



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

CARLOS VINÍCIUS COSTA DA SILVA

**ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO MAR E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE
ECOLÓGICA DAS PRAIAS**

Recife

2023

CARLOS VINÍCIUS COSTA DA SILVA

**ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO MAR E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE
ECOLÓGICA DAS PRAIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Biologia Animal.

Área de concentração: Biologia Animal

Orientador: Prof. Dr. Paulo Jorge Parreira dos Santos

Recife

2023

CARLOS VINÍCIUS COSTA DA SILVA

**ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO MAR E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE
ECOLÓGICA DAS PRAIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Biologia Animal.

Área de concentração: Biologia Animal

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leandro Manzoni Vieira (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Tatiana Fabricio Maria (Examinadora Externa)

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Dra. Ana Carolina Sousa de Almeida (Examinadora Externa)

Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Ulisses dos Santos Pinheiros (Suplente)

Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Patrícia Fernandes Neres (Suplente)

Universidade Federal de Pernambuco

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Silva, Carlos Vinicius Costa da.

Estruturas de contenção do mar e seus impactos na qualidade ecológica das praias / Carlos Vinicius Costa da Silva. - Recife, 2023.

55 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, 2023.

Orientação: Paulo Jorge Parreira dos Santos.

Inclui referências.

1. Macrofauna; 2. Antropização; 3. Obras costeiras; 4. Índice biótico; 5. Protocolo rápido de avaliação. I. Santos, Paulo Jorge Parreira dos. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

Dedico este trabalho a Luíza,
Que me acompanha de perto,
Que compartilha a dor,
Que ressalta o meu valor.

AGRADECIMENTOS

À todo corpo da Universidade Federal de Pernambuco e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, pelo suporte ao longo do andamento desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior, pela bolsa que possibilitou a execução dessa dissertação.

Ao Prof. Dr. Paulo Jorge Parreira dos Santos, pela oportunidade de desenvolver essa dissertação sob sua orientação. Por tornar a experiência de fazer ciência mais interessante, educativa e prazerosa. Por ensinar, ajudar, instigar e acompanhar. Pela partilha, pelo cuidado. Por mostrar que a vida é leve.

Aos meus pais, que nos últimos anos tem segurado uma barra muito pesada para me apoiar profissionalmente. Que abdicam de ter para dar. Que fazem até o impossível. Que não entendem muito bem o que acontece por aqui, mas estão sempre dispostos a torcer e ver os resultados. Por me amar.

À Luíza, que me encontrou no meio da tempestade e me deu direção. Que me conheceu ao longo desse trabalho e resolveu estender a mão. Que se conectou num momento tão inoportuno e fez dele um dos melhores. Que tornou minha vida mais fácil, mais leve, sem nem fazer questão. Que deu muito amor, aconchego e carinho. Por quem me derreto todinho e protejo de tudo que for negativo. Minha mulher, em quem sempre vivo.

Aos meus amigos da universidade, que eu trago desde a graduação. Daniel, Letícia e Kivia, não saem JAMAIS do meu coração. Minha gente, viver é mais divertido ao lado de vocês, espero demais que a gente esteja sempre em sintonia e se cuidando, se curtindo. Fazendo todos os momentos serem especiais, compartilhando das dores e das alegrias. Vocês são tudo pra mim.

À cada um do LABDIN que se fez presente e me acolheu nessa breve estadia. Foram dois anos, dois anos afastados tanto pela pandemia quanto pela distância da minha casa para a universidade

(KKK). Mas saibam que eu guardo vocês no coração, gosto de todo mundo e só tenho carinho pra dar. Obrigado a Nídia, Larissa, Michelly, Carol e Nayra. Obrigado pela ajuda, os conselhos, os momentos divididos. Obrigado por estarem presentes e dispostas.

“Um passo à frente e você não está mais no
mesmo lugar.”

Chico Science

RESUMO

A zona costeira representa apenas 20% de toda a terra disponível no globo e abriga aproximadamente 40% da população mundial. O interesse na região se dá pela oferta de serviços como lazer, turismo e alimentação, tornando-as o ambiente natural mais usado pelas pessoas no mundo. Entretanto, a urbanização da costa e a ocupação desordenada no litoral pode resultar em efeitos negativos para os ecossistemas costeiros, reconhecidamente sensíveis a fatores antrópicos oriundos da urbanização. Nesse sentido, o aporte de nutrientes e esgoto doméstico que chegam as praias podem provocar fenômenos conhecidos como a maré vermelha, através da proliferação excessiva de microalgas. O acúmulo de matéria orgânica, somado a outros impactos como a construção de obras de contenção do mar, pode facilitar o processo de apóxia pela perda de serviços ecossistêmicos como a degradação de matéria orgânica e transporte de matéria acumulada nas praias para outros locais. Essas estruturas de contenção também são conhecidas por impactar negativamente a macrofauna, facilitando a inserção de espécies exóticas e oportunistas, além de diminuir a diversidade local de forma geral. Ademais, mensurar os impactos na fauna é um processo de alto custo, que leva muito tempo e precisa de mão de obra especializada, como é o caso de índices como o AMBI, BOPA, entre outros. Dessa forma, essa tese teve dois objetivos: 1- Identificar quais os fatores de origem antrópica estão relacionados com o acúmulo de matéria orgânica e clorofila ao redor do globo, através de uma meta-análise. 2- Facilitar a avaliação do impacto ambiental da urbanização na macrofauna de praias arenosas, testando a adequação de um protocolo rápido de avaliação com base em características simples do sedimento como cor, cheiro e textura, para praias tropicais, comparando seus resultados a valores de potencial de oxirredução do sedimento, o índice biótico BOPA e a boletins de balneabilidade. Os resultados obtidos mostraram que diferenças metodológicas na amostragem da matéria orgânica podem causar enviesamento dos dados, e que a clorofila está intimamente associada ao despejo de esgoto em praias de todo o mundo. Além disso, o método de avaliação rápida demonstrou uma excelente replicabilidade entre amostradores, mas precisa de ajustes para melhorar a sua acurácia. Esperamos com esses resultados mostrar que as praias arenosas, muitas vezes subestimadas quanto a necessidade de esforço para conservação, estão suscetíveis a diversos impactos, necessitando de atenção especial dos tomadores de decisões para melhores ações de manejo nesses locais.

Palavras-chave: antropização, macrofauna, índice biótico, obras costeiras, protocolo rápido de avaliação.

ABSTRACT

The coastal zone represents 20% of all available land on the globe and is home to approximately 40% of the world's population. The interest in this region is due to the disponibility of services such as leisure, tourism and food, making them the natural environment most used by people in the world. However, coastal urbanization and disorderly occupation on the coast can result in negative effects for coastal ecosystems, known to be sensitive to anthropic factors arising from urbanization. In this sense, the input of nutrients and domestic sewage that reach the beaches can cause phenomena known as the red tide, through the excessive proliferation of microalgae. The accumulation of organic matter, added to other impacts such as the construction coastal armouring, can facilitate the apoxia process due to the loss of ecosystem services such as the degradation of organic matter and the transport of matter accumulated on the beaches to other locations. These structures are also known to negatively impact macrofauna, facilitating the insertion of exotic and opportunistic species, in addition to reducing local diversity in general. Furthermore, measuring the impacts on fauna is a costly process, which takes a long time and requires specialized labor, as is the case with indices such as AMBI, BOPA. Thus, this thesis had two objectives: 1- To identify which factors of anthropic origin are related to the accumulation of organic matter and chlorophyll on beaches around the globe, through a meta-analysis. 2- Facilitate the assessment of the environmental impact of urbanization on the macrofauna of sandy beaches, testing the suitability of a rapid assessment protocol based on simple sediment characteristics such as color, smell and texture, for tropical beaches, comparing its results to potential values of sediment redox, the BOPA biotic index and bathing bulletins. The results obtained showed that methodological differences in the sampling of organic matter can cause bias in the data, and that chlorophyll is closely associated with the discharge of sewage on beaches around the world. In addition, the rapid assessment method demonstrated excellent replicability between samplers, but needs adjustments to improve its accuracy. We hope with these results to show that sandy beaches, often underestimated in terms of the need for conservation effort, are susceptible to several impacts, requiring special attention from decision makers for better management actions.

Keywords: anthropization, macrofauna, biotic index, coastal armouring, rapid assessment protocol.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1: PRAIAS ARENOSAS, URBANIZAÇÃO E ESTRESSORES AMBIENTAIS: UMA META-ANÁLISE.

- Figura 1 – Fluxograma de informações metodológicas para revisões de literatura. Baseado no PRISMA Statement (adaptado de Moher et al., 2009; Page et al., 2020).....18
- Figura 2 – Relação entre a quantidade de clorofila e o tamanho médio do grão retirada dos estudos incluídos nesta meta-análise. Cada círculo corresponde a uma amostra. Os traços verdes ao longo do eixo X indicam a concentração dos dados.....31

ARTIGO 2: PRAIAS ARENOSAS E ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO MAR: IMPACTOS NA MACROFAUNA E NO SEDIMENTO.

- Figura 1 – Mapa dos locais de coleta no Brasil, estado de Pernambuco. Círculos representam as praias amostradas, as cores identificam diferentes níveis de exposição.....40
- Figura 2 – Testagem da replicabilidade através dos coeficientes de variação para as categorias: A – Cor, B – Cheiro, C – Textura, D – Escore.....25
- Figura 3 – Índice pluviométrico para os municípios amostrados, total acumulado para o ano de 2022.....48
- Figura 4 – Regressões lineares do RAP correlacionadas com o valor de ORP da água intersticial nas praias amostradas. A – Cor, B – Cheiro, C – Textura, D – Escore.....50
- Figura 5 – Plot *multidimensional scaling* (MDS) das praias amostradas com base nas características descritivas das praias, RAP, ORP e balneabilidade.....52

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: PRAIAS ARENOSAS, URBANIZAÇÃO E ESTRESSORES AMBIENTAIS: UMA META-ANÁLISE.

Tabela 1 – Informações retiradas dos artigos selecionados para a revisão de literatura.....	19
Tabela 2 – Categorias de classificação da cobertura das imagens de satélite, utilizadas no software CPCe 4.1.....	20
Tabela 3 – Resultado de testes sequenciais do modelo linear baseado na distância (DistLM) para dados de matéria orgânica.....	23
Tabela 4 – Resultado de testes sequenciais do modelo linear baseado na distância (<i>DistLM</i>) para dados de clorofila-a.....	24
Tabela 5 – Técnicas aplicadas para obtenção de MO.....	27
Tabela 6 – Variações metodológicas no emprego da técnica de <i>Loss on ignition</i>	28

ARTIGO 2: PRAIAS ARENOSAS E ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO MAR: IMPACTOS NA MACROFAUNA E NO SEDIMENTO.

