

**EFEITOS DE OBRAS PARA CONTROLE DE EROSÃO COSTEIRA EM
POPULAÇÕES DO CARANGUEJO *Ocypode quadrata* (FABRICIUS,
1787) EM PRAIAS DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

ADRIANE BAUDSON DO NASCIMENTO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

FEVEREIRO 2025

**EFEITOS DE OBRAS PARA CONTROLE DE EROSÃO COSTEIRA EM
POPULAÇÕES DO CARANGUEJO *Ocypode quadrata* (FABRICIUS,
1787) EM PRAIAS DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

ADRIANE BAUDSON DO NASCIMENTO

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências
e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das
exigências para a obtenção do título de Mestra em
Ecologia e Recursos Naturais.

Orientadora: Profa. Dra. Ilana Rosental Zalmon

Coorientador: Prof. Dr. Phillipe Mota Machado

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

FEVEREIRO DE 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

N244

Nascimento, Adriane Baudson do.

Efeitos de obras para controle de erosão costeira em populações do caranguejo *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) em praias do litoral do Espírito Santo, Brasil / Adriane Baudson do Nascimento. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

54 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2025.

Orientadora: Ilana Rosental Zalmon.

Coorientador: Phillipe Mota Machado.

1. Ocypodidae. 2. Praias arenosas. 3. Erosão costeira. 4. Alimentação artificial. 5. Enrocamentos rochosos. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 577


EFEITOS DE OBRAS PARA CONTROLE DE EROSÃO COSTEIRA EM POPULAÇÕES DO CARANGUEJO *Ocypode quadrata* (FABRICIUS, 1787) EM PRAIAS DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL

ADRIANE BAUDSON DO NASCIMENTO


Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2025


Comissão examinadora

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANE CRISTINA ARAUJO BRAGA**
Data: 20/02/2025 16:45:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dra. Adriane Cristina Araújo Braga - UFES (Titular Externo)

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS ALBERTO DE MOURA BARBOZA**
Data: 22/02/2025 10:33:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Carlos Alberto de Moura Barboza - UFRJ (Titular Externo)

Documento assinado digitalmente
 **SALVATORE SICILIANO**
Data: 21/02/2025 05:44:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Salvatore Siciliano - FIOCRUZ (Titular Externo)

Documento assinado digitalmente
 **PHILLIPE MOTA MACHADO**
Data: 17/02/2025 09:38:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Phillipe Mota Machado - UFES (Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 **ILANA ROSENAL ZALMON**
Data: 17/02/2025 09:05:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Ilana Rosental Zalmon - LCA/CBB/UENF (Orientadora)

Dedico esta dissertação aos meus pais e à minha irmã, por estarem sempre ao meu lado e acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por tudo!

Aos meus pais, Rosemeri e Jailson, por todo amor, apoio, incentivo e dedicação à mim. Por serem meu porto seguro em qualquer situação e por sempre terem acreditado em mim, mesmo quando nem eu mais acreditava. Obrigada, mãezinha, por todas as orações, pedindo sempre pelo meu melhor e pela minha proteção. Eu amo vocês!

À minha irmã, Gisele, que nunca mediu esforços para me ajudar e sempre torceu por mim. Por vibrar pelas minhas conquistas junto comigo. Te amo, Gi, e torço sempre pela sua vitória.

Não poderia me esquecer da minha Melzinha, um dos melhores presentes que já ganhei. Minha mais fiel companheira, com o amor mais puro e verdadeiro que já conheci.

Ao meu namorado, André, por ter sido e por ainda ser o meu apoio em Campos, por toda atenção, carinho, paciência e amor, que fez tornar essa etapa mais leve. Não poderia deixar de mencionar o restante de sua família, Nita, Péricles, Vanessa e Bebel, que me acolheram de uma forma excepcional, fazendo eu me tornar parte dessa família. A todos vocês, o meu muito obrigada. Vocês são muito especiais para mim.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, Marina Valente, Lorrana Diniz e Vitor Arueira. Marina, minha dupla de ecologia de campo, a melhor que eu poderia ter, sua amizade foi um presente. Lorrana, sou grata por sua amizade, por todos os conselhos, desabafos e pela parceria “de milhões”. E, Vitor, por ter me ajudado de tão boa vontade sempre que precisei, mesmo em seus horários de descanso.

Aos meus orientadores, Dra. Ilana Rosental Zalmon e Dr. Phillipe Mota Machado, pela disponibilidade, exemplo, dedicação e contribuições em minha formação acadêmica. Agradeço por acreditarem em mim e por todas as oportunidades concedidas.

A todos que de alguma forma fizeram parte desse processo, direta ou indiretamente, deixo aqui os meus agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. HIPÓTESES.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS	5
4.1. Área de estudo.....	5
4.2. Caracterização das praias	8
4.3. Amostragem do <i>O. quadrata</i>	9
4.4. Análises estatísticas.....	10
5. RESULTADOS.....	11
5.1. Granulometria	11
5.2. Tendência à erosão costeira.....	12
5.3. Influência da erosão costeira no <i>O. quadrata</i>	13
5.4. Influência da urbanização no <i>O. quadrata</i>	14
5.5. Influência das obras para controle de erosão costeira no <i>O. quadrata</i>	15
5.5.1. Obra de alimentação artificial na Praia de Itaipava (Itapemirim)	18
7. CONCLUSÃO	24
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
APÊNDICE I.....	32
APÊNDICE II.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da área de estudo indicando os pontos de amostragem nos municípios de Itapemirim e Marataízes, litoral sul do Espírito Santo.	5
Figura 2. Pontos de amostragem em Itapemirim, Espírito Santo.	6
Figura 3. Pontos de amostragem nas praias de Marataízes, Espírito Santo.	8
Figura 4. Desenho amostral dos cinco transectos contínuos e perpendiculares à linha d'água, desde o limite superior do varrido ao início da vegetação ou outro limite antrópico/natural do supralitoral.	10
Figura 5. Perfil granulométrico (%) do sedimento coletado nos pontos de amostragem da Praia de Itaipava (P1 = ponto 1 e P2 = ponto 2) e de Itaoca (P3 = ponto 3 e P4 = ponto 4), localizadas no município de Itapemirim, litoral sul do Espírito Santo, Brasil.	11
Figura 6. Perfil granulométrico (%) do sedimento coletado nos pontos de amostragem da Praia Central (P1 = ponto 1 e P2 = ponto 2), Praia de Nova Marataízes (P3 = ponto 3 e P4 = ponto 4) e Praia de Lagoa Dantas (P5 = ponto 5 e P6 = ponto 6), localizadas no município de Itapemirim, litoral sul do Espírito Santo, Brasil.	12
Figura 7. Análise de regressão múltipla sobre a influência da erosão costeira na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo <i>O. quadrata</i> nas praias de Itapemirim e Marataízes, sul do Espírito Santo, Brasil.	14
Figura 8. Análise de regressão múltipla sobre a influência da Métrica de Modificação Humana (HMc) na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo <i>O. quadrata</i> nas praias de Itapemirim e Marataízes, sul do Espírito Santo, Brasil.	15
Figura 9. Análise de variância (ANOVA) sobre a influência da urbanização e das obras para controle de erosão costeira na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo <i>O. quadrata</i> nas praias de Itapemirim e de Marataízes, sul do Espírito Santo, Brasil.	16
Figura 10. Análise de Componentes Principais (PCA) avaliando a influência das obras para controle de erosão costeira (alimentação artificial, enrocamentos ou nenhuma intervenção), erosão e urbanização (HMc) no caranguejo <i>O. quadrata</i>	17
Figura 11. Análise de regressão bivariada sobre a influência do tempo da obra de alimentação artificial realizada e monitorada na Praia de Itaipava (Ponto 1 do gráfico) na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo <i>Ocypode quadrata</i> . O tempo zero marca o período durante a execução da obra, os dados após são referentes à finalização da mesma.	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Taxas médias de deslocamento da linha de costa em posições selecionadas nas praias de Itapemirim. 12

Tabela 2. Taxas médias de deslocamento da linha de costa em posições selecionadas na Praia de Marataízes nos períodos pré e pós intervenções costeiras. 13

RESUMO

Obras de engenharia em praias têm sido adotadas com objetivos de controlar impactos da erosão e inundação costeira e de possibilitar usos recreativos e demais formas de exploração econômica do litoral. Um animal potencialmente afetado por essas obras é o caranguejo-fantasma *Ocypode quadrata*, mais utilizado como indicador de impactos relacionados ao uso das praias. O objetivo deste estudo foi investigar como as obras para controle de erosão podem impactar a população de *O. quadrata* e se esta espécie é uma potencial indicadora desses impactos. A hipótese testada é que as obras para controle de erosão afetam negativamente a espécie *O. quadrata*, reduzindo sua abundância e o tamanho dos indivíduos, devido a alterações nas características do sedimento, caracterizando-a como uma potencial espécie indicadora de tais impactos. As amostragens foram realizadas em duas praias de Itapemirim (Praia de Itaoca e Praia de Itaipava) e três praias de Maratáizes (Praia Central, Praia de Nova Maratáizes e Praia de Lagoa Dantas), sul do Espírito Santo, entre 2022 e 2024, totalizando onze campanhas. Quatro pontos foram amostrados nas praias de Itapemirim, com destaque para uma obra de alimentação artificial acompanhada durante o estudo no ponto mais urbanizado do município, além de áreas menos urbanizadas com vegetação de restinga preservada e ausência de obras. Outros seis pontos foram selecionados ao longo das praias de Maratáizes, abrangendo locais com a presença de alimentação artificial, enrocamentos rochosos e também regiões pouco urbanizadas, com restinga preservada e ausência de estruturas antrópicas. Em cada ponto, foram verificados o nível de urbanização, calculado pela Métrica de Modificação Humana (HMc), a tendência à erosão, calculada pela média de deslocamento da linha de costa dos municípios, além da abundância e do diâmetro das tocas dos caranguejos. A população de *O. quadrata* foi negativamente afetada pela urbanização e pelas obras de controle de erosão. A obra de alimentação artificial acompanhada durante o estudo impactou diretamente a população, com o revolvimento do sedimento e um predomínio significativo de areia grossa, reduzindo sua abundância. Os resultados evidenciam a vulnerabilidade da espécie às obras para controle de erosão costeira, à própria erosão costeira e à urbanização, servindo como um indicador em cenários de obras em praias arenosas e reforçando que o seu monitoramento é fundamental em planos de gestão de praias focados na conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: Ocypodidae; praias arenosas; erosão costeira; alimentação artificial; enrocamentos rochosos.

ABSTRACT

Engineering constructions on beaches have been implemented to control the impacts of coastal erosion and flooding, as well as to enable recreational use and other forms of economic exploitation of the coastline. One animal potentially affected by these constructions is the ghost crab, *Ocypode quadrata*, widely used as an indicator of impacts related to beach use. This study aimed to investigate how erosion control constructions might impact *O. quadrata* populations and whether this species can serve as a potential indicator of such impacts. The hypothesis is that these constructions negatively affect the species, reducing its abundance and individual size due to changes in sediment characteristics. Sampling was conducted on two beaches in Itapemirim (Itaoca Beach and Itaipava Beach) and three beaches in Maratáizes (Central Beach, Nova Maratáizes Beach, and Lagoa Dantas Beach), in the southern region of Espírito Santo, Brazil, between 2022 and 2024, totaling eleven campaigns. Four sampling points were selected in Itapemirim, focusing on a beach nourishment project monitored during the study at the most urbanized point of the municipality, as well as less urbanized areas with preserved coastal vegetation and no engineering constructions. Another six points were selected along the beaches of Maratáizes, covering locations with beach nourishment, rock revetments, and less urbanized regions with preserved coastal vegetation and no anthropogenic structures. At each point, the level of urbanization was assessed using the Human Modification Metric (HMc), erosion trends were calculated based on the average shoreline displacement in the municipalities, and the abundance and burrow diameters of the crabs were measured. The *O. quadrata* population was negatively affected by urbanization and erosion control constructions. The beach nourishment project monitored during the study directly impacted the population, reducing its abundance. The results highlight the species vulnerability to coastal erosion control constructions, coastal erosion itself, and urbanization, emphasizing its role as an indicator in scenarios involving engineering constructions on sandy beaches. This reinforces the importance of monitoring the species in beach management plans aimed at conserving biodiversity.

