UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS ARAPIRACA
UNIDADE EDUCACIONAL PENEDO
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PESCA

MÁYRA BEATRIZ BELTRÃO AMORIM

VARIAÇÃO TEMPORAL DA PLUMA SEDIMENTAR DE RIOS: RELAÇÕES COM A OCORRÊNCIA DE BRANQUEAMENTO DE CORAIS EM ÁREA MARINHA PROTEGIDA

Penedo
2024

MÁYRA BEATRIZ BELTRÃO AMORIM

VARIAÇÃO TEMPORAL DA PLUMA SEDIMENTAR DE RIOS: RELAÇÕES COM A OCORRÊNCIA DE BRANQUEAMENTO DE CORAIS EM ÁREA MARINHA PROTEGIDA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Pesca da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dra. Taciana Kramer de Oliveira Pinto.

Penedo

2024

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Unidade Educacional Penedo
Biblioteca Setorial Penedo-BSP

A524v Amorim, Máyra Beatriz Beltrão
Variação temporal da pluma sedimentar de rios: relações com a ocorrência de branqueamento de corais em área marinha protegida / Máyra Beatriz Beltrão Amorim. – Penedo, AL, 2024.
38 f.: il.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Taciana Kramer de Oliveira Pinto.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Unidade Educacional Penedo, Penedo, AL, 2024.
Referências: f. 35-38.

1. Plataforma continental. 2. Recifes de corais. 3. Marés. 4. Poluição. I. Pinto, Taciana Kramer de Oliveira. II. Título.

CDU 639.2

Bibliotecária responsável: Eliúde Maria da Silva
CRB - 4 / 1834

Folha de Aprovação

MÁYRA BEATRIZ BELTRÃO AMORIM

VARIAÇÃO TEMPORAL DA PLUMA SEDIMENTAR DE RIOS: RELAÇÕES COM A OCORRÊNCIA DE BRANQUEAMENTO DE CORAIS EM ÁREA MARINHA PROTEGIDA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia de Pesca da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 05 de novembro de 2024.

_____

Orientador(a) – Profa. Dra. Taciana Kramer de Oliveira Pinto, UFAL.

Banca examinadora:

_____

Examinador Interno – Prof. Dr. Igor da Mata Ribeiro Pimentel de Oliveira, UFAL.

_____

Examinador Externo – Me. Valberth Francisco Nunes Costa, ICBS/UFAL.

Dedico

À minha filha Melissa B. Amorim, com todo meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria que me acompanharam durante toda essa jornada. Dedico um espaço especial para me agradecer, reconheço a importância de valorizar meu próprio esforço e dedicação. Essa jornada não foi fácil, e cada desafio enfrentado foi uma oportunidade de crescimento.

À minha orientadora, Taciana Kramer. Você foi mais do que uma simples orientadora; foi uma mãe e uma melhor amiga. Sua orientação, carinho e apoio incondicional foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios dessa trajetória. Obrigada por sempre acreditar em mim, por me incentivar a superar meus limites e por estar ao meu lado em cada passo desse processo. Sua paciência e dedicação fizeram toda a diferença na minha formação. Quero expressar minha profunda gratidão ao meu tutor do Programa de Educação Tutorial (PET), Diógenes Menezes, sua parceria e apoio foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao meu amor, Guilherme Barbosa, que foi meu pilar. Obrigada por estar ao meu lado, por me incentivar a seguir em frente e por acreditar em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores. Aos meus pais, Jay Anderson Amorim e Camila Porto, meu mais profundo agradecimento. Vocês sempre me desafiaram a ir além, a buscar o meu melhor e a nunca me contentar com menos do que sou capaz. Sua crença em meu potencial e suas constantes palavras de incentivo foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Obrigada por me ensinarem o valor do esforço e da perseverança. A minha avó, Ana Regina, que sempre sonhou em me ver formada, e a toda minha família que sempre torceu pelo meu sucesso.

Não posso deixar de expressar minha profunda gratidão ao PET Conexões de Saberes Penedo, que me desafiou a superar meus limites, a enfrentar meus medos e a trabalhar em minhas imperfeições, permitindo-me crescer como pessoa e profissional. Ao Laboratório de Ecologia Bentônica, ao PELD CCAL e ao PIBIC, pela oportunidade de trabalhar com ciência. Me proporcionando experiências enriquecedoras que ampliaram meu conhecimento e despertaram ainda mais minha paixão pela pesquisa.

Aos meus colegas da graduação e da vida, pela amizade, companheirismo e pelas trocas de experiências que tornaram essa jornada mais leve e enriquecedora. Pelos momentos descontraídos que compartilhamos, pelas risadas e conversas profundas, sendo fundamental para aliviar a pressão e trazer leveza a essa fase. Por fim, a todo corpo docente da UFAL por compartilharem seu conhecimento, sou grata por cada conselho e cada gesto de apoio.

“Os benefícios da ciência não são para os cientistas, e sim para humanidade!” (Louis Pasteur).

RESUMO

A descarga dos rios em áreas marinhas pode impactar a sobrevivência dos corais devido a entrada de sedimentos e nutrientes, os quais fazem com que os corais fiquem sujeitos a mais eventos de branqueamento e morte, causando um desequilíbrio no ambiente recifal. O objetivo deste trabalho foi caracterizar espaço-temporalmente a pluma de sedimentos de rios próximos a recifes costeiros, utilizando ferramentas do QGIS, investigando relações entre a pluma e a ocorrência de branqueamento e morte de corais na Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais. Para isso, foram utilizadas imagens de satélites de todos os meses dos anos de 2019 a 2023 dos rios Salgado e Maragogi em dias de maré de sizígia e de quadratura. Imagens provenientes da base de dados PlanetScope Scene (3m) e Sentinela-2 L2A, foram analisadas através do software QGIS, caracterizando a área e o alcance da pluma. A vitalidade dos corais nos recifes de preservação e visitação de Maragogi e Japaratinga foi quantificada em termos de percentual de colônias branqueadas e mortas. Dados secundários de pluviosidade, balneabilidade, maré, temperatura e velocidade e direção predominante do vento foram utilizados. As maiores áreas das plumas ocorreram sempre nas marés de sizígia, coincidindo com maiores valores de pluviosidade, amplitude de maré, e direção do vento predominante do quadrante Leste-sudeste. O alcance das plumas aos recifes, só foi registrado para o rio Salgado, durante maré de sizígia e quadratura. Uma correlação negativa significativa entre o percentual de branqueamento nos recifes de Japaratinga e a distância da pluma do rio Salgado foi encontrada indicando influência da descarga do rio na vitalidade dos corais. É possível observar que os recifes estudados estão sob efeito de diferentes estressores tanto globais quanto locais, independente do manejo de usos, apesar de o zoneamento ser efetivo com relação a outros estressores locais como a pesca e o turismo desordenado. Sugere-se um maior esforço na gestão da qualidade da água dos rios que desembocam na APACC e a manutenção do zoneamento de usos e monitoramento dos recifes.

Palavras-chave: Contribuição continental; recifes de coral; marés; poluição

ABSTRACT

River discharge in marine areas can impact coral survival due to the input of sediments and nutrients, which make corals subject to more bleaching and death events, causing an imbalance in the reef environment. The objective of this work was to characterize spatiotemporally the sediment plume of rivers near coastal reefs, using QGIS tools, investigating relationships between the plume and the occurrence of coral bleaching and death in the Costa dos Corais Environmental Protection Area. For this, satellite images from all months of the years 2019 to 2023 of the Salgado and Maragogi rivers on days of spring and neap tides were used. Images from the PlanetScope Scene (3m) and Sentinel-2 L2A databases were analyzed using QGIS software, characterizing the area and reach of the plume. Coral vitality in the Maragogi and Japaratinga conservation and visitation reefs was quantified in terms of the percentage of bleached and dead colonies. Secondary data on rainfall, bathing conditions, tides, temperature, and prevailing wind speed and direction were used. The largest plume areas always occurred during spring tides, coinciding with the highest rainfall, tidal range, and prevailing wind direction from the east-southeast quadrant. The plume's reach to the reefs was only recorded for the Salgado River during spring and neap tides. A significant negative correlation between the percentage of bleaching on the Japaratinga reefs and the distance from the plume to the Salgado River was found, indicating the influence of river discharge on coral vitality. It is possible to observe that the studied reefs are under the effect of different global and local stressors, regardless of land use management, although zoning is effective in relation to other local stressors such as fishing and uncontrolled tourism. Greater efforts are suggested in managing the water quality of the rivers that flow into APACC and maintaining the zoning of uses and monitoring of reefs.

Keywords: Continental contribution; coral reefs; tides; pollution

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Área de estudo evidenciando a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, Zona de Produção e Zona de Preservação e os rios estudados: Rio Salgado e Rio Maragogi, localizados nos municípios de Japaratinga e Maragogi, respectivamente.....…. 21

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Gráfico 01: Amplitude da Maré (metros) para o porto de Maceió nos momentos de maré de sizígia (S, linhas contínuas) e de quadratura (Q, linhas tracejadas), no período de estudo (Fonte: Marinha do Brasil 2019, 2020, 2021, 2022, 2023)..... 20

Gráfico 02 – Gráfico 02: Velocidade média dos ventos (Nós) para os municípios de Japaratinga e Maragogi na maré de sizígia (a) e quadratura (b) nas respectivas datas das análises das plumas no período de estudo (Fonte: NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023)..... 21

Gráfico 03 – Temperatura da superfície da terra (em Celsius) para os municípios de Japaratinga e Maragogi nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023 na maré de sizígia (a) e na de quadratura (b) (Fonte: METAR e NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023). 22

Gráfico 04 – Temperatura do oceano (Graus Celsius) para os municípios de Japaratinga e Maragogi nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023 na maré de sizígia (a) e na de quadratura (b) (Fonte: METAR e NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023)..... 22

Gráfico 05 – Pluviosidade média mensal (mm) do município de Maragogi nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023 (Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023)..... 23

Gráfico 06 – Área das plumas (Km²) na maré de sizígia no rio Maragogi (a) e no rio Salgado (b) e na maré de quadratura no rio Maragogi (c) e no rio Salgado (d) nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023..... 25

Gráfico 07 – Distância das plumas (em metros) na maré de sizígia no rio Maragogi (a) e no rio Salgado (b) e na maré de quadratura no rio Maragogi (c) e no rio Salgado (d) nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023..... 25