Tabela 1 – Caracterização das praias amostradas no estudo.....	44
Tabela 2 – Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para a classe de exposição das praias. DF: Graus de liberdade; SS: Soma dos quadrados; MS: Quadrado médio.....	46
Tabela 3 – Resultados do <i>Pair-Wise Test</i> para discriminação das comparações de classes de exposição das praias.....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 ARTIGO 1 – PRAIAS ARENOSAS, URBANIZAÇÃO E ESTRESSORES AMBIENTAIS: UMA META-ANÁLISE.	16
2.1 INTRODUÇÃO	16
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	17
2.2.1 Revisão de Literatura	17
2.2.2 Padronização de Unidades	18
2.2.3 Imagens de Satélite	19
2.2.4 Modelos Lineares	20
2.3 RESULTADOS	21
2.4 DISCUSSÃO	24
2.5 REFERÊNCIAS	32
6 ARTIGO 2 – PRAIAS ARENOSAS E ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO MAR: IMPACTOS NA MACROFAUNA E NO SEDIMENTO.	37
6.1 INTRODUÇÃO	37
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS	38
6.2.1 Área de Estudo	38
6.2.2 Balneabilidade	39
6.2.3 Indicador biológico	40
6.2.4 Protocolo Rápido de Avaliação	40
6.2.5 Análise de Dados	40
6.3 RESULTADOS	41
6.3.1 Balneabilidade	41
6.3.2 Indicador biológico	41

6.3.3 Protocolo Rápido de Avaliação	42
6.3.4 Classes de Exposição	42
6.4 DICUSSÃO	46
6.4.1 Balneabilidade	46
6.4.2 Índice Biótico	47
6.4.3 Protocolo Rápido de Avaliação	48
6.4.4 Classes de Exposição	49
6.5 REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO GERAL

A zona costeira é atualmente uma das regiões mais utilizadas por toda população globalmente (SCHLACHER et al., 2007). As pessoas são atraídas por diversas possibilidades, mas seus interesses estão focados principalmente no potencial de crescimento econômico, entretanto, opções de lazer, turismo e alimentação exercem papel de destaque no litoral (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2005). Abarcar 40% de toda a população mundial é extremamente difícil, e o crescimento da população vivendo na costa acarreta em problemas principalmente de origem socioeconômica, como a inutilização das praias por conta de elevados índices de coliformes termotolerantes e propagação de doenças, originárias do despejo de esgoto e lixo nas praias (PAN; RAO, 1997).

Essas fontes de poluição podem modificar a qualidade ambiental através da proliferação de micro e macroalgas de forma mais elevada que o normal e aumentando o acúmulo de matéria orgânica no sedimento. O aumento de matéria orgânica pode ainda ser responsável por causar os fenômenos de hipóxia e apóxia, diminuindo a qualidade do sedimento e da água, aumentando a toxicidade dos mesmos para diversos grupos da fauna (DEFEO et al., 2009; SILVA et al., 2009; MISHRA et al., 2015).

O despejo de esgoto e lixo nas praias acontece por vários fatores, mas em muitas cidades o principal problema é a falta de acesso ao saneamento básico. Pelo desinteresse ou incapacidade dos gestores de criar uma rede ampla que englobe toda a população, redes clandestinas são posteriormente instaladas e dessa forma os dejetos chegam à água do mar, transformando as praias em ambientes poluídos e impróprios para a ocupação humana (TV JORNAL, 2019; G1, 2022; SILVEIRA et al., 2022).

O investimento em infraestrutura é essencial nas cidades localizadas em zonas litorâneas. Entretanto, muitas vezes a ocupação da costa é feita de forma desordenada, sem regularização e critérios, tornando esse ambiente hostil para a população, que fica sujeita a desastres naturais provenientes principalmente do avanço do nível do mar, uma das principais causas de erosão costeira (LEE et al., 2006; MIMURA, 2013). De forma a mitigar o avanço do mar, várias alternativas estão à disposição para controlar as águas, como a instalação de quebra-mares, enrocamentos e espigões. Entretanto, essas estruturas impactam negativamente as praias arenosas, causando a reflexão das ondas para praias adjacentes, mudando os padrões de sedimentação das praias onde foram construídas (GRIGGS, 2005).

Impactos são vistos não apenas no ambiente físico, mas também na fauna associada. A construção de estruturas de contenção tem potencial de impactar principalmente pássaros e invertebrados, que sofrem com a perda de habitat, redução de presas, diminuição da diversidade e abundância e o favorecimento de espécies exóticas e oportunistas (DUGAN, 2008; VALENÇA; SANTOS, 2012; JEBARATHANAM et al., 2019).

É possível medir o impacto causado nas praias através de diversos índices, sejam eles biológicos ou não. Alguns desses utilizam a macrofauna para identificar perturbações de diversas origens, classificando os organismos de acordo com as suas abundâncias em grupos pré-determinados de espécies sensíveis a distúrbios, espécies oportunistas e espécies sem afinidade a ambientes impactados (BORJA et al., 2000; CHECON et al., 2023). Por outro lado, esse tipo de índice é de grande custo, requer tempo para ser executado e mão de obra especializada, podendo não se adequar a demandas urgentes que precisem maior velocidade de execução.

Uma alternativa a esses testes, são os métodos rápidos de avaliação, capazes de identificar impactos na qualidade dos ecossistemas através de características simples do sedimento, como o cheiro, cor e textura. Por não necessitar mão de obra especializada e poder ser realizado em um único dia, é possível obter classificações rápidas e de confiança quanto à qualidade ambiental, facilitando assim o trabalho de avaliar áreas que sofram principalmente com o enriquecimento orgânico e a eutrofização, um cenário similar ao que encontramos em grande parte das zonas costeiras globalmente (FENESSY et al., 2007; HALLET et al., 2019).

Diante disso, a presente dissertação tem como objetivo identificar quais estressores ligados à urbanização e à ocupação costeira poderiam impactar as praias arenosas globalmente, através de uma meta-análise, reunindo o máximo de informações pertinentes sobre a qualidade do sedimento e quais fatores de origem antrópica poderiam contribuir para a degradação do ambiente. Adiante, fornecer uma forma prática de avaliar a qualidade das praias arenosas do estado de Pernambuco, que sofrem com a intensa urbanização e ocupação de costa, possibilitando a obtenção de resultados de forma menos custosa e demorada, possivelmente facilitando a tomada de decisões dos gestores responsáveis.

2 ARTIGO 1 – PRAIAS ARENOSAS, URBANIZAÇÃO E ESTRESSORES AMBIENTAIS: UMA META-ANÁLISE.

2.1 INTRODUÇÃO

Em 2008 a população mundial urbana ultrapassou a rural, e nos últimos anos esse número continua crescendo, podendo chegar a mais de 5 bilhões até o ano de 2050 (SETO et al., 2010). O processo de urbanização é responsável pela alteração das superfícies das cidades, ou seja, à medida que as regiões começam a se desenvolver, ocorre a substituição da paisagem natural para área construída com a utilização de materiais como concreto, metal e vidro. Essas mudanças nas paisagens passam então a alterar as zonas de calor da atmosfera, acentuando o aquecimento global e conseqüentemente o aumento do nível do mar, impactando diretamente as cidades costeiras (BERRY, 2008).

As zonas costeiras representam apenas 20% de toda a terra disponível ao redor do globo e abrigam aproximadamente 40% da população mundial (BURKE, 2001). O interesse nessas regiões se dá pela oferta de serviços como lazer, turismo, alimentação e possibilidade de crescimento econômico (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2005), tornando-as o ambiente natural mais usado pelas pessoas no mundo (SCHLACHER et al., 2007).

Em contrapartida, a ocupação humana desenfreada nesses locais pode resultar em impactos negativos aos ecossistemas costeiros, como em recifes, praias, estuários e terras alagadas (MACLEOD et al., 2004; LEE et al., 2006; CARLOS et al., 2008). Essas áreas são reconhecidamente sensíveis a fatores antrópicos oriundos da urbanização, pois quanto maior proximidade dos centros urbanos, maiores as chances de receberem grandes aportes de esgoto e escoamento agrícola (PERKINGS; ABBOOTT, 1972; BREITBURG et al., 2009; D'ANGELO; WIEDENMANN, 2013; ADAM et al., 2020; ADAMS et al., 2020).

Além disso, o aporte de nutrientes em praias, proveniente de atividades industriais, esgoto doméstico, agricultura e aquicultura que chegam no mar através do escoamento da água da chuva, rios e água dos lençóis freáticos, provocam o enriquecimento orgânico e conseqüentemente o crescimento de algas marinhas como *Sargassum* ou *Ulva*, ou ainda de dinoflagelados como *Ostreopsis*, organismos conhecidos por formarem as “golden”, “green” ou “red tides” respectivamente, alterando as características químicas, biológicas e físicas das praias. Vale ressaltar ainda que o aumento excessivo de matéria orgânica pode diminuir a quantidade de oxigênio dissolvido no sedimento, formando camadas anóxicas, responsáveis por diminuir a biomassa da macrofauna nas praias (UCHIYAMA et al., 2000; YE et al., 2011;

SMETACEK; ZINGONE, 2013; QUILLIEN et al., 2015; BERDALET et al., 2017; MCLACHLAN; DEFEO, 2018; DEFEO et al., 2021).

A pressão antrópica exercida em áreas costeiras pode resultar em diversas consequências negativas, afetando ou até mesmo interrompendo serviços ecossistêmicos: como a decomposição de material orgânico e poluentes, a mineralização e reciclagem de nutrientes (DEFEO et al., 2009; DEFEO et al., 2021). Outra abordagem importante é a construção de estruturas de contenção do mar, que pode causar alterações no transporte e ressuspensão do sedimento, aumentar a reflexão de ondas (diminuindo a energia delas sobre as praias), bem como na extensão da zona entre marés (MILES et al., 2001; DUGAN et al., 2008).

Diante disso, esta meta-análise foi realizada visando esclarecer quais vetores podem atuar diretamente ou indiretamente no enriquecimento orgânico das praias arenosas. Espera-se que dados da cobertura urbanizada das cidades expliquem quais fatores são responsáveis por um maior enriquecimento de matéria orgânica no sedimento da zona entre marés. Esta revisão oferece, portanto, informações importantes para um melhor manejo das zonas costeiras urbanizadas ao redor do globo, visando a preservação das praias arenosas.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

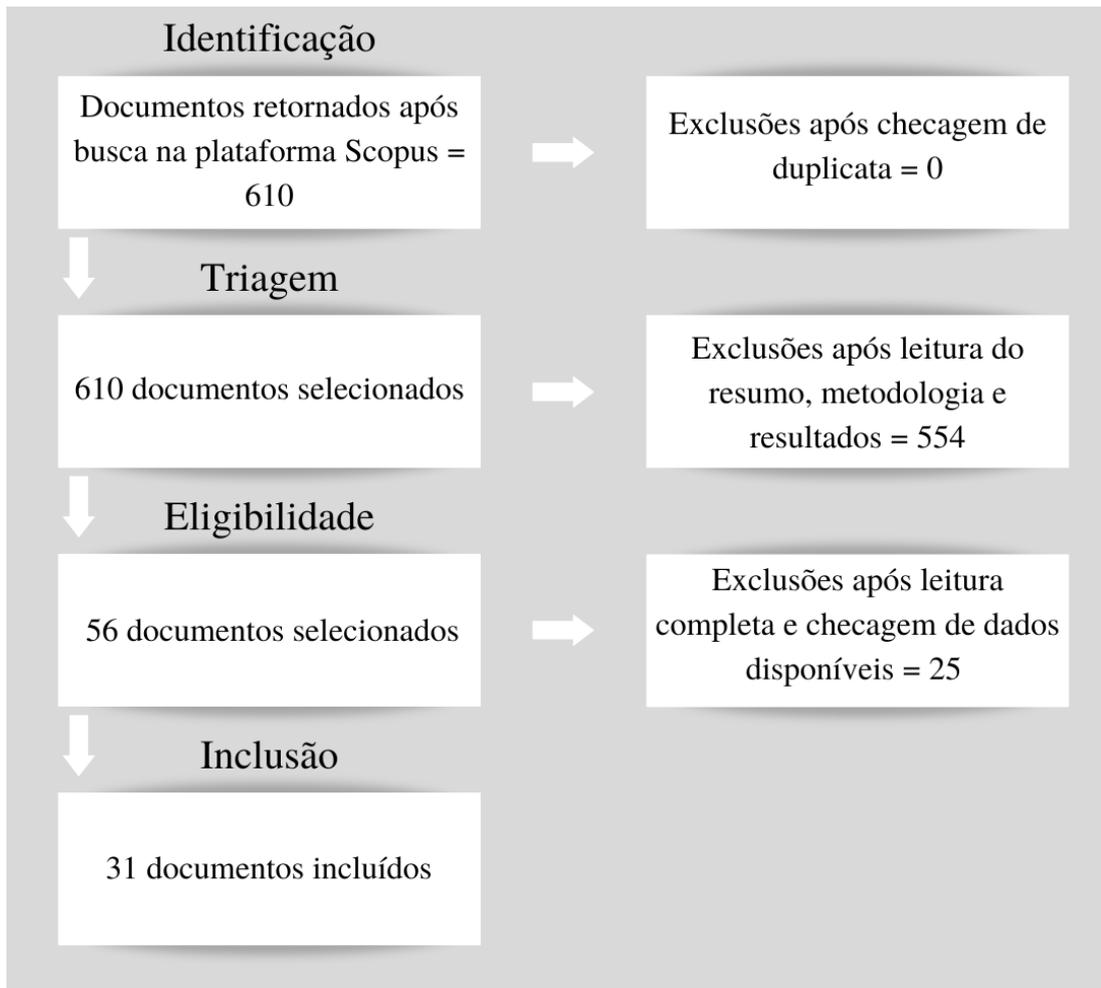
2.2.1 Revisão de Literatura

Para o desenvolvimento desta revisão, utilizamos o banco de dados da plataforma *Scopus*. O acervo deste banco é composto apenas por periódicos consolidados, evitando assim o retorno de literatura cinza (trabalhos comumente sem revisão por pares) presente em outros meios de busca. A pesquisa iniciou-se em julho de 2021, e após um período de aperfeiçoamento de palavras-chaves e operadores booleanos a seguinte combinação foi a que obteve os melhores resultados: *grain AND size AND sand AND beach AND organic AND matter AND intertidal*, em todo corpo do artigo, para trabalhos publicados até a data de início desta busca.

Foram encontradas 610 publicações que passaram por um processo de triagem e exclusão, quando não correspondiam aos critérios determinados para responder à pergunta da presente revisão (Figura 1), seguindo o modelo PRISMA (MOHER et al., 2009; PAGER et al., 2020). Selecionamos as publicações que realizaram coletas em praias arenosas na zona entre marés, obtendo amostras do sedimento com medidas do tamanho médio de grão (TMG), quantidade de matéria orgânica (MO), e oferecerem coordenadas de GPS ou mapas ilustrando os pontos de coleta. Ademais, 31 artigos atenderam aos critérios previamente estabelecidos, e parte dos seus dados foram utilizados neste estudo, separados em 4 grandes grupos de

informação (Tabela 1). Vale ressaltar que nem sempre a descrição dos locais de coleta é integralmente fornecida pelos autores. Nesse sentido, utilizamos os dados de GPS para buscar em imagens de satélite as informações do quarto grupo, quando essas não foram disponibilizadas.

Figura 1. Fluxograma de informações metodológicas para revisões de literatura. Baseado no *PRISMA Statement* (adaptado de Moher et al., 2009; Page et al., 2020).



Autoria Própria (2023)

2.2.2 Padronização de Unidades

Quando os artigos selecionados entregavam porcentagens ou massa (g) das classes granulométricas do sedimento (i.e. areia fina, areia média, argila, cascalho), ao invés do tamanho médio de grão, convertemos esses dados no programa GRADISTAT v.9.1, visando a padronização na unidade de medida phi (ϕ) (BLOTT; PLYE, 2001). Artigos que forneciam o tamanho médio de grão em unidades de mm ou μm também foram transformados para phi. As medidas de clorofila foram todas padronizadas na unidade de $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Tabela 1. Informações retiradas dos artigos selecionados para a revisão de literatura.

Grupos de Informação	Informação
Amostragem	Característica da ferramenta utilizada Estação do ano Zona de coleta
Características da praia	Amplitude de maré Exposição Morfologia
Sedimento	Clorofila-a Granulometria Matéria orgânica Feopigmentos Salinidade Tamanho médio de grão Temperatura
Descrição do local	Distância de rios Despejo de esgoto Modificações nas praias Presença de recifes Presença de rios Urbanização

Autoria Própria (2023)

2.2.3 Imagens de Satélite

Com base nas coordenadas dos trabalhos, imagens de satélite provenientes do *Google Earth* com área de 250,000 m² foram capturadas, visando estimar porcentagens de cobertura de diferentes categorias, urbanas e naturais, desses locais. As imagens foram analisadas no software CPCe versão 4.1 e, em cada imagem, 120 pontos foram distribuídos de forma aleatória para análise (KOHLER; GILL, 2006). A cada um dos pontos foram atribuídas diferentes categorias de cobertura, divididas em grandes e pequenas categorias, as últimas aninhadas dentro das primeiras, conforme Tabela 2.

2.2.4 Modelos Lineares

Os dados de cobertura das imagens de satélite, assim como aqueles listados na Tabela 1, foram normalizados para a criação de matrizes de similaridade de distância euclidiana. Uma matriz para Matéria Orgânica (MO) e outra para Clorofila-a (CLOR) geraram modelos lineares baseados na distância, função *DistLM* do programa PRIMER v.6 + PERMANOVA (CLARKE; GORLEY, 2005). O *DistLM* busca relações significativas entre uma matriz de similaridade e variáveis ambientais, modelando a matriz contra a variável mais influente, repetindo o processo até que todas as variáveis mais influentes estejam incluídas no modelo (PEARSON et al., 2018). O critério utilizado foi o *Akaike* (AICc), e o nível de significância de 5% foi adotado para todas as análises.

Tabela 2. Categorias de classificação da cobertura das imagens de satélite, utilizadas no software CPCe 4.1.

Categorias Principais	Código	Subcategorias	Código
Cobertura Antrópica	CA	Canais de Esgoto	CNE
		Casas	CAS
		Estruturas de Cimento	CMT
		Prédios	PRE
		Proteção de Costa	PRC
		Ruas Pavimentadas	RPV
		Ruas Não Pavimentadas	NPV
Cobertura Natural	CN	Areia de Praia	ARP
		Areia Normal	ARN
		Árvores	ARV
		Formações Geológicas	GEO
		Lama	LAM
		Recife	REC
		Superfície Vegetal	SPV
Fontes de Água	FA	Lagos	LAG
		Riachos	RIA
		Rios	RIO
Não Identificados	NI	Outros	OTR

Autoria Própria (2023)

No modelo de MO, foram incluídos no teste as categorias CN, NI, FA, CA, GEO, LAM, REC, ARN, ARP, ARV, SPV, OTR, LAG, RIO, RIA, PRE, CMT, PRC, CAS, RPV e NPV,

referentes aos dados de cobertura calculados no software CPCe. Quanto às informações retiradas dos artigos, entraram os dados de tamanho médio de grão, exposição da praia, morfologia da praia, urbanização, distância de rios, presença de rios, presença de recifes, despejo de esgoto e modificações na praia.

No modelo de CLOR, foram incluídas as categorias CN, NI, CA, GEO, ARN, ARP, ARV, SPV, OTR, PRE, CMT, CAS, RPV e NPV, referentes aos dados de cobertura do software CPCe. Já para os dados retirados dos artigos, TMG, % MO, exposição da praia, morfologia da praia, urbanização, distância de rios, presença de rios, presença de recifes, despejo de esgoto e modificações na praia.

É importante destacar que os modelos foram construídos com um número diferente de dados. MO teve 303 amostras de 31 artigos, enquanto CLOR teve apenas 49 amostras de 4 artigos dos 31 utilizados na revisão.

2.3 RESULTADOS

Os dados obtidos dos artigos apresentaram grande variação. A exposição das praias foi de aberta até muito abrigada; na morfodinâmica estavam presentes praias totalmente refletivas até totalmente dissipativas; o tamanho de grão de -1,7 até 3,5 (ϕ) abrangendo tipos de areia desde areia muito fina até cascalho; MO variou de 0 até 8,81% do peso das amostras e CLOR variou de um mínimo de 0,15 até 2,15 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$). Quanto à cobertura estimada pelas imagens de satélite, CA, CN e FA obtiveram mínimos e máximos de 0-92,2%, 7,7-100% e 0-60% respectivamente.

Considerando o modelo linear para os dados de matéria orgânica, a melhor representação do modelo responde por apenas 22% da variação dos dados. Os fatores incluídos foram: lama, cobertura antrópica, estruturas de cimento, presença de recife, riachos, presença de rios, areia de praia, morfodinâmica e urbanização. Apesar de entrarem no modelo gerado, presença de rios, areia de praia e urbanização obtiveram valores de p maiores do que 0,05 (Tabela 3).

O modelo linear da clorofila-a indicou melhores resultados tendo aproximadamente 60% da variação dos dados explicada. Os fatores incluídos foram matéria orgânica, tamanho médio de grão, urbanização, esgoto e morfodinâmica. Matéria orgânica foi o único fator que apresentou valor de $p > 0,05$ (Tabela 4).

Tabela 3. Resultado de testes sequenciais do modelo linear baseado na distância (*DistLM*) para dados de matéria orgânica.

TESTES SEQUENCIAIS							
Variáveis	AICc	SS(trace)	Pseudo-F	<i>p</i>	Prop.	Cumul.	Res.df
+Lama	-7,544	22,781	23,513	0,002	7,2456E-2	7,2456E-2	301
+Cobertura Antrópica	-19,138	12,832	13,808	0,001	4,0813E-2	0,11327	300
+Morfodinâmica	-26,95	8,9315	9,8955	0,002	2,8407E-2	0,14168	299
+Estruturas de Cimento	-32,692	6,867	7,7808	0,018	2,1841E-2	0,16352	298
+Presença de Recife	-38,296	6,5872	7,6297	0,009	2,0951E-2	0,18447	297
+Riachos	-40,027	3,2188	3,7629	0,028	1,0237E-2	0,1947	296
+Presença de Rios	-41,24	2,7611	3,2525	0,068	8,7818E-3	0,20349	295
+Areia de Praia	-43,276	3,4155	4,0651	0,051	1,0863E-2	0,21435	294
+Urbanização	-43,459	1,8863	2,2546	0,137	5,9994E-3	0,22035	293

MELHOR SOLUÇÃO			
AICc	R²	RSS	Número de Variáveis
-43,459	0,22035	245,14	9

Autoria Própria (2023)

Tabela 4. Resultado de testes sequenciais do modelo linear baseado na distância (*DistLM*) para dados de clorofila-a.

Variáveis	AICc	SS(trace)	Pseudo-F	<i>p</i>	Prop.	Cumul.	Res.df
+Esgoto	-80,285	2,8529	15,365	0,001	0,24637	0,24637	47
+Urbanização	-90,462	1,9579	13,305	0,005	0,16908	0,41545	46
+Tamanho Médio de Grão	-95,889	0,57605	4,6194	0,034	4,9746E-2	0,52617	44
+Morfodinâmica	-99,81	0,68418	6,1258	0,017	5,9085E-2	0,58525	43
+OM	-101,98	0,28281	2,6467	0,133	2,4423E-2	2,4423E-2	43

MELHOR SOLUÇÃO			
AICc	R ²	RSS	Número de Variáveis
-101,9	0,6032	4,5948	5

Autoria Própria (2023)

2.4 DISCUSSÃO

O modelo criado para os dados de MO explicou apenas 22% da variação. A porcentagem de explicação é reduzida e faz com que levantemos hipóteses: I- A Cobertura Antrópica (CA) representa sozinha 11% do total ($p = 0,001$), e como ela engloba as demais subcategorias, sugere-se então que o acúmulo de MO pode ocorrer por múltiplos estressores de origem antrópica combinados. Algo semelhante é observado em estuários, e seria estranho que as praias não fossem impactadas, visto que os ecossistemas costeiros são conectados e apresentam intercâmbio de matéria orgânica (BRICKER et al., 2008; LIEBOWITZ et al., 2016). II- A variação de MO foi explicada pela presença de recifes, rios e riachos, que podem ter papel importante no enriquecimento orgânico. Os rios podem ser responsáveis pelo transporte de nutrientes até as praias, facilitando o desenvolvimento de algas que se beneficiam desse aporte e acabam por aglomerar praias de material orgânico (YUCHIYAMA et al., 2000; WANT et al., 2019). Já os recifes poderiam ser facilitadores do acúmulo orgânico, devido a sua natureza biodiversa, além da presença de algas e fanerógamas marinhas, microhabitats muito comuns nos recifes, responsáveis pelo acúmulo de matéria orgânica através da decomposição do material vegetal (MIYAJIMA et al., 1998).

Outro aspecto importante é a morfologia da praia, já que a morfodinâmica contribuiu de forma relevante para esse modelo ($p = 0,002$). Já foi demonstrado que praias dissipativas podem aumentar a produção primária na região de surfe, através da retenção de fitoplâncton, incrementando a quantidade de MO (MCLACHLAN; ERASMUS, 1983). Entretanto, é uma explicação que precisa ser vista de forma mais detalhada, já que nem sempre essa relação é observada (BRAZEIRO, 2001).

Uma vez que o modelo não entregou os resultados esperados (apenas 22% de variação da MO é explicada), é necessário destacar que as revisões de literatura são suscetíveis ao enviesamento de dados (MOHER et al., 2009). Destaca-se aqui, nesse contexto, a grande variação das metodologias aplicadas (Tabela 5). Mesmo se considerarmos a metodologia mais comum, *Loss on ignition* (LOI) para gerar dados de MO, essa foi empregada seguindo diferentes parâmetros, observando-se variações importantes na quantidade de sedimento utilizado, na temperatura e na duração da queima do sedimento entre procedimentos (Tabela 6). Ademais, estas diferenças metodológicas aplicadas podem claramente alterar os resultados da aplicação do método (HEIRI et al., 2001).

A metodologia LOI sofre grave influência do peso do sedimento e tempo de queima da amostra. Por exemplo, Barboza e colaboradores (2017) utilizaram 5 g de sedimento e 1 hora de queima a 500 °C; Ortega e colaboradores (2013), não especificaram o peso da amostra, mas queimaram por apenas 1 hora a 475 °C; Gheskiere e colaboradores (2005) utilizaram 2 horas de queima a 550 °C, sem especificar o peso da amostra. Dessa forma, alguns trabalhos podem ter obtido porcentagens de MO que não representavam a totalidade presente nas amostras, provavelmente subestimadas. Isso pode acontecer pois tempos menores que 5 horas de queima a 550°C podem não queimar todo o conteúdo orgânico do sedimento, a depender do peso da amostra (HEIRI et al., 2001). De acordo com esses autores, a queima a 530 °C de amostras durante duas horas recupera em média em torno de 35 a 55% apenas da MO disponível (maiores valores para amostras de menor peso). Mesmo cinco horas de queima podem recuperar apenas 80% em média da quantidade de MO presente se o peso do sedimento for igual ou superior a 1,5 g.

Por outro lado, amostras que passaram muito tempo no forno em altas temperaturas, como Martins et al. (2015), que utilizaram 800 °C por 8 horas, podem ter valores superestimados de % MO. Esse fato pode ser observado, porque em altas temperaturas o carbono inorgânico também é queimado, aumentando mais ainda os resultados obtidos pela técnica de LOI, que se baseia na diferença do peso antes e depois da queima do sedimento. A queima do carbono inorgânico começa a ser vista a partir dos 375 °C, onde minerais de argila podem perder sua água estrutural, além da quebra de carbonatos, causando alterações no total de matéria orgânica particularmente se os sedimentos forem ricos em carbonato de cálcio. Vale ressaltar que aumentos importantes acontecem a partir de 450-600 °C (BALL, 1964). Assim, é provável que os valores recuperados da literatura tenham variado de menos de 35% a mais de 100% dos valores reais o que dificulta sua modelagem. Sugerimos a necessidade da padronização do método para minimizar a divergência de valores entre estudos conforme já indicado por Heiri et al. (2001).

Tabela 5. Técnicas aplicadas para obtenção de MO.

Autores /Ano	Metodologia	Medidas convertidas	Fatores de conversão
ESCRIVÁ J. et al 2020.	Conversão de Elementos em MO	Proteínas:Carboidratos	-
PANDEI; THIRUCHITRAMBALAM, 2019.	Conversão de Elementos em MO – <i>Wet Oxidation Method</i>	Carbono orgânico	1.724
SANTOS et al., 2014.	Método volumétrico de bicromato de potássio	-	-
LI et al., 2012	Método volumétrico de bicromato de potássio	-	-
LOZOYA et al., 2010.	Método não especificado	-	-
NUCCI et al., 2001.	Sem acesso à fonte do método	-	-
RIZZO; AMARAL, 2001.	Método não especificado.	-	-
DENADAI; AMARAL, 1999.	Método não especificado.	-	-

Autoria Própria (2023)

Tabela 6. Variações metodológicas no emprego da técnica de *Loss on ignition*.

Autores / Ano	Tratamento da amostra antes da queima	Massa da amostra	Temperatura de queima	Tempo de queima
VILHENA, J.C.E. et al., 2021	-	-	550 °C	4 horas
GARRATT et al., 2019.	-	-	450 °C	4 horas
SANTOS et al., 2019.	Sedimento peneirado para retirada de conchas grandes	-	450 °C	4 horas
AVIZ et al., 2019.	Sedimento macerado	5 g	550 °C	5 horas
ARSHAD; FAROOQ, 2018.	-	-	450 °C	4 horas
COUTINHO; BERNARDINO, 2017.	-	-	450 °C	-
JAWAHIR et a., 2017.	-	-	475 °C	4 horas
BARBOZA et al., 2017.	-	5 g	500 °C	1 hora
HIDALGO et al., 2016.	-	-	550 °C	1 hora
CRESPI-ABRIL et al., 2016.	-	2 g	450 °C	4 horas
MARTINS et al., 2015.	-	-	800 °C	8 horas
COBLENTZ et al., 2015.	-	3 g	450 °C	6 horas
REYES-MARTÍNEZ et al., 2015	-	-	500 °C	-
VENEKEY et al., 2014.	-	-	450 °C	24 horas
ORTEGA et al., 2014.	-	-	450 °C	1 hora
VEAS et al., 2013.	-	-	550 °C	4 horas
CISNEROS et al., 2011.	-	5 g	450 °C	6 horas
MENDEZ et al., 2010.	-	-	450 °C	4 horas
CHAOUTI et al., 2008.	-	-	600 °C	3 horas

COLOMBINI et al., 2005.	-	-	600 °C	3 horas
GHESKIERE et al., 2005.	-	-	500 °C	2 horas
ALBUQUERQUE et al., 2007.	-	-	450 °C	-
DHORGAM et al., 2014.	-	10g	105 °C – 500 °C – 650 °C	16-24-48 horas

Autoria Própria (2023)

O modelo linear da clorofila explicou a variação dos dados em até 60%. Nesse sentido, as categorias que tiveram maior relação com os dados de CLOR foram esgoto e urbanização ($p = 0,003$ e $0,002$), que sozinhos respondem por 41% da variação dos dados de clorofila-a. Aumentos de concentração de CLOR associados ao despejo de esgoto e urbanização sem planejamento já foram relatados (PAN; RAO, 1997; SILVA et al., 2009; MISHRA et al., 2015). Esse incremento é extremamente prejudicial por beneficiar o desenvolvimento de microalgas associadas à eutrofização e impactos nos organismos de praias ou mesmo na saúde humana como as dos gêneros *Pseudo-nitzschia* (H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900), *Fragilaria* H.C. Lyngbye, 1819 e *Euglena* H.C. Lyngbye, 1819 (PAN; RAO, 1997).

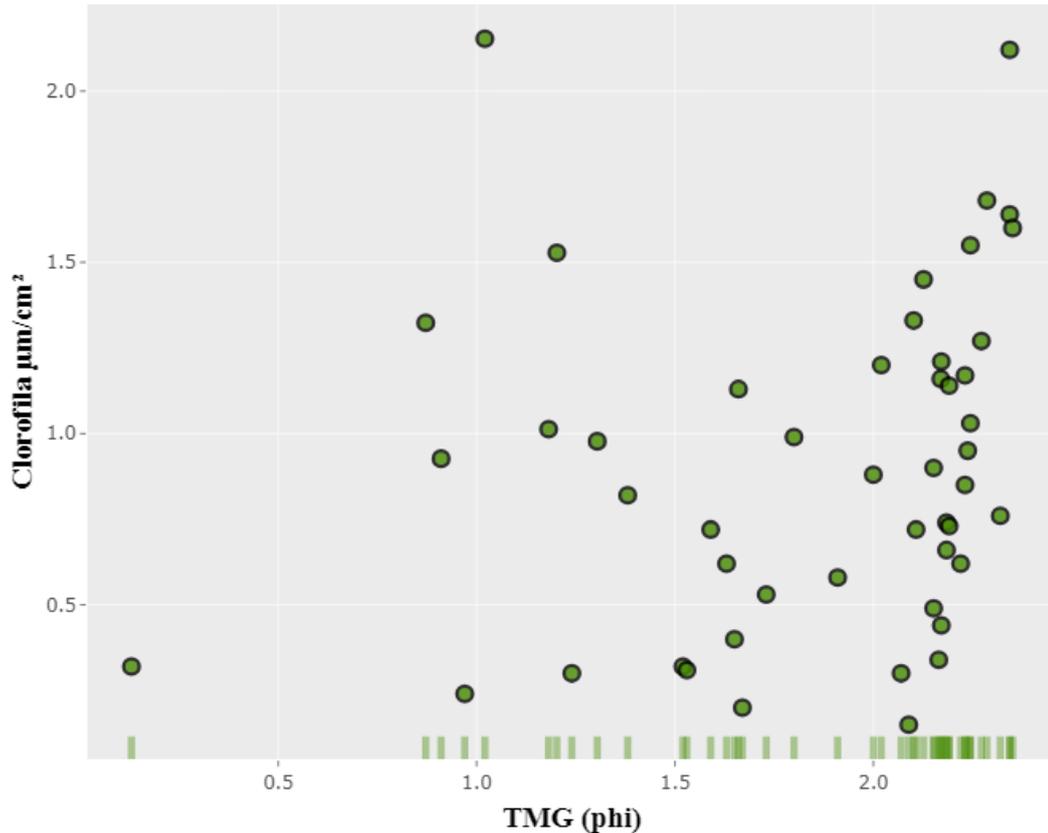
É difícil encontrar na literatura trabalhos que relacionem a biomassa de microalgas bentônicas com as características do sedimento em praias arenosas, sendo mais comum em outros ecossistemas costeiros. Entretanto, a relação negativa entre TMG e CLOR já foi documentada em praias, onde geralmente grãos mais finos estão associados a maior biomassa desse pigmento, provavelmente devido à maior superfície de contato que proporciona a adesão das algas (BROWN; MCLACHLAN, 1990; CAHOON et al., 2012). Resultado similar ao obtido nesta revisão, conforme Figura 2.

Quanto à morfodinâmica das praias, propõem-se que a microflora bentônica esteja mais associada a praias dissipativas. É simples pensar que as praias com esse padrão morfodinâmico apresentam tamanhos de grão menores que as refletivas, que costumam ter grãos maiores (BROWN; MCLACHLAN, 1990). Isso pode ocorrer principalmente por conta da energia que chega na face das praias, já que praias com grande energia impedem que grãos finos sejam depositados, continuando em suspensão. Por outro lado, em praias com energia reduzida chegando em sua face apenas grãos finos são transportados e depositados (REISE, 2001). Além disso, existe a relação da superfície de contato com o tamanho do grão, menor no sedimento mais grosso das praias refletivas, oferecendo menor área de adesão das diatomáceas. Ressaltamos também a influência da perturbação mecânica causada pelo movimento das ondas na areia, mais acentuada em praias refletivas, impossibilitando a fixação da microflora dos grãos de areia (CAHOON et al., 2012).

Em síntese, destacamos como ponto importante a necessidade do emprego de uma metodologia padrão para análises de matéria orgânica, evitando que essas medidas estejam sub ou superestimadas através de erros experimentais. É bastante problemático que questões que já foram debatidas e esclarecidas desde as décadas de 70 e 80 continuem sendo perpetuadas

inadequadamente em estudos atuais, comprometendo assim trabalhos que buscam criar novas discussões com base no estado da arte e, portanto, o desenvolvimento da ciência.

Figura 2. Relação entre a quantidade de clorofila e o tamanho médio do grão retirada dos estudos incluídos nesta meta-análise. Cada círculo corresponde a uma amostra. Os traços verdes ao longo do eixo X indicam a concentração dos dados.



Autoria Própria (2023)

Primeiramente, põe-se aqui em evidência os fatores antrópicos, principalmente aqueles ligados à urbanização costeira, como vetores do acúmulo e/ou incremento de MO e CLOR nas praias arenosas em todo o mundo. Por mais que muitas vezes essas medidas sejam negligenciadas devido ao caráter energético do ecossistema em foco, devemos voltar o olhar para os riscos do desequilíbrio ambiental proveniente do acúmulo de MO e CLOR potencializado pelas ações humanas. Espera-se também que os possíveis precursores do enriquecimento orgânico sejam mitigados, lançando um olhar mais atento nas futuras medidas de conservação dos ecossistemas costeiros, principalmente as praias arenosas.

Logo, com o esperado aumento da ocupação costeira nos próximos anos e a identificação dos fatores que comprometem a qualidade das praias, esperamos que as praias

arenosas recebam a devida atenção, evitando assim a degradação de um ecossistema essencial em toda esfera socioeconômica.

2.5 REFERÊNCIAS

- ADAM, Thomas C.; BURKEPILE, Deron E.; HOLBROOK, Sally J.; *et al.* Landscape-scale patterns of nutrient enrichment in a coral reef ecosystem: implications for coral to algae phase shifts. **Ecological Applications**, v. 31, n. 1, 2021.
- ADAMS, Jb; TALJAARD, S; VAN NIEKERK, L; *et al.* Nutrient enrichment as a threat to the ecological resilience and health of South African microtidal estuaries. **African Journal of Aquatic Science**, v. 45, n. 1–2, p. 23–40, 2020.
- ALBUQUERQUE, Elaine F.; PINTO, Ana Paula Brandão; PEREZ, Antonieta d'Alcântara de Queiroz; *et al.* Spatial and temporal changes in interstitial meiofauna on a sandy ocean beach of South America. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 55, n. 2, p. 121–131, 2007.
- ALCAMO, Joseph; BENNETT, Elena M.; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (PROGRAM) (Orgs.). **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Washington, DC: Island Press, 2003.
- ARSHAD, Nazia; FAROOQ, Sumera. Evaluation of Clifton beach by using macrobenthic assemblages for beach management. **Ocean & Coastal Management**, v. 163, p. 30–36, 2018.
- AVIZ, Daiane; SILVA, Roseanne Figueira Da; ROSA FILHO, José Souto. *Sabellaria wilsoni* (Polychaeta: Sabellariidae): an ecosystem engineer and promoter of zoobenthos diversity in the Brazilian Amazon coast. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 99, n. 5, p. 1099–1109, 2019.
- BALL, D. F. LOSS-ON-IGNITION AS AN ESTIMATE OF ORGANIC MATTER AND ORGANIC CARBON IN NON-CALCAREOUS SOILS. **Journal of Soil Science**, v. 15, n. 1, p. 84–92, 1964.
- BARBOZA, Carlos A.M.; CABRINI, Tatiana; MATTOS, Gustavo; *et al.* Variability of macrofauna distribution along a dissipative log-spiral sandy beach in Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. **Scientia Marina**, v. 81, n. 1, p. 111, 2017.
- BERRY, Brian J.L. Urbanization. *In*: MARZLUFF, John M.; SHULENBERGER, Eric; ENDLICHER, Wilfried; *et al* (Orgs.). **Urban Ecology**. Boston, MA: Springer US, 2008, p. 25–48.
- BLOTT, Simon J.; PYE, Kenneth. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth surface processes and Landforms**, v. 26, n. 11, p. 1237–1248, 2001.
- BRAZEIRO, A. Relationship between species richness and morphodynamics in sandy beaches: what are the underlying factors? **Marine Ecology Progress Series**, v. 224, p. 35–44, 2001.
- BREITBURG, D. L.; CRAIG, J. K.; FULFORD, R. S.; *et al.* Nutrient enrichment and fisheries exploitation: interactive effects on estuarine living resources and their management. **Hydrobiologia**, v. 629, n. 1, p. 31–47, 2009.
- BRICKER, Suzanne B. *et al.* Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a decade of change. **Harmful Algae**, v. 8, n. 1, p. 21–32, 2008.
- CAHOON, L.B.; CAREY, E.S.; BLUM, J. E. Benthic Microalgal Biomass on Ocean Beaches: Effects of Sediment Grain Size and Beach Renourishment. **Journal of Coastal Research**, v. 283, p. 853–859, 2012.
- BURKE, Laretta *et al.* Coastal ecosystems. Washington, DC: World Resources Institute, 2001.

- CHAOUTI, Abdellatif; COLOMBINI, Isabella; FALLACI, Mario; *et al.* Structure and distribution of the benthic macrofauna on a Northwest African sandy beach close to a freshwater river discharge. **Marine Ecology**, v. 29, n. s1, p. 99–107, 2008.
- CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. PRIMER: Getting started with v6. **PRIMER-E Ltd: Plymouth, UK**, v. 931, p. 932, 2005.
- COBLENTZ, Kyle E.; HENKEL, Jessica R.; SIGEL, Bryan J.; *et al.* Influence of sediment characteristics on the composition of soft-sediment intertidal communities in the northern Gulf of Mexico. **PeerJ**, v. 3, p. e1014, 2015.
- COLOMBINI, Isabella; FALLACI, Mario; CHELAZZI, Lorenzo. Micro-scale distribution of some arthropods inhabiting a Mediterranean sandy beach in relation to environmental parameters. **Acta Oecologica**, v. 28, n. 3, p. 249–265, 2005.
- COUTINHO, Mariane Silva; BERNARDINO, Angelo Fraga. Spatial and seasonal changes in benthic macrofauna from two dissipative sandy beaches in eastern Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 4, p. 666–677, 2017.
- CRESPI-ABRIL, Augusto César; FERRANDO, Agustina; DILEO AGOSTINO-ANDREA, Matías Emanuel. Study of macroinvertebrate in two intertidal soft bottoms: reference data in conditions of incipient anthropic impact. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 44, n. 3, p. 442–452, 2017.
- D'ANGELO, Cecilia; WIEDENMANN, Jörg. Impacts of nutrient enrichment on coral reefs: new perspectives and implications for coastal management and reef survival. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 7, p. 82–93, 2014.
- DEFEO, Omar; MCLACHLAN, Anton; ARMITAGE, Derek; *et al.* Sandy beach social–ecological systems at risk: regime shifts, collapses, and governance challenges. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 19, n. 10, p. 564–573, 2021.
- DEFEO, Omar; MCLACHLAN, Anton; SCHOEMAN, David S.; *et al.* Threats to sandy beach ecosystems: A review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 81, n. 1, p. 1–12, 2009.
- DENADAI, M. R.; AMARAL, A.C.Z. A comparative study of intertidal molluscan communities in sandy beaches, São Sebastião Channel, São Paulo State, Brazil. **Bulletin Of Marine Science**, v. 65, n. 1, p. 14, 1999.
- DORGHAM, M. M.; HAMDY, R.; EL RASHIDY, H. H.; *et al.* Distribution patterns of shallow water polychaetes (Annelida) along the Alexandria coast, Egypt (eastern Mediterranean). **Mediterranean Marine Science**, v. 15, n. 3, p. 635, 2014.
- DUARTE, Carlos M.; DENNISON, William C.; ORTH, Robert J. W.; *et al.* The Charisma of Coastal Ecosystems: Addressing the Imbalance. **Estuaries and Coasts**, v. 31, n. 2, p. 233–238, 2008.
- DUGAN, Jenifer E.; HUBBARD, David M.; RODIL, Iván F.; *et al.* Ecological effects of coastal armoring on sandy beaches. **Marine Ecology**, v. 29, n. s1, p. 160–170, 2008.
- ESCRIVÁ, Julia; RODILLA, Miguel; MARTIN-DIAZ, Juan Pablo; *et al.* Driving forces that structure sublittoral macrobenthic communities in sandy beaches along environmental gradients. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 233, p. 106517, 2020.

- FERRARIO, Filippo; BECK, Michael W.; STORLAZZI, Curt D.; *et al.* The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. **Nature Communications**, v. 5, n. 1, p. 3794, 2014.
- GARRATT, Matthew J.; JENKINS, Stuart R.; DAVIES, Thomas W. Mapping the consequences of artificial light at night for intertidal ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 691, p. 760–768, 2019.
- GHESKIERE, Tom; VINCX, Magda; WESLAWSKI, Jan Marcin; *et al.* Meiofauna as descriptor of tourism-induced changes at sandy beaches. **Marine Environmental Research**, v. 60, n. 2, p. 245–265, 2005.
- HEIRI, Oliver; LOTTER, André F.; LEMCKE, Gerry. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. **Journal of Paleolimnology**, v. 25, n. 1, p. 101–110, 2001.
- HIDALGO, G.; CASTAÑEDA-CHÁVEZ, M. R.; GRANADOS-BARBA, A.; *et al.* Environmental Variability of Tropical Sandy Beaches Across an Anthropogenic Gradient: The Case of Central Veracruz (Southwestern Gulf of Mexico). **International Journal of Environmental Research**, v. 10, n. 4, 2016.
- INCERA, M.; CIVIDANES, S.P.; LASTRA, M.; *et al.* Temporal and spatial variability of sedimentary organic matter in sandy beaches on the northwest coast of the Iberian Peninsula. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 58, p. 55–61, 2003. D
- KOHLER, Kevin E.; GILL, Shaun M. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. **Computers & geosciences**, v. 32, n. 9, p. 1259–1269, 2006.
- LEE, S. Y.; DUNN, R. J. K.; YOUNG, R. A.; *et al.* Impact of urbanization on coastal wetland structure and function. **Austral Ecology**, v. 31, n. 2, p. 149–163, 2006.
- LIEBOWITZ, Dina M. *et al.* Ecosystem connectivity and trophic subsidies of sandy beaches. **Ecosphere**, v. 7, n. 10, p. e01503, 2016.
- LOZOYA, Juan Pablo; GÓMEZ, Julio; DEFEO, Omar. Modelling large-scale effects of estuarine and morphodynamic gradients on distribution and abundance of the sandy beach isopod *Excirrolana armata*. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 87, n. 3, p. 472–478, 2010.
- LUGO-FERNÁNDEZ, A.; ROBERTS, H.H.; WISEMAN, JR, W.J. Tide Effects on Wave Attenuation and Wave Set-up on a Caribbean Coral Reef. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 47, n. 4, p. 385–393, 1998.
- MACLEOD, C.K.; CRAWFORD, C.M.; MOLTSCHANIWSKYJ, N.A. Assessment of long-term change in sediment condition after organic enrichment: defining recovery. **Marine Pollution Bulletin**, v. 49, n. 1–2, p. 79–88, 2004.
- MARTINS, Mariana de Oliveira; ALMEIDA, Tito Cesar Marques de; DOMENICO, Maikon Di. Vertical distribution of meiofauna on reflective sandy beaches. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 63, n. 4, p. 469–480, 2015.
- MCLACHLAN, Anton. Sandy Beach Ecology — A Review. *In*: MCLACHLAN, Anton; ERASMUS, Theuns (Orgs.). **Sandy Beaches as Ecosystems**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1983, p. 321–380.

- MENDEZ, María Martha (Pitu); SCHWINDT, Evangelina; BORTOLUS, Alejandro. Relationships between macroinfaunal invertebrates and physicochemical factors in two sandy beaches of Patagonia. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 90, n. 3, p. 429–435, 2010.
- MILES, Jonathon R.; RUSSELL, Paul E.; HUNTLEY, David A. Field Measurements of Sediment Dynamics in Front of a Seawall. **Journal of Coastal Research**, v. 17, n. 1, p. 195–206, 2001.
- MISHRA, P.; PANDA, U.S.; PRADHAN, U.; *et al.* Coastal Water Quality Monitoring and Modelling Off Chennai City. **Procedia Engineering**, v. 116, p. 955–962, 2015.
- MIYAJIMA, Toshihiro *et al.* Accumulation and transport of seagrass-derived organic matter in reef flat sediment of Green Island, Great Barrier Reef. **Marine Ecology Progress Series**, v. 175, p. 251–259, 1998.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **BMJ**, v. 339, n. jul21 1, p. b2535–b2535, 2009.
- NOOR JAWAHIR, A.R.; SAMSUR, M.; SHABDIN, M.L.; *et al.* Distribution of two species of Asian horseshoe crabs at west coast of Sarawak's Waters, East Malaysia. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 43, n. 2, p. 135–140, 2017.
- NUCCI, P.R.; TURRA, A.; MORGADO, E.H. Diversity and distribution of crustaceans from 13 sheltered sandy beaches along São Sebastião Channel, south-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 81, n. 3, p. 475–484, 2001.
- ORTEGA, Ileana; MARTÍN, Alberto; DÍAZ, Yusbelly J. Variability of coastal suprabenthic assemblages from sandy beaches of the Caribbean coast of Venezuela. **Rev. Biol. Trop.**, v. 62, p. 18, 2014.
- ORTEGA CISNEROS, Kelly; SMIT, Albertus J.; LAUDIEN, Jürgen; *et al.* Complex, Dynamic Combination of Physical, Chemical and Nutritional Variables Controls Spatio-Temporal Variation of Sandy Beach Community Structure. **PLoS ONE**, v. 6, n. 8, p. e23724, 2011.
- PAN, Youlian; SUBBA RAO, D.V. Impacts of domestic sewage effluent on phytoplankton from Bedford Basin, eastern Canada. **Marine Pollution Bulletin**, v. 34, n. 12, p. 1001–1005, 1997.
- PANDEY, Vikas; THIRUCHITRAMBALAM, Ganesh. Spatial and temporal variability of sandy intertidal macrobenthic communities and their relationship with environmental factors in a tropical island. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 224, p. 73–83, 2019.
- PEARSON, Richard G.; CONNOLLY, Niall; BENSON, Lee J.; *et al.* Invertebrate responses to land use in tropical streams: discrimination of impacts enhanced by analysis of discrete areas. **Marine and Freshwater Research**, v. 70, n. 4, p. 563, 2019.
- PERKINS, E.J.; ABBOTT, O.J. Nutrient enrichment and sand flat fauna. **Marine Pollution Bulletin**, v. 3, n. 5, p. 70–72, 1972.
- QUILLIEN, Nolwenn; NORDSTRÖM, Marie C.; GUYONNET, Benjamin; *et al.* Large-scale effects of green tides on macrotidal sandy beaches: Habitat-specific responses of zoobenthos. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 164, p. 379–391, 2015.
- REYES-MARTÍNEZ, M. J., *et al.* Biodiversity and distribution of macroinfauna assemblages on sandy beaches along the Gulf of Cadiz (SW Spain). **Scientia Marina**, v. 79, n. 3, p. 367–377, 2015.

- RIZZO, A.E.; AMARAL, A.C.Z. Temporal variation of annelids in the intertidal zone of beaches of the São Sebastião Channel, southern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 80, n. 6, p. 1007–1017, 2000.
- RODIL, I. F.; LASTRA, M.; LÓPEZ, J. Macroinfauna community structure and biochemical composition of sedimentary organic matter along a gradient of wave exposure in sandy beaches (NW Spain). **Hydrobiologia**, v. 579, n. 1, p. 301–316, 2007.
- SANTOS, G.H.C.; CARDOSO, R.S.; MARIA, T.F. Bioindicators or sediment relationships: Evaluating ecological responses from sandy beach nematodes. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 224, p. 217–227, 2019.
- SANTOS, Joaquim N.S.; GOMES, Rafaela de S.; VASCONCELLOS, Ruan Managna; *et al.* Effects of morphodynamics and across-shore physical gradients on benthic macroinfauna on two sandy beaches in south-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 94, n. 4, p. 671–680, 2014.
- SCHLACHER, Thomas A.; DUGAN, Jenifer; SCHOEMAN, Dave S.; *et al.* Sandy beaches at the brink. **Diversity and Distributions**, v. 13, n. 5, p. 556–560, 2007.
- SETO, Karen C.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, Roberto; FRAGKIAS, Michail. The New Geography of Contemporary Urbanization and the Environment. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 35, n. 1, p. 167–194, 2010.
- SILVA, I.R. da; PEREIRA, L.C.C.; GUIMARÃES, D. de O.; *et al.* Environmental Status of Urban Beaches in São Luís (Amazon Coast, Brazil). **Journal of Coastal Research, Special Issue No. 56. Proceedings of the 10th International Coastal Symposium ICS 2009**, v. I, p. 1301–1305, 2009.
- SMETACEK, Victor; ZINGONE, Adriana. Green and golden seaweed tides on the rise. **Nature**, v. 504, n. 7478, p. 84–88, 2013.
- UCHIYAMA, Yusuke; NADAOKA, Kazuo; RÖLKE, Peter; *et al.* Submarine groundwater discharge into the sea and associated nutrient transport in a Sandy Beach. **Water Resources Research**, v. 36, n. 6, p. 1467–1479, 2000.
- VEAS, R.; HERNÁNDEZ-MIRANDA, E.; QUIÑONES, R.A.; *et al.* The influence of environmental factors on the abundance and recruitment of the sand crab *Emerita analoga* (Stimpson 1857): Source–sink dynamics? **Marine Environmental Research**, v. 89, p. 9–20, 2013.
- VILHENA, Jéssica C. E.; AMORIM, Ana; RIBEIRO, Lourenço; *et al.* Baseline Study of Trace Element Concentrations in Sediments of the Intertidal Zone of Amazonian Oceanic Beaches. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. 671390, 2021.
- WANG, Mengqiu; HU, Chuanmin; BARNES, Brian B.; *et al.* The great Atlantic *Sargassum* belt. **Science**, v. 365, n. 6448, p. 83–87, 2019.
- YE, Nai-hao; ZHANG, Xiao-wen; MAO, Yu-ze; *et al.* ‘Green tides’ are overwhelming the coastline of our blue planet: taking the world’s largest example. **Ecological Research**, v. 26, n. 3, p. 477–485, 2011.

6 ARTIGO 2 – PRAIAS ARENOSAS E ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DO MAR: IMPACTOS NA MACROFAUNA E NO SEDIMENTO.

6.1 INTRODUÇÃO

São notáveis e preocupantes os efeitos das mudanças climáticas, e as consequências do aumento do nível do mar em áreas costeiras, podendo chegar a impactar até 670 milhões de pessoas até 2100. Os principais riscos para essas áreas são: 1- o espaço inundado com marés cada vez mais altas, em porções de terra localizadas abaixo do nível do mar, aumentando assim o tamanho das áreas alagadas; 2- a erosão mais forte proveniente das marés que atingem pontos mais altos no litoral (MIMURA, 2013). Entretanto, esses efeitos podem ser mais amenos principalmente onde ecossistemas costeiros, como os recifes de coral, são bem preservados e atuam como proteção natural da costa, capazes de diminuir a energia das ondas em até 97% (FERRARIO et al., 2014; SPALDING et al., 2014).

Uma alternativa às proteções naturais, são as intervenções feitas pelo homem, como as estruturas de contenção do mar, por exemplo: quebra-mares e espigões. A construção dessas estruturas é datada desde os séculos XIII e XIV, impulsionada pelo crescimento populacional e a ocupação e urbanização das zonas costeiras, que sofrem com a erosão (CHARLIER; CHAINEUX; MORCOS, 2005; DUGAN et al., 2008; WILLIAMS et al., 2018). Apesar de seus benefícios, as estruturas de contenção podem afetar negativamente ecossistemas como as praias arenosas, levando à diminuição da zona entre marés, alteração na dinâmica de suspensão e transporte dos sedimentos, perda de habitats e diminuição na diversidade da macrofauna (MILES; RUSSEL; HUNTLEY, 2001; DUGAN et al., 2008).

A macrofauna é um excelente indicador da qualidade ambiental, principalmente quando múltiplos estressores são avaliados. Capaz de indicar diferentes efeitos de origem antropogênica, incluindo mudanças nas características físicas e químicas das praias, como é o caso da construção e manutenção de obras de defesa costeira, derramamento de óleo, esgoto, poluição, enriquecimento orgânico e deposição e dragagem de sedimentos (WALKER; SCHLAC; THOMPSON, 2008; HERBESSA et al., 2013; DAUVIN, 2018; COSTA et al., 2022; LAURINO et al., 2022). Alguns índices bióticos foram desenvolvidos para padronizar métodos de identificação desses impactos, utilizando principalmente os grupos taxonômicos, suas abundâncias e diversidade (BORJA; FRANCO; PÉREZ, 2000; GESTEIRA; DAUVIN, 2000; DAUVIN; RUELLETT, 2007).

Dentre os índices bióticos, alguns precisam de um robusto detalhamento taxonômico, combinando índices de diversidade e abundância com as proporções de grupos da macrofauna e sua classificação em grupos ecológicos, como é o caso do *AZTI - Marine Biotic Index* (BORJA; FRANCO; PÉREZ, 2000). Esse índice traz bons resultados, sendo utilizado como guia para a conservação dos corpos d'água na Europa, através da instituição de diretrizes como a *Water Framework Directive* (PHILLIPS et al., 2014). Entretanto, existem outros índices que exigem menor detalhamento taxonômico, como a utilização de apenas dois grupos como Polychaeta e Amphipoda, que trazem bons resultados e podem de forma satisfatória indicar impactos ambientais, sendo utilizados até mesmo nas condições mais extremas, com pouca fauna disponível para análise (DAUVIN, 2000; DAUVIN; RUELLETT, 2007).

Contrariamente aos índices bióticos que requerem maior investimento e tempo no processamento de amostras, protocolos rápidos de avaliação (*Rapid Assessment Protocols - RAP*) são métodos eficazes de baixo custo, usados para quantificar alterações nas características do sedimento. Eles já se mostraram eficazes para classificar, mapear e monitorar áreas sujeitas ao enriquecimento orgânico (SIMPSON et al., 2005; FENNESSY; JACOBS; KENTULA, 2007; HALLETT et al., 2019). Baseando-se apenas nas características básicas do sedimento, como cor, cheiro e textura, podemos identificar quais áreas estão sujeitas ao enriquecimento orgânico, mesmo em níveis muito baixos (HALLETT et al., 2019).

Diante disso, esse estudo tem como objetivo averiguar a adequação de um método rápido de avaliação, já utilizado em estuários, para praias arenosas. Investigaremos como a urbanização, principalmente as estruturas de contenção do mar, impactam a qualidade do sedimento e a fauna associada, comparando um modelo RAP a medidas físico-químicas e a índices bióticos. Espera-se que o método seja capaz de distinguir praias com diferentes níveis de impacto antrópico, com resultados semelhantes àqueles oferecidos por índices bióticos, fornecendo assim, uma forma mais rápida e prática de avaliar a qualidade ambiental das praias arenosas.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Área de Estudo

As coletas foram realizadas na Região Metropolitana do Recife, nas cidades de Paulista, Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Ipojuca (Figura 1). Foram amostradas as praias de Maria Farinha, Nossa Senhora do Ó, Janga, Rio Doce, Casa Caiada, Bairro Novo, Milagres, Piedade, Candeias, Merepe e Serrambi, e suas características estão detalhadas na Tabela 1. Em cada uma

das praias foram retiradas amostras do sedimento para aplicação do RAP, para medidas de oxidação e para caracterização da macrofauna, todas provenientes do infralitoral raso.

Figura 1. Mapa dos locais de coleta no Brasil, estado de Pernambuco. Círculos representam as praias amostradas, as cores identificam diferentes níveis de exposição



Autoria Própria (2023)

6.2.2 Balneabilidade

A Agência Estadual de Meio Ambiente do estado de Pernambuco, o CPRH, faz boletins semanais avaliando a balneabilidade das praias da Região Metropolitana do Recife. A balneabilidade avalia o número mais provável de coliformes tolerantes, passíveis de contato com os seres humanos a partir de atividades desempenhadas no mar, como a natação. A classificação das praias é dada de acordo com a resolução CONAMA N°. 274/00 (BRASIL, 2000). Foram utilizados 39 boletins de balneabilidade para criar uma média das praias amostradas, atribuindo 0 para quando a praia foi considerada imprópria e 1 quando própria para banho (AGÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2022).

6.2.3 Indicador biológico

Para coleta do material biológico, foram efetuadas amostragens ao longo de 2 transectos localizados no infralitoral raso (60 cm de profundidade) paralelos à linha da praia, distantes entre si em minimamente 10 m, para cada área. Em cada transecto foram coletadas 5 réplicas.

Foi utilizado um amostrador cilíndrico de PVC com $H = 10$ cm e $\varnothing = 15$ cm, correspondendo a uma área total de $0,0825\text{m}^2$. O sedimento amostrado foi peneirado em tela de nylon com abertura de 0,5 mm e o material retido foi acondicionado em potes plásticos, devidamente etiquetados e fixados em formol salino a 4%. As amostras foram lavadas posteriormente em água corrente e a macrofauna foi triada e identificada ao nível de grandes grupos com utilização de lupa.

6.2.4 Protocolo Rápido de Avaliação

Em cada praia foram realizadas 3 coletas de sedimento, com um cano de PVC de 25 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro, inserido até uma profundidade mínima de 15 cm. Com base nas amostras retiradas, foi aplicado um questionário baseado no modelo de Hallett et al. (2019), atribuindo escores de 0-5 para as características do sedimento como cor, odor e textura. O escore poderia totalizar o valor máximo de 15, onde valores próximos do 0 caracterizam péssimas condições do sedimento e valores mais próximos do 15 boas condições. Em cada praia o questionário foi preenchido por no mínimo 4 pessoas diferentes, que não haviam tido contato anterior a este estudo com a metodologia, evitando assim o enviesamento das respostas dos questionários.

Foram feitas medidas do Potencial de Oxidação-Redução (ORP) da água intersticial das amostras do RAP, utilizando um eletrodo de prata. Somou-se +200 mV para corrigir os valores de ORP, como sugerido por Jardim (2014). Os dados de oxi-redução foram posteriormente comparados com os escores do RAP.

6.2.5 Análise de Dados

A macrofauna das praias foi triada e identificada, quando os animais dos grupos de poliquetas e anfípodes foram contabilizados e utilizados para obter-se dados da qualidade ambiental das praias através do índice BOPA adaptado (Gómez-Gesteira e Dauvin, 2000; Dauvin e Ruellet, 2007; Andrade e Renaud, 2011). Os valores do índice foram obtidos através do log da razão entre a frequência de poliquetas (razão entre o número total de poliquetas +1 e o número total de indivíduos na amostra) e frequência de anfípodes (razão entre o número total

de anfípodes +1 e o número total de indivíduos na amostra, calculadas por praia. Foi somado o valor +1 para ser possível a utilização das áreas em que o número de poliquetas ou anfípodes era igual a zero.

Utilizando o software R, versão 4.1.1. e os pacotes tidyverse e plotly, foram feitas regressões lineares, comparando os valores obtidos com os índices BOPA, RAP e ORP (WICKHAM et al., 2019; R CORE TEAM, 2021; PLOTLY, 2023). Utilizando o software PRIMER v.6 + PERMANOVA (CLARKE; GORLEY, 2005), os dados foram normalizados e posteriormente foram criadas matrizes de similaridade de distância euclidiana. As matrizes foram utilizadas para plotar um MDS visando entender de forma espacial como as praias expostas, com proteção natural, artificial e natural/artificial, estavam arrançadas. Ademais, foi realizada uma PERMANOVA para elucidar se os grupos de exposição de praias se diferenciavam, com base nos dados do RAP, ORP e a balneabilidade. Por fim, a testagem par a par foi feita com a ferramenta *Pair-Wise Test* do PRIMER v.6 + PERMANOVA para identificar quais grupos apresentavam de fato diferenças entre eles.

Os resultados obtidos foram posteriormente tratados e suas médias, desvio padrão e coeficiente de variação foram utilizados para ilustrar se diferenças interpessoais seriam capazes de mudar a classificação das praias quanto à qualidade do sedimento.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 Balneabilidade

A balneabilidade das praias analisadas no trabalho variou bastante, com valores de 0,1794 até 0,8205 para as praias de Candeias e Piedade/Serrambi respectivamente. Os valores mais próximos do 0 indicam locais com balneabilidade imprópria, enquanto os mais próximos do 1 são próprios para banho (Tabela 1).

6.3.2 Indicador biológico

A razão poliqueta/anfípoda foi aplicada para as praias do Janga (duas áreas), Nossa Senhora do Ó (uma área), Merepe (duas áreas) e Serrambi (duas áreas), totalizando sete áreas. O menor e maior valor para o BOPA foi de 0,1510 e 0,2532 para as praias de Nossa Senhora do Ó e Serrambi, respectivamente (Tabela 1).

6.3.3 Protocolo Rápido de Avaliação

O teste de replicabilidade do RAP mostrou que houve pouca variação entre os dados obtidos por diferentes amostradores, principalmente nas praias classificadas com melhor

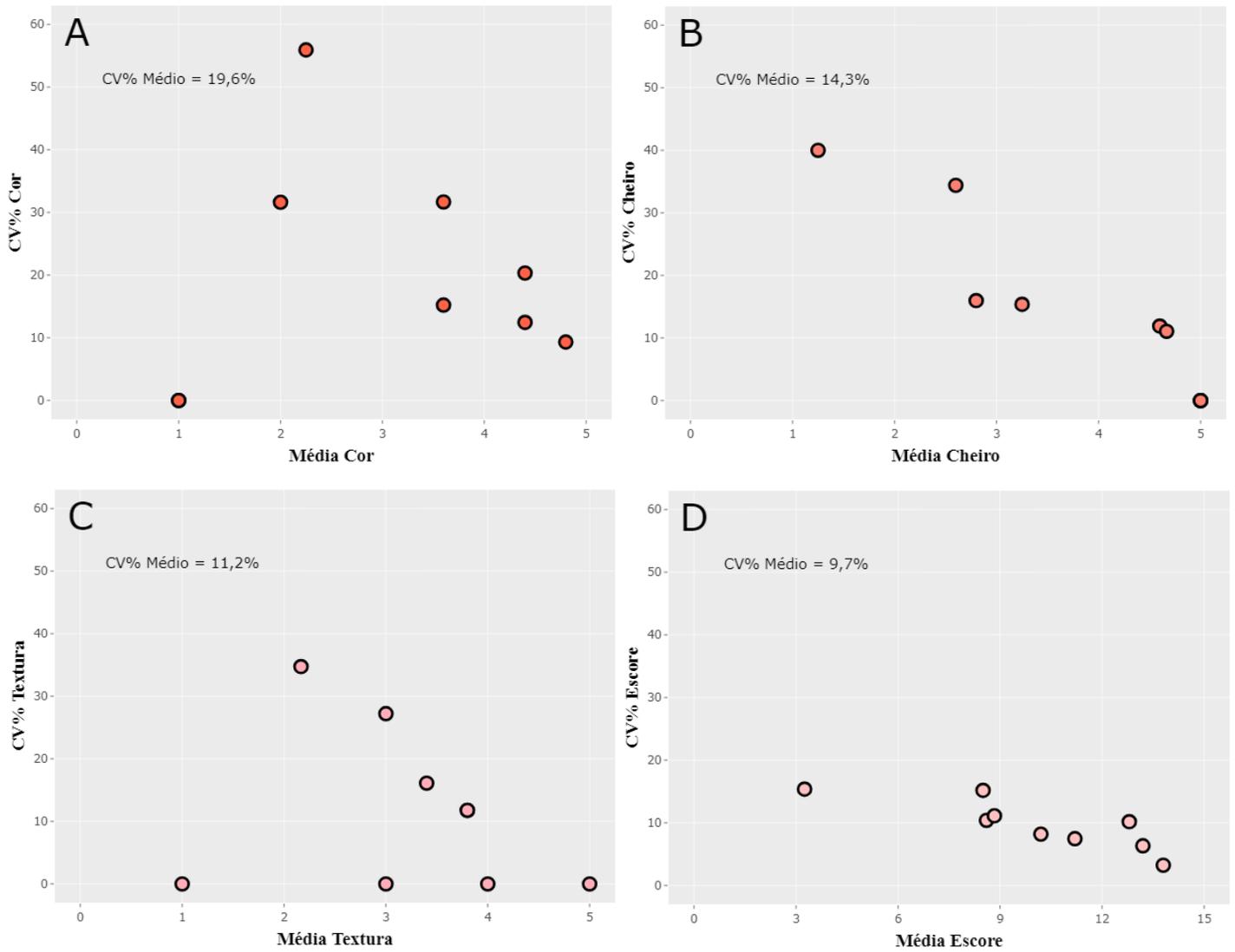
qualidade do sedimento (valores mais próximos do 15). As categorias de Cor, Cheiro, Textura e o Escore total obtiveram médias de coeficiente de variação (CV%) de 19,6%, 14,3%, 11,2% e 9,7% respectivamente (Figura 2). As praias obtiveram escore mínimo de 3,4 no Janga e máximo de 14 em Bairro Novo e Piedade, e valores mais próximos de 0 indicam baixa qualidade do sedimento. Já os valores de ORP variaram de -30 a 316 no Janga e Merepe respectivamente. Os resultados mais detalhados estão dispostos na Tabela 1.

6.3.4 Classes de Exposição

Os resultados da PERMANOVA mostram que houve diferença significativa ($p=0,0292$) entre as classes de exposição das praias (Tabela 2). Ademais, a comparação par-a-par ilustra que a diferença ocorre entre praias de exposição natural e artificial e praias de exposição artificial e exposta, com valores de $p = 0,0454$ e $0,0191$ respectivamente. (Tabela 3).

Tabela 1. Caracterização das praias amostradas no estudo

Figura 2. Testagem da replicabilidade através dos coeficientes de variação para as categorias: A – Cor, B – Cheiro, C – Textura, D – Escore.



Autoria Própria (2023)

Tabela 2. Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para a classe de exposição das praias.
DF: Graus de liberdade; SS: Soma dos quadrados; MS: Quadrado médio.

Fonte	DF	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Unique Perms	P(MC)

Autoria Própria (2023)

Tabela 3. Resultados do *Pair-Wise Test* para discriminação das comparações de classes de exposição das praias.

Grupos	T	P(perm)	Unique Perms	P(MC)
Artificial – Exposta	2,4418	0,0191	330	0,0154

Autoria Própria (2023)

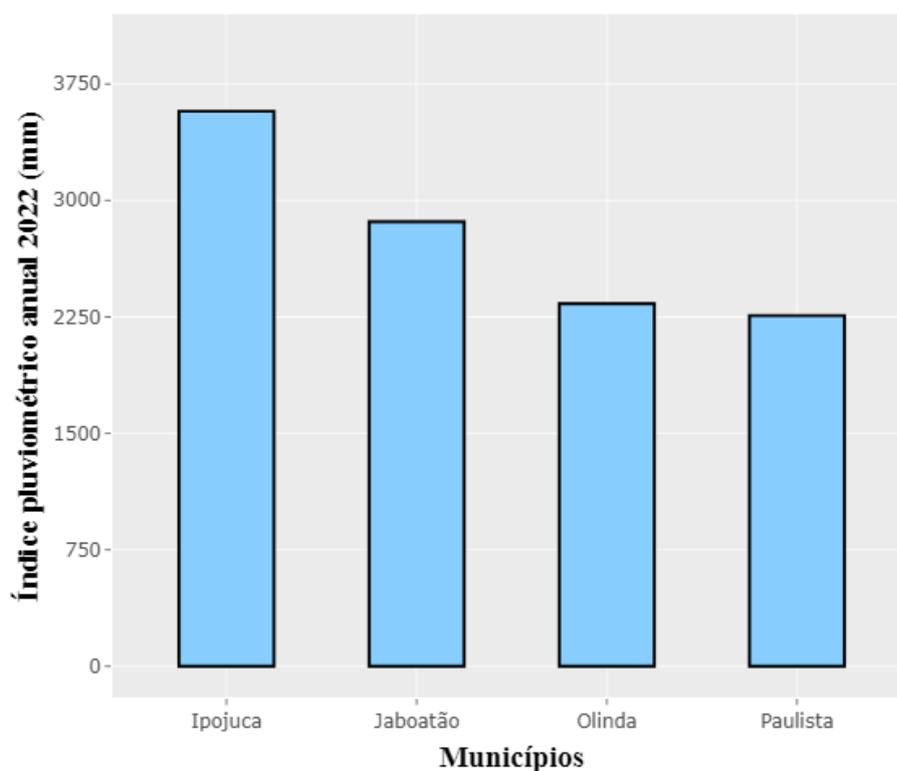
6.4 DICUSSÃO

6.4.1 Balneabilidade

As praias que obtiveram menores médias de balneabilidade foram Candeias, Bairro Novo, Casa Caiada e Janga, apresentando valores de 0,17, 0,28 e 0,35 respectivamente. Esse resultado mostra que as praias mais próximas a grandes centros urbanos, estão mais suscetíveis a estarem impróprias para banho. Essa dinâmica é esperada, pois sabe-se que fatores como o despejo de esgoto doméstico, afluência turística e córregos afluindo ao mar podem influenciar a qualidade das águas destinadas a recreação (SÃO PAULO, 2023). Nesse sentido, o despejo de esgoto de forma clandestina na Região Metropolitana do Recife (RMR) é comum, visto que apenas 40% da população do estado tem acesso a saneamento básico e relatos existem em diversos jornais e boletins sobre a questão. As praias de Candeias, Olinda e Janga tem um histórico de derramamento esgoto doméstico e sem medidas de contenção para o problema. (LINS; LINS, 2019; TV JORNAL, 2019; G1, 2022; SILVEIRA et al., 2022). Esses números evidenciam a necessidade da ampliação da rede de tratamento de esgoto da cidade do Recife, visando minimizar os impactos que a falta de saneamento pode causar na qualidade das praias.

Além dos esgotos, outros mecanismos podem influenciar a balneabilidade das águas costeiras, como é o caso das chuvas (KLEINHEINZ et al., 2009; CETESB, 2023). Entretanto, esse fator parece não exercer papel de destaque no que se refere a diferenciação da qualidade das praias. Se observarmos os dados de acúmulo anual de chuva nos municípios amostrados, veremos que Ipojuca foi o que obteve maior índice pluviométrico, mas ainda assim, foi o que obteve melhor qualidade de água (Merepe 0,74 e Serrambi 0,82) (Figura 3). Um ponto que merece atenção é que as praias mais afastadas do centro do Recife têm características menos marcantes de urbanização que as mais próximas. Elas apresentam uma infraestrutura reduzida, com construções mais simples, menor quantidade de ruas asfaltadas, atividades industriais, e também menor população, evidenciando os impactos que podem surgir com uma maior população e necessidade de urbanização das áreas adjacentes a grandes centros urbanos (ANTROP, 2004; DADASHPOOR et al., 2019). Os municípios de Paulista, Olinda e Jaboatão são os mais próximos da cidade de Recife e por isso talvez suas praias sofram mais com o impacto antrópico, mesmo com menor quantidade de chuva que Ipojuca, a quantidade de poluição nas cidades pode ser maior, direcionando assim maior quantidade de bactérias para o mar.

Figura 3. Índice pluviométrico para os municípios amostrados, total acumulado para o ano de 2022.



Autoria Própria (2023)

6.4.2 Índice Biótico

Os resultados obtidos pelo BOPA modificado não indicaram os valores esperados. O índice pareceu não discriminar bem a natureza das praias, indicando classificações próximas (variação total entre 0,15 e 0,25) com melhor qualidade ecológica para praias notavelmente mais afetadas pela urbanização, como Janga e Nossa Senhora Do Ó, enquanto as praias de Merepe e Serrambi obtiveram piores classificações. Destacamos que por ser um índice baseado na razão e frequência de poliquetas e anfípodes, o mesmo pode estar sujeito a viés das abundâncias desses grupos. No caso do Janga e Nossa Senhora do Ó, que são praias abrigadas, seja pela presença de obras de defesa costeira e/ou pela presença de recifes naturais, foi observada uma grande abundância de poliquetas que deixa mais evidente o problema sobre qualidade ambiental das áreas, já que esses organismos são considerados oportunistas e indicativos de poluição e eutrofização (Valença e Santos, 2012). Já nas praias de Serrambi e Merepe, que obtiveram um resultado do teste inferior às praias mais urbanizadas foi observada uma baixa abundância de todos grupos de organismos. Essa baixa abundância pode ser influenciada pelo tipo de praia em si, onde Merepe é considerada uma praia aberta com grande energia e Serrambi, embora protegida pelos recifes naturais também apresenta elevada hidrodinâmica.

Apesar de já ter tido a sua competência testada em ecossistemas como estuários e lagoas, demonstrando potencial para ilustrar impactos ambientais provenientes de derramamento de óleo, eutrofização, enriquecimento orgânico, escoamento de esgoto e aquicultura, nossos resultados apontam que o BOPA parece não ser capaