno (CARRINGTON, 2002). No Brasil, alguns estudos já relataram o efeito de grandes ondas sobre a estrutura de comunidades bentônicas

levando à diminuição da dominância do bivalve *Perna perna* durante o período de verão (85% de cobertura) para apenas 5% após a ocorrência de tempestades e grandes ondas no outono-inverno, deixando espaços vazios no costão que foram colonizados por espécies oportunistas de algas (SKINNER; CAVALCANTE DA SILVA; MIRANDA, 2008). Os autores observaram a recuperação da espécie em períodos de verão. Na porção norte da Baía da Ilha Grande, a ação de ondas foi considerada como um dos fatores relevantes para modificar padrões em comunidades de algas corallinas articuladas e do coral mole *Palythoa caribaeorum*, tanto em escala local quanto regional (CARNEIRO et al., 2021). Em ambientes sedimentares do entremarés, foi constatado que após eventos de tempestades e ondas altas, ocorreram mudanças significativas na estrutura da comunidade entremarés, apresentando vulnerabilidade e falha na recuperação da comunidade (MACHADO et al., 2016) e também, diminuição na riqueza, abundância e biomassa de espécies de invertebrado, levando a mudanças na diversidade da fauna local, mas apresentando uma rápida recuperação num curto espaço de tempo após as tempestades (CORTE et al., 2017). Por outro lado, na Baía de Paranaguá, Sul do Brasil, não foram observados efeitos na riqueza, abundância e diversidade de espécies da macrofauna estuarina a curto prazo. No entanto, os autores destacam que o aumento da dispersão das espécies pode estar mais associado aos eventos de tempestades, em vez de mortalidade (NEGRELLO FILHO; LANA, 2013).

A ação de ondas de tempestades é um fator capaz de induzir mudanças mais drásticas em um curto período de tempo. No entanto, as comunidades demonstram resistência e resiliência à tempestades, como registrado por exemplo na costa do Reino Unido em que, após tempestades extremas durante o inverno 2013/2014, foram registradas mudanças físicas e biológicas nos ambientes costeiros rochosos, mas nenhum impacto significativo nas comunidades e na biodiversidade em longo prazo, embora tenham sido observados impactos e mudanças em curto prazo em algumas espécies como a remoção dos organismos do costão (MIESZKOWSKA et al., 2021). Porém as comunidades regressaram à composição anterior dentro de alguns anos (HAWKINS et al., 2008; MIESZKOWSKA et al., 2021), tal qual observado nos estudos aqui relatados anteriormente e por nós neste estudo, que apontou o período de 4 anos após o impacto de curto prazo, para recomposição da comunidade em estrutura e composição similar àquela da estrutura anterior.

Os eventos de precipitação diária acima do percentil 99, observados principalmente nos meses que antecederam as amostragens de agosto de 2019 e agosto de 2022, são consistentes com as tendências observadas em outros estudos para outras variáveis estudadas que destacam o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos devido

às mudanças climáticas. No entanto, a pluviosidade isoladamente não é indicada como um fator a exercer influência sobre as comunidades bentônicas. Ela atua em combinação com a diminuição de salinidade e o fluxo de materiais particulados em suspensão e dissolvidos na água, gerando efeitos negativos sobre a epifauna de recifes rochosos (SCWARTZ et al. 2006; PRZESLAWSKI et al., 2008). Como resposta à variação de salinidade flutuações na colonização de cracas em troncos e raízes de mangue no Panamá durante estações seca e chuvosa foram registradas (STARCZACK et al., 2011). A salinidade é conhecida por alterar diversos comportamentos e atividades fisiológicas dos invertebrados marinhos que incluem a alimentação, controle osmótico, crescimento, esforço reprodutivo e até mesmo, induzindo a liberação larval (HAUTON, 2016). Em nossos resultados, o verão de 2022 registrou os maiores valores de pluviosidade, com mais de 200 mm.dia⁻¹. No entanto, a ausência de amostragens da comunidade entre 2019 a agosto de 2022 e a ausência de dados ambientais complementares como salinidade, clorofila ou material particulado impedem uma análise mais detalhada dos possíveis impactos desta variável neste período.

A temperatura do ar acentuada durante as ondas de calor é considerada uma importante variável a produzir mudanças, por meio de mortalidade, em organismos do entremarés. Em laboratório, Hong et al. (2021) observaram que temperaturas acima de 40°C por um período de 6h de exposição seguida de 6h de imersão simulando marés semidiurnas são capazes de promover mortalidade e modificações fisiológicas em mexilhões após 66h. Para o mexilhão *Mytilus edulis*, Tsuchiya (1983) no Japão e Seureont et al. (2019) na costa francesa também reportaram mortalidade durante ondas de calor. Em 18 eventos de mortalidade em massa entre o ano de 2000 e 2013 na costa da Califórnia, ao menos um teve como fator gerador a temperatura do ar, enquanto outros 7 foram gerados por alta temperatura da água (JURGENS et al., 2015). Mortalidade de *Pisaster* foram registradas durante ondas de calor marinhas na costa do Oregon, levando a um aumento da população de cracas e mexilhões (MEUNIER; HACKER; MENGE, 2024). No nosso caso, não existem predadores tão vorazes quanto o relatado pelos autores. No Brasil os registros de mortalidade na zona entremarés devido a ondas de calor são pouco conhecidos. Uma influência negativa da temperatura máxima do ar até 60 dias antes das amostragens para a densidade da craca *Amphibalanus amphitrite* foi indicada (PUGA et al., 2019). Skinner, em comunicação pessoal, relata uma mortalidade do mexilhão *Perna perna*, ocorrida em Arraial do Cabo, em 2006 durante uma maré baixa e uma combinação de alta umidade do ar e temperaturas elevadas. Mortalidade em massa foi relatado para o ouriço *Lytechinus variegatus* (JUNQUEIRA et al., 1997). Estes autores associam os eventos de mortalidade em massa a

ocorrência de marés extremamente baixas diurnas e destacam o papel do recrutamento e colonização na recuperação da população.

As oscilações sazonais de temperatura da água e as ondas de calor marinhas são igualmente importantes na estrutura de comunidades do entremarés, pois afetam desde as larvas na coluna d'água até os adultos no substrato. Da mesma forma que para a pluviosidade, a ausência de amostragens após setembro de 2019 até agosto de 2022, período que incluiu diversas ondas de calor, impede análises mais detalhadas de possíveis efeitos desta variável sobre baixa no recrutamento ou alta na mortalidade dos organismos das comunidades estudadas.

As ondas de calor marinha e o aumento da TSM são eventos cada vez mais frequentes em todos os oceanos, com efeitos bem conhecidos como branqueamento de corais (MAIDA, 2006; LEÃO et al. 2008, 2010; FERREIRA; FORDYCE et al., 2019; PELOSI et al., 2021) e fluorescência de algas (MARSH et al., 2023). Foram observados aumentos de TSM entre 1970 e 2010 a uma taxa de cerca de 0,1 °C por década desde meados do século (FRÖLICHER, 2019). Além disso, a análise de medições diárias de TSM realizadas por satélites entre 1982 e 2016, revelou que o número de dias de ondas de calor marinhas, que excedem o percentil 99 (1%), dobrou globalmente desde 1982 (FRÖLICHER, 2019). O aumento da temperatura da água na Baía da Ilha Grande tem ocorrido em eventos de ondas de calor, cada vez mais intensas e frequentes (SKINNER, 2022; CARNEIRO et al., 2024), com efeitos sobre diversas espécies de comunidades bentônicas. Carneiro et al. (2024) observaram entre o período de 1992 a 2022, uma tendência de aumentos de valores médios TSM ao longo do tempo atingindo gradativamente até cerca de 32,5°C em épocas de verão, identificado pelos autores como um fator importante que impulsiona o declínio da abundância de *Sargassum*. Skinner (2022) também obteve para a região valores crescentes de TSM em um período de 2014 a 2021. A temperatura média na Baía da Ilha Grande foi superior em relação à da costa do Rio de Janeiro no período de 2012-2019, sendo um fator importante na detecção de espécies invasoras de ascídias (BARBOZA; SKINNER, 2021). O aumento da TSM e da precipitação registrados na Baía da Ilha Grande em 2019, promoveu eventos de mortalidade em massa de esponjas marinhas (FORTUNATO et al., 2022). Em nossos resultados, durante a maior parte do período de estudo, os dados de TSM apresentaram valores dentro do intervalo de confiança de 99% nos períodos que antecederam as datas das amostragens, não ultrapassando os valores percentis menores e maiores. Esta estabilidade pode indicar uma resiliência temporária dos ecossistemas marinhos às mudanças climáticas, conforme observado por Sandy (2022) em seus estudos de monitoramento de longo prazo das comunidades bentônicas do médiolitoral.