Keywords: Ocypodidae; sandy beaches; coastal erosion; beach nourishment; rock revetments.

1. INTRODUÇÃO

As praias arenosas são ecossistemas amplamente utilizados para diversas atividades humanas (Luijendijk *et al.*, 2018), atraindo mais visitantes do que qualquer outro tipo de ambiente costeiro e desempenhando um papel crucial na economia global, especialmente através da recreação e do turismo (Schlacher *et al.*, 2007; McLachlan & Defeo 2018; Defeo *et al.*, 2021). Além disso, as praias oferecem uma ampla variedade de serviços ecossistêmicos essenciais, muitas vezes subestimados, que vão desde serviços de regulação, como a proteção costeira (Harris & Defeo, 2022), à serviços ecossistêmicos de suporte, como o fornecimento locais de nidificação para tartarugas e aves costeiras, áreas de reprodução e recrutamento e fornecimento de recursos alimentares para diversas espécies (Defeo, 2009; Defeo, *et al.*, 2021). Contudo, o aumento da urbanização juntamente com as mudanças climáticas passou a ser uma ameaça aos ecossistemas costeiros (Defeo, 2021).

A elevação do nível do mar ocasionada pelas mudanças climáticas combinada com a crescente urbanização costeira é capaz de erodir uma parte significativa das praias (Vousdoukas *et al.*, 2020). Fatores antrópicos como o desenvolvimento urbano acelerado bem como a presença de infraestruturas próximas à linha de costa comprometem a proteção costeira, um serviço ecossistêmico de regulação essencial das praias arenosas (Bozzeda *et al.*, 2023). Esses fatores comprometem a capacidade dos ecossistemas costeiros de oferecer outros serviços essenciais, como proteção contra eventos climáticos extremos, manutenção da biodiversidade e fornecimento de recursos para alimentação e recreação (Defeo & Elliott, 2021).

A erosão costeira é um fenômeno global complexo influenciado por variáveis locais, como ondas, marés, granulometria do sedimento e urbanização da costa, e regionais, como a elevação do nível do mar, por exemplo (Bozzeda *et al.*, 2023). Embora seja um fenômeno natural, a erosão tornou-se um processo intensificado por ações antrópicas, que além de afetar a composição biológica das praias (Cantasano *et al.*, 2023), passou a ser também uma preocupação social, apresentando ameaças ao setor econômico, especialmente ao turismo (Williams *et al.*, 2013).

Em resposta aos processos erosivos da costa, tem-se adotado a construção de estruturas artificiais para mitigar seus efeitos, conhecida como blindagem costeira, como paredões, revestimentos, quebra-mares e esporões (Pranzini *et al.*, 2015), que têm se destacado por seus impactos diretos na biodiversidade das praias,

especialmente na macrofauna bentônica (Nourisson *et al.*, 2018; Jaramillo *et al.*, 2021; Laurino *et al.*, 2022). Essas construções são capazes de modificar a dinâmica sedimentar do ecossistema praial, resultando em erosão e perda de habitat de diversas espécies, o que frequentemente leva à diminuição populacional da macrofauna, especialmente na região supralitoral (Dugan *et al.*, 2008; Dugan *et al.*, 2018; Jaramillo *et al.*, 2021).

Uma outra estratégia amplamente utilizada é a alimentação artificial, que consiste em adicionar sedimento para aumentar a largura ou volume da praia e é utilizada como uma técnica de gestão para minimizar os efeitos da erosão (Finkl & Walker 2002; Schipper *et al.*, 2021; Saengsupavanich *et al.*, 2023). A elevação do nível do mar, o aumento da ocorrência de tempestades e a diminuição do suprimento sedimentar nas praias arenosas são uma grande ameaça aos serviços recreativos e ecossistêmicos, o que favoreceu a evolução das práticas de alimentação artificial com foco em maximizar o tempo de permanência da areia na praia, contribuindo para segurança humana e atividades recreativas, porém intensificando diversos impactos no ecossistema (Schipper *et al.*, 2021). Entretanto, apesar de ser aceita como uma opção mais ecológica para a proteção da costa, inúmeros impactos das obras de alimentação artificial na biota das praias arenosas bem como em habitats adjacentes já foram bem documentados na literatura científica (Greene, 2002; Viola *et al.*, 2014; Parkinsona *et al.*, 2018).

Um organismo que pode ser negativamente afetado pelas obras para controle de erosão costeira é o caranguejo *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787), conhecido popularmente como caranguejo-fantasma ou maria-farinha. Ele possui ampla distribuição geográfica, sendo encontrado ao longo da costa Atlântica, desde a América do Sul à América do Norte (Sakai & Turkay, 2013). Trata-se de uma espécie, relativamente, de fácil amostragem e que já vem sendo utilizada como indicadora de impactos antrópicos há décadas (Barros, 2001; Lucrezi *et al.*, 2009; Machado *et al.*, 2019; Barboza *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2022a; Costa *et al.*, 2022b). Estudos mostram que esta espécie é afetada por atividades antrópicas relacionadas ao uso das praias, como o pisoteio, tráfego de veículos na areia e presença de lixo (Barros, 2001; Costa & Zalmon, 2019; Machado *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2021; Schlender *et al.*, 2023). Além destes impactos, as mudanças na hidrodinâmica e no balanço sedimentar ocasionadas pelas estruturas para controle de erosão nas praias podem interferir no

funcionamento do ecossistema e das comunidades ali presente, devido às alterações nas características do sedimento e nas interações tróficas (Petersen *et al.*, 2000).

Além de ser considerado como um bom indicador de estressores antrópicos em praias arenosas, o caranguejo-fantasma também se caracteriza como uma espécie guarda-chuva, cuja proteção beneficia várias outras espécies que coexistem no mesmo habitat ou interagem ecologicamente entre si, chamadas espécies beneficiárias (Fleishman *et al.*, 2000; Costa & Zalmon, 2021). Dessa forma, o seu uso como espécie guarda-chuva é tido como uma importante estratégia para ações de conservação e monitoramento de regiões costeiras (Barboza *et al.*, 2021).

Embora já seja caracterizado como um indicador de alguns impactos antrópicos, estudos para avaliar o potencial efeito da alimentação artificial e de outras obras para controle de erosão em praias na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo-fantasma são fundamentais para avaliar os impactos nesta espécie e, assim, ser considerado um potencial bioindicador para tais alterações. A costa sul do estado do Espírito Santo tem sofrido com processos erosivos e as obras para controle de erosão têm se tornado cada vez mais frequentes. Na região, várias praias passam por processos erosivos, ocupando áreas amplamente utilizadas por atividades humanas, como rodovias, ruas, casas etc. Exemplos destes eventos ocorrem em praias de Maratáizes, que passaram por um processo artificial de controle erosivo, praias em Guarapari, onde partes da Rodovia do Sol, umas das principais do estado, foram comprometidas pela erosão, além da Praia de Itaipava (localizada em Itapemirim), que vem sofrendo processos erosivos gradativos. Estudos com foco na ecologia dessa espécie são escassos no estado do Espírito Santo, com apenas Araújo *et al.* (2008), que avaliaram a densidade e a distribuição espacial do caranguejo-fantasma em três praias no município de Vila Velha. Portanto, este estudo pode servir como um modelo para diagnosticar e monitorar os impactos na espécie, contribuindo para sua proteção como espécie guarda-chuva e, consequentemente, promovendo a conservação de outras espécies.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar os efeitos de obras para controle de erosão costeira no caranguejo *Ocypode quadrata* em praias localizadas no sul do Espírito Santo, Brasil.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar os efeitos da construção de estruturas artificiais (píeres e enrocamentos rochosos) e da obra de alimentação artificial na abundância populacional e tamanho das tocas dos indivíduos de *O. quadrata* em praias com diferentes cenários de obras para controle de erosão costeira;
- Analisar a capacidade de resiliência populacional do *O. quadrata* frente a um evento de alimentação artificial da praia;
- Identificar se o caranguejo *O. quadrata* pode ser utilizado como indicador de impactos decorrentes das obras realizadas para controle de erosão costeira.

3. HIPÓTESES

H1: Obras para controle de erosão costeira reduzem a abundância populacional e o tamanho dos indivíduos do caranguejo *O. quadrata* devido à alterações nas características do sedimento, como a granulometria e o seu revolvimento em decorrência da realização das obras.

H2: O caranguejo *O. quadrata* é um indicador de impactos relacionados às obras para controle de erosão em praias arenosas e, portanto, deve ser considerado em estratégias de monitoramento desses impactos a médio e longo prazo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

Cinco praias de dois municípios foram selecionadas para o estudo, em Itapemirim e Marataízes, localizadas na costa sul do Espírito Santo (Figura 1).

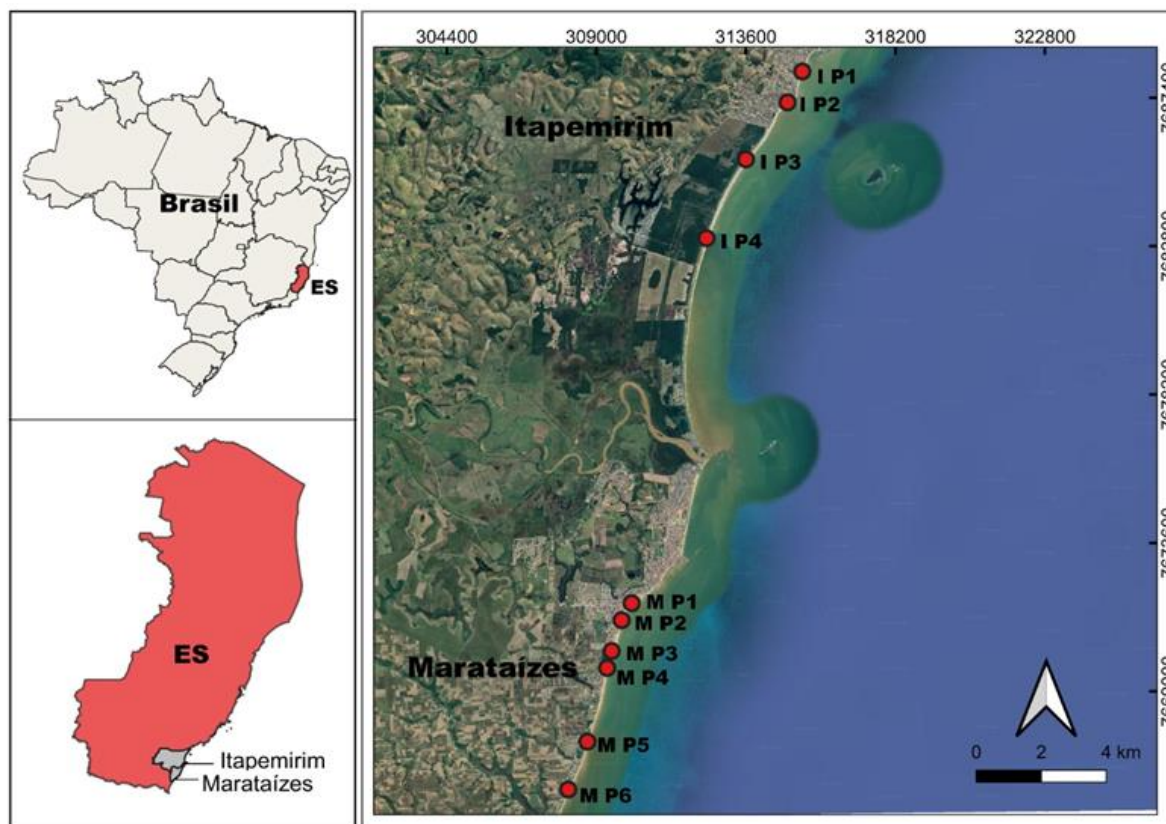


Figura 1. Mapa da área de estudo indicando os pontos de amostragem nos municípios de Itapemirim e Marataízes, litoral sul do Espírito Santo.

*I: Itapemirim; M: Marataízes; P: pontos de amostragem.

No município de Itapemirim, duas praias adjacentes foram utilizadas no estudo: a Praia de Itaipava e a Praia de Itaoca, onde foram selecionados quatro pontos de amostragem (Figura 2; Apêndice I). Os dois primeiros pontos estão localizados na Praia de Itaipava, parte urbanizada do município. O primeiro ponto, além da presença de um píer com cerca de 450 metros de extensão construído para reduzir a hidrodinâmica em um terminal pesqueiro e para controle erosivo, passou por uma obra de alimentação artificial entre novembro de 2021 e dezembro de 2022, que foi acompanhada durante as amostragens. O segundo ponto está localizado em uma área também urbanizada e adjacente à obra no primeiro ponto, mas sem a presença de qualquer tipo de obra para controle erosivo. Já os pontos restantes (3 e 4), estão

situados na Praia de Itaoca, em áreas menos urbanizadas do município, com vegetação de restinga preservada e ausência de obras para controlar a erosão (Figura 2).



Figura 2. Pontos de amostragem em Itapemirim, Espírito Santo.

* Ponto 1 (Praia de Itaipava) - urbanizado, durante e após a obra de alimentação artificial; Ponto 2 (Praia de Itaipava) - urbanizado e sem obras; Pontos 3 e 4 (Praia de Itaoca) - pouco urbanizados e sem obras para controle de erosão.

Outros seis pontos foram selecionados ao longo das praias de Marataízes (Figura 3; Apêndice II). Os dois primeiros estão localizados na Praia Central, área urbanizada do município. A Praia Central de Marataízes passou por um amplo processo de revitalização e reurbanização da orla entre 2018 e 2021. As obras incluíram a construção de um novo calçadão, quiosques, banheiros, chuveiros, quadras poliesportivas, ciclovias, novas vagas de estacionamento e mais vias para pedestres. Além disso, a recuperação da faixa de areia através da obra de

alimentação artificial aumentou a zona supralitoral das praias localizadas na parte mais urbanizada de Marataízes, especialmente na Praia Central.

Dessa forma, o primeiro ponto, além de possuir um píer com cerca 400 metros de extensão construído em 2008, passou por uma obra de alimentação artificial em 2019 para conter a erosão da praia, que já estava comprometendo a integridade da Avenida Atlântica, paralela à faixa de areia, e recuperar a faixa de areia da praia. O segundo ponto passou por uma obra rígida para o controle da erosão, com a construção de enrocamentos rochosos. Os pontos 3 e 4 (Praia de Nova Marataízes) situam-se em áreas de urbanização intermediária e também contam com a presença de enrocamentos rochosos (Figura 3). Já os pontos 5 e 6 (Praia de Lagoa Dantas), estão situados em áreas menos urbanizadas, com vegetação de restinga preservada e ausência de estruturas antrópicas para controle erosivo (Figura 3).



Figura 3. Pontos de amostragem nas praias de Maratáizes, Espírito Santo.

*Ponto 1 (Praia Central) – urbanizado, com obra de alimentação artificial e presença de um píer; Ponto 2 (Praia Central) – urbanizado e com enrocamentos rochosos; Pontos 3 e 4 (Praia de Nova Maratáizes) – urbanização intermediária e com enrocamentos rochosos; Pontos 5 e 6 (Praia de Lagoa Dantas) – pouco urbanizados e sem obras para controle de erosão.

4.2. Caracterização das praias

O nível de urbanização dos pontos de amostragem foi mensurado com base na Métrica de Modificação Humana (HMc - *Human Modification Metric*) utilizando os pacotes “*raster*” (HIJMANS, 2020) pelo *software* RStudio. Tal métrica avalia o nível de alteração causado por atividades humanas em áreas geográficas, calculando, para cada pixel, a extensão espacial e a intensidade dos impactos utilizando uma escala que varia de 0 a 1, onde 0 é pouco urbanizado e 1 é muito urbanizado.

A média dos dados de deslocamento da linha de costa para os dois municípios (tendência à erosão) foi calculada por Luijendijk *et al.* (2018) através do monitoramento das mudanças de longo prazo na linha costeira a cada 500 metros, em escala mundial, entre os anos de 1984 e 2016, fornecendo informações sobre as taxas de erosão e acreção da linha de costa. O esquema de classificação de erosão crônica de praia foi proposto por Esteves e Finkl (1998) e adaptado por Luijendijk *et al.* (2018), que consiste em situações de: (1) Acreção: $> 0,5$ m/ano; (2) Estável: $-0,5$ a $0,5$ m/ano; (3) Erosão: -1 a $-0,5$ m/ano; (4) Erosão intensa: -3 a -1 m/ano; (5) Erosão severa: -5 a -3 m/ano; (6): Erosão extrema: > -5 m/ano.

Para as análises sedimentológicas, seis amostras de sedimento foram coletadas em cada ponto, sendo três na região entremarés e três no supralitoral nos períodos seco e chuvoso, ao longo do período das amostragens. Em cada ponto, 100 gramas de sedimento foram coletados a uma profundidade de 15 cm da superfície. O sedimento foi peneirado e pesado em balança para a determinação das frações granulométricas, sendo classificado em cascalho (>2 mm), areia muito grossa (>1 mm), areia grossa ($>0,5$ mm), areia média ($>0,25$ mm) e areia fina ($<0,125$ mm) (Suguio, 1973).

4.3. Amostragem do *O. quadrata*

As amostragens foram realizadas bimestralmente/trimestralmente entre junho de 2022 e fevereiro de 2024 nas praias de Marataízes e Itapemirim, totalizando onze campanhas. Em cada ponto de amostragem, a abundância populacional e o tamanho dos indivíduos de *O. quadrata* foram investigados utilizando cinco transectos contínuos e perpendiculares à linha d'água, desde o limite superior do varrido ao início da vegetação ou outro limite antrópico/natural do supralitoral (Figura 4) (Machado *et al.*, 2019). Cada transecto teve largura equivalente a três metros, espaço no qual foram contabilizadas e medidas as tocas abertas e ativas do caranguejo-fantasma. A abundância das tocas foi calculada com base na média de tocas encontradas nos cinco transectos de cada ponto de amostragem. O diâmetro das tocas foi medido com um paquímetro. Considerou-se toca ativa aquela que apresentava sinais da presença do animal, como marcações dos quelípodos na areia, para evitar a contagem de tocas vazias. Essa contagem e medição do diâmetro para obtenção de dados de abundância e tamanho dos indivíduos é um método bem consolidado

(Barros, 2001; Blankensteyn, 2006; Neves & Benvenuti, 2006; Lucrezi *et al.*, 2009; Pombo & Turra, 2013; Costa & Zalmon, 2019; Costa *et al.*, 2021). A contagem das tocas foi realizada pela manhã, até às 9:00 em condições de maré baixa, com amplitude de até 0.2 (Costa *et al.*, 2021). O monitoramento das variações de maré foi realizado através do site Tábua de Marés (<https://tabuademares.com>).

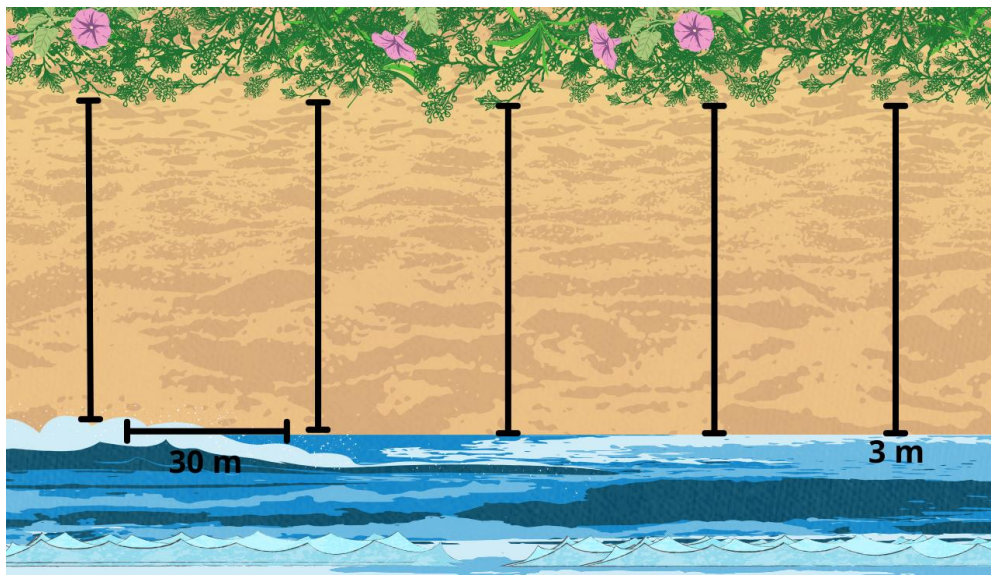


Figura 4. Desenho amostral dos cinco transectos contínuos e perpendiculares à linha d'água, desde o limite superior do varrido ao início da vegetação ou outro limite antrópico/natural do supralitoral.

4.4. Análises estatísticas

As diferenças granulométricas dos pontos de amostragem foram realizadas através de Modelos Lineares Generalizados (GLM). O efeito da métrica HMc e da tendência à erosão na abundância e no diâmetro das tocas de *O. quadrata* foi avaliado através de uma regressão múltipla. Uma ANOVA seguida de Kruskal-Wallis também foi realizada a fim de comparar o impacto da urbanização (urbanizado x não urbanizado) e da presença das obras para controle de erosão costeira (alimentação artificial e enrocamentos rochosos) nos dados de abundância e diâmetro das tocas. A influência do tempo de alimentação artificial, realizada na Praia de Itaipava (área urbanizada do município de Itapemirim), sobre a abundância e o diâmetro das tocas foi investigada utilizando regressão bivariada. Para identificar as principais variáveis que contribuíram para a variação observada nos dados, utilizou uma Análise de Componentes Principais (PCA) seguida de uma Análise de Covariância (ANCOVA) e um Teste de Correlação de Pearson. As análises estatísticas foram realizadas com

um intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$) utilizando o R Studio, versão 2024.04.2+764, e o R, versão 4.3.3.

5. RESULTADOS

5.1. Granulometria

As análises granulométricas para as duas praias de Itapemirim (Figura 5) mostram que os pontos sob influência direta das obras apresentaram um predomínio significativo ($p < 0.05$) de areia grossa (42 a 54%), exceto o ponto 3 (Praia de Itaoca), em que a areia fina foi preponderante (45%).

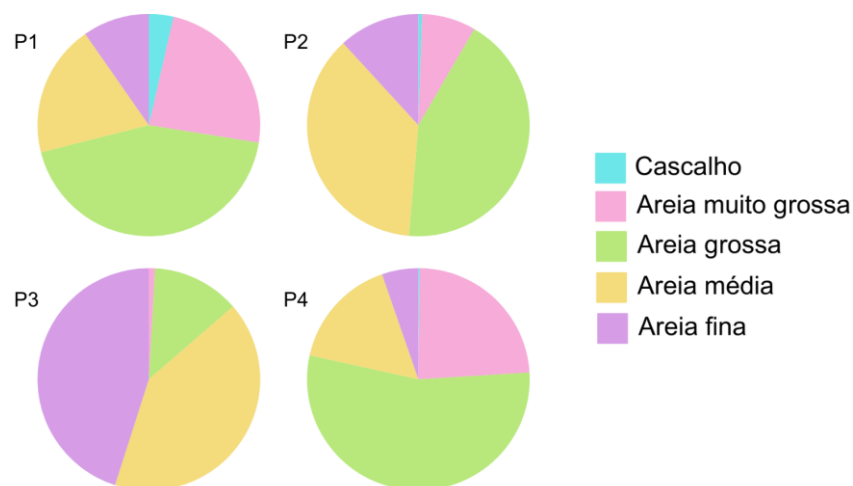


Figura 5. Perfil granulométrico (%) do sedimento coletado nos pontos de amostragem da Praia de Itaipava (P1 = ponto 1 e P2 = ponto 2) e de Itaoca (P3 = ponto 3 e P4 = ponto 4), localizadas no município de Itapemirim, litoral sul do Espírito Santo, Brasil.

Já nas praias de Marataízes, a fração predominante do sedimento foi de areia média (33 a 41%), exceto no ponto 2 (Praia Central), que diferiu significativamente ($p < 0.05$) pelo predomínio de areia muito grossa (60%) e uma porcentagem significativamente maior de cascalho (15.8%) em relação aos outros pontos (Figura 6).



Figura 6. Perfil granulométrico (%) do sedimento coletado nos pontos de amostragem da Praia Central (P1 = ponto 1 e P2 = ponto 2), Praia de Nova Marataízes (P3 = ponto 3 e P4 = ponto 4) e Praia de Lagoa Dantas (P5 = ponto 5 e P6 = ponto 6), localizadas no município de Itapemirim, litoral sul do Espírito Santo, Brasil.

5.2. Tendência à erosão costeira

Todos os pontos de amostragem das praias de Itapemirim foram classificados em uma situação de estabilidade da linha de costa, com erosão máxima de 0.3 metros ao ano e acreção máxima de 0.2 metros ao ano (Tabela 1).

Tabela 1. Taxas médias de deslocamento da linha de costa em posições selecionadas nas praias de Itapemirim.

Ponto	Longitude	Latitude	Taxa média (1984-2016)	Situação
Praia de Itaipava (P1)	-40,775	-20,897	0.2 m/ano	Estabilidade
Praia de Itaipava (P2)	-40,779	-20,904	-0.3 m/ano	Estabilidade
Praia de Itaoca (P3)	-40,792	-20,921	0.2 m/ano	Estabilidade
Praia de Itaoca (P4)	-40,804	-20,943	-0.2 m/ano	Estabilidade

Fonte: Luijendijk *et al.* (2018).

Considerando que a Praia Central e a Praia de Nova Marataízes receberam obras rígidas (enrocamentos rochosos) para o controle da erosão costeira entre os pontos P1 e P3, finalizadas em 2010, fez-se uma análise do comportamento da mobilidade da linha de costa considerando os períodos pretéritos (1984-2009) e posteriores (2010-2016) às intervenções, conforme demonstrado na Tabela 2. Nos pontos das praias de Marataízes, a situação pré-intervenção era de erosão intensa na Praia Central (P2) e na Praia de Nova Marataízes (P3). De fato, as obras modificaram tais tendências, possibilitando a acreção de sedimento a partir de 2010. No entanto, as áreas ao sul das intervenções experimentaram um acentuamento das

tendências de deslocamento negativo da linha de costa, resultando em erosão nas áreas anteriormente estáveis, como na Praia de Lagoa Dantas (P5 e P6), e erosão extrema na Praia de Nova Marataízes (P4), anteriormente em erosão (Tabela 2).

Tabela 2. Taxas médias de deslocamento da linha de costa em posições selecionadas nas praias de Marataízes nos períodos pré e pós intervenções costeiras.

Ponto	Longitude	Latitude	Taxa média (1984-2009)	Situação (1984-2009)	Taxa média (2010-2016)	Situação (2010-2016)
Praia Central (P1)	-40.827	-21.045	1.7 m/ano	Acreção	7.9 m/ano	Acreção
Praia Central (P2)	-40.830	-21.050	-1.2 m/ano	Erosão intensa	17.6 m/ano	Acreção
Praia de Nova Marataízes (P3)	-40.833	-21.058	-1.2 m/ano	Erosão intensa	16.8 m/ano	Acreção
Praia de Nova Marataízes (P4)	-40.835	-21.063	-0.5 m/ano	Erosão	-5.2 m/ano	Erosão extrema
Praia de Lagoa Dantas (P5)	-40.841	-21.084	-0.2 m/ano	Estabilidade	-0.9 m/ano	Erosão
Praia de Lagoa Dantas (P6)	-40.847	-21.097	-0.1 m/ano	Estabilidade	-0.8 m/ano	Erosão

Fonte: Luijendijk et al. (2018).

5.3. Influência da erosão costeira no *O. quadrata*

No total, 3071 tocas ativas de *O. quadrata* foram contabilizadas e medidas. A erosão costeira não apresentou uma influência significativa sobre a abundância e o diâmetro das tocas do caranguejo-fantasma. No entanto, observa-se uma tendência, sugerindo que, à medida que ocorre uma maior acreção de sedimentos, representada por uma taxa positiva de erosão, tanto a abundância quanto o tamanho dos indivíduos aumentam (Figura 7). Uma maior concentração de tocas foi observada em áreas com tendência de recuo da costa próxima de zero, com abundâncias variando entre 10 e 15 tocas/transecto, e algumas ocorrências próximas de 20 tocas em áreas de maior acreção. Esses valores destacam a tendência de maior abundância em condições mais estáveis da linha de costa, com aumentos pontuais em áreas de acreção. O diâmetro médio das tocas também apresentou maior concentração de valores em áreas com erosão próxima de zero, variando entre 20 e 25 mm, mantendo-se estável mesmo em áreas de maior acreção.

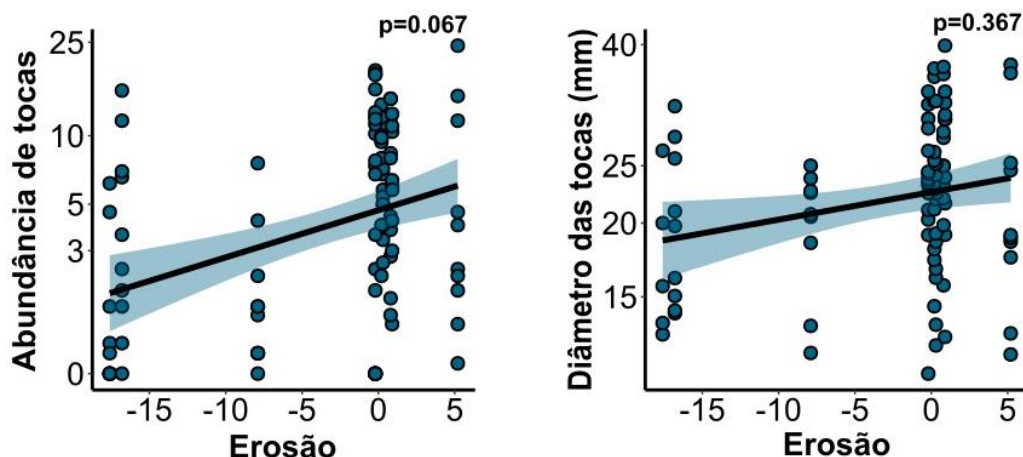


Figura 7. Análise de regressão múltipla sobre a influência da erosão costeira na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo *O. quadrata* nas praias de Itapemirim e Maratáizes, sul do Espírito Santo, Brasil. Valores negativos de erosão são referentes à perda de sedimentos e valores positivos à acreção de sedimentos. As áreas sombreadas indicam intervalos de confiança de 95%.

5.4. Influência da urbanização no *O. quadrata*

A urbanização, calculada como uma variável contínua através do Índice de Modificação Humana (HMc), influenciou negativamente tanto a abundância quanto o diâmetro ($p < 0.001$) das tocas do caranguejo-fantasma (Figura 8). A maior quantidade de tocas foi observada em áreas com menor índice de urbanização (HMc entre 0.5 e 0.6), variando entre 5 e 15 tocas/transecto. À medida que o índice de urbanização aumenta (HMc > 0.7), observa-se uma redução na abundância para valores abaixo de cinco tocas/transecto. Da mesma forma, o diâmetro das tocas também foi maior (entre 20 e 25 mm) em áreas de menor urbanização (HMc próximo a 0.5) (Figura 8). Com o aumento da urbanização (HMc > 0.7), os diâmetros reduziram para valores entre 15 e 20 mm. Esses resultados evidenciam o impacto negativo da urbanização tanto na abundância quanto no tamanho dos indivíduos do caranguejo-fantasma.

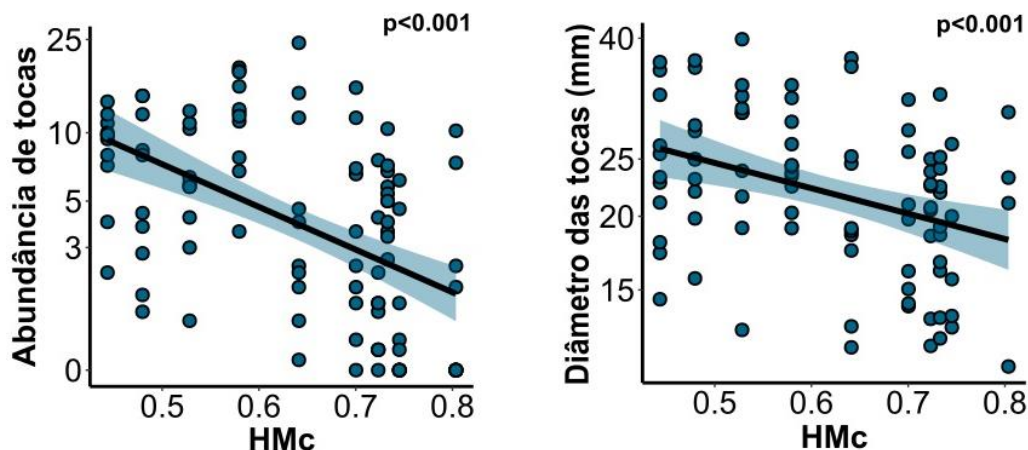


Figura 8. Análise de regressão múltipla sobre a influência da Métrica de Modificação Humana (HMc) na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo *O. quadrata* nas praias de Itapemirim e Maratáizes, sul do Espírito Santo, Brasil. Valores de HMc (Human Modification Metric) mais próximos de 1 caracterizam os pontos mais urbanizados. As áreas sombreadas indicam intervalos de confiança de 95%.

5.5. Influência das obras para controle de erosão costeira no *O. quadrata*

As obras para controle de erosão costeira estão presentes nas porções mais urbanizadas das praias arenosas. A urbanização dos pontos, como variável categórica (urbanizado, intermediário e não urbanizado), teve efeito negativo para a abundância ($p < 0.001$) e para o diâmetro das tocas ($p < 0.001$), assim como as obras para controle de erosão costeira, presentes nestas áreas, também afetaram negativamente a abundância ($p = 0.038$), mas não o diâmetro das tocas (Figura 9). As áreas mais urbanizadas e com obras (alimentação artificial e enrocamentos rochosos) apresentaram apenas cerca duas a cinco tocas por ponto de amostragem, enquanto nas áreas não urbanizadas e sem intervenções costeiras, esses valores foram superiores, entre sete e 12 tocas/transecto. O diâmetro também foi maior nos pontos menos urbanizados e com ausência de obras, com valores médios acima de 25 mm.

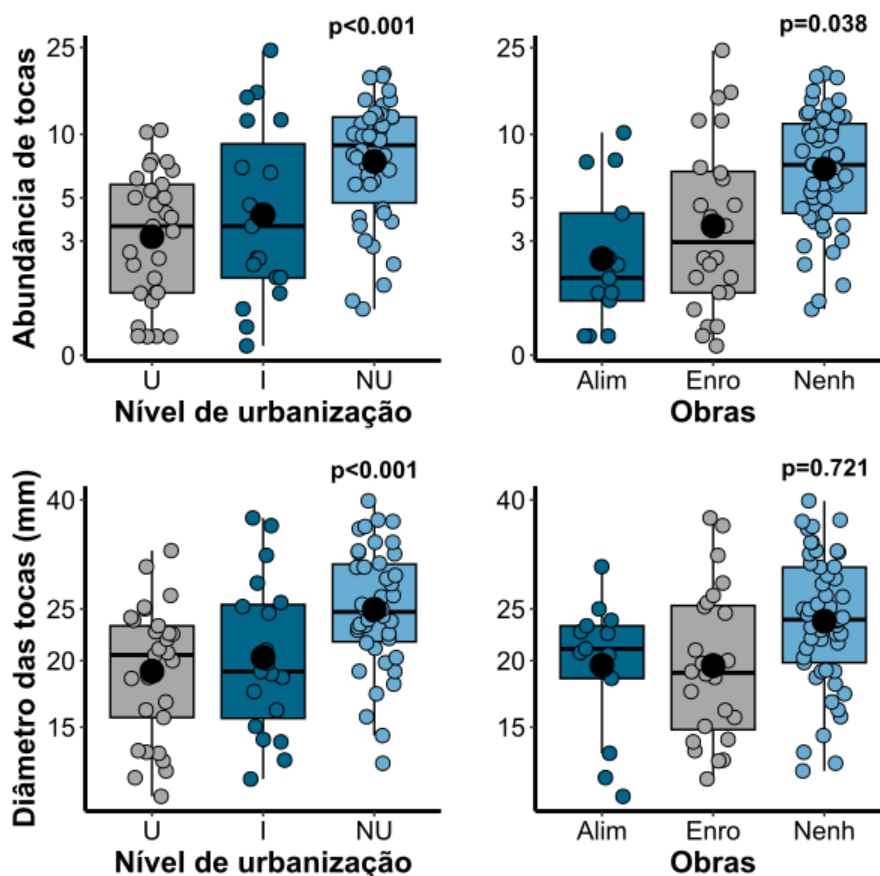


Figura 9. Análise de variância (ANOVA) sobre a influência da urbanização e das obras para controle de erosão costeira na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo *O. quadrata* nas praias de Itapemirim e de Maratáizes, sul do Espírito Santo, Brasil.

*U: pontos urbanizados; I: pontos de urbanização intermediária; NU: pontos não urbanizados; Alim: pontos com obra de alimentação artificial; Enro: pontos com enrocamentos rochosos; Nen: pontos sem nenhuma obra.

A análise de componentes principais (PCA) (Figura 10) demonstrou que as variáveis urbanização (HMc), erosão costeira e a presença das obras para o controle desta, contribuíram para a variação da abundância e do diâmetro das tocas do caranguejo-fantasma. O primeiro componente principal (PC1) explicou 45.3% da variância total, sendo fortemente influenciado pela erosão costeira e pela urbanização (HMc), que apresentaram coeficientes negativos (-0.58 e -0.63, respectivamente), sugerindo que áreas mais urbanizadas e com maior vulnerabilidade à erosão estão associadas a uma menor abundância e tamanho das tocas do caranguejo-fantasma. Em contrapartida, a abundância e o diâmetro das tocas apresentaram cargas positivas (0.36 e 0.34, respectivamente), indicando que essas variáveis estão correlacionadas com áreas menos impactadas por intervenções humanas.

O segundo componente principal (PC2), responsável por 20% da variância, por sua vez, foi caracterizado pelo diâmetro das tocas (0.71) e pela abundância (-0.69),

permitindo analisar uma separação entre as áreas impactadas (com obras) e as não impactadas (sem obras). As áreas submetidas às obras para controle de erosão costeira (alimentação artificial em rosa e enrocamentos rochosos em verde) apresentaram maior dispersão ao longo desse eixo, apontando que essas obras afetam de maneira significativa a métrica populacional do *O. quadrata*. É possível observar que as áreas sem obras (pontos azuis) estão associadas a maiores valores de abundância e diâmetro, enquanto as áreas com alimentação artificial e enrocamentos aparecem mais próximas às variações de erosão e urbanização (HMc), reforçando os impactos negativos dessas intervenções no ecossistema.

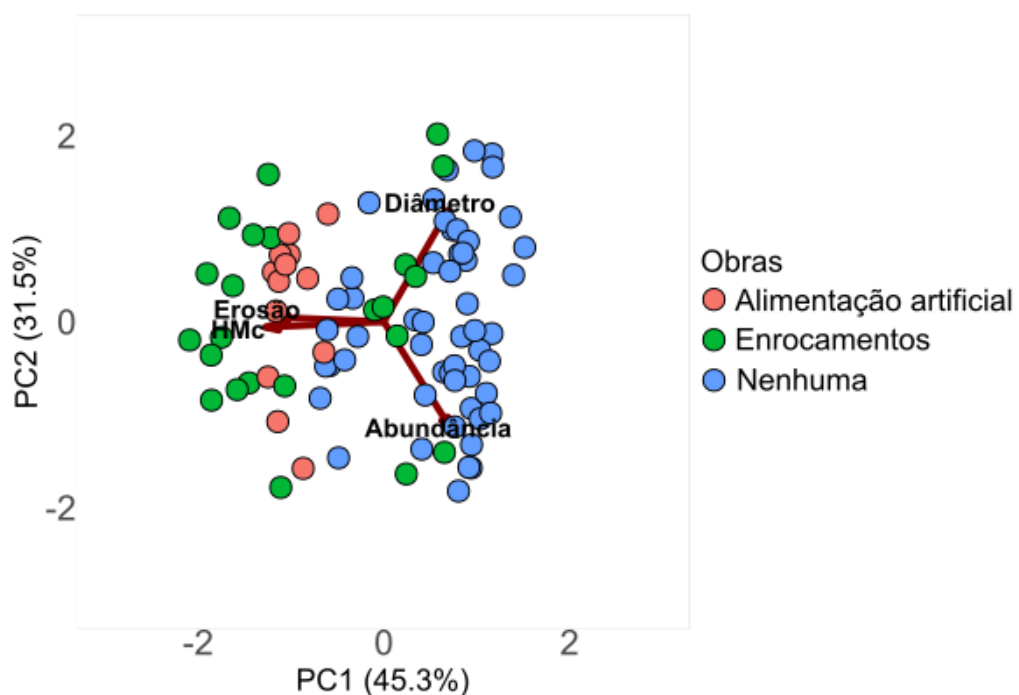


Figura 10. Análise de Componentes Principais (PCA) avaliando a influência das obras para controle de erosão costeira (alimentação artificial, enrocamentos ou nenhuma intervenção), erosão e urbanização (HMc) no caranguejo *O. quadrata*.

A Análise de Covariância (ANCOVA) também demonstrou que o tipo de obra (alimentação artificial, enrocamento ou ausência de obras) tem um impacto significativo na abundância das tocas do caranguejo *O. quadrata*. A categoria "Nenhuma obra" apresentou um aumento significativo na abundância em comparação com as outras categorias ($p < 0.001$). Além disso, a erosão costeira também teve um efeito significativo, influenciando negativamente a abundância de tocas ($p = 0.022$). A análise de variância mostrou que o tipo de obra foi a variável que mais contribuiu para explicar as diferenças na abundância ($p < 0.001$).

De forma complementar, o Teste de Correlação de Pearson mostrou relações significativas entre as variáveis ambientais e a estrutura populacional. A urbanização (HMc) teve uma correlação positiva com a erosão costeira ($r=0.426$, $p<0.001$), reforçando a associação observada na PCA entre áreas urbanizadas e com maior vulnerabilidade à erosão. Além disso, a granulometria do sedimento apresentou uma correlação negativa significativa ($r=-0.537$, $p=0.008$) com a abundância de tocas, indicando que, conforme a granulometria do sedimento aumenta, a abundância de *O. quadrata* tende a diminuir. Embora a granulometria também tenha apresentado uma correlação negativa com o diâmetro das tocas, esta não foi significativa ($r=-0.208$, $p=0.339$).

5.5.1. Obra de alimentação artificial na Praia de Itaipava (Itapemirim)

Uma obra de alimentação artificial foi monitorada desde o início na Praia de Itaipava entre novembro de 2021 e dezembro de 2022. O efeito do tempo desta obra foi significativo nos dados de abundância ($p=0.043$) e diâmetro ($p=0.002$) das tocas no local de ocorrência da obra (Figura 11).

Os primeiros registros de tocas de *O. quadrata*, onde houve a obra de alimentação artificial da praia, foram registrados apenas cinco meses após sua conclusão (Figura 11). Nesta área, uma média de 10 tocas/transecto foram quantificadas, com diâmetro médio de 11 mm, indicando a resiliência da população. Após quatro eventos de amostragens, o número médio de tocas permaneceu em cinco/transecto e o diâmetro médio aumentou para 21 mm, como ocorreu no ponto adjacente (ponto 2), onde nenhuma obra foi realizada.

A abundância de tocas foi maior na Praia de Itaoca, pontos 3 e 4, (médias de 12 e 9 tocas/transecto, respectivamente), com diâmetro médio de 25 mm. No entanto, houve um decréscimo na abundância das tocas em todas as amostragens, atingindo médias de aproximadamente quatro e oito tocas/transecto nos pontos 3 e 4, respectivamente, nas últimas amostragens. O diâmetro médio das tocas aumentou em todos os pontos (25 mm em áreas urbanizadas e 29 mm em áreas não urbanizadas), indicando crescimento dos indivíduos. Esses resultados sugerem que a obra de alimentação artificial impactou negativamente a abundância do caranguejo-fantasma, mas não impediu o crescimento dos indivíduos remanescentes.

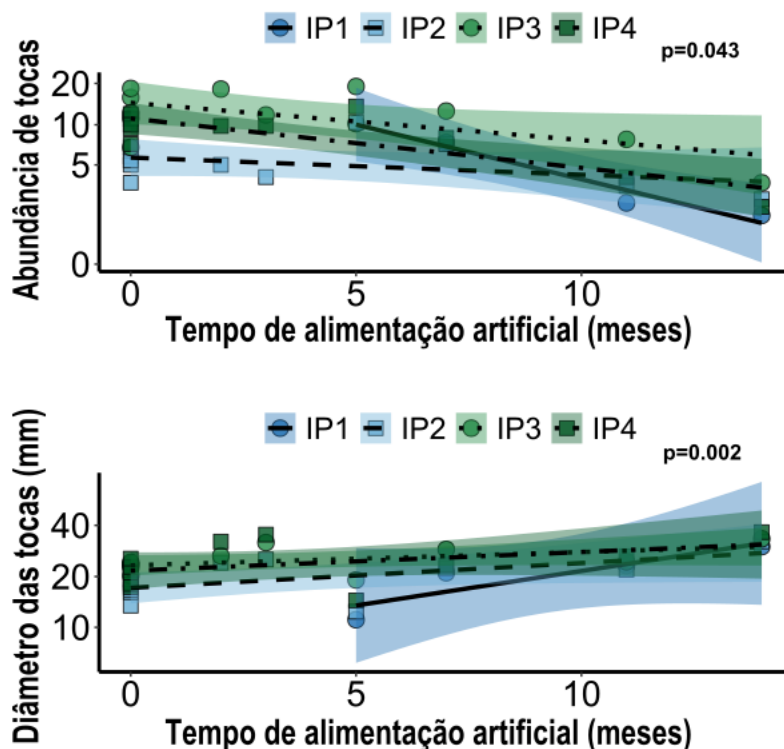


Figura 11. Análise de regressão bivariada sobre a influência do tempo da obra de alimentação artificial realizada e monitorada na Praia de Itaipava (Ponto 1 do gráfico) na abundância e no diâmetro das tocas do caranguejo *Ocypode quadrata*. O tempo zero marca o período durante a execução da obra, os dados após são referentes à finalização da mesma.

IP1: Itapemirim ponto 1 (Praia de Itaipava), representado por círculos azul-escuro e linha contínua; IP2: Itapemirim ponto 2 (Praia de Itaoca), por quadrados azul-claro e linha tracejada; IP3: Itapemirim ponto 3 (Praia de Itaoca), por círculos verde-claro e linha pontilhada-traço; IP4: Itapemirim ponto 4 (Praia de Itaoca), por quadrados verde-escuro e linha pontilhada. As áreas sombreadas indicam intervalos de confiança de 95%.

6. DISCUSSÃO

O aumento da abundância de tocas em áreas com tamanhos de grão médios e finos, como visto neste estudo, é condizente com a Hipótese de Dureza do Habitat (*Habitat Harshness Hypothesis*) proposta por Defeo *et al.* (2003), onde ressaltam que as características morfodinâmicas das praias, como o tamanho do grão, por exemplo, influenciam a fauna do entremarés. A granulometria do sedimento é um dos fatores responsáveis por variações na composição da biota, uma vez que praias de areia fina (dissipativas) retêm mais água no sedimento, protegendo os organismos contra a dessecação, favorecendo a absorção de matéria orgânica e também a manutenção de tocas devido à compactação do sedimento (Pereira & Soares, 2009). Dessa forma, apesar do caranguejo *O. quadrata* abranger todo o gradiente morfodinâmico dissipativo-refletivo (Pombo *et al.*, 2023), o predomínio de areia com tamanhos de

grão maiores poderia interferir na presença do caranguejo-fantasma, reduzindo sua abundância, um crustáceo construtor de tocas e vulnerável à dessecação.

O impacto da tendência de recuo da costa (tendência à erosão), observado nos dados de abundância e diâmetro do caranguejo-fantasma, foi semelhante ao que Pombo *et al.* (2023) encontraram em um estudo que avaliou a influência do desenvolvimento costeiro e da erosão na densidade e no tamanho do caranguejo-fantasma, onde a densidade e o tamanho médio dos caranguejos diminuíram em praias com alta erosão, devido à intensa perda de habitat adequado. Tais resultados podem ser vistos como um reflexo do que já vem sendo alertado há mais de três décadas pelas projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), apontando para o aumento da vulnerabilidade das comunidades e ecossistemas costeiros frente às ameaças climáticas, como a erosão costeira (IPCC, 1990; IPCC, 1992; IPCC, 2014; IPCC, 2023). As praias arenosas já são caracterizadas como ambientes suscetíveis às alterações climáticas (Sharaan *et al.*, 2022), sendo vulneráveis a eventos extremos, como ventos fortes, tempestades, ciclones, inundações e elevação do nível do mar (Machado *et al.*, 2016; Machado *et al.*, 2019; Palamakumbure *et al.*, 2020). Com isso, a erosão costeira traz impactos não só para o ambiente físico, através da perda de sedimentos e alterações no balanço sedimentar das praias, mas também para o meio biótico (Bulhões, 2020), especialmente ao se tratar da fauna associada ao substrato arenoso.

A influência negativa da urbanização no caranguejo-fantasma corrobora com estudos anteriores, que mostram este estressor antrópico tornando as populações de *O. quadrata* menos resilientes, inclusive contra perturbações naturais, como ondas de tempestades (Machado *et al.*, 2019; Gul & Griffen, 2019). Um estudo realizado por Costa *et al.* (2022) revelou que quanto maior o número de estressores atuantes em uma área, maiores são os impactos no tamanho do caranguejo-fantasma, sendo menores em praias com maior intensidade de perturbação. Estudos anteriores também mostraram que os impactos da blindagem costeira (construções na linha da costa, urbanização) podem gerar a redução populacional de artrópodes da região supralitoral das praias arenosas, como por exemplo, o caranguejo *O. quadrata* (Heerhartz *et al.*, 2015; Machado *et al.*, 2016; Suciú *et al.*, 2018; Jaramillo *et al.*, 2021). Uma possível explicação para a diminuição da abundância populacional de animais bentônicos em praias urbanas e com blindagem costeira é que esses ambientes são mais suscetíveis a perturbações do que áreas pouco urbanizadas e com presença de

restinga. Essas perturbações podem levar à erosão, instabilidade do habitat, perda de sedimentos e mudanças na composição granulométrica, afetando diretamente as comunidades biológicas associadas ao sedimento (Petersen *et al.*, 2000; Laurino *et al.*, 2022).

A presença das obras para controle de erosão costeira impactou diretamente a abundância e o tamanho dos indivíduos, principalmente nos pontos mais urbanizados. Os impactos da presença de estruturas artificiais em praias, como os enrocamentos rochosos (principalmente em áreas urbanas) nas comunidades macrobentônicas já vem sendo estudados e comprovados através de observações nas características biológicas desses animais, como a redução do tamanho corporal, abundância e comportamento alimentar, podendo influenciar diretamente a diversidade local (Lucrezi *et al.*, 2009; Jaramillo *et al.*, 2021; Laurino *et al.*, 2022). Como documentado por Lorenzoni *et al.* (2016) e Pranzini *et al.* (2018), os quebra-mares emergidos (píeres), encontrados em ambas as praias deste estudo, por exemplo, também geram impactos no ambiente ao induzirem, de forma significativa, alterações na morfologia e na hidrodinâmica do ecossistema praiial, como mudanças nas ondulações e no perfil granulométrico do sedimento. Dessa forma, as modificações físicas, tais como a presença de obras e estruturas artificiais para controles erosivos e de construções próximas à linha de costa, são as intervenções humanas mais significativas nas praias arenosas, responsáveis por afetar criticamente a dinâmica dos ecossistemas costeiros e dificultar a adequação aos habitats por parte das espécies (Jones *et al.*, 2017).

O impacto direto da obra de alimentação artificial, realizada e monitorada na Praia de Itaipava, na população de caranguejos-fantasma foi evidenciado por declínios populacionais significativos. Durante a execução da obra e cinco meses de amostragem após sua conclusão, nenhuma toca foi encontrada neste ponto, indicando a ausência do animal. Um resultado semelhante foi observado por Paris *et al.* (2023), que verificaram uma redução populacional do caranguejo *O. quadrata* após um evento de alimentação artificial de uma praia localizada na Carolina do Norte.

As obras de alimentação artificial da praia podem ter impactos significativos na fauna da região entremarés através de reduções na abundância de diversos táxons (Peterson *et al.*, 2014; Wooldridge *et al.*, 2016; Cooke *et al.*, 2020), como o caranguejo *O. quadrata*. O uso de sedimento na recuperação de dunas em praias é capaz de remover e enterrar completamente as comunidades bentônicas ali presentes (Miselis

et al., 2021), além de impedir o comportamento de escavação, expondo os animais ao estresse e resultando em uma menor eficiência alimentar, diminuição das taxas de recrutamento e, conseqüentemente, sobrevivência reduzida de muitas espécies do entremarés (Viola *et al.*, 2014). A espessura da camada de sedimento adicionado ao local também pode influenciar a sobrevivência de animais escavadores, limitando a capacidade de escavação, gerando mortalidade por soterramento e asfixia, além do esmagamento por maquinários utilizados no processo (Peterson *et al.*, 2000; Peterson *et al.*, 2006; Schipper *et al.*, 2021). Dessa forma, o declínio populacional observado nas amostragens posteriores pode estar relacionado aos fatores contínuos de estresse e às condições ambientais não ideais impostas pelo sedimento adicionado, afetando a sobrevivência dos indivíduos.

Dentre outros impactos da alimentação artificial, se destacam a granulometria e a composição do sedimento adicionado, que podem alterar as características morfológicas da praia. Mudanças na composição e no tamanho do grão devido a esta obra alteram completamente a morfologia da praia e, conseqüentemente, o funcionamento do ecossistema, uma vez que as espécies apresentam respostas diferentes às diferentes características de sedimento (Brown & McLachlan, 2010; Herman *et al.*, 2021). Os pontos adjacentes das praias de Itapemirim também experimentaram declínios populacionais devido aos impactos negativos ocasionados pela obra de alimentação artificial. As áreas onde os sedimentos foram adicionados e posicionados podem passar por processos de erosão, com os grãos sendo transportados pelas correntes para regiões circunvizinhas. Esse transporte de sedimentos pode impactar negativamente as comunidades biológicas das áreas próximas, ampliando assim, o alcance dos efeitos das intervenções costeiras (Schipper *et al.*, 2021).

A expectativa de restabelecimento da população de caranguejos-fantasma no local da obra de alimentação artificial e nos pontos adjacentes das praias de Itapemirim foi considerada plausível, contudo, não se concretizou. Embora alguns estudos mostrem que o processo de recolonização da fauna bentônica de uma praia que passou por eventos de adição de sedimentos na faixa de areia pode ocorrer após um ano (Peterson *et al.*, 2000; Peterson *et al.*, 2006; Schlacher *et al.* 2012; Wooldridge *et al.* 2016), a abundância populacional de todos os pontos foi reduzindo a cada amostragem. As taxas de recuperação da população, no entanto, apresentam variações entre diferentes espécies, sendo que, em alguns casos, as espécies

observadas não se recuperam até o fim do monitoramento, como ocorreu no presente estudo (Rosov *et al.* 2016; Wooldridge *et al.* 2016; Staudt *et al.* 2021). Por outro lado, o diâmetro das tocas aumentou em todos os pontos, ou seja, os poucos organismos presentes nas praias, conseguiram desenvolver-se.

Embora os impactos tenham sido notórios, é importante destacar que, ainda que a alimentação artificial possa resultar em impactos negativos no ecossistema, pode também contribuir para a expansão de habitats ao aumentar a largura da praia (desde que as características do sedimento do local fonte de sedimento sejam compatíveis com a praia alimentada), podendo beneficiar espécies do supralitoral, como artrópodes (Egmond *et al.* 2018; Kindeberg *et al.*, 2023). Entretanto, isso não ocorreu neste estudo. Um exemplo dessa contribuição foi documentado por Fenster *et al.* (2006), que mostraram que a alimentação artificial de duas praias na Baía de Chesapeake, Virgínia, favoreceu uma maior abundância do besouro-tigre *Cicindela dorsalis dorsalis* em função do aumento da largura da praia ocasionada pela obra. Em poucas semanas de deposição de sedimento, indivíduos adultos começaram a habitar as áreas alimentadas da praia, resultando em um grande número de larvas.

As obras realizadas para mitigar os efeitos da erosão costeira abordadas neste estudo são realizadas, majoritariamente, para recuperar áreas onde a erosão representa uma ameaça às pessoas e às propriedades, bem como praias de alto valor recreativo, frequentadas por turistas (Pinto *et al.*, 2020; Schipper *et al.*, 2021). Além disso, em determinadas situações, a alimentação artificial das praias, por exemplo, tem por finalidade única, melhorar a experiência dos turistas, aumentando a área disponível para recreação e até mesmo alterando o tamanho do grão do sedimento para gerar maior conforto ao visitante (Anthony *et al.*, 2011; Pinto *et al.*, 2020). Entretanto, estratégias voltadas à redução dos impactos na macrofauna, especialmente a bentônica, poderiam beneficiar diversas espécies do supralitoral, promovendo a expansão de habitats resultantes das obras de alimentação artificial. Entre essas estratégias, destaca-se o uso de técnicas que depositem areia em camadas finas, minimizando a mortalidade por soterramento, além da utilização de sedimentos com tamanhos de grãos semelhantes aos naturais (Schlacher *et al.*, 2012).

De modo geral, os dados de abundância e diâmetro das tocas de *O. quadrata* foram influenciados negativamente por três principais estressores antrópicos, a presença das obras para controle de erosão costeira, seguida pela erosão costeira e

pela urbanização, como demonstrado pela Análise de Componentes Principais e pela Análise de Covariância e o Teste de Correlação de Pearson. Tais resultados se alinham com o fato das estratégias para combater a erosão costeira em praias provocarem uma série de impactos no ecossistema, que vão desde alterações no balanço sedimentar até a supressão de habitats (Bulhões, 2020). Ressalta-se que o planejamento dessas obras, em sua maioria, além de controlar a erosão costeira, tem como objetivo possibilitar o uso recreativo e a exploração econômica do litoral, muitas vezes desconsiderando os impactos gerados no ecossistema (Maslo *et al.*, 2011). Os impactos também são amplificados pela ocupação desordenada do litoral, que agrava a perda de habitat frente à erosão costeira, além da supressão do ecossistema ocasionada pela pressão da urbanização, que avança continuamente sobre a linha de costa (Defeo *et al.*, 2009).

7. CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que as pressões causadas pelas obras para controle de erosão costeira, pela própria erosão e pela urbanização afetam negativamente a população de *O. quadrata*, evidenciando a vulnerabilidade dessa espécie a tais eventos. Ressalta-se a utilização desse caranguejo como uma espécie indicadora de impactos antrópicos associados à urbanização e ao controle da erosão em praias.

Os resultados destacaram a necessidade de estratégias de gestão que considerem os efeitos negativos decorrentes dessas intervenções na biodiversidade local. Além disso, sugere-se a inclusão de critérios ecológicos no planejamento e na execução destas obras, como a preservação de habitats através do uso de sedimentos compatíveis com o local a ser alimentado artificialmente e um monitoramento de fauna antes, durante e após estes eventos, de forma a mitigar os impactos sobre comunidades bentônicas.

Recomenda-se a realização de novos estudos com monitoramento contínuo para identificar os efeitos dessas atividades a médio e longo prazo e que possam aprofundar a compreensão das relações entre as alterações causadas no habitat e a resiliência dessa espécie, considerada guarda-chuva. Tais pesquisas podem contribuir para o desenvolvimento de políticas mais sustentáveis e para a

conservação dos ecossistemas praias, essenciais para a biodiversidade e amplamente utilizados para atividades humanas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anthony, E. J.; Cohen, O.; Sabatier, F. (2011). Chronic offshore loss of nourishment on Nice beach, French Riviera: A case of over-nourishment of a steep beach?. *Coastal engineering*, 58(4), 374-383.
- Barboza, C. A.; Mattos, G.; Gomes, A. S.; Zalmon, I. R.; Costa, L. L. (2021). Low densities of the ghost crab *Ocypode quadrata* related to large scale human modification of sandy shores. *Frontiers in Marine Science*, 8, 589542.
- Barros, F. (2001). Ghost crabs as a tool for rapid assessment of human impacts on exposed sandy beaches. *Biological Conservation*, 97(3), 399-404.
- Blankensteyn, A. (2006). O uso do caranguejo maria-farinha *Ocypode quadrata* (Fabricius) (Crustacea, Ocypodidae) como indicador de impactos antropogênicos em praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina. *Revista Brasileira De Zoologia*, 23, 870-876.
- Bulhões, E. (2020). Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral. Muehe, D.; Barros, F. M. L.; Pinheiro, L. *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro: PGGM, 655-688.
- Cantasano, N.; Boccalaro, F.; Ietto, F. (2023). Assessing of detached breakwaters and beach nourishment environmental impacts in Italy: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 127.
- Cooke, B. C.; Morton, J. K.; Baldry, A.; Bishop, M. J. (2020). Backshore nourishment of a beach degraded by off-road vehicles: Ecological impacts and benefits. *Science of the Total Environment*, 724, 138115.
- Corte, G. N.; Checon, H. H.; Esmaeili, Y. S.; Defeo, O.; Turra, A. (2022). Evaluation of the effects of urbanization and environmental features on sandy beach macrobenthos highlights the importance of submerged zones. *Marine Pollution Bulletin*, 182, 113962.
- Costa, L. L.; Zalmon, I. R. (2019). Multiple metrics of the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) for impact assessments on sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 237-245.
- Costa, L. L.; Gomes, A. S.; Zalmon, I. R. (2021). Burrow occupation rates and spatial distribution within habitat of the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787): Implications for impact assessments. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101699.
- Costa, L. L.; Zalmon, I. R. (2021). Macroinvertebrates as umbrella species on sandy beaches. *Biological Conservation*, 253, 108922.
- Costa, L. L.; Arueira, V. F.; Ocaña, F. A.; Gomes, A. S.; Zalmon, I. R. (2022a). Are ghost crabs (*Ocypode* spp.) smaller on human-disturbed sandy beaches? A global analysis. *Hydrobiologia*, 849(15), 3287-3298.
- Costa, L. L.; Machado, P. M.; Barboza, C. A. M.; Gomes, A. S.; Zalmon, I. R. (2022b). Recovery of ghost crabs metapopulations on urban beaches during the Covid-19 "anthropause". *Marine Environmental Research*, 180, 105733.

- Defeo, O.; Lercari, D.; Gomez, J. (2003). The role of morphodynamics in structuring sandy beach populations and communities: what should be expected? *Journal of Coastal Research*, 352-362.
- Defeo, O.; Mclachlan, A.; Schoeman, D. S.; Schlacher, T.; Dugan, J.; Jones, A.; Lastra, M.; Scapini, F. (2009). Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 81(1), 1-12.
- Defeo, O.; Mclachlan, A.; Armitage, D.; Elliott, M.; Pittman, J. (2021). Sandy beach social–ecological systems at risk: regime shifts, collapses, and governance challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(10), 564-573.
- Dugan, J. E.; Hubbard, D. M.; Rodil, I. F.; Revell, D. L.; Schroeter, S. (2008). Ecological effects of coastal armoring on sandy beaches. *Marine Ecology*, 29, 160-170.
- Dugan, J. E.; Emery, K. A.; Alber, M.; Alexander, C. R.; Byers, J. E.; Gehman, A. M.; Mclenaghan, N.; Sojka, S. E. (2018). Generalizing ecological effects of shoreline armoring across soft sediment environments. *Estuaries and coasts*, 41, 180-196.
- Esteves, L. S.; Finkl, C. W. (1998). The problem of critically eroded areas (CEA): An evaluation of Florida beaches. *Journal of Coastal Research*, 11-18.
- Fanini, L.; Defeo, O.; Elliott, M. (2020). Advances in sandy beach research—local and global perspectives. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 234, 106646.
- Fenster, M. S.; Knisley, C. B.; Reed, C. T. (2006). Habitat preference and the effects of beach nourishment on the federally threatened northeastern beach tiger beetle, *Cicindela dorsalis dorsalis*: Western Shore, Chesapeake Bay, Virginia. *Journal of coastal research*, 22(5), 1133-1144.
- Finkl, C. W.; Walker, H. J. (2002). Beach nourishment. In: *Engineered coasts*. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 1-22.
- Fleishman, E.; Murphy, D. D.; Brussard, P. F. (2000). A new method for selection of umbrella species for conservation planning. *Ecological applications*, 10(2), 569-579.
- Greene, K. (2002). Beach nourishment: a review of the biological and physical impacts.
- Harris, L. R.; Defeo, O. (2022). Sandy shore ecosystem services, ecological infrastructure, and bundles: New insights and perspectives. *Ecosystem Services*, 57, 101477.
- Herman, P. M.; Moons, J. S.; Wijsman, J. W.; Luijendijk, A. P.; Ysebaert, T. (2021). A mega-nourishment (sand motor) affects landscape diversity of subtidal benthic fauna. *Frontiers in Marine Science*, 8, 643674.
- Hijmans, R. J. (2020). Raster: Geographic data analysis and modeling. R package version, 2, 8.
- IPCC. First Assessment Report: Scientific Assessment of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990.

- IPCC. First Assessment Report: Overview and Policymaker Summaries. IPCC Supplement, 1992.
- IPCC. Climate Change 2014: Synthesis report: Contributions of workgroups I, II and III to the Fifth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
- IPCC. 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, Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023
- Jaramillo, E.; Dugan, J.; Hubbard, D.; Manzano, M.; Duarte, C. (2021). Ranking the ecological effects of coastal armoring on mobile macroinvertebrates across intertidal zones on sandy beaches. *Science of the Total Environment*, 755, 142573.
- Jones, A. R.; Schlacher, T. A.; Schoeman, D. S.; Weston, M. A.; Withycombe, G. M. (2017). Ecological research questions to inform policy and the management of sandy beaches. *Ocean & Coastal Management*, 148, 158-163.
- Kindeberg, T.; Almström, B.; Skoog, M.; Olsson, P. A.; Hollander, J. (2023). Toward a multifunctional nature-based coastal defense: a review of the interaction between beach nourishment and ecological restoration. *Nordic Journal of Botany*, 2023(1), e03751.
- Laurino, I. R.; Checon, H. H.; Corte, G. N.; Turra, A. (2022). Does coastal armoring affect biodiversity and its functional composition on sandy beaches?. *Marine Environmental Research*, 181, 105760.
- Lorenzoni, C.; Postacchini, M.; Brocchini, M.; Mancinelli, A. (2016). Experimental study of the short-term efficiency of different breakwater configurations on beach protection. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 2(2), 195-210.
- Lucrezi, S.; Schlacher, T. A.; Robinson, W. (2009). Human disturbance as a cause of bias in ecological indicators for sandy beaches: experimental evidence for the effects of human trampling on ghost crabs (*Ocypode* spp.). *Ecological Indicators*, 9(5), 913-921.
- Luijendijk, A.; Hagenaars, G.; Ranasinghe, R.; Baart, F.; Donchyts, G.; Aarninkhof, S. (2018). The state of the world's beaches. *Scientific reports*, 8(1), 1-11.
- Machado, P. M.; Costa, L. L.; Suciú, M. C.; Tavares, D. C.; Zalmon, I. R. (2016). Extreme storm wave influence on sandy beach macrofauna with distinct human pressures. *Marine Pollution Bulletin*, 107(1), 125-135.
- Machado, P. M.; Tavares, D. C.; Zalmon, I. R. (2019). Synergistic effect of extreme climatic events and urbanization on population density of the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787). *Marine Ecology*, 40(2), e12525.

- Maslo, B.; Handel, S. N.; Pover, T. (2011). Restoring beaches for Atlantic coast piping plovers (*Charadrius melodus*): a classification and regression tree analysis of nest-site selection. *Restoration Ecology*, 19(201), 194-203.
- Brown, A. C.; McLachlan, A. (2010). *The ecology of sandy shores*. Elsevier.
- Miselis, J. L.; Flocks, J. G.; Zeigler, S.; Passeri, D.; Smith, D. R.; Bourque, J.; Sherwood, C. R.; Smith, C. G.; Ciarletta, D. J.; Smith, K.; Hart, K.; Kazyak, D.; Berlin, A.; Prohaska, B.; Calleson, T.; Yanchis, K. (2021). Impacts of sediment removal from and placement in coastal barrier island systems. US Geological Survey.
- Neves, F. M.; Bemvenuti, C. E. (2006). The ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) as a potential indicator of anthropic impact along the Rio Grande do Sul coast, Brazil. *Biological Conservation*, 133(4), 431-435.
- Nourisson, D. H.; Scapini, F.; Milstein, A. (2018). Small-scale changes of an arthropod beach community after hard-engineering interventions on a Mediterranean beach. *Regional studies in marine science*, 22, 21-30.
- Palamakumbure, L.; Ratnayake, A. S.; Premasiri, H. R.; Ratnayake, N. P.; Katupotha, J.; Dushyantha, N.; Weththasinghe, S.; Weerakoon, W. P. (2020). Sea-level inundation and risk assessment along the south and southwest coasts of Sri Lanka. *Geoenvironmental Disasters*, 7, 1-9.
- Paris, P.; Leach, A.; Corbett, D. R. (2023). Potential long-term disturbance associated with beach nourishment-insights and observations from Pea Island National Wildlife Refuge, Outer Banks, North Carolina. *Heliyon*, 9(1).
- Parkinson, R. W.; Ogurcak, D. E. (2018). Beach nourishment is not a sustainable strategy to mitigate climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212, 203-209.
- Pereira, R. C.; Soares, A. G. (2009). *Biologia Marinha*. 2ª Edição. Editora Interciência, Rio de Janeiro. 631p.
- Peterson, C. H.; Hickerson, D. H. M.; Johnson, G. G. (2000). Short-Term consequences of nourishment and bulldozing on the dominant large invertebrates of a Sandy beach. *Journal of Coastal Research*, 16(2), 368-378.
- Peterson, C. H.; Bishop, M. J.; D'anna, L. M.; Johnson, G. A. (2014). Multi-year persistence of beach habitat degradation from nourishment using coarse shelly sediments. *Science of the Total Environment*, 487, 481-492.
- Pinto, C. A.; Silveira, T. M.; Teixeira, S. B. (2020). Beach nourishment practice in mainland Portugal (1950–2017): Overview and retrospective. *Ocean & coastal management*, 192, 105211.
- Pombo, M.; Turra, A. (2013). Issues to be considered in counting burrows as a measure of Atlantic ghost crab populations, an important bioindicator of sandy beaches. *PLoS ONE*, 8(12), e83792.
- Pombo, M.; Cornwell, T.; Turra, A. (2023). Beach morphodynamics modulate the effects of multidirectional habitat loss on population density and size structure

- of the Atlantic ghost crab *Ocypode quadrata*. Marine Environmental Research, 190, 106107.
- Pranzini, E.; Wetzel, L.; Williams, A. T. (2015). Aspects of coastal erosion and protection in Europe. Journal of coastal conservation, 19, 445-459.
- Pranzini, E.; Rossi, L.; Lami, G.; Jackson, N. L.; Nordstrom, K. F. (2018). Reshaping beach morphology by modifying offshore breakwaters. Ocean & Coastal Management, 154, 168-177.
- Rosov B.; Bush S.; Roberts B. T.; Elko N. (2016). The state of understanding the impacts of beach nourishment activities on infaunal communities. Shore & Beach, 84(3), 51-55.
- Saengsupavanich, C.; Pranzini, E.; Ariffin, E. H.; Yun, L. S. (2023). Jeopardizing the environment with beach nourishment. Science of The Total Environment, 868, 161485.
- Sakai, K.; Türkay, M. (2013). Revision of the genus *Ocypode* with the description of a new genus, *Hoplocypode* (Crustacea: Decapoda: Brachyura). Memoirs Queensland Museum, 56(2), 665-793.
- Schipper, M. A.; Ludka, B. C.; Raubenheimer, B.; Luijendijk, A. P.; Schlacher, T. A. (2021). Beach nourishment has complex implications for the future of sandy shores. Nature Reviews Earth & Environment, 2(1), 70-84.
- Schlacher, T. A.; Dugan, J.; Schoeman, D. S.; Lastra, M.; Jones, A.; Scapini, F.; Mclachlan, A.; Defeo, O. (2007). Sandy beaches at the brink. Divers. Distrib. 13(5), 556-560.
- Schlacher T. A.; Noriega R.; Jones A.; Dye, T. (2012). The effects of beach nourishment on benthic invertebrates in eastern Australia: impacts and variable recovery. Sci Total Environ, 435, 411-417.
- Schlender, K.; Corte, G.; Durdall, A.; Habtes, S.; Grimes, K. W. (2023). Urbanization driving *Ocypode quadrata* burrow density, depth, and width across Caribbean beaches. Ecological Indicators, 153, 110396.
- Sharaan, M.; Iskander, M.; Udo, K. (2022). Coastal adaptation to Sea Level Rise: An overview of Egypt's efforts. Ocean & Coastal Management, 218, 106024.
- Suciu, M. C.; Tavares, D. C.; Zalmon, I. R. (2018). Comparative evaluation of crustaceans as bioindicators of human impact on Brazilian sandy beaches. Journal of Crustacean Biology, 38(4), 420-428.
- Suguio, K. (1973). Introdução à Sedimentologia. São Paulo: Edgard Blucher/EDUSP.
- Staudt, F.; Gijsman, R.; Ganai, C.; Mielck, F.; Wolbring, J.; Hass, H. C.; Goseberg, N.; Schüttrumpf, H.; Schlurmann, T.; Schimmels, S. (2021). The sustainability of beach nourishments: a review of nourishment and environmental monitoring practice. Journal of coastal conservation, 25, 1-24.

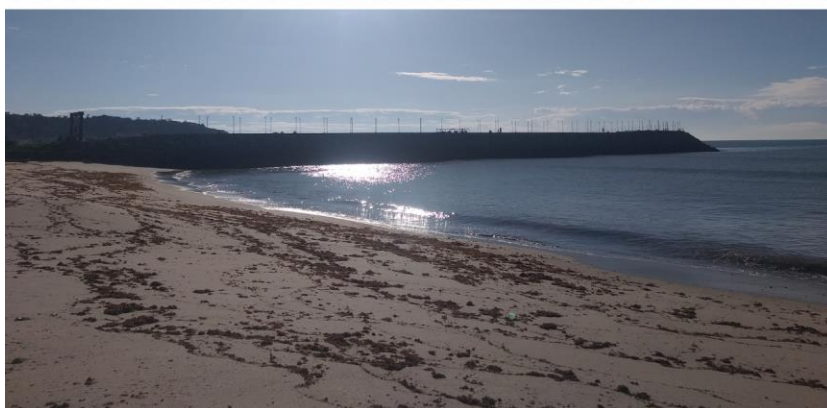
- Viola, S. M.; Hubbard, D. M.; Dugan, J. E.; Schooler, N. K. (2014). Burrowing inhibition by fine textured beach fill: implications for recovery of beach ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 150, 142-148.
- Vousdoukas, M. I.; Ranasinghe, R.; Mentaschi, L.; Plomaritis, T. A.; Athanasiou, P.; Luijendijk, A.; Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature climate change*, 10(3), 260-263.
- Wooldridge, T.; Henter, H. J.; Kohn, J. R. (2016). Effects of beach replenishment on intertidal invertebrates: A 15-month, eight beach study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 175, 24-33.
- Williams, Z. C.; Mcnamara, D. E.; Smith, M. D.; Murray, A. B; Gopalakrishnan, S. (2013). Coupled economic-coastline modeling with suckers and free riders. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(2), 887-899.

APÊNDICE I

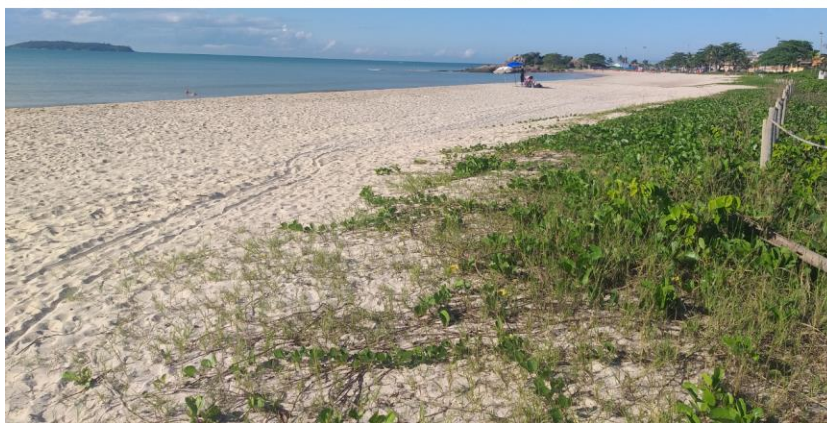
Fotografias dos pontos de amostragem evidenciando a presença ou ausência das obras para controle de erosão costeira na Praia de Itapemirim



Ponto 1 da Praia Itapemirim (mais conhecida como Praia de Itaipava, localizada na área mais urbanizada do município) durante a obra de alimentação artificial.



Ponto 1 da Praia Itapemirim (mais conhecida como Praia de Itaipava, localizada na área mais urbanizada do município) após a obra de alimentação artificial. Conta com a presença de um píer.



Ponto 2 da Praia Itapemirim (mais conhecida como Praia de Itaipava, localizada na área mais urbanizada do município), adjacente ao Ponto 1 e com ausência de obras para controle de erosão costeira.



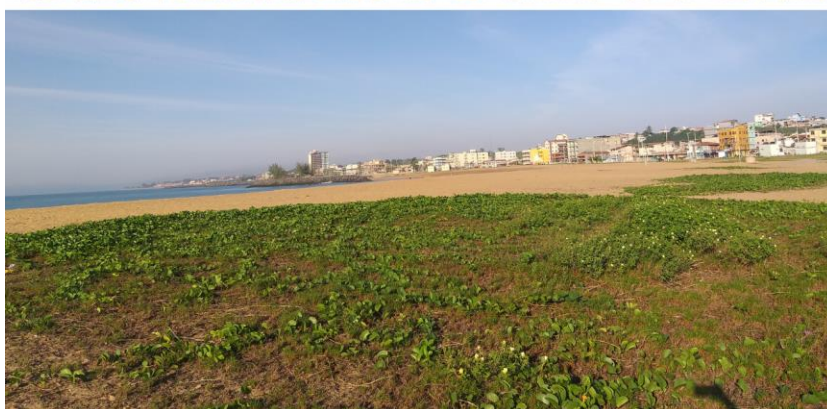
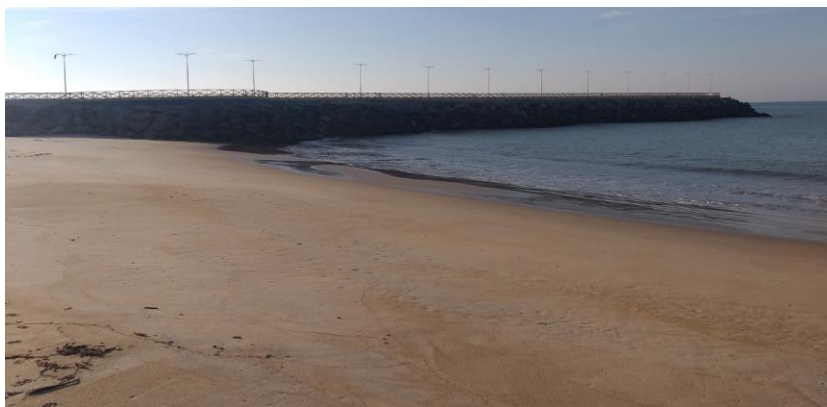
Ponto 3 da Praia de Itapemirim (mais conhecida como Praia de Itaoca, localizada na área menos urbanizada do município), com ausência de obras para controle de erosão costeira e presença de restinga relativamente preservada.



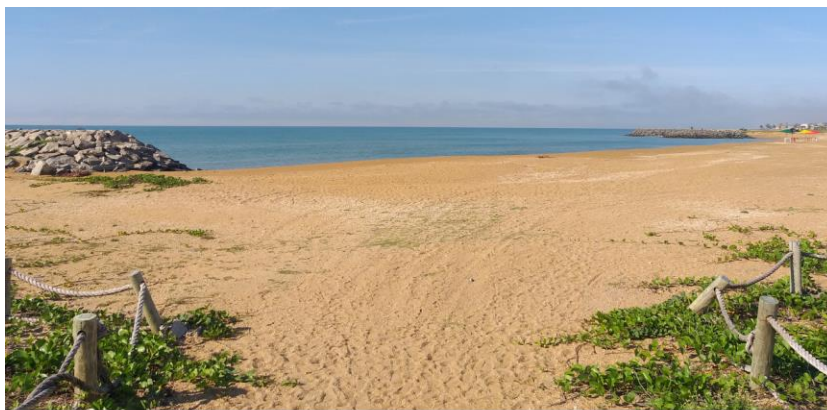
Ponto 4 da Praia de Itapemirim (mais conhecida como Praia de Itaoca, localizada na área menos urbanizada do município), com ausência de obras para controle de erosão costeira e presença de restinga relativamente preservada.

APÊNDICE II

Fotografias dos pontos de amostragem evidenciando a presença ou ausência das obras para controle de erosão costeira na Praia de Marataízes



Ponto 1 da Praia de Marataízes (área mais urbanizada do município), passou por uma obra de alimentação artificial no ano de 2016 e conta com a presença de um píer.



Ponto 2 da Praia de Marataízes (área mais urbanizada do município) com a presença de enrocamentos rochosos.



Ponto 3 da Praia de Marataízes (área de urbanização intermediária do município) com a presença de enrocamentos rochosos.



Ponto 4 da Praia de Marataízes (área de urbanização intermediária do município) com a presença de enrocamentos rochosos.



Ponto 5 da Praia de Marataízes (área menos urbanizada do município) com ausência de obras para controle de erosão costeira e presença de restinga relativamente preservada.



Ponto 6 da Praia de Marataízes (área menos urbanizada do município) com ausência de obras para controle de erosão costeira e presença de restinga relativamente preservada.