Gráfico 08 − Gráfico 08: Incidência de branqueamento e morte para o recife de Maragogi, nos anos de 2019 a 2023. .....…… 26
Gráfico 09 − Incidência de branqueamento e morte para o recife de Japaratinga, no ano de 2019.....…….....…… 26
Gráfico 10 − Gráfico 10: Análise da correlação de Spearman para as variáveis área e distância da pluma do rio Maragogi e a vitalidade de corais (% de branqueamento total e morte total) dos recifes de Maragogi de 2019 a 2023. Apenas correlações significativas são mostradas (p<0,05). Valores em vermelho indicam correlação negativa e em azul, positiva. Quanto menor a largura da elipse, maior a correlação e o número no interior das elipses é o valor do coeficiente de correlação de Spearman).....…….....…… 27
Gráfico 11 − Análise da correlação de Spearman para as variáveis, área e distância da pluma do rio Salgado e a vitalidade de corais dos recifes de Japaratinga no ano de 2019. Apenas correlações significativas são mostradas (p<0,05). Valores em vermelho indicam correlação negativa e em azul, positiva. Quanto menor a largura da elipse, maior a correlação e o número no interior das elipses é o valor do coeficiente de correlação de Spearman).....…… 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Direção do vento para os municípios de Japaratinga e Maragogi na maré de sizígia e quadratura nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023 (Fonte: NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023)..... 21

Tabela 02 – Tabela 01: Direção predominante do vento para os municípios de Japaratinga e Maragogi na maré de sizígia (S) e quadratura (Q) nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023. Lê-se Leste , norte ,leste nordeste , sudeste , leste sudeste , sul sudeste , oeste , nordeste , sul , norte nordeste , oeste sudoeste , sul sudoeste (Fonte: NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023)..... 23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APACC	Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais
I	Balneabilidade Imprópria
IMA	Instituto do Meio Ambiente de Alagoas
GLM	Modelos Lineares Generalizados
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
P	Balneabilidade Própria
PELD	Programa Ecológico de Longa Duração da Área de Proteção Ambiental
CCAL	Costa dos Corais Alagoas
Q	Quadratura
UC	Unidade de Conservação
S	Sizígia
ZPRE	Zonas de Preservação
ZPRO	Zonas de Produção

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	14
2	**MATERIAL E MÉTODOS**.....	17
2.1	**Área de estudo**	17
2.2	**Desenho amostral e coleta de dados**.....	18
2.3	**Análise de dados**.....	19
3	**RESULTADOS**	20
3.1	**Dados ambientais**.....	20
3.1.1	Amplitude da maré.....	20
3.1.2	Velocidade média dos ventos.....	20
3.1.3	Direção predominante dos ventos.....	21
3.1.4	Temperatura média da superfície da terra e do oceano…….....	22
3.1.5	Pluviosidade.....	22
3.1.6	Balneabilidade.....	23
3.2	**Caracterização das plumas**……	24
3.3	**Vitalidade dos corais**……..…..……	26
4	**DISCUSSÃO**	29
5	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Os recifes de corais são formados por esqueletos calcários, de corais e algas, que vão se aglomerando ao longo dos anos, sendo assim bioconstruções (Eça et. Al., 2012). Estão entre os ambientes mais diversos e economicamente importantes do planeta, pois abrigam a maior parte da biodiversidade marinha e fornecem um grande número de serviços ecossistêmicos (Graham e Nash, 2013). É nítido o quanto os recifes de corais enfrentam uma série de impactos antrópicos locais e globais (Hughes et al., 2003).

A influência de mudanças climáticas globais na ocorrência de eventos de branqueamento de corais, provocados pela elevação da temperatura dos oceanos, tem sido um tema recorrente na literatura recente (Brown et al., 2019; Pisapia et al., 2019; Sully et al., 2019; Pereira et al., 2022). O branqueamento de corais é um fenômeno, onde os corais expulsam as zooxantelas de seus tecidos (Leão et. al., 2008) ficando “brancos”, por isso o nome branqueamento. Estes eventos têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos nas últimas décadas e vêm causando mortalidade massiva e diminuição da cobertura de corais pétreos globalmente (Donner e Carilli, 2019), alterando as assembleias biológicas nos recifes de coral (Fisher et al., 2019), diminuindo a sua complexidade estrutural e consequentemente causando perda de biodiversidade e diminuição da resiliência dos sistemas afetados (Magel et al., 2019), acarretando a chamada crise dos corais.

Diferente de recifes mais afastados da costa, os recifes costeiros rasos apresentam alguns aspectos que podem minimizar o efeito destas anomalias térmicas tais como a alta variabilidade natural na temperatura e a notável tolerância fisiológica das espécies coralíneas (Brown et al., 2019). Os recifes rasos da costa brasileira, por exemplo, estão sujeitos a condições naturais de elevada turbidez, altas taxas de sedimentação, grande variabilidade de pH e entrada de nutrientes (Soares et al., 2021). Embora os recifes mais expostos possam se tornar mais resistentes a mortalidade e doenças, e em geral ao branqueamento, pesquisadores notaram que os recifes estão severamente danificados em cerca de 30% ou mais. E caso atinjam uma taxa de 60%, os recifes de todo o mundo estarão totalmente destruídos em torno de 30 a 40 anos, e que um dos fatores contribuintes seriam as mudanças climáticas (Leão, 2008).

Além das alterações climáticas causadas pelo aquecimento global, os recifes de corais também sofrem múltiplos impactos locais, que podem agravar os efeitos globais, tais como sobrepesca, mau uso do solo, desenvolvimento costeiro e urbanização, bioinvasão, e mudanças em volta de bacias hidrográficas, como observado em estudos na grande barreira de

corais da Austrália (Ferreira, 2006; Lima, 2024; Ribeiro, 2020).

Água, sedimentos e materiais orgânicos e inorgânicos oriundos dos continentes, são transportados dos rios diretamente para os oceanos, incluindo os contaminantes que o homem produziu ao longo de toda sua história (Campos et al., 2012). Desse modo as áreas costeiras estão mais sujeitas a diferentes pressões humanas e o efeito combinado de pressões globais e locais, tais como poluição e o *input* excessivo de sedimentos e nutrientes provenientes da costa através da descarga dos rios, o que pode aumentar o impacto sobre os recifes de coral (Fisher et al., 2019). O elevado *input* de nutrientes pode alterar as taxas de crescimento (Guo et al., 2019), diminuir a resiliência de algumas espécies de corais (Zhao et al., 2021) e prejudicar a tolerância a temperaturas elevadas levando a uma maior susceptibilidade ao branqueamento e consequentemente doenças e morte (Zhao et al., 2021).

Fatores locais relacionados a pluviosidade, amplitude de maré, velocidade e direção dos ventos características das correntes marítimas, ondas, presença de barreiras continentais e o movimento de rotação da terra promovem o transporte de massas d'águas (Coelho, 2020) e consequentemente influenciam a entrada das plumas dos rios no mar.

Baixos níveis de sedimentação, de turbidez e de nutrientes são condições perfeitas para o desenvolvimento de recifes de coral. O sedimento tem uma influência sobre os corais, visto que ele reduz a disponibilidade de luz, fazendo assim com que o coral esgote sua energia, aumentando a respiração por causa do aumento da atividade dos pólipos e a redução da sua capacidade de captura de alimentos, como na espécie *Siderastrea stellata* (Tunalla et al., 2019).

A entrada de matéria orgânica particulada e sedimentos, pode ser muito prejudicial ao ambiente marinho, pois são ressuspensos rapidamente e podem ter uma longa duração na transparência da água, o que vai reduzir a disponibilidade de luz para os recifes de coral (Bahadori, 2023), trazendo sérias consequências para o desenvolvimento e distribuição das espécies de corais e suas faunas associadas (Leão et al., 2008). O aumento de sedimentos nos ambientes recifais tem se destacado como uma das principais ameaças antrópicas, influenciando de forma negativa o crescimento dos recifes de coral no Brasil (Leão et. al., 2008). Essas condições são, no entanto, podem ser facilmente manipuladas pela ação antrópica.

Desta forma investigar os danos causados pela descarga dos rios sobre os ambientes recifais é fundamental para sugerir medidas de manejo tais como saneamento básico das áreas urbanizadas adjacentes, controle de efluentes industriais e capacidade de suporte das cidades turísticas do entorno. Por isso o objetivo deste trabalho foi caracterizar

espaço-temporalmente a pluma de sedimentos de rios próximos a recifes costeiros, avaliando relações entre a pluma e a ocorrência de branqueamento e morte de corais através de geoprocessamento. Foram testadas as hipóteses de que: i) as maiores áreas superficiais das plumas e menores distâncias do recife ocorrem em períodos chuvosos e de maiores amplitudes de maré; ii) maiores registros de branqueamento e morte estão relacionados a maiores áreas e menores distâncias da pluma, ou seja, quando a pluma se aproxima ou alcança os recifes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Os recifes estudados ficam localizados na Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC) a maior Unidade de Conservação (UC) Federal Marinha Costeira, de uso sustentável do Brasil (Figura 01). A APACC é situada na costa nordestina, que se estende do litoral norte de Alagoas (no município de Maceió) até o Sul de Pernambuco (no município de Tamandaré), totalizando 120km de extensão.

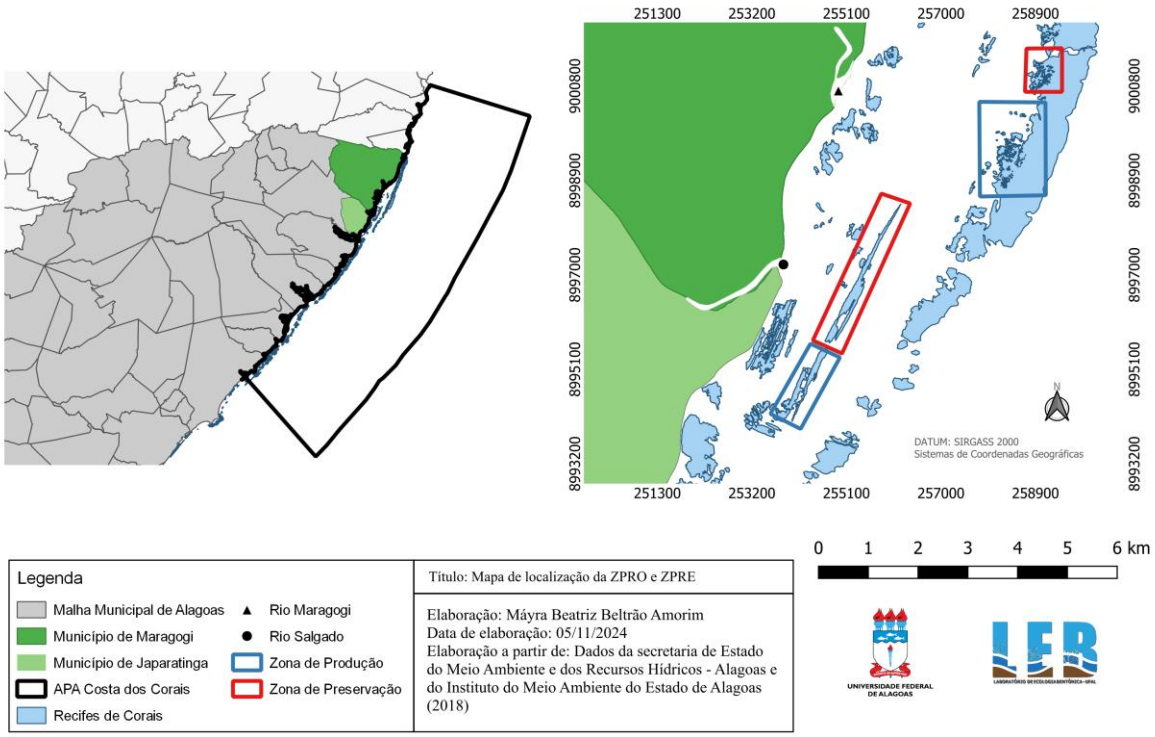

Figura 01: Área de estudo evidenciando a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, Zona de Produção e Zona de Preservação e os rios estudados: Rio Salgado e Rio Maragogi, localizados nos municípios de Japaratinga e Maragogi, respectivamente.

2.2 Desenho amostral e Coleta de Dados

Os recifes estudados neste trabalho estão inseridos em Zonas de Produção (ZPRO) e Zonas de Preservação (ZPRE) (Figura 01) dos municípios de Maragogi e Japaratinga. Zonas de Produção são áreas, onde são permitidas atividades de produção e de suporte à produção,

com estímulo para boas práticas de conservação dos recursos hídricos e o uso sustentável dos recursos naturais. As Zonas de Preservação (ZPRE), são áreas de exclusão onde não são permitidos usos diretos de qualquer natureza, a não ser pesquisa científica. Foram investigados dois recifes de visitação turística inseridos na ZPRO, e dois recifes de exclusão inseridos na ZPRE.

Nestes recifes foram coletados dados de ocorrência de branqueamento e morte de corais pétreos em 6 momentos no período de 2019 a 2023, durante os meses de fevereiro e dezembro de 2019, setembro de 2020, janeiro de 2021, março de 2022 e março de 2023).

Para isso, escolheu-se 3 sítios aleatoriamente em cada recife, onde para cada sítio foram realizados 2 transectos do tipo Banda de 10 m x 1 m para registro da condição de vitalidade dos corais, onde todas as colônias de corais pétreos foram identificadas, e registrados os percentuais de colônia branqueada fortemente, pálida, com morte antiga, morte recente ou saudável (Leão et. al., 2015).

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes do Programa Ecológico de Longa Duração da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais Alagoas (PELD-CCAL), módulo Ambiente Recifal - Bentos.

Rios e plumas

Os dois rios com desembocadura mais próxima dos recifes estudados foram selecionados para a caracterização das plumas: o Rio Maragogi, próximo aos recifes de Maragogi e o Rio Salgado, próximo aos recifes de Japaratinga.

As imagens utilizadas para caracterização das plumas destes rios foram obtidas através do satélite PlanetScope Scene e Sentinela-2 L2A e editadas pelo Adobe Photoshop Lightroom, um software destinado a edição de fotos. Foram selecionadas imagens a cada 15 dias, durante 5 anos (2019 a 2023), principalmente coincidindo com os momentos de maré de sizígia e maré de quadratura. Na sizígia os meses de junho e julho de 2022, fevereiro de 2023 e na quadratura fevereiro de 2023, não foram encontradas imagens de satélites que pudessem ser utilizadas. As imagens foram georreferenciadas e processadas utilizando o software QGIS, analisadas, sendo calculada a área superficial e a distância das plumas aos recifes.

Dados ambientais secundários

Dados secundários de direção e intensidade dos ventos, pluviosidade, balneabilidade, temperatura da superfície da terra e do mar, amplitude da maré para o período

de estudo, foram adquiridos a partir de diferentes bases de dados: Administração Nacional Oceânica e Atmosférica – NOAA; Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos; Instituto do Meio Ambiente de Alagoas – IMA; METAR; Weather Underground; Marinha do Brasil.

A pluviosidade foi selecionada durante todos os meses dos anos estudados, já a direção e intensidade dos ventos e amplitude da maré coincidindo com a data de cada imagem de satélite selecionada para o estudo.

2.4 Análises de dados

A normalidade dos dados das plumas e da vitalidade dos corais foi testada através do teste de Shapiro-Wilk, e uma vez que os pressupostos de normalidade não foram atendidos foram utilizados Modelos Lineares Generalizados para verificar a influência dos parâmetros ambientais, nas características de área superficial e alcance das plumas (distância para o recife), utilizando o melhor modelo ajustado e um teste de Tukey para comparação de médias no caso de diferenças significativas entre o modelo nulo e o modelo ajustado. Foi utilizado um nível de significância de 5%.

Uma análise de correlação não paramétrica, utilizando o coeficiente de correlação de Spearman foi aplicada aos dados de ocorrência de branqueamento e morte dos corais e área superficial e distância das plumas dos Rios Maragogi e Japaratinga.

Essas análises foram aplicadas utilizando o pacote ‘*multcomp*’ (Hothorn et al., 2018) e funções básica do ambiente R (R Core Team, 2024)

3 RESULTADOS

3.1 Dados ambientais

3.1.1 Amplitude da maré

Os valores de amplitude da maré no período de estudo variaram de 0,50 a 2,50, O maior valor foi registrado em setembro de 2020 (2,5m). O menor valor foi registrado agosto de 2021 (0,50m). (Gráfico 01).

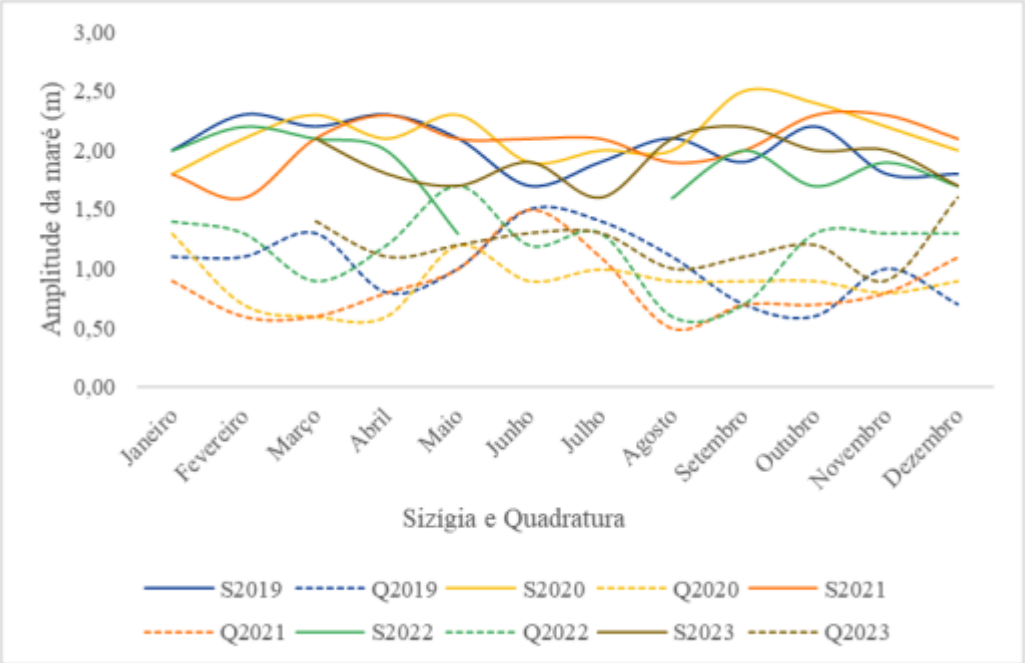

Gráfico 01: Amplitude da Maré (metros) para o porto de Maceió nos momentos de maré de sizígia (S, linhas contínuas) e de quadratura (Q, linhas tracejadas), no período de estudo (Fonte: Marinha do Brasil 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

3.1.2 Velocidade média dos ventos

Para a velocidade média dos ventos os maiores valores foram registrados na maré de sizígia de agosto de 2022 (11 Nós) e na maré de quadratura de outubro de 2020 (10,50 nós). O menor valor registrado ocorreu na maré de sizígia de maio de 2023 (3,75 Nós) e de junho de 2022 (3,75 nós) (Gráfico 02).

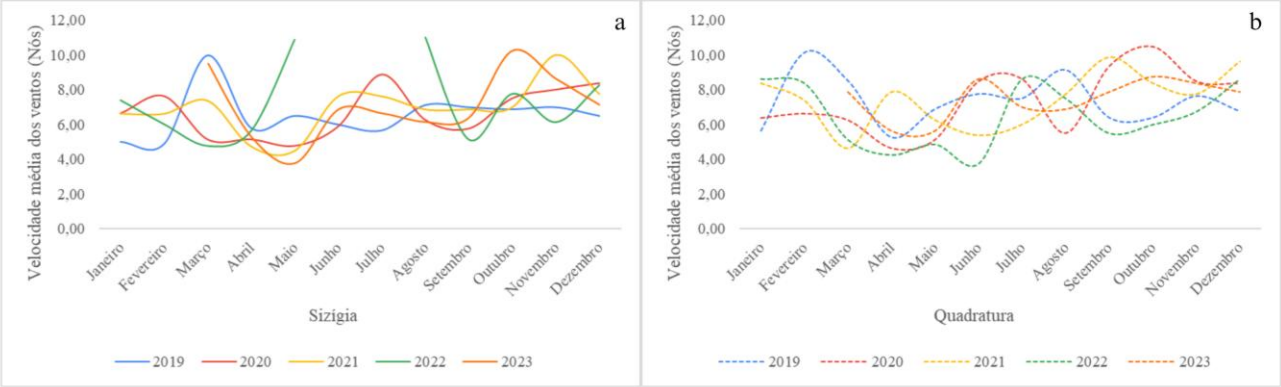

Gráfico 02: Velocidade média dos ventos (Nós) para os municípios de Japaratinga e Maragogi na maré de sizígia (a) e quadratura (b) nas respectivas datas das análises das plumas no período de estudo (Fonte: NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

3.1.3 Direção predominante dos ventos

De maneira geral, a direção predominante dos ventos foi Leste-Sudeste para marés de sizígia e Sudeste para marés de quadratura durante todo o período de estudo. (Tabela 01).

Direção Predominante dos Ventos										
Mês/Ano	**S/19**	**Q/19**	**S/20**	**Q/20**	**S/21**	**Q/21**	**S/22**	**Q/22**	**S/23**	**Q/23**
Janeiro	→	↘	→	→	→	↘	→	↗	↗	→
Fevereiro	→	↘	↘	→	↘	→	→	↗		
Março	↑	↘	←	→	↗	↘	↘	↘	↘	↘
Abril	→	↘	→	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Maio	→	→	↘	↘	↘	↓	↘	↘	↘	↘
Junho	↗	↘	↘	↘	↓	↘		←	↘	↘
Julho	↗	↘	↘	↘	↘	↘		↘	↙	↘
Agosto	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↓	↘	→	→
Setembro	↘	→	↘	↘	↗	↘	↘	↘	↘	↘
Outubro	↘	↘	↘	↗	↘	↘	→	↘	↘	↗
Novembro	↘	↘	→	↘	↗	→	↘	↗	↘	↗
Dezembro	↘	→	↘	↗	↘	→	↑	↗	→	→

Tabela 01: Direção predominante do vento para os municípios de Japaratinga e Maragogi na maré de sizígia (S) e quadratura (Q) nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023. Lê-se Leste , norte ,leste nordeste , sudeste , leste sudeste , sul sudeste , oeste , nordeste , sul , norte nordeste , oeste sudoeste , sul sudoeste (Fonte: NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

3.1.4 Temperatura média da superfície da terra e do oceano

A temperatura média da superfície da terra (Gráfico 03) variou de 23,8ºC a 32,20ºC durante o período de estudo. A temperatura da superfície do oceano (Gráfico 04) variou de 26ºC a 30ºC e durante os 5 anos de estudo.

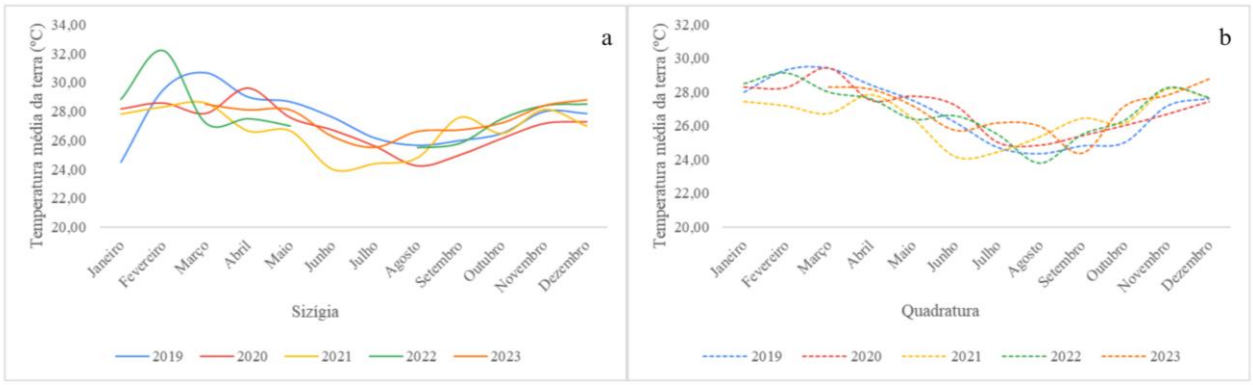

Gráfico 03: Temperatura da superfície da terra (em Celsius) para os municípios de Japaratinga e Maragogi nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023 na maré de sizígia (a) e na de quadratura (b) (Fonte: METAR e NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

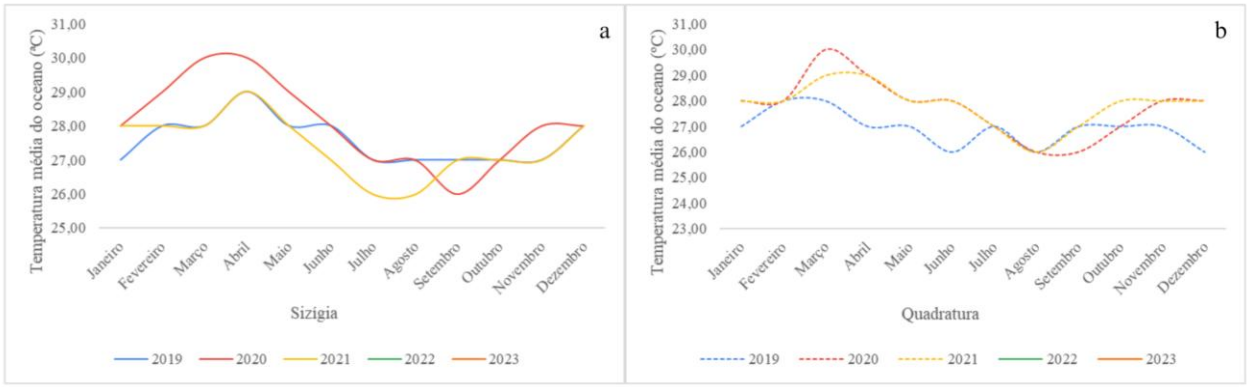

Gráfico 04: Temperatura do oceano (Graus Celsius) para os municípios de Japaratinga e Maragogi nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023 na maré de sizígia (a) e na de quadratura (b) (Fonte: METAR e NOAA Global Forest System, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

3.1.5 Pluviosidade

A pluviosidade mensal foi de maneira geral maior durante o período de abril a agosto, com pico de 517,50mm em maio de 2021. O valor mínimo de 0,60mm foi registrado em novembro de 2019 (Gráfico 05)

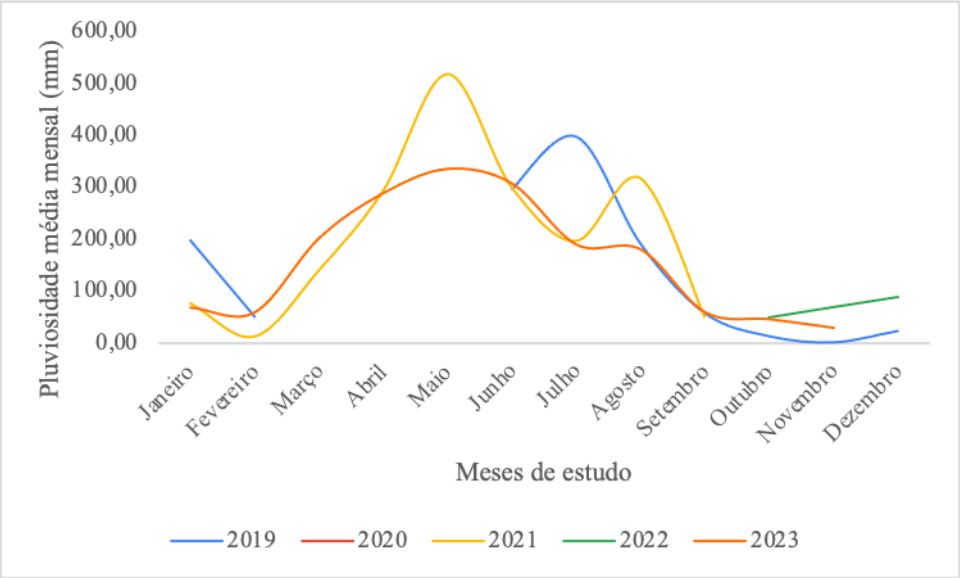

Gráfico 05: Pluviosidade média mensal (mm) do município de Maragogi nas respectivas datas das análises das plumas, entre 2019 a 2023 (Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

3.1.6 Balneabilidade

A balneabilidade dos rios Maragogi e Salgado se manteve imprópria em praticamente todos os momentos de estudo, à exceção dos meses de março, abril e julho de 2019 para o Rio Maragogi, do período de novembro de 2019 a março de 2020 para ambos os rios e do mês de março de 2021 para o Rio Salgado (Tabela 02).

Balneabilidade											
Rio Maragogi						**Rio Salgado**					
Sizígia						**Sizígia**					
Mês/Ano	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**Mês/Ano**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Janeiro	I	P		I	P	Janeiro	I	P		I	P
Fevereiro	I	P	I	I		Fevereiro	I	P	I	I	
Março	P	P	I	I	I	Março	I	P	P	I	I
Abril	P		I	I	I	Abril	I		I	I	I
Maio	I		I	I	I	Maio	I		I	I	I
Junho	I		I		I	Junho	I		I		I
Julho	P		I		P	Julho	I		I		P
Agosto	P		I	I	I	Agosto	I		I	I	P
Setembro	I		I	I	P	Setembro	I		I	I	I
Outubro	I		I	P	I	Outubro	I		I	I	I
Novembro	P		I	P	P	Novembro	P		I	P	P
Dezembro	P		I	I	I	Dezembro	P		I	I	I
Quadratura						**Quadratura**					
Janeiro	P	P		I	I	Janeiro	I	P		I	I
Fevereiro	I	P	I	I		Fevereiro	I	P	I	I	

Março	P	P	P	I	I	Março	I	P	P	I	I
Abril	I		I	I	I	Abril	I		P	I	I
Maio	I		I	I	I	Maio	I		I	I	I
Junho	P		I	I	P	Junho	I		I	I	I
Julho	P		I	I	P	Julho	I		I	I	P
Agosto	I		I	I	P	Agosto	I		I	I	P
Setembro	I		I	I	P	Setembro	I		I	I	P
Outubro	I		I	P	P	Outubro	I		I	I	I
Novembro	P		I	I	I	Novembro	I		I	P	P
Dezembro	P		I	I	I	Dezembro	P		I	I	I

Tabela 02: Balneabilidade da Foz dos rios Maragogi e Salgado na maré de sizígia e quadratura nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023. Balneabilidade Própria (P) e Balneabilidade Imprópria (I) (Fonte: Instituto do Meio Ambiente, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

3.2 Caracterização das plumas

Para o rio Maragogi, em momentos de maré de sizígia, o maior valor para a área da pluma (Gráfico 06a) foi de 6926,9 km² em junho de 2023, e o menor de 782,33 km² em agosto de 2022. Na maré de quadratura (Gráfico 06c) a maior área registrada foi de 4117,65 km² em junho de 2019 e a menor de 136,67 km² em outubro de 2023.

Já para o rio Salgado a maior área da pluma registrada na maré de sizígia (Gráfico 06b) foi de 7352,06 km² em junho de 2021 e a menor de 263,97 km² em outubro de 2022. Na maré de quadratura (Gráfico 06d) os menores e maiores valores da pluma foram de 546,28 km² em março de 2023 e de 4960,81 km² em maio de 2020.

Com relação aos valores de distância das plumas (Gráfico 07) para o rio Salgado, na maré de sizígia o maior valor foi de 936,679m (Gráfico 07b) no mês de setembro no ano de 2019, e chegou a 0 (Gráfico 07b), ou seja, tocando no recife em vários momentos como no mês de março/19, maio/19, junho/19, agosto/19, março/20, abril/20, maio/20, agosto/20, março/21, junho/21, março/22, abril/23, maio/23, julho/23. Já para o rio Maragogi a maior foi de 3316,86m em dez/2021 (Gráfico 07a) e a menor distância de 1537,47m em jun/2021 (Gráfico 07a). Na maré de quadratura no rio Salgado a distância mínima foi de 0m em maio/2020 (Gráfico 07d) e máximo de 1490,914m em dezembro de 2021 (Gráfico 07d). Já para a pluma do rio Maragogi a distância mínima foi de 1895,808 em junho (Gráfico 07c) de 2019 e o máximo de 3502,418 em dezembro de 2021 (Gráfico 07c).

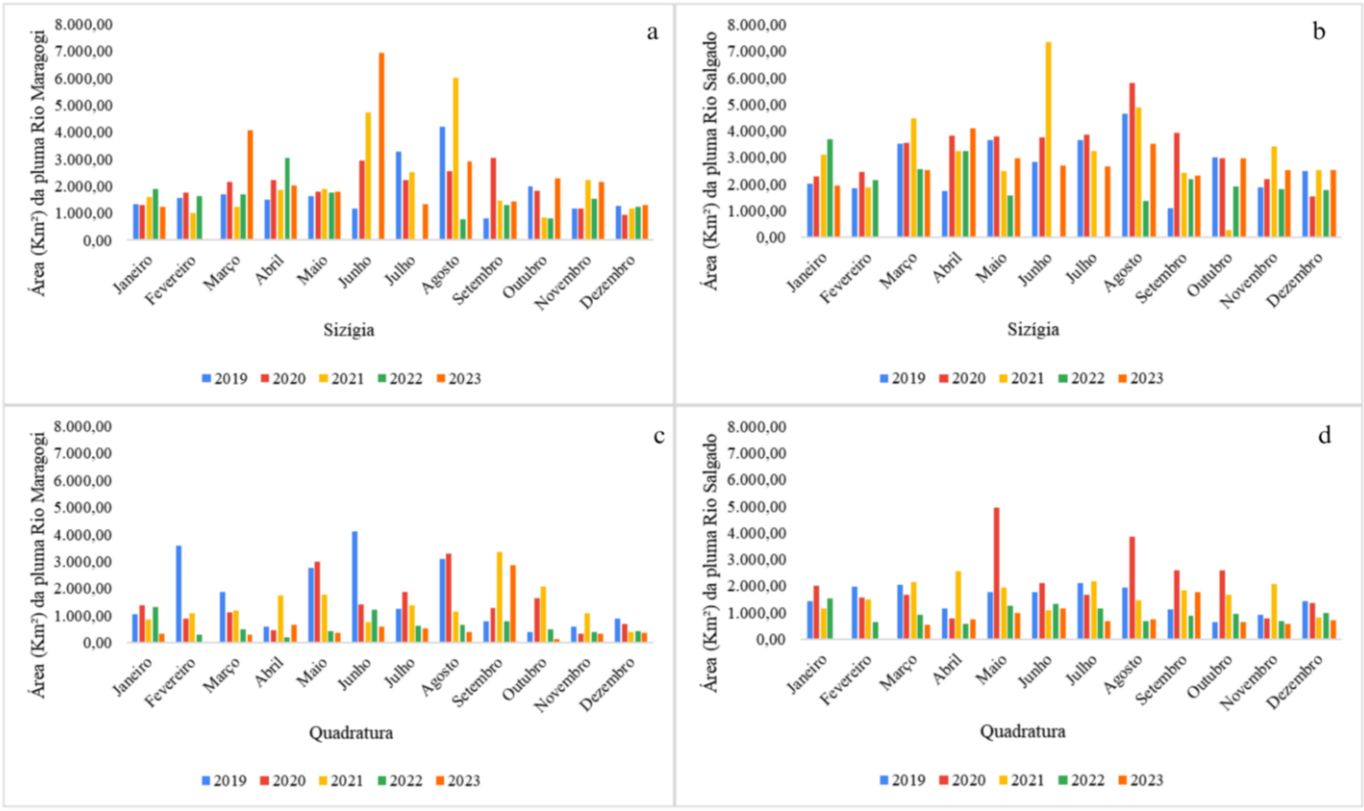

Gráfico 06: Área das plumas (Km²) na maré de sizígia no rio Maragogi (a) e no rio Salgado (b) e na maré de quadratura no rio Maragogi (c) e no rio Salgado (d) nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023.

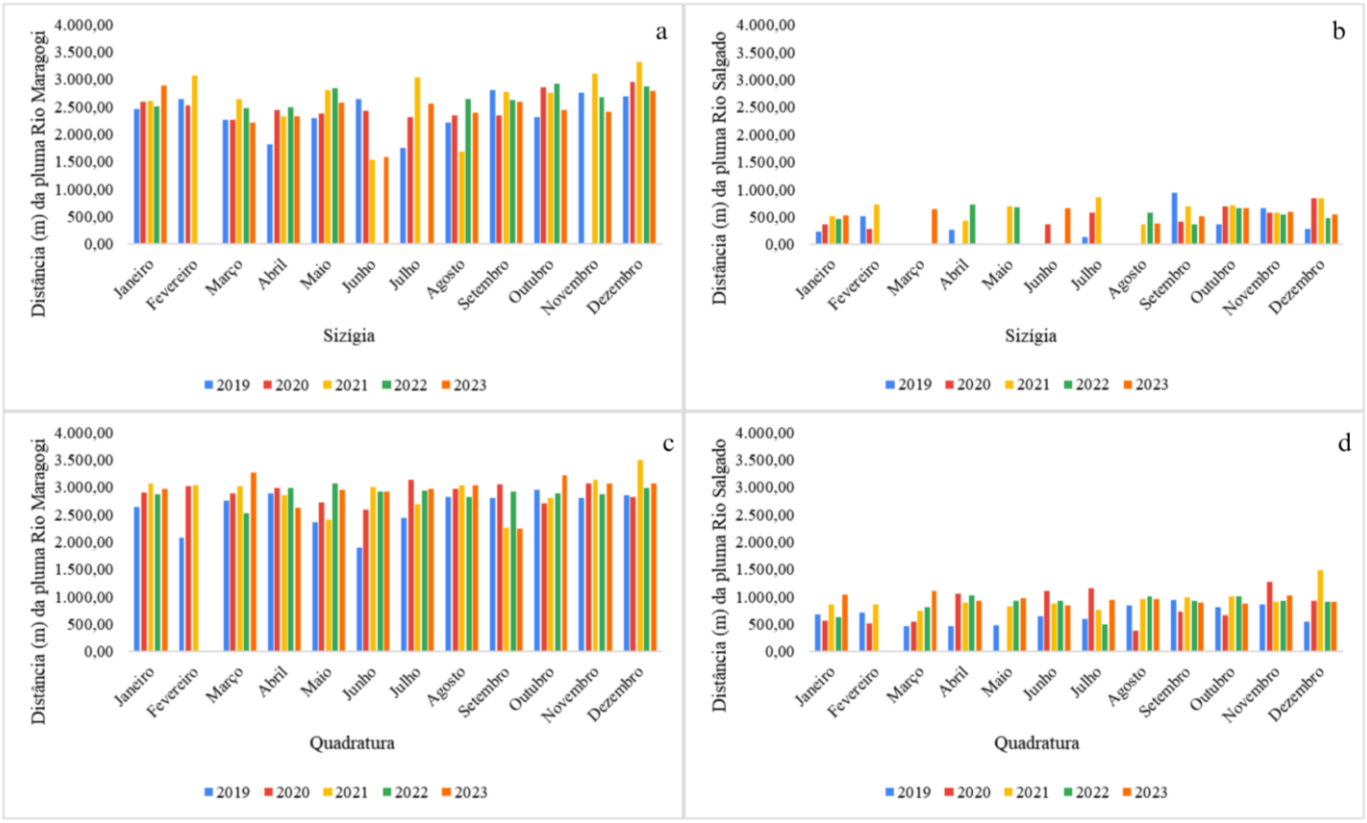

Gráfico 07: Distância das plumas (em metros) na maré de sizígia no rio Maragogi (a) e no rio Salgado (b) e na maré de quadratura no rio Maragogi (c) e no rio Salgado (d) nas respectivas datas das análises das plumas de 2019 a 2023.

3.3 Vitalidade dos corais

O branqueamento de corais teve maior incidência em dezembro de 2019, e em março de 2022 teve maior incidência de morte, nos recifes de Maragogi (Gráfico 08). Em Japaratinga houve apenas coleta no ano de 2019, dessa forma houve uma maior incidência de branqueamento e morte em junho deste ano (Gráfico 09).

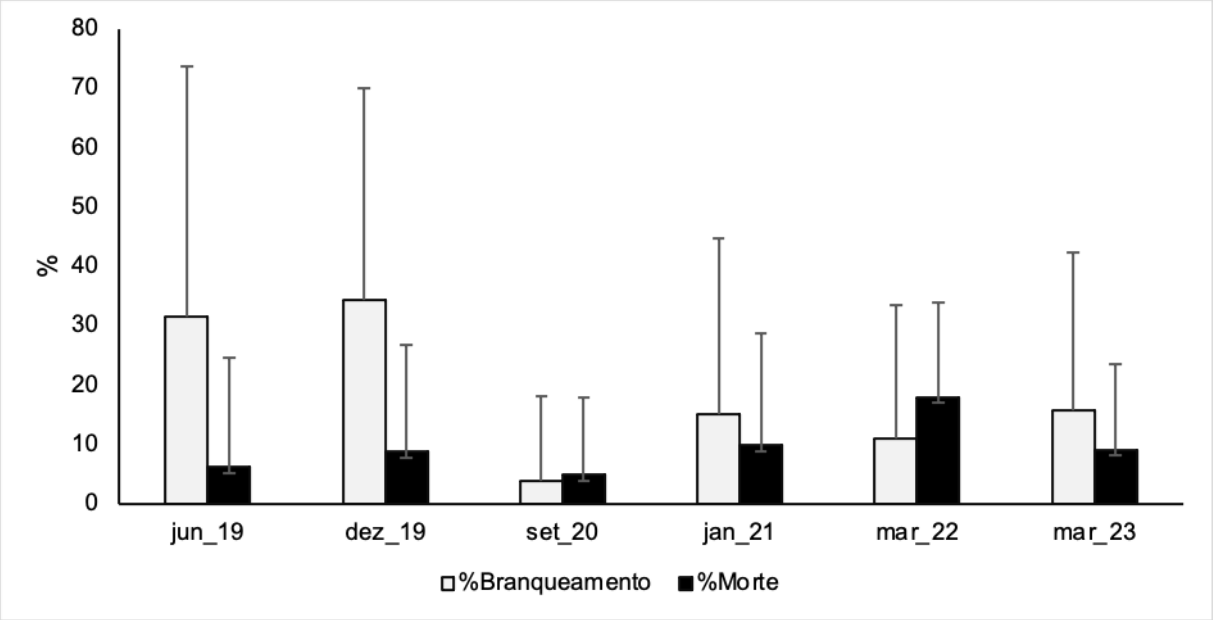

Gráfico 08: Incidência de branqueamento e morte para o recife de Maragogi, nos anos de 2019 a 2023.

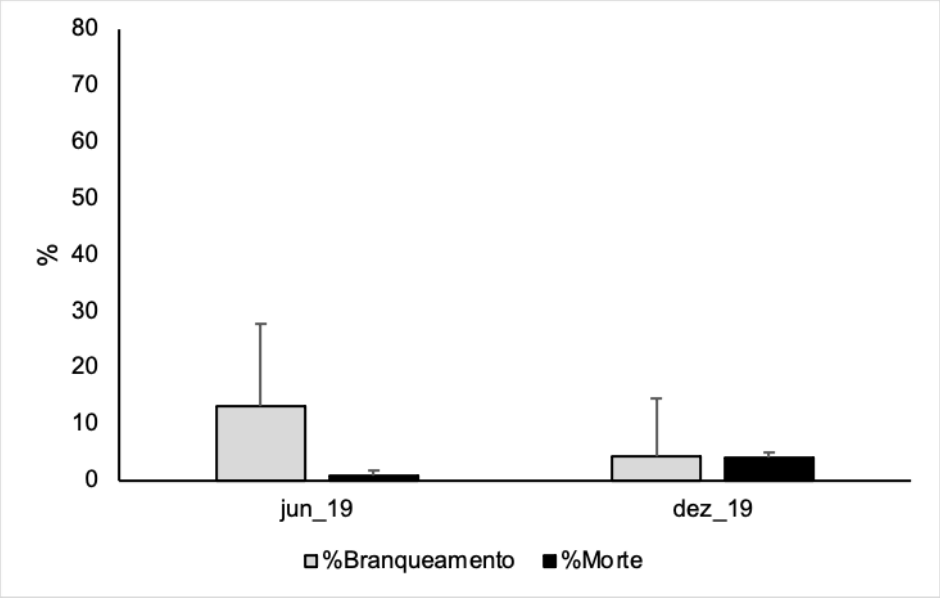

Gráfico 09: Incidência de branqueamento e morte para o recife de Japaratinga, no ano de 2019.

Através das análises de correlação de Spearman aplicadas para taxas de branqueamento e morte das colônias e características das plumas, não foram encontradas

correlações significativas entre estas variáveis para o rio Maragogi. Apenas houve uma correlação negativa significativa entre área e distância da pluma, indicando que quanto menor a área da pluma maior a distância desta para os recifes (Gráfico 10).

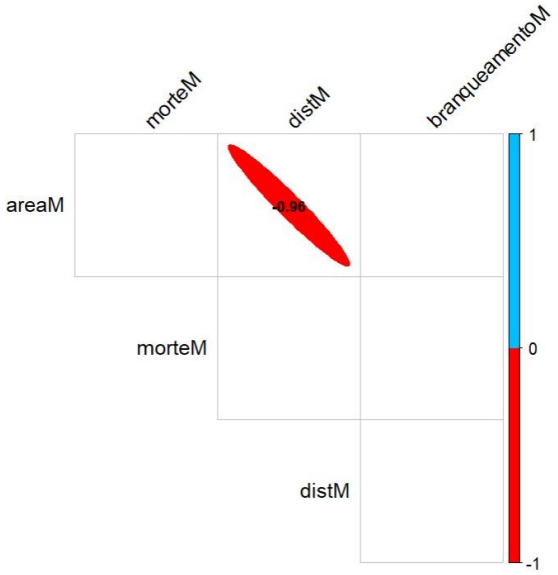

Gráfico 10: Análise da correlação de Spearman para as variáveis área e distância da pluma do rio Maragogi e a vitalidade de corais (% de branqueamento total e morte total) dos recifes de Maragogi de 2019 a 2023. Apenas correlações significativas são mostradas ($p<0,05$). Valores em vermelho indicam correlação negativa e em azul, positiva. Quanto menor a largura da elipse, maior a correlação e o número no interior das elipses é o valor do coeficiente de correlação de Spearman).

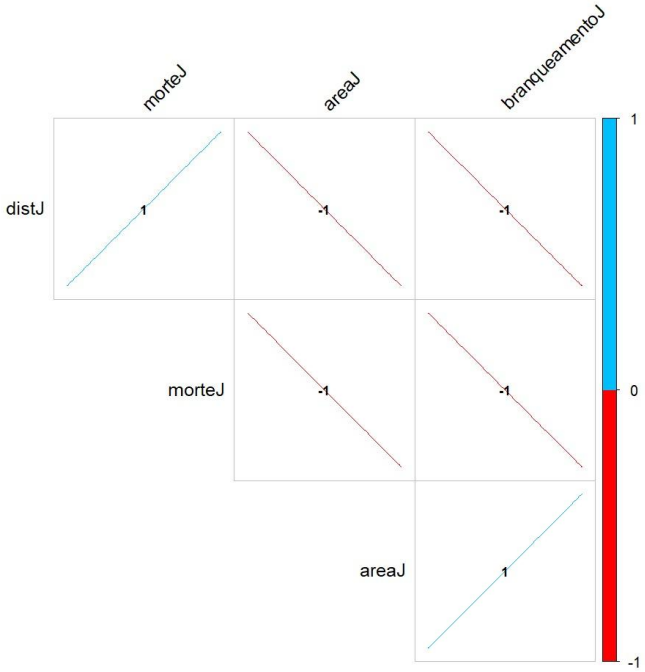

Gráfico 11: Análise da correlação de Spearman para as variáveis, área e distância da pluma do rio Salgado e a vitalidade de corais dos recifes de Japaratinga no ano de 2019. Apenas correlações significativas são mostradas ($p<0,05$). Valores em vermelho indicam correlação negativa e em azul, positiva. Quanto menor a largura da elipse, maior a correlação e o número no interior das elipses é o valor do coeficiente de correlação de Spearman).

O melhor modelo ajustado na Análise de Modelos Lineares Generalizados foi aquele para dados de distribuição de quassi-poisson tanto para áreas quanto para plumas dos rios. A área da pluma do rio que resultou que em Maragogi foi influenciada significativamente ($F=2,98$; $p= 0,04$) pelo tipo de maré (sizígia ou quadratura), temperatura da superfície do mar e pluviosidade mensal. Já a área da pluma do rio Salgado foi influenciada significativamente ($F=4,33$; $p=0,025$), pelo tipo de maré e pluviosidade mensal. Na distância para os dois rios os fatores que influenciaram significativamente esta variável foram o tipo de maré, a amplitude de maré, a direção predominante do vento e a pluviosidade mensal ($F=25.288$; $p=0.00$). Para o rio Salgado sendo Leste-Sudeste a direção predominante do vento que mais influenciou a distância da pluma), e as marés de sizígia de maior amplitude. No mesmo resultado foi encontrado para a distância das plumas do rio Maragogi sendo Leste-Sudeste a direção predominante dos ventos que influenciou significativamente as distâncias da e as mares de sizígia de maior amplitude.

4 DISCUSSÃO

Os resultados do presente trabalho indicam que os principais fatores que regem as características das plumas dos rios Salgado e Maragogi, foram amplitude e tipo de maré, pluviosidade e ventos predominantes do quadrante de Leste-Sudeste. No período de estudo, entre 2019 e 2023, verificou-se que quanto maior o gradiente desses fatores, maiores as áreas superficiais e a proximidade entre a pluma e os recifes, em especial para o rio Salgado nos recifes de Japaratinga, os quais são mais próximos da costa do que os de Maragogi, onde, em alguns momentos de maior pluviosidade e amplitude de maré, a pluma alcança os recifes.

Uma maior área superficial nas marés de sizígia para os dois rios, é resultado do aumento das forças gravitacionais, quando Terra, Lua e Sol estão alinhados, aumentando a amplitude e o efeito da maré. Os momentos em que a pluma alcança o recife coincidem também com momentos de maiores pluviosidades, as quais aumentam a vazão dos rios e a entrada da pluma no oceano, como no trabalho de Mascarenhas (2016) que registrou uma grande extensão da pluma durante os períodos de maior descarga fluvial. Também foi observado para os dois rios deste estudo, que as menores plumas ocorreram na maré de quadratura e menor pluviosidade, o que também foi observado no trabalho de Mascarenhas (2016), no qual os períodos de menor vazão a pluma também foi menor. Nota-se que em períodos de chuvas em conjunto com marés de sizígia as plumas ficam cada vez maiores, devido ao aumento no volume de água e vazão dos rios e influência da maré na produção de efeitos moduladores sobre as plumas (Marques, 2006).

Chao (1990) mostrou que os efeitos da maré são importantes para o espalhamento da pluma transversalmente à costa, o que também foi observado nas imagens de satélite analisadas no presente trabalho. É notável que a maré possui influência na área da pluma, mas deve-se observar que o vento também exerce uma grande influência, conforme observado nesse trabalho, com a direção predominante do vento Leste- Sudeste influenciando a pluma dos dois rios.

No rio Maragogi a maior área da pluma registrada na maré de sizígia foi de 6926,9 km² em junho de 2023, e distância de 1584,5m, considerada pequena já que a menor distância registrada em todo o trabalho foi no valor de 1537,47m (jun/21), durante momentos de amplitude da maré de 1,9m, balneabilidade imprópria e a segunda maior pluviosidade mensal do ano sendo de 306,10mm, temperatura relativamente baixa de 26,35ºC, com direção predominante Sul-sudeste, velocidade dos ventos de 6,86 Nós.

Já no rio Salgado foi observado também no mês de junho de 2021 a maior área da pluma registrada, na maré de sizígia (7352,06 km²), com amplitude da maré de 2,10m, direção predominante do vento Sul, pluviosidade mensal de 300mm (a terceira maior do ano), balneabilidade imprópria e a menor distância, 0m, alcançando o recife, com temperatura da superfície do mar de 24º C, a menor registrada.

Ao analisar os resultados, percebe-se que a maré, a pluviosidade e o vento têm influência sobre a pluma, mas que quando os três agem juntos, com determinadas características, possuem uma força maior, que molda a área da pluma. Outro ponto notado foi que em geral as áreas das plumas nas marés de sizígia são maiores do que as de maré de quadratura, contando com algumas variações a depender de outros fatores como pluviosidade, direção do vento, e outras não analisadas aqui, como rios próximos que podem misturar suas plumas com os rios estudados e a correnteza.

Em Japaratinga, foi possível observar que as plumas alcançaram a recife nas marés de sizígia, mas não foi possível detectar um padrão em relação a combinação das características do vento e pluviosidade. Na quadratura em 2020 uma pluma alcançou o recife, durante o período mais chuvoso. Portanto, a maré influencia a distância da pluma ao recife. Para os recifes de Maragogi não foi registrado o alcance da pluma no recife, provavelmente por estarem localizados mais afastados da costa do que os recifes de Japaratinga, cerca de 1 km a mais. Nas marés de quadratura, as plumas podem alcançar áreas consideráveis, apesar da pouca amplitude de maré. Nesses casos, torna-se mais importante observar a pluviosidade diária para avaliar melhor a sua influência no espalhamento da pluma.

A balneabilidade é uma métrica das condições de qualidade da água para uso recreativo e é medida através da presença de microrganismos na água (Hirai e Porto, 2016). É influenciada pela pluviosidade e maiores descargas de rios contaminados (Hirai e Porto, 2016) podendo indicar a influência da descarga do rio no ambiente marinho e indicar poluição. Com relação à balneabilidade, no presente trabalho, mesmo em momentos de menores amplitudes de maré e pluviosidade baixa foi registrada balneabilidade imprópria, indicando poluição orgânica por descargas fecais e de nutrientes arrastadas pelos rios.

É amplamente conhecido que a principal causa do branqueamento dos corais é o aquecimento global, mas estressores locais como a poluição podem também ser responsáveis pelo branqueamento aumentando a sensibilidade e diminuindo a resiliência dos corais ao branqueamento causado pelas anomalias térmicas (Leão, et al. 2009; Poggio et al. 2009). Apesar de apresentarem um impacto menos intenso no branqueamento que as anomalias térmicas, os estressores locais podem causar estresse crônico para os recifes de corais que são

localizados próximos a foz dos rios (Larsen, 2009). Dentre os fatores locais, o aumento da descarga de poluentes de origem continental tem sido destacado como um estressor adicional aos corais (Bainbridge et al., 2018; Magris e Ban, 2019).

Através das análises de correlação aplicadas às taxas de branqueamento e morte das colônias e características das plumas nos recifes de Japaratinga, foi possível notar que a pluma do rio Salgado alcançou os recifes de Japaratinga em alguns momentos, onde a ocorrência de branqueamento foi maior. Este resultado reforça ainda mais a influência dos estressores locais, como sedimentação, luminosidade e aporte de nutrientes (Correia, 2016).

Dessa forma a pluma dos rios pode ser sim um dos estressores locais que causam o branqueamento, como também pode ser a responsável pela taxa de mortalidade coralínea pós branqueamento. A correlação positiva encontrada entre a ocorrência de mortalidade e maiores distâncias das plumas para o recife, pode ser explicada pelo fato de que a mortalidade se dá após um período prolongado de branqueamento com não ocorrendo instantaneamente (Pereira et al., 2022).

É válido ressaltar que os nutrientes inorgânicos carreados dissolvidos nas plumas podem influenciar os recifes e os corais mesmo quando a pluma não alcança o recife, como foi o caso de Maragogi, onde não houve registro do alcance da pluma sobre os recifes. É possível que a influência dos materiais continentais dissolvidos na água, como os nutrientes inorgânicos, por exemplo, se estenda até os recifes, mesmo não sendo possível detectar através das imagens de satélite. Outros autores demonstraram para esta mesma área de estudo maiores concentrações de clorofila-*a*, e aumento do estado trófico da água do mar próxima aos recifes em períodos de maior pluviosidade, além de excesso de radônio e maiores proporções nas taxas de N:P para a água intersticial, confirmando a contribuição da entrada dos rios e influência sobre os recifes, independente do alcance da pluma (Silva et al., 2022). Smyth (2016) também observou maiores registros de morte para os corais, tanto devido a pluma, quanto devido à alta pluviosidade e baixa salinidade.

Desta forma, pode-se afirmar que além das anomalias térmicas globais, outros fatores que contribuem para o branqueamento são o excesso de sedimentos, nutrientes e poluentes químicos, os quais podem ser levados pelas plumas dos rios. A baixa qualidade da água, devido ao grande aumento da população e ausência de saneamento e gestão de resíduos, é um fator crucial para o aumento das doenças, branqueamento e morte nos corais (Pollock, 2014).

Provavelmente com o aumento da temperatura média do planeta, os corais irão reduzir sua capacidade de tolerar o estresse térmico, o que poderá resultar no aumento do branqueamento. A influência de mudanças climáticas globais na ocorrência de eventos de

branqueamento de corais, provocados pela elevação da temperatura dos oceanos, tem sido um tema recorrente na literatura recente (Brown et al., 2019; Pisapia et al., 2019; Sully et al., 2019). Estes eventos têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos nas últimas décadas e vêm causando mortalidade massiva e diminuição da cobertura de corais pétreos globalmente (Donner e Carilli, 2019), alterando as assembleias biológicas nos recifes de coral (Fisher et al., 2019), diminuindo a sua complexidade estrutural e consequentemente causando perda de biodiversidade e diminuição da resiliência dos sistemas afetados (Magel et al., 2019), acarretando na chamada crise dos corais.

Em geral, ambientes recifais dominados por organismos não construtores de recifes, com uma cobertura algal maior do que 50%, são considerados severamente impactados (Cruz et al., 2018). De acordo com Aued et al. (2018), atualmente os recifes de toda a província do Brasil apresentam esta característica, com elevada dominância de macroalgas e turf, provavelmente resultado de uma mudança de fase gradual como consequência de impactos humanos crônicos, em especial elevado input de nutrientes e sedimento, que seriam esses transportados pelos rios. É válido ressaltar aqui, que não foi possível perceber diferenças quanto a distância das plumas nas diferentes zonas de uso de um mesmo município, uma vez que os recifes da ZPRO e ZPRE estudados são muito próximos, podendo-se sugerir que ambas estão sob a mesma influência da descarga dos rios e o zoneamento de usos não tem efetividade para estes tipos de estressores, representados pela descarga dos rios.

Sedimentação e descargas de água doce são estressoras de pequena escala para o branqueamento dos corais, ou seja, de maneira local (Gaspar, 2022). De acordo com Spalding (2001), ao longo do tempo os efeitos sufocantes dos sedimentos vão enfraquecer os corais podendo reduzir seu crescimento ou o seu potencial reprodutivo, consequentemente deixando-os incapazes de competir com os outros organismos, dentre os quais algas, que por sua vez se beneficiam com o aporte de nutrientes provenientes do rio. A elevada entrada de sedimentos, aumenta a turbidez das áreas rasas, inibindo a luminosidade nos recifes e protegendo os corais, uma vez que a alta taxa de exposição à luz pode acarretar o branqueamento dos corais (Terra, 2021).

Nascimento (2019) relatou que apesar da luminosidade não ter apresentado uma relação com o branqueamento em seu estudo, citou que situações de água mais clara e mais quente favorecem o aumento da atividade fotossintética das zooxantelas, levando a um estresse oxidativo e expulsão das mesmas, causando branqueamento. A espécie *Millepora alcicornis*, o coral de fogo, por exemplo, é extremamente suscetível a eventos de branqueamento relacionados à elevação da temperatura do mar ou ao aumento da incidência

luminosa (Garrido, 2019). Colônias da espécie *Mussismilia hispida,* o coral cérebro, são dominadas por zooxantelas tolerantes a turbidez. Já Correia (2020) observou a ocorrência de branqueamento em colônias de *Siderastrea stellata,* sugerindo que a ocorrência de colônias fracamente branqueadas é de aproximadamente 15% nos recifes costeiros do Nordeste, devido à intensidade luminosa recebida. Portanto, o número de zooxantelas está diretamente relacionado à necessidade de o coral atingir sua eficiência fotossintética. E como a luminosidade se intensifica em um ambiente, pode haver uma saída maior destas microalgas, assim evitando a fotoinibição.

Portanto, além de eventos climáticos extremos, que resultam em branqueamento em massa nos recifes de todo o mundo (Gaspar, 2022), na costa brasileira o aumento da urbanização ao longo de décadas, vêm resultando em muitos impactos nas comunidades marinhas (Avelino, 2023), em especial os corais, os quais são de suma importância para a biodiversidade marinha pois abrigam grande parte da mesma, alimentando e sendo propício a reprodução de várias espécies marinhas (AZEVEDO, 2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam uma menor influência da pluma do rio Maragogi sobre os recifes deste município, provavelmente devido a estes serem mais distantes da costa, ao contrário de Japaratinga. Sugere-se impacto das plumas sobre os recifes, porém outros fatores podem ser responsáveis pela degradação destes recifes.

Apesar da implementação das zonas de preservação, até o presente momento não é possível identificar sinais de recuperação da cobertura coralínea nestes recifes. Para entender melhor o comportamento da pluma e prever a sua influência sobre os recifes costeiros, sugere-se estudos futuros para análise das ondas e a correnteza, já que a orientação residual da pluma pode ser controlada pelos ventos dominantes e/ou pela variabilidade das correntes costeiras (Marques, 2006). Existindo assim forças a mais além da maré, do vento e da pluviosidade. Sugere-se ainda acrescentar transectos fixos para aplicar a metodologia para dados mais precisos de alterações da cobertura bentônica ao longo do tempo.

É importante ressaltar que o zoneamento de usos em áreas marinhas protegidas vem sendo utilizado em muitos locais do mundo com objetivo de mitigar impactos locais sobre os recifes, especialmente efeitos da pesca e do turismo desordenados. Entretanto, através deste estudo foi possível confirmar que os recifes estudados estão sob efeito de outros estressores locais que independem do manejo de usos. Recomenda-se fortemente um maior esforço no manejo das bacias hidrográfica e da qualidade da água dos rios, além da manutenção do zoneamento de usos e a monitoramento dos recifes.

REFERÊNCIAS

ALVES, T. D., Interação entre duas paisagens: avaliando os impactos antrópicos em recifes de corais costeiros em uma abordagem multi-escala como subsídio para implantação de áreas protegidas. 2020.

AUED, A.W.; SMITH, F; QUIMBAYO, J.P.; CÂNDIDO, D.V.; LONGO, G.O.; FERREIRA, C.E.L.; et al., Large-scale patterns of benthic marine communities in the Brazilian Province. PLoSONE 13(6): e0198452., 2018. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0198452.

AVELINO, D. F. G., S. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade ambiental dos recifes de arenito da praia de Porto de Galinhas (Pernambuco), Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.11, n.1.182-201, 2023.

AZEVEDO, Júlia. Recifes de corais: o que são e impactos. Ecycle, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/recife-de-corais>.

BAHADORI, M.; CHEN, C.; LEWIS, S. et al., A origem da matéria particulada em suspensão na Grande Barreira de Corais. Nat Commun 14, 5629, 2023. https://doi.org/10.1038/s41467-023-41183-z.

BAINBRIDGE, Z. Fine Sediment and Particulate Organic Matter: A Review and Case Study on Ridge-To-Reef Transport, Transformations, Fates, and Impacts on Marine Ecosystems. Marine Pollution Bulletin, V. 135, P. 1205-1220, 2018. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.002.

BROWN, B.E. 2019. Long-term impacts of rising sea temperature and sea level on shallow water coral communities over a 40 year period. Scientific Reports, 9:8826. https://doi.org/10.1038/s41598-019-45188-x.

CAMPOS, E; MUELBERT, J; KJERFVE, B.; PIOLA, A.; MELLO, S.; SCHEUENSTUHL, M. C. B.; et al. Interreações Oceano-Continente no Cenário das Mudanças Globais. Academia Brasileira de Ciências. p. 1-9. 2012.

CHAO, S. Y. Tidal modulation by estuarine plumes. Journal of Physical Oceanography. 20,1115-1123, 1990.

COELHO, S. C. S., Origem, Distribuição e Composição do Lixo Proveniente de Correntes Oceânicas em Duas Praias Isoladas de Arraial do Cabo – Universidade Federal Fluminense, RJ. Niterói, RJ 2020.

CORREIA, L. F. C. C., Padrão de branqueamento de Siderastrea stellata (Verril, 1868) em dois complexos recifais areníticos do Atlântico Sul. Universidade Federal do Rio Grande do

Norte, Centro de Biociências, 2016.

CORREIA, L. F. Monitoramento da Saúde de Corais em Recifes Costeiros e Oceânicos Utilizando Modelos 3-D. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Ecologia. 2020.

CRUZ, I. C. S. Marginal coral reefs show high susceptibility to phase shift. Marine Pollution Bulletin. V.135, p. 551-561, 2018.

DONNER S.D.; CARILLI J., Resilience of Central Pacific reefs subject to frequent heat stress and human disturbance. Scientific Reports, 9(3484):1-13., 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-40150-3.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M., Monitoramento dos recifes de coral do Brasil. 2006.

FISHER, R.; BESSELL-BROWNE, P.; JONES, R., Synergistic and antagonistic impacts of suspended sediments and thermal stress on corals. Scientific Reports., 2019. 9:8402 https://doi.org/10.1038/s41598-019-44809-9.

GARRIDO, A. G. Recomposição da comunidade de zooxantelas simbiontes do hidrocoral Millepora alcicornis após um evento de anomalia térmica. Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO), 2019.

GASPAR, T. L. Eventos de branqueamento de corais no Atlântico Sul: recifes marginais são possíveis refúgios climáticos?, 2022.

GONÇALVES, P. M., A influência da Temperatura e da Calcificação na variação de δ18O e δ13C e Sr/Ca no esqueleto do coral Mussismilia braziliensis (Verrill 1868). 2017.

GRAHAM, N. A. J., & NASH, K. L. A importância da complexidade estrutural nos ecossistemas de recifes de corais. Recifes de Corais, v.32, n. 2, p.315-326., 2013.

GUO, J., YU,K.; WANG,Y. ZHANG, R.,; HUANG, X.; QIN, Z., Potential impacts of anthropogenic nutrient enrichment on coral reefs in the South China Sea: evidence from nutrient and chlorophyll a levels in seawater. Environ. Sci.: Processes Impacts. 21, 1745., 2019.

HIRAI, F.M.; PORTO, N. F. A., The development of predictive tools for recreational water quality based on rainfall levels: case study of Cachoeira das Emas beach (SP). Eng Sanit Ambient, 21:(4):797-806., 2016.

HUGHES, T.P. Mudanças climáticas, impactos humanos e a resiliência dos recifes de corais. Ciência, v.301, n. 5635, p.929-933., 2003.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P., Simultaneous Inference in General Parametric Models. Biometrical Journal, v. 50, n. 3, p. 346-363, 2008.

IMA. Praias próprias e impróprias para banho: Balneabilidade. Alagoas., 2019. Disponível em: https://www2.ima.al.gov.br/balneabilidade-das-praias/ Acesso em: 01/11/2024.

LEÃO, ZMAN. Monitoramento dos recifes e ecossistemas coralinos. In: TURRA, A., and DENADAI, MR., orgs. Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos [online]. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M. D. M., Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. Biota Neotropica, v. 8, p. 69-82, 2008.

LARSEN M. C.; WEBB, R. M. T., Efeitos potenciais do escoamento, sedimentos fluviais e descargas de nutrientes nos recifes de corais de Porto Rico. Revista de Pesquisa Costeira (2009) 25 (1 (251)): 189–208., 2009. https://doi.org/10.2112/07-0920.1.

LIMA, N. G. H.; LIMA, I. S., Recifes de Corais: Educar para Conservar. Congresso Nacional de Educação, 2024.

MAGEL J.M.T.; BURNS J. H. R.; GATES R. D.; BAUM J. K. Effects of bleaching-associated mass coral mortality on reef structural complexity across a gradient of local disturbance. Scientific Reports, 9(2512): 1-12, 2019.

MARQUES, W. C., A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil, 2006.

MASCARENHAS, A. C. C. Variações sazonais na pluma do rio Amazonas com foco no setor leste. 2016.

MAGRIS, R. A.; BAN, N. C. A Meta-Analysis Reveals Global Patterns of Sediment Effects on Marine Biodiversity. Glob. Ecol. Biogeogr. 28, 1879–1898. 2019. https://doi.org/10.1111/geb.12990.

NASCIMENTO, W. F., Saúde do Coral *Siderastrea stellata* e sua Relação com Variáveis Ambientais em Poças de Maré do Rio Grande do Norte. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Curso de Ciências Biológica, 2019.

OLIVO, A. et al., CO2 photoreduction with water: Catalyst and process investigation, Journal of CO2 Utilization Volume 12, December 2015.

PLANET TEAM. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. Disponível em: https://api.planet.com Acesso em: 2022.

PEREIRA, P. H. C.; LIMA, G.V.; PONTES, A. V. F.; CÔRTES, L. G. F.; GOMES, E.; SAMPAIO, C. L. S.; PINTO, T. K.; MIRANDA, R. J.; CARDOSO, A. T. C.; ARAUJO J. C. and SEOANE J. C. S., Unprecedented Coral Mortality on Southwestern Atlantic Coral Reefs Following Major Thermal Stress. Front. Mar. 2022, Sci. 9:725778. doi: 10.3389/fmars.2022.725778.

PISAPIA, C.; BURN, D.; PRATCHETT, M. S.; Changes in the population and community structure of corals during recent disturbances (February 2016-October 2017) on Maldivian coral reefs. Scientific Reports. 9:8402, 2019. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44809-9.

POGGIO, C.; LEÃO, Z.; MAFALDA-JÚNIOR, P. Registro de branqueamento sazonal em Siderastrea spp. em poças intermareais do recife de Guarajuba, Bahia, Brasil. Interciência, v.34, n.7, p. 502-506, 2009.

POLLOCK, F. J. Sedimentos e turbidez associados à dragagem offshore aumentam a prevalência de doenças de corais em recifes próximos. PLOS ONE 11(11): e0165541. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165541, 2016.

SILVA B. J. Seasonal influence of surface and underground continental runoff over a reef system in a tropical marine protected area, Journal of Marine Systems, Volume 226, 2022, 103660, ISSN 0924-7963, https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2021.103660.

SMYTH, K.; ELLIOTT, M. Effects of changing salinity on the ecology of the marine environment. In book: Stressors in the Marine Environment – Chapter 9., 2016.

SOARES, M. O. Impacts of a changing environment on marginal coral reefs in the Tropical Southwestern Atlantic. Ocean & Coastal Management Volume 210, 1 September 2021.

SPALDING, M. World atlas of coral reefs. California: University of California Press, 2001.

SULLY, S.; BURKEPILE, D. E.; DONOVAN, M. K.; HODGSON, G.; VAN WOESIK, R., A global analysis of coral bleaching over the past wo decades. Nature Communications, 10(1264):1-5., 2019.

Terra, R. S. Levantamento das Principais Causas e Consequências do Branqueamento dos Corais. Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente, 2(4), 8., 2021. https://doi.org/10.51189/rema/2269.

TUNALLA, L. P. Stress factors in the photobiology of the reef coral Siderastrea stellata. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Volume 519, October 2019.

ZHAO, H.; YUAN, M.; STROKAL, M.; WU, H. C.; LIU, X.; MURK, A. T.; KROEZE, C.; OSINGA, R., Impacts of nitrogen pollution on corals in the context of global climate change and potential strategies to conserve coral reefs. Science of the Total Environment. 774: 145017, 2021.