Contudo, é importante destacar que a estabilidade temporária não implica na ausência de impactos a longo prazo, como sugerido por estudos de Ciotti et al. (1995), que demonstram a influência da convergência subtropical na biomassa de fitoplâncton na plataforma continental sul-brasileira, indicando potenciais mudanças na produtividade marinha.

Cortez (2014) descreveu sobre a relação entre a distribuição das populações de *Chthamalus* spp. e as variáveis climáticas na Baía da Ilha Grande, onde eventos extremos influenciaram diretamente a estrutura das comunidades. No entanto, os mesmos efeitos não foram observados de forma tão extrema no costão de Jorge Grego. As respostas dos organismos aos eventos extremos dependem do contexto costeiro, com a mesma espécie respondendo de forma diferente em diferentes localidades (HAWKINS et al., 2020). Efeitos específicos para determinada localidade mostram como é difícil prever com acurácia os futuros impactos para as comunidades do médiolitoral (VASSEUR et al., 2014).

A recuperação das faixas de *Chthamalus* e *Tetraclita* está de acordo com a teoria de que comunidades entremarés podem experimentar recuperação após distúrbios gerados por eventos extremos, dependendo da intensidade e duração desses eventos (SANZ-LAZARO, 2019; MIESZKOWSKA et al., 2021). Por outro lado, a recuperação após danos causados por tempestades pode variar dependendo da resiliência das espécies dominantes e das condições ambientais subsequentes (HAWKINS et al., 2020). No costão de Dois Rios houve uma lenta recuperação, levando cerca de 4 anos até o costão apresentar cobertura das espécies dominantes próximas aos níveis pré-ressaca de agosto de 2019.

A resiliência de espécies chave, que podem se recuperar rapidamente após eventos de distúrbios, em contraste com espécies mais efêmeras apontam para um aspecto importante ao considerar a recuperação dos ecossistemas costeiros (MIESZKOWSKA et al., 2021), como observado nos costões da Baía da Ilha Grande. A comparação com os dados apresentados sugere que as variações na altura das ondas e a intensidade das tempestades em diferentes períodos podem influenciar a composição e a estrutura das comunidades biológicas. Essas comparações demonstram que, apesar das variações geográficas e temporais, os ecossistemas costeiros são amplamente afetados pela combinação de fatores climáticos e antropogênicos, como atividades humanas intensas que comprometem a resiliência dos ecossistemas costeiros e prolongam o tempo de recuperação após eventos extremos (MIESZKOWSKA et al., 2021). A interação entre esses fatores é crítica para entender e mitigar os impactos a longo prazo nos ambientes costeiros (MIESZKOWSKA et al., 2021; SONG et al., 2023). Isso é especialmente relevante no contexto da Baía da Ilha Grande, onde o turismo e outras atividades econômicas podem amplificar os efeitos dos eventos climáticos extremos.

A falta de dados de longo prazo dificulta a compreensão completa dos impactos desses eventos (HARRIS et al., 2011) e inclusive este foi um dos motivadores do estabelecimento dos protocolos da ReBentos (COUTINHO et al., 2016).

Cenários de Mudanças na Estrutura de Comunidades Relacionado às Mudanças Climáticas

Algumas espécies se beneficiarão dos impactos das mudanças climáticas enquanto outras estarão em perigo (POLOCZANSKA et al., 2008; IPCC, 2022). A presença contínua de *Petalochonchus* em Dois Rios durante todo o período de amostragem, em contraste com sua presença limitada em Jorge Grego, ressalta a diferença nas respostas ecológicas das comunidades entre os dois locais. A ressaca de agosto de 2019 teve efeitos significativos nos costões, especialmente em Dois Rios, onde a orientação SE expôs o local diretamente às ondas, resultando em uma quase total ausência de cobertura e consequentemente diminuição na largura das faixas para *Chthamalus* e *Tetraclita*. Por outro lado, *Petalochonchus* manteve uma maior cobertura, e mesmo que pouco, apresentou aumento da faixa, o que sugere uma maior resistência da espécie a eventos extremos como ondas de tempestade. Este resultado corrobora outros estudos como Breves et al. (2016; 2017), que determinaram que a espécie é altamente tolerante a eventos extremos, como a exposição a ondas, que não pareceu ser um fator limitante. Os mexilhões, por exemplo, assim como as cracas são importantes componentes da comunidade entremarés, e estão sujeitos às mesmas condições ambientais, mas, no entanto, respondem de formas diferentes a elas, como para TSM observado para a região de Cabo Frio, RJ (MAZZUCO, 2015).

Alguns estudos apontam que recifes de *Petalochonchus* estão se tornando dominantes na região entremarés de costões rochosos na Baía da Ilha Grande (BREVES et al. 2010; DIAS et al. 2011; BREVES et al., 2017), assim como vimos neste estudo, onde foi possível observar a presença da espécie em boa quantidade nas faixas de dominância de outras espécies e ainda mostrando um aumento de abundância nas faixas onde os organismos foram totalmente retirados em agosto de 2019. A espécie apresenta como uma de suas características a ocorrência em costões batidos. A ação de ondas e temperatura da água são fatores importantes no desenvolvimento de *Petalochonchus*, determinando a distribuição e o desenvolvimento de suas populações nas regiões entremarés (MAZZUCO, 2015; BREVES et al., 2022). Além disso, a espécie é adaptada a águas mais quentes (BREVES et al., 2016). *Petalochonchus* foram observados em locais próximos a descarga de efluentes da Usina Nuclear Angra 1, na

Baía da Ilha Grande, onde a temperatura da água pode atingir 36°C (TEIXEIRA; NEVES; ARAÚJO, 2009; BREVES et al., 2016; BREVES et al., 2017). Em nosso estudo, não tivemos TSM com valores tão altos próximo aos períodos de amostragens que pudessem causar efeitos significativos em *Petalochonchus*, principalmente no mês de agosto de 2019 que mais afetou os costões. No entanto, dados de TSM para a região indicam um aumento gradual nas temperaturas (SKINNER, 2022), que poderiam causar efeitos ao longo do tempo para a espécie. Mudanças na distribuição dos vermetídeos associado à TSM foram observadas, em Cabo Frio, RJ onde há presença de ressurgência, a espécie não forma recifes e em Angra do Reis, RJ a espécie forma recifes contínuos (DIAS et al., 2011). No canal de uma usina de energia na Planta Centro em Puerto Cabello, Venezuela, uma grande concentração de *Petalochonchus* é encontrada na região entremarés, onde há um fluxo contínuo de água quente originada do resfriamento da usina (WEINBERGER; MILOSLAVICH; MACHORDOM, 2010). Estudos sugerem que *Petalochonchus* tem sido um importante bioindicador de mudanças na temperatura da superfície do mar ao longo do tempo (BREVES et al., 2017). Essa característica reforça a sensibilidade da espécie às condições térmicas, o que pode influenciar sua distribuição e abundância em resposta às mudanças climáticas. Em nosso estudo a presença e a distribuição de *Petalochonchus* estão fortemente influenciadas positivamente por condições de temperatura da água mais quentes e exibindo alta tolerância a extremos de ação de ondas, cujo maior efeito foi observado nos costões. Com o passar dos períodos de amostragem, após a retirada dos organismos do costão em agosto de 2019, é visível a tendência de recuperação gradual dos organismos e a normalização das suas faixas de dominância. Esse processo de recuperação foi observado por Sandy (2022) para o costão da praia do Engenho no Parque Estadual da Ilha da Anchieta, SP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados neste estudo sobre os efeitos de eventos climáticos extremos em costões rochosos no sudoeste do Atlântico apresentam importantes implicações para a compreensão das dinâmicas ecológicas e a resiliência dos ecossistemas marinhos. Temos fortes indicações de que eventos climáticos extremos têm implicações significativas para os ecossistemas de costões rochosos. Esses eventos, caracterizados principalmente por ação de ondas e variações de temperaturas, são consistentes com tendências globais de aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como tempestades severas, que têm sido registrados em diversas regiões do mundo.

A comparação com os dados apresentados sugere que as variações na altura das ondas e a intensidade das tempestades em diferentes períodos podem influenciar a composição e a estrutura das comunidades biológicas do entremarés nos costões rochosos do sudoeste do Atlântico.

A resiliência de espécies chave, como *Chthamalus*, *Tetraclita* e *Petaloconchus*, que puderam se recuperar após eventos extremos de ondas e temperatura, apontam para um aspecto importante ao considerar a recuperação dos ecossistemas costeiros, como observado nos costões da Baía da Ilha Grande. Essas informações são úteis para entender como *Petaloconchus*, por exemplo, pode responder a alterações futuras no clima, especialmente em relação ao aumento da temperatura marinha, e destacam a importância de monitorar essas espécies como indicador de mudanças ambientais.

A variabilidade interanual nas condições de ondas e temperatura, juntamente com as respostas biológicas observadas, enfatiza a necessidade de um monitoramento contínuo para compreender as consequências das mudanças climáticas, podendo assim antecipar os efeitos na composição das comunidades e a desenvolver estratégias de conservação eficazes para proteger a biodiversidade marinha e manter a funcionalidade dos ecossistemas costeiros no sudoeste do Atlântico.

Nesse estudo, ocorreu uma janela de falta de dados entre os anos de 2019 até 2023 quando ocorreram eventos extremos (ressacas, ondas de calor marinha e atmosférica e grandes chuvas) na costa sudeste do Brasil e para a região da Baía da Ilha Grande, segundo o levantamento de dados meteorológicos e oceanográficos. Esta falta de dados corresponde ao período da pandemia da COVID-19 e às chuvas que causaram deslizamentos de terra na

região de monitoramento que acabaram por impedir as idas a campo e coletas de dados ambientais.

Desta forma ressaltamos, assim como outros estudos também reforçam (COUTINHO et al. 2016; SANDY, 2022), a necessidade de implementação de mais estações de monitoramento de costões rochosos na costa do Brasil.

Ressaltamos ainda, a partir dos resultados obtidos neste estudo e com base na literatura utilizada, a necessidade de mais trabalhos relacionados a efeitos de eventos extremos e mudanças climáticas em monitoramentos de longo prazo de comunidades de organismos de costões rochosos na costa sudeste do Brasil e sudoeste do Atlântico e região da Baía da Ilha Grande, RJ. Visto a escassez de estudos sobre a região mediolitoral de costões rochosos brasileiros, especialmente na região da Baía da Ilha Grande.

REFERÊNCIAS

- ALCOCK, R. *The effects of climate change on rocky shore communities in the Bay of Biscay*. 2003. Doctoral Thesis - University of Southampton. Disponível em: <https://eprints.soton.ac.uk/465360/>
- ALPERT, P.; BEN-GAI, T.; BAHARAD, A.; BENJAMINI, Y.; YEKUTIELI, D.; COLACINO, M.; DIODATO, L.; RAMIS, C.; HOMAR, V.; ROMERO, R.; MICHAELIDES, S.; MANES, A. *The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values*. *Geophysical Research Letters*, v. 29, n. 11, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2001GL013554>.
- BAKKER, J. D. *Applied Multivariate Statistics in R*. Seattle, WA: University of Washington, 2024.
- BARBOZA, D.; SKINNER, L. *The spread of the introduced ascidians Ciona robusta Hoshino & Tokioka, 1967 and Rhodosoma turcicum (Savigny, 1816) in the southwestern Atlantic*. *Ocean and Coastal Research*, v. 69, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2675-2824069.20-303dfb>.
- BARRETT, N. J.; HARPER, E. M.; LAST, K. S.; REINARDY, H. C.; PECK, L. S. *Behavioural and physiological impacts of low salinity on the sea urchin Echinus esculentus*. *J. Exp. Biol.*, v. 227, n. 2, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1242/jeb.246707>.
- BARRY, J. P.; BAXTER, C. H.; SAGARIN, R. D.; GILMAN, S. E. *Climate-related, long-term faunal changes in a California rocky intertidal community*. *Science*, v. 267, n. 5198, p. 672-675, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.267.5198.672>.
- BERCHEZ, F.; OLIVEIRA, E. C. DE; AMÂNCIO, C. E.; GHILARDI, N. P. *Possíveis impactos das mudanças climáticas globais nas comunidades de organismos marinhos bentônicos da costa brasileira*. In: *Biologia e mudanças climáticas no Brasil*. São Carlos: RiMa, 2008.
- BIRCHENOUGH, S. N. R.; DEGRAER, S.; REISS, H.; BORJA, A.; BRAECKMAN, U.; CRAEYMEERSCH, J.; DE MESEL, I.; KERCKHOF, F.; KRÖNCKE, I.; MIESZKOWSKA, N.; PARRA, S.; RABAUT, M.; SCHRÖDER, A.; VAN COLEN, C.; VAN HOEY, G.; VINCX, M.; WÄTJEN, K. *Responses of marine benthos to climate change*. In: REID, P. C. et al. (Ed.), *ICES status report on climate change in the North Atlantic*. ICES Cooperative Research Report, Copenhagen, 310, pp. 123-146, 2011.
- BRANCH, G. M. *Rocky Shores*. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, pp. 2427–2434, 2001. <https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0086>
- BREVES, A.; JUNQUEIRA, A. O. R.; LAVRADO, H. P.; SILVA, S. H. G.; FERREIRA-SILVA, M. A. G. *Population structure of the invasive bivalve Isognomon bicolor on rocky shores of Rio de Janeiro State (Brazil)*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 90, n. 3, pp. 453-459, 2010. <https://doi.org/10.1017/S0025315409990919>
- BREVES, A.; MORAES, F. C.; PIMENTA, A. D.; JUNQUEIRA, A. O. R. *A unique subtidal vermetid reef formation in a nuclear power plant discharge area at Ilha Grande Bay*

(southwestern Atlantic Ocean). *Marine Biodiversity Records*, v. 9, Artigo: 65, 2016. <https://doi.org/10.1186/s41200-016-0070-1>.

BREVES, A.; SZÉCHY, M. T. M. DE; LAVRADO, H. P.; JUNQUEIRA, A. O. R. *Abundance of the reef-building Petaloconchus varians (Gastropoda: Vermetidae) on intertidal rocky shores at Ilha Grande Bay, southeastern Brazil*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 89, n. 2, pp. 907–918, 2017. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160433>

BREVES, A.; PAULA, T. S. DE; SPOTORNO, P.; FERNANDES, M. R.; LÔBO-HAJDU, G.; PIMENTA, A. D. *Living in solitude or building reefs: ecophenotypic variation of the vermetid Petaloconchus varians revealed by mitochondrial DNA analysis*. *Journal of Molluscan Studies*, v. 88, n. 4, 2022. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyac030>.

BURROWS, M. T.; SCHOEMAN, D. S.; BUCKLEY, L. B.; MOORE, P.; POLOCZANSKA, E. S.; BRANDER, K. M.; BROWN, C.; BRUNO, J. F.; DUARTE, C. M.; HALPERN, B. S.; HOLDING, J.; KAPPEL, C. V.; KIESSLING, W.; O'CONNOR, M. I.; PANDOLFI, J. M.; PARMESAN, C.; SCHWING, F. B.; SYDEMAN, W. J.; RICHARDSON, A. J. *The Pace of Shifting Climate in Marine and Terrestrial Ecosystems*. *Science*, 334, pp. 652–655, 2011. <http://doi.org/10.1126/science.1210288>

CARNEIRO, I. M.; BERTOCCI, I.; PAIVA, P.; SZÉCHY, M. T. *Natural and anthropogenic factors as possible drivers of variability in rocky shore assemblages at multiple spatial scales*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 262, 107577, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107577>.

CARNEIRO, I. M.; SZÉCHY, M. T. M.; BERTOCCI, I.; PAIVA, P. C. *Impact of a nuclear power station effluent on marine forests: A case study in SE Brazil and insights for global warming scenarios*. *Environ Pollut.*, 344, 123323, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123323>

CARRINGTON, E. *Seasonal variation in the attachment strength of blue mussels: Causes and consequences*. *Limnology and Oceanography*, 47(6), pp. 1723–1733, 2002. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.6.1723>.

CARVALHO, B. C.; DALBOSCO, A. L. P.; GUERRA, J. V. *Shoreline position change and the relationship to annual and interannual meteo-oceanographic conditions in Southeastern Brazil*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235, 106582, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106582>.

CARVALHO, B. C.; LINS-DE-BARROS, F. M.; SILVA, P. L.; PENA, J. N.; GUERRA, J. V. *Morphological variability of Sandy beaches due to variable oceanographic conditions: a study case of oceanic beaches of Rio de Janeiro city (Brazil)*. *Journal of Coastal Conservation*, 25, 28, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/s11852-021-00821-8>.

CARVALHO, B. C.; GUERRA, J. V. *Estudo das mudanças na linha de costa e vulnerabilidade costeira associada no litoral sul do Rio de Janeiro (SE, Brasil)*. *Revista Cartográfica*, 107, pp. 11-34, 2023. <http://dx.doi.org/10.35424/rcarto.i1070.2421>.

CASTRO, P.; HUBER, M. E. *Marine Biology*. 4. ed.. The McGraw-Hill Companies, 2003. ISBN 0070294216, 9780070294219.

CHATGPT. Resposta gerada pelo modelo de linguagem GPT-4. 2024. Disponível em: <https://www.openai.com>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CIOTTI, Á. M.; ODEBRECHT, C.; FILLMANN, G.; MOLLER JR., O. O. *Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf*. 15(14), pp. 1737–1756, 1995. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(94\)00091-Z](https://doi.org/10.1016/0278-4343(94)00091-Z)

CHAGAS, V. B. P.; CHAFFE, P. L. B.; BLÖSCHL, G. *Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle*. *Nat. Commun.*, 13, 5136, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32580-x>.

CHELTON, D.; HUSSEY, K.; PARKE, M. *Global satellite measurements of water vapour, wind speed and wave height*. *Nature*, 294, pp. 529-532, 1981. <https://doi.org/10.1038/294529a0>.

CHAN, B. K. K.; MORRITT, D.; WILLIAMS, G. A. *The effect of salinity and recruitment on the distribution of Tetraclita squamosa and Tetraclita japonica (Cirripedia; Balanomorpha) in Hong Kong*. *Mar. Biol.*, v. 138, n. 5, pp. 999-1009, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s002270000531>.

CHAPPUIS, E.; TERRADAS, M.; CEFALÌ, M. E.; MARIANI, S.; BALLESTEROS, E. *Vertical zonation is the main distribution pattern of littoral assemblages on rocky shores at a regional scale*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 147, pp. 113-122, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.05.031>.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)*. PRIMER-E, Plymouth, 2006.

COLI, A. B.; MATA, M. M. *Caracterização das Alturas de Onda no Atlântico Sul Ocidental Através da Altimetria Topex/Poseidon*. In: *ANAIS DO VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*. INPE. Salvador, BA, Brasil, pp. 755-760, 1996.

CONNELL, J. H. *The Influence of Interspecific Competition and Other Factors on the Distribution of the Barnacle Chthamalus stellatus*. *Ecology*, 42, 4, pp. 710-723, 1961. <https://doi.org/10.2307/1933500>.

CORTE, G. N.; SCHLACHER, T. A.; CHECON, H. H.; BARBOZA, C. A. M.; SIEGLE, E.; COLEMAN, R. A.; AMARAL, A. C. Z. *Storm effects on intertidal invertebrates: increased beta diversity of few individuals and species*. *PeerJ*, 5, e3360, 2017. <https://doi.org/10.7717/peerj.3360>.

CORTEZ, P. S. *Populações de Chthamalus spp. em costões rochosos da baía da ilha Grande (RJ) e suas relações com o clima entre 2002 e 2012*. 108 p. Dissertação (Mestrado em Caracterização, Diagnóstico e Evolução de Ambientes Marinhos) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/13891>.

COUTINHO, R. *Avaliação crítica das causas da zonação dos organismos bentônicos em costões rochosos*. *Oecologia Brasiliensis*, 1, pp. 259-271, 1995.

COUTINHO, R.; ZALMON, I. R. *O Bentos de costões rochosos*. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Eds.), *Biologia Marinha. Interciência*, Rio de Janeiro, 2009.

COUTINHO, R.; YAGINUMA, L.; SIVIERO, F.; SANTO, J.; LÓPEZ, M.; CHRISTOFOLETTI, R.; BERCEZ, F.; GHILARDI-LOPEZ, N.; FERREIRA, E.; GONÇALVES, J.; MASI, B.; CORREIA, M.; SOVIERZOSKI, H.; SKINNER, L. F.; ZALMON, I. *Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges. Brazilian Journal of Oceanography*, 64(sp2), 27-36, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920161015064sp2>.

CREED, J. C.; PIRES, D. O.; FIGUEIREDO, M. A. DE O. (orgs). *Biodiversidade marinha da Baía da Ilha Grande*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA / SBF, Centro de Informação e Documentação Luís Eduardo Magalhães – CID Ambiental, 417p., 2007. ISBN 85-7738-035-1.

DAŃKO, A.; SCHAIBLE, R.; DAŃKO, M. J. *Salinity Effects on Survival and Reproduction of Hydrozoan Eleuthera dichotoma. Estuaries and Coasts*, 43, pp. 360–374, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00675-2>.

DASH, S. K.; MAMGAIN, A. *Changes in the Frequency of Different Categories of Temperature Extremes in India. Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(9), pp. 1842-1858, 2011. <https://doi.org/10.1175/2011JAMC2687.1>.

DAYTON, P. K. *Competition, disturbance, and community organization: The provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. Ecological Monographs*, v. 41, n. 4, p. 351-389, 1971. <https://doi.org/10.2307/1948498>

DE OLIVEIRA, M. M. F.; EBECKEN, N. F. F.; DE OLIVEIRA, J. L. F.; GILLELAND, E. *Generalized extreme wind speed distributions in South America over the Atlantic Ocean region. Theoretical and Applied Climatology*, 104, pp. 377–385, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0350-3>.

DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. *Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Meteorologia*, 24, 1, pp. 24-38, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000100003>.

DERECZYNSKI, C. P.; MENEZES, W. F. *Meteorologia da Bacia de Campos*. In: MARTINS, R. P.; GROSSMANN-MATHESON, G.S. (Eds.), *Meteorologia e Oceanografia*. Elsevier, Rio de Janeiro, pp. 1–54, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-85-352-6208-7.50008-8>.

DIAS, F. F.; BREVES-RAMOS, A.; PIMENTA, A. D.; JUNQUEIRA, A. O. R.; SEOANE, J. C. S.; CASTRO, J. W. A.; RAMOS, R. R. C. *Ocorrência de agregados de vermetídeos vivos e fósseis em costões rochosos no Atlântico Sul*. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO – ABEQUA, Anais, v.1, pp. 202-207, 2011.

DOMÍNGUEZ, R.; OLABARRIA, C.; WOODIN, S. A.; WETHEY, D. S.; PETEIRO, L. G.; MACHO, G.; VÁZQUEZ, E. *Contrasting responsiveness of four ecologically and economically important bivalves to simulated heat waves. Marine Environmental Research*, 164, 105229, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105229>.

ESPINOSA, L. A.; PORTELA, M. M.; MATOS, J. P.; GHARBIA, S. *Climate Change Trends in a European Coastal Metropolitan Area: Rainfall, Temperature, and Extreme*

Events (1864–2021). *Atmosphere*, 13(12), 1995, 2022.
<https://doi.org/10.3390/atmos13121995>.

FARIAS, H. S.; ALVES, G. F. S. *Caracterização espacial e temporal da precipitação na costa verde fluminense - 2001 a 2016*. *Geo UERJ*, (34), e40955, 2019.
<https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40955>.

FERREIRA, C. E. L.; GONÇALVES, J. E. A.; COUTINHO, R. *Community structure of fish and habitat complexity on a tropical rocky shore*. *Environmental Biology of Fishes*, v. 61, pp. 353-369, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1011609617330>.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. *Monitoramento dos recifes de coral do Brasil*. Brasília, DF: Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2006. ISBN 85-87166-86-7.

FINDLAY, H. S.; BURROWS, M. T.; KENDALL, M. A.; SPICER, J. I.; WIDDICOMBE, S. *Can ocean acidification affect population dynamics of the barnacle *Semibalanus balanoides* at its southern range edge?* *Ecology*, 91(10), pp. 2931-2940, 2010. <https://doi.org/10.1890/09-1987.1>.

FORDYCE, A. J.; AINSWORTH, T. D.; HERON, S. F.; LEGGAT, W. *Marine heatwave hotspots in coral reef environments: physical drivers, ecophysiological outcomes and impact upon structural complexity*. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, pp. 1-17, 2019.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00498>

FORTUNATO, H.; SILVA, A. G.; TEIXEIRA, R.; CARVALHO, B.; FLEURY, B. *Abnormal average increase in sea surface temperature may promote the first documented mortality event of a marine sponge in the Southeastern Brazil*. *Biota Neotropica*, 22(3), e20211298, 2022. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1298>.

FOSTER, B. A. *Tolerance of high temperatures by some intertidal barnacles*. *Marine Biology*, v. 4, n.4, pp. 326-332, 1969. <https://doi.org/10.1007/BF00350361>

FRÖLICHER, T. L. *Extreme climatic events in the ocean*. In: CISNEROS-MONTEMAYOR, A. M.; CHEUNG, W. W.L.; OTA, Y. (eds), *Predicting Future Oceans*. Elsevier, pp. 53–60, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817945-1.00005-8>

GAYMER, C.; PALMA, A.; VEGA, J. M. A.; MONACO, C.; HENRIQUEZ, L. *Effects of La Niña on recruitment and abundance of juveniles and adults of benthic community-structuring species in northern Chile*. *Marine and Freshwater Research*, 61, pp. 1185-1196, 2010. <https://doi.org/10.1071/MF09268>.

GODOI, V. A.; CALADO, L.; WATANABE, W. B.; YAGUNA, L. E.; BASTOS, M. *Evento extremo de ondas na Baía da Ilha Grande: um estudo de caso*. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, pp. 27 – 44, 2011. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/2177-4560.20110014>.

GOMES, L. E. O.; BERNARDINO, A. F. *Drought effects on tropical estuarine benthic assemblages in Eastern Brazil*. *Science of The Total Environment*, 703, 135490, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135490>.

GOMES, L. E. O.; SILVA, E. C. *Drought periods driving bioinvasion on hard substrates at a tropical estuary, Eastern Brazil. Marine Pollution Bulletin*, 160, 111563, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111563>.

HAN, H.; XIAO, R.; GAO, G.; YIN, B.; LIANG, S.; LV, X. *Influence of a heavy rainfall event on nutrients and phytoplankton dynamics in a well-mixed semi-enclosed bay. Journal of Hydrology*, 617, 128932, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128932>.

HARLEY, C. D. G.; HUGHES, A. R.; HULTGREN, K. M.; MINER, B. G.; SORTE, C. J. B.; THORNBUR, C. S.; RODRIGUEZ, L. F.; TOMANEK, L.; WILLIAMS, S. L. *The impacts of climate change in coastal marine systems. Ecology Letters*, 9, pp. 228-241, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x>.

HARLEY, C. D. *Climate change, keystone predation, and biodiversity loss. Science*, v. 334, 6059, pp. 1124-1127, 2011. <https://doi.org/10.1126/science.1210199>.

HARRIS, L.; NEL, R.; SMALE, M.; SCHOEMAN, D. *Swashed away? Storm impacts on sandy beach macrofaunal communities. Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v. 94, pp. 210-221, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.06.013>

HAUTON, C. *Effects of salinity as a stressor to aquatic invertebrates*. In: MARTIN SOLAN, and NIA WHITELEY (eds), *Stressors in the Marine Environment: Physiological and ecological responses. societal implications*, Oxford Academic, 2016. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198718826.003.0001>.

HAWKINS, S. J.; MOORE, P. J.; BURROWS, M. T.; POLOCZANSKA, E.; MIESZKOWSKA, N.; HERBERT, R. J. H.; JENKINS, S. R.; THOMPSON, R. C.; GENNER, M. J.; SOUTHWARD, A. J. *Complex interactions in a rapidly changing world: responses of rocky shore communities to recent climate change. Climate Research*, v. 37, pp. 123-133, 2008. <https://doi.org/10.3354/cr00768>

HAWKINS, S. J.; SUGDEN, H.; MIESZKOWSKA, N.; MOORE, P.; POLOCZANSKA, E.; LEAPER, R.; HERBERT, R.; GENNER, M.; MOSCHELLA, P.; THOMPSON, R.; JENKINS, S.; SOUTHWARD, A.; BURROWS, M. *Consequences of climate driven biodiversity changes for ecosystem functioning of North European Rocky Shores. Marine Ecology Progress Series*, 396, pp. 245-259, 2009. <https://doi.org/10.3354/meps08378>.

HAWKINS, S. J.; PACK, K. E.; HYDER, K.; BENEDETTI-CECCHI, L.; JENKINS, S. R. *Rocky shores as tractable test systems for experimental ecology. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 100, n. 7, pp. 1017-1041, 2020. <https://doi.org/10.1017/S0025315420001046>.

HELMUTH, B.; BROITMAN, B. R.; BLANCHETTE, C. A.; GILMAN, S.; HALPIN, P.; HARLEY, C. D. G.; O'DONNELL, M. J.; HOFMANN, G. E.; MENGE, B.; STRICKLAND, D. *Mosaic patterns of thermal stress in the rocky intertidal zone: implications for climate change. Ecological Monographs*, 76(4), pp. 461-479, 2016. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(2006\)076\[0461:MPOTSI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2006)076[0461:MPOTSI]2.0.CO;2)

HOCH, J. M.; REYES, K. V. *Effects of tidal height and wave exposure on cirrus and penis morphology of the acorn barnacle Tetraclita stalactifera. Invertebrate Biology*, 134(3), pp. 231-241, 2015. <https://doi.org/10.1111/ivb.12093>.

HONG, H-K.; KIM, C.W.; KIM, J-H.; K.; KAJINO, N.; CHOI, K-S. *Effect of Extreme Heatwaves on the Mortality and Cellular Immune Responses of Purplish Bifurcate Mussel *Mytilisepta virgata* (Wiegmann, 1837) (=Septifer virgatus) in Indoor Mesocosm Experiments.* *Front. Mar. Sci.*, v.8:794168, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.794168>.

HORTA, P.; PINHO, P. F.; GOUVEA, L.; GRIMALDI, G.; DESTRI, G.; MUELLER, C. M.; DA CUNHA, L. C. *Climate change and Brazil's coastal zone: socio-environmental vulnerabilities and action strategies.* *Sustainability in Debate*, 11(3), pp. 405–444, 2020. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33845>.

HURD, C. L.; HARRISON, P. J.; BISCHOF, K.; LOBBAN, C. S. *Seaweed Ecology and Physiology*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139192637>

INEA. *Instituto Estadual do Ambiente. Plano de Manejo do Parque Estadual da Ilha Grande.* Instituto Estadual do Ambiente, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://ilhagrandehumanidades.com.br/?q=projeto+seplanos/plano-de-manejo-do-parque-estadual-da-ilha-grande-anexos>.

INEA. *Instituto Estadual do Ambiente. Parque Estadual da Ilha Grande: plano de manejo (fase 2) / resumo executivo.* Instituto Estadual do Ambiente, Rio de Janeiro, 98p., 2013. Disponível em: <https://trilhandomontanhas.com/arquivos/2017-07/plano-de-manejo-do-parque-estadual-da-ilha-grande-fase-2-resumo-executivo.pdf>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Estado do Clima no Brasil em 2022.* Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Estado-do-clima-no-Brasil-em-2022-OFICIAL.pdf>. Acessado em 14 de março de 2024.

IPCC. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. 3056 pp., 2022. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.

IPCC. *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>.

IPBES. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* [E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (eds.)]. IPBES secretariat, Bonn, Germany, 1148 pp., 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.

JOHNSSON, R. M. F. (coord). *Diagnóstico do setor costeiro da Baía da Ilha Grande: subsídios à elaboração do zoneamento ecológico-econômico costeiro*. v.1. Instituto Estadual do Ambiente (INEA), Secretaria de Estado do Ambiente (SEA), Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://ilhagrandehumanidades.com.br/?q=planos-projetos>.

JUNQUEIRA, A. O. R.; VENTURA, C. R. R.; CARVALHO, A. L. P. S.; SCHMIDT, A. J. *Population recovery of the sea urchin *Lytechinus variegatus* in a seagrass flat (Araruama Lagoon, Brazil): the role of recruitment in a disturbed environment*. *Invertebrate Reproduction & Development*, 31(1-3), pp. 143-150, 1997. <https://doi.org/10.1080/07924259.1997.9672572>.

JURGENS, L. J.; ASHLOCK, L. W.; GAYLORD, B. *Facilitation alters climate change risk on rocky shores*. *Ecology*, 103(2), e03596, 2021. <https://doi.org/10.1002/ecy.3596>.

JURGENS, L. J.; ROGERS-BENNETT, L.; RAIMONDI, P. T.; SCHIEBELHUT, L. M.; DAWSON, M. N.; GROSBURG, R. K. *Patterns of Mass Mortality among Rocky Shore Invertebrates across 100 km of Northeastern Pacific Coastline*. *PLoS ONE*, 10(6): e0126280, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126280>.

KJERFVE, B.; DIAS, G. T. M.; FILIPPO, A.; GERALDES, M. C. *Oceanographic and environmental characteristics of a coupled coastal bay system: Baía de Ilha Grande-Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brazil*. *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101594, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101594>.

KLUMB-OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, N. E. S.; LEÃO, R. R. *Morfodinâmica multitemporal em praia refletiva no litoral Centro-Norte do RJ, em resposta ao Clima de ondas Regional*. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(1), pp. 19-36, 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i1.599>.

LAINO, E.; IGLESIAS, G. *Scientometric review of climate-change extreme impacts on coastal cities*. *Ocean & Coastal Management*, 242, 106709, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106709>.

LALLI, C.; PARSONS, T. R. *Biological Oceanography: An Introduction*. 2. ed. Elsevier, 1997. ISBN 978-0-7506-3384-0. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-3384-0.X5056-7>

LATHLEAN, J. A.; SEURONT, L.; NG, T. P. T. *On the edge: The use of infrared thermography in monitoring responses of intertidal organisms to heat stress*. *Ecological Indicators*, v. 81, pp. 567-577, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.057>.

LAURINO, I. R. A.; TURRA, A. *The threat of freshwater input on sandy beaches: A small-scale approach to assess macrofaunal changes related to salinity reduction*. *Marine Environmental Research*, 171, 105459, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105459>.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P. D.; OLIVEIRA, M. D. M. D. M. D. *Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano*. *Biota Neotropica*, v. 8 (3), pp. 69-82, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000300006>.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, D. M.; VASCONCELOS, V. *Status of Eastern Brazilian coral reefs in time of climate changes. Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5 (2), pp. 224-235, 2010.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. *Interannual variability of daily extreme precipitation events in the State of São Paulo, Brazil. Journal of Climate*, 14, pp. 208-218, 2001. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0208:IVODEP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0208:IVODEP>2.0.CO;2)

MACHADO, P. M.; COSTA, L. L.; SUCIU, M. C.; TAVARES, D. C.; ZALMON, I. R. *Extreme storm wave influence on sandy beach macrofauna with distinct human pressures. Marine Pollution Bulletin*, 107(1), pp. 125-135, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.009>.

MAKOTO, T. *Mass mortality in a population of the mussel Mytilus edulis L. Caused by high temperature on rocky shores. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.66, 1. 2, pp. 101-111, 1983. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(83\)90032-1](https://doi.org/10.1016/0022-0981(83)90032-1).

MARSH, R.; SKLIRIS, N.; TOMPKINS, E. L.; DASH, J.; DOMINGUEZ, A. V.; TONON, T.; OXENFORD, H. A.; WEBBER, M. *Climate-sargassum interactions across scales in the tropical Atlantic. PLOS Clim*, v. 2(7): e0000253, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000253>.

MARSOOLI, R.; LIN, N. *Numerical modeling of historical storm tides and waves and their interactions along the U.S. east and Gulf Coasts. Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(5), pp. 3844–3874, 2018. <https://doi.org/10.1029/2017JC013434>.

MASI, B. P.; ZALMON, I. R. *Intra-annual variation of intertidal benthic community in a breakwater zone on the north coast of Rio de Janeiro, Brazil. Community Ecology*, 13(2), pp. 137–144, 2012. <https://doi.org/10.1556/comec.13.2012.2.2>.

MATTOS, V. C. DE; SILVA, T. M. DA *Ocorrência de chuvas extremas e desencadeamento de eventos geomorfológicos no litoral sul fluminense. Revista de Geografia – PPGEU - UFJF*, Juiz de Fora, v. 6(1), pp. 35-49, 2016. ISSN 2236 – 837X.

MAZZUCO, A. C. DE A. *Variation in recruitment rates of rocky shore intertidal invertebrates in response to alterations in physical forcings, chlorophyll-a concentration and temperature: the effect of cold fronts. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. doi:10.11606/T.21.2016.tde-22032016-161955*.

MELO, M. S.; RAIMUNDO, S. G.; SANDY, B. L. *Capítulo 4: Ecologia de costões rochosos: metodologias de amostragem e monitoramento. in: ORG. ALINE POSSAMAI DELLA [et al.]. VIII Botânica no Inverno 2018. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica. 275 p., 2018. ISBN Versão online: 978-85-85658-77-9*.

MENGE, B. A.; BRANCH, G. M. *Rocky intertidal communities. In: BERTNESS, M. D.; GAINES, S. D.; HAY, M. E. (Eds.). Marine Community Ecology. Sinauer Associates, 2001. pp. 221-251*.

MEUNIER, Z. D.; HACKER, S. D.; MENGE, B. A. *Regime shifts in rocky intertidal communities associated with a marine heatwave and disease outbreak*. *Nat Ecol Evol*, v.8, pp. 1285–1297, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02425-5>.

MIESZKOWSKA, N. *Intertidal Indicators of Climate and Global Change*. In: LETCHER, T. M. (Ed.), *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*. Elsevier. pp. 281-296, 2009. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53301-2.00015-4>.

MIESZKOWSKA, N.; BURROWS, M. T.; HAWKINS, S. J.; SUGDEN, H. *Impacts of Pervasive Climate Change and Extreme Eventson Rocky Intertidal Communities: Evidence From Long-Term Data*. *Front. Mar. Sci.*, 8, 642764, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.642764>.

MILANELLI, J. C. C. *Biomonitoramento de costões rochosos instrumento para avaliação de impactos gerados por vazamentos de óleo na região do Canal São Sebastião – São Paulo*. Tese (doutorado em Oceanografia Biológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. <https://doi.org/10.11606/T.21.2003.tde-03042007-215200>.

MORENO, T. R.; ROCHA, R. M. *Ecologia de costões rochosos*. *Estudos de Biologia*, 34(83), pp. 191-201, 2012. <https://doi.org/10.7213/estud.biol.7332>.

NEGRELO FILHO, O. A.; LANA, P. C. *Short-term stability of estuarine benthic assemblages: are storms pattern-defining events?* *Zoologia*, 30(3), pp. 266-272, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702013000300003>.

OLIVER, E. C. J.; DONAT, M. G.; BURROWS, M. T.; MOORE, P. J.; SMALE, D. A.; ALEXANDER, L. V.; BENTHUYSEN, J. A.; FENG, M.; SEN GUPTA, A.; HOBDAY, A. J.; HOLBROOK, N. J.; PERKINS-KIRKPATRICK, S. E.; SCANNELL, H. A.; STRAUB, S. C.; WERNBERG, T. *Longer and more frequent marine heatwaves over the past century*. *Nature Communications*, 9(1), 1324, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>.

OLIVEIRA, M. M. F. DE.; EBECKEN, N. F. F.; DE OLIVEIRA, J. L. F.; GILLELAND, E. *Generalized extreme wind speed distributions in South America over the Atlantic Ocean region*. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, pp. 377–385, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0350-3>.

OLSEN, A.; LARSON, S.; PADILLA-GAMIÑO, J.; KLINGER, T. *Changes in Fish Assemblages after Marine Heatwave Events in West Hawai‘i Island*. *Marine Ecology Progress Series*, 698, pp. 95-109, 2022. <https://doi.org/10.3354/meps14156>.

PARENTE, C. E.; NOGUEIRA, I. C. M.; RIBEIRO, E. O. *Climatologia de ondas*. In: MARTINS, R. P.; GROSSMANN-MATHESON, G. S. (Eds.), *Meteorologia e Oceanografia*. Elsevier. Rio de Janeiro, pp. 55–98, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-85-352-6208-7.50009-X>.

PARDAL, A.; CORDEIRO, C. A. M. M.; CIOTTI, Á. M.; JENKINS, S. R.; GIMÉNEZ, L.; BURROWS, M. T.; CHRISTOFOLETTI, R. A. *Influence of environmental variables over multiple spatial scales on the population structure of a key marine invertebrate*. *Marine Environmental Research*, Volume 170, 2021, 105410. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105410>.

PELOSI, J.; EATON, K. M.; MYCHAJLIW, S.; TERHORST, C. P.; COFFROTH, M. A. *Thermally tolerant symbionts may explain Caribbean octocoral resilience to heat stress. Coral Reefs*, v. 40, pp. 1113–1125, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00338-021-02116-8>.

PETRAITIS, P. S.; DUDGEON, S. R. *Declines over the last two decades of Five intertidal invertebrate species in the western North Atlantic. Communications Biology*, 3(1), 591, 2020. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01326-0>.

PEZZA, A. B.; VAN RENSCH, P.; CAI, W. J. *Severe heat waves in Southern Australia: synoptic climatology and large scale connections. Climate Dynamics*, 38, pp. 209-224, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1016-2>.

PINHEIRO, A. B.; DA SILVA, A. L. C.; PEREIRA, T. G.; NETO, J. A. B. *Coastal erosion and flood susceptibility in Paraty, Southeast Brazil. Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 1(1), pp. 111-128, 2021a. <https://doi.org/10.23854/07199562.2021571esp.Pinheiro111>.

PINHEIRO, A. B.; DA SILVA, A. L. C.; PEREIRA, T. G.; NETO, J. A. B. *Dynamics and storm records on sheltered beaches: Paraty, southeast coast of Brazil. Journal of Sedimentary Environments*, 6, pp. 647-663, 2021b. <https://doi.org/10.1007/s43217-021-00075-2>.

PINTO, P. M. G. M.; SOUZA, L. S.; FILIPPO, A. M.; FERNANDES, A. M. *Potential impact assessment between SST and extreme precipitation: an observational study in Southeastern Brazil. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 12(5), pp. 210-219, 2021. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0019>.

POLOCZANSKA, E. S.; HAWKINS, S. J.; SOUTHWARD, A. J.; BURROWS, M. T. *Modelling the response of populations of competing species to climate change. Ecology*, 89(11), pp. 3138–3149, 2008. <https://www.jstor.org/stable/27650869>.

PRZESLAWSKI, R.; AHYONG, S.; BYRNE, M.; WÖRHEIDE, G.; HUTCHINGS, P. *Beyond corals and fish: the effects of climate change on noncoral benthic invertebrates of tropical reefs. Global Change Biology*, v. 14, pp. 2773-2795, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01693.x>.

PUGA, C. A.; TORRES, A. S. S.; PAIVA, P. C.; YONESHIGUE-VALENTIN, Y.; JUNQUEIRA, A. O. R. *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*, v. 226, p. 106265, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106265>.

RICHMOND, C. E.; WOODIN, S. A. *Short-term fluctuations in salinity: effects on planktonic invertebrate larvae. Marine Ecology Progress Series*, 133, pp. 167-177, 1996. <https://doi.org/10.3354/meps133167>.

ROMÁN, M.; ROMÁN, S.; VÁZQUEZ, E.; TRONCOSO, J.; OLABARRIA, C. *Heatwaves during low tide are critical for the physiological performance of intertidal macroalgae under global warming scenarios. Sci. Rep.*, 10, 21408, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78526-5>.

SANDY, B. L. *Monitoramento de longo prazo: análises de séries temporais de comunidade bentônica do médiolitoral de costão rochoso do Parque Estadual da Ilha Anchieta. Tese*

(Doutorado em Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. doi:10.11606/T.41.2022.tde-23032023-160546.

SANTANA, E. F. C.; MIES, M.; LONGO, G. O.; MENEZES, R.; AUED, A. W.; LUZA, A. L.; BENDER, M. G.; SEGAL, B.; FLOETER, S. R.; FRANCINI-FILHO, R. B. *Turbidity shapes shallow Southwestern Atlantic benthic reef communities. Marine Environmental Research*, 183, 105807, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105807>.

SANTOS, S. B.; RODRIGUES, C. L.; NUNES, G. K. M.; BARBOSA, A. B.; LACERDA, L. E. M.; MIYAHIRA, I. C.; VIANA, T. A.; OLIVEIRA, J. L.; FONSECA, F. C.; SILVA, P. S. C. *Estado do conhecimento da fauna de invertebrados não-marinhos da Ilha Grande (Angra dos Reis, RJ). Oecologia Australis*, v.14, n. 12, pp. 504-549, 2010. <https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1402.11>

SANTOS, H. S.; SILVA, M. A. X. *Análise de porcentagem de cobertura e diversidade das espécies marinhas associadas a um costão rochoso na Enseada do Sítio Forte (Baía da Ilha Grande – Rio de Janeiro). Meio Ambiente (Brasil)*, v.3, n.5, pp. 67-87, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7325250>.

SANZ-LAZARO, C. A. *Framework to Advance the Understanding of the Ecological Effects of Extreme Climate Events. Sustainability*, 11(21), 5954, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11215954>.

SARMIENTO, J. L.; SLATER, R.; BARBER, R.; BOPP, L.; DONEY, S. C.; HIRST, A. C.; KLEYPAS, J.; MATEAR, R.; MIKOLAJEWICZ, U.; MONFRAY, P.; SOLDATOV, V.; SPALL, S. A.; STOUFFER, R. *Response of ocean ecosystems to climate warming. Global Biogeochemical Cycles*, 18(3), 2004. <https://doi.org/10.1029/2003GB002134>.

SCHWARZ, A.; TAYLOR, R.; HEWITT, J.; PHILLIPS, N.; SHIMA, J.; COLE, R.; BUDD, R. *Impacts of terrestrial runoff on the biodiversity of rocky reefs. New Zealand Aquatic Environment and Biodiversity Report*, No 7. 109 p., 2006.

SEN GUPTA, A.; THOMSEN, M.; BENTHUYSEN, J. A.; HOBDAI, A. J.; OLIVER, E.; ALEXANDER, L. V.; BURROWS, M. T.; DONAT, M. G.; FENG, M.; HOLBROOK, N. J.; PERKINS-KIRKPATRICK, S.; MOORE, P. J.; RODRIGUES, R. R.; SCANNELL, H. A.; TASCHETTO, A. S.; UMMENHOFER, C. C.; WERNBERG, T.; SMALE, D. A. *Drivers and impacts of the most extreme marine heatwave events. Sci Rep.*, 10(1), 19359, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75445-3>.

SEURONT, L.; NICASTRO, K. R.; ZARDI, G. I.; GOBERVILLE, E. *Decreased thermal tolerance under recurrent heat stress conditions explains summer mass mortality of the blue mussel *Mytilus edulis*. Sci Rep*, 9, 17498, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53580-w>.

SILVA, M. G.; SILVA, J. N.; FRAGOSO, H. R.; GHILARDI-LOPES, N. P. *Temporal series analysis of abiotic data for a subtropical Brazilian rocky shore. Data in Brief*, 24, 103873, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103873>.

SILVA, F. C.; FLOETER, S. R.; LINDEGREN, M.; QUIMBAYO, J. P. *Warming-induced changes in reef fish community traits in the Southwestern Atlantic transition zone. Marine Ecology Progress Series*, 710, pp. 107-123, 2023. <https://doi.org/10.3354/meps14288>.

SIMCOSTA. *Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira*, 2024. <https://simcosta.furg.br> (acessado em 14 de março de 2024).

SONG, D.; CHEN, Z.; WANG, Y. P.; WU, Y. *Editorial: Extreme weather events induced coastal environment changes under multiple anthropogenic impacts*. *Front. Mar. Sci.*, 10:1214718, 2023. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1214718>

SORTE, C. J. B.; BERNATCHEZ, G.; MISLAN, K. A. S.; PANDORI, L. L. M.; SILBIGER, N. J.; WALLINGFORD, P. D. *Thermal tolerance limits as indicators of current and future intertidal zonation patterns in a diverse mussel guild*. *Marine Biology*, 166, 6, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00227-018-3452-6>.

SOUTHWARD, A. J.; HAWKINS, S. J.; BURROWS, M. T. *Seventy years' observations of changes in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature*. *Journal of Thermal Biology*, 20, 1/2, pp. 127-155, 1995. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(94\)00043-I](https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)00043-I).

SMITH, K. E.; BURROWS, M. T.; HOBDAV, A. J.; KING, N. G.; MOORE, P. J.; SEN GUPTA, A.; THOMSEN, M. S.; WERNBERG, T.; SMALE, D. A. *Biological impacts of marine heatwaves*. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 15, pp. 119-145, 2023. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437>.

STARCZAK, V.; PÉREZ-BRUNIUS, P.; LEVINE, H. E.; GYORY, J.; PINEDA, J. *The Role of Season and Salinity in Influencing Barnacle Distributions in Two Adjacent Coastal Mangrove Lagoons*. *Bulletin of Marine Science*, 87(3), pp. 275–299, 2011. <https://doi.org/10.5343/bms.2010.1022>

STEPHENSON, T. A.; STEPHENSON, A. *The Universal feature of zonation between tide-marks on rocky coasts*. *J. Ecol.*, v. 37, n. 2, p. 289-305, 1949. <https://doi.org/10.2307/2256610>.

STEPHENSON, D. B. *Definition, diagnosis and origin of extreme weather and climate events*. In: H. F. DIAZ, R. J. MURNANE (Eds.), *Climate Extremes and Society*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 11–24, 2011. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535840>.

STEINKE, E. T. *Climatologia Fácil*. São Paulo: Oficina de Textos. 144 pp., 2012.

SKINNER, L. F.; COUTINHO, R. *Preliminary results on settlement of the barnacles *Tetraclita stalactifera* and *Chthamalus bisinuatus* on a Brazilian tropical rocky shore under upwelling conditions*. *Invertebrate Reproduction & Development*, 41, 1/3, pp. 151-156, 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/07924259.2002.9652746>.

SKINNER, L. F.; CAVALCANTE DA SILVA, L.; MIRANDA, A. P. *Distúrbios Físicos em Comunidades Bentônicas Marinhas de Médio-litoral e Mudanças Climáticas Globais. A Caminho de uma Nova Estrutura de Comunidades?* In: *Programa e Resumos do I Encontro Científico do Parque Estadual da Serra da Tiririca*. Instituto de Geociências - Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, pp. 70-76, 2008.

SKINNER, L. F.; MACHARET, H. K. L.; COUTINHO, R. *Influence of upwelling and tropical environments on the breeding development of the intertidal barnacle *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818)*. *Brazilian Journal of Oceanography*, 59(4), pp. 349–356, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592011000400005>.

SKINNER, L. F. *Temperatura - Dados gerais - Ponta Leste*. DOI: 10.13140/RG.2.2.15809.77928, 2022.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. *Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil*. *Monthly Weather Review*, 135, pp. 598-617, 2007. <https://doi.org/10.1175/MWR3302.1>.

TEIXEIRA, T. P.; NEVES, L. M.; ARAÚJO, F. G. *Effects of a nuclear power plant thermal discharge on habitat complexity and fish community structure in Ilha Grande Bay, Brazil*. *Mar. Envir. Res.*, v. 68, n. 4, pp. 188-195, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.06.004>

TURRA, A.; DENADAI, M. R. *Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos*. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. pp. 1-6, 2015. <https://doi.org/10.7476/9788598729251>.

VALENTIN, J. L. *The Cabo Frio Upwelling System, Brazil*. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (eds) *Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Ecological Studies*, 144. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_8.

VALIELA, I. *Marine Ecological Processes*. 2. ed. New York: Springer, 1995. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4125-4>

VÁSQUEZ, J. A.; VEGA, J. M. A.; BUSCHMANN, A. H. *Long Term Variability in the Structure of Kelp Communities in Northern Chile and the 1997–98 ENSO*. *Journal of Applied Phycology*, v.18, pp. 505–519, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10811-006-9056-4>.

VASSEUR, D. A.; DELONG, J. P.; GILBERT, B.; GREIG, H. S.; HARLEY, C. D. G.; MCCANN, K. S.; SAVAGE, V.; TUNNEY, T. D.; O'CONNOR, M. L. *Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming*. *Proc. R. Soc. B.*, v. 281, 20132612, 2014. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2612>.

VÁZQUEZ, E.; WOODIN, S. A.; WETHEY, D. S.; DOMÍNGUEZ, R.; MACHO, G.; PETEIRO, L. G.; OLABARRIA, C. *Reproduction Under Stress: Acute Effect of Low Salinities and Heat Waves on Reproductive Cycle of Four Ecologically and Commercially Important Bivalves*. *Front. Mar. Sci.*, 8, 685282, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.685282>.

VINAGRE, C.; MENDONÇA, V.; FLORES, A. A. V.; BAETA, A.; MARQUES, J. C. *Complex food webs of tropical intertidal rocky shores (SE Brazil) – An isotopic perspective*. *Ecological Indicators*, 95, Part 1, pp. 485-491, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.065>.

WEBSTER, P. J.; HOLLAND, G. J.; CURRY, J. A.; CHANG, H. R. *Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment*. *Science*, 309(5742), pp. 1844-1846, 2005. <https://doi.org/10.1126/science.1116448>.

WEINBERGER, V. P.; MILOSLAVICH, P.; MACHORDOM, P. *Distribution pattern, reproductive traits, and molecular analysis of two coexisting vermetid gastropods of the genus *Petalochonchus*: a caribbean endemic and a potential invasive species*. *Mar Biol.*, v. 157, pp. 1625–1639, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1435-3>

WERNBERG, T.; SMALE, D. A.; TUYA, F.; THOMSEN, M. S.; LANGLOIS, T. J.; DE BETTIGNIES, T.; BENNETT, S.; ROUSSEAUX, C. S. *An extreme climate event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot*. *Nature Climate Change*, 3, pp. 78-82, 2013. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1627>.

WOODIN, S. A.; WETHEY, D. S.; OLABARRIA, C.; VÁZQUEZ, E.; DOMÍNGUEZ, R.; MACHO, G.; PETEIRO, L. *Behavioral responses of three venerid bivalves to fluctuating salinity stress*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 522, 151256, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151256>.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I – Measurement of Meteorological Variables*. 2021 edition, WMO-Nº. 8. Genebra, Suíça, 2021.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Guidelines On The Definition And Monitoring Of Extreme Weather And Climate Events*. WMO-Nº. 1310. Genebra, Suíça, 2023 edition.

WOOTTON, T. J.; PFISTER, C. A.; FORESTER, J. D. *Dynamic patterns and ecological impacts of declining ocean pH in a high-resolution multi-year data set*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 105(48), pp. 18848–18853, 2008. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0810079105.

WORM, B.; LOTZE, H. K. *Chapter 13 - Marine Biodiversity and Climate Change*. In: LETCHER, T. M. (Ed.), *Climate Change: observed impacts on planet Earth*. Elsevier. 2 ed, pp. 195–212, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63524-2.00013-0>.

ZAMIR, R.; ALPERT, P.; RILOV, G. *Increase in Weather Patterns Generating Extreme Desiccation Events: Implications for Mediterranean Rocky Shore Ecosystems*. *Estuaries and Coasts*, 41, pp. 1868-1884, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12237-018-0408-5>.

ZAR, J. H. *Biostatistical Analysis*. 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 718 p., 1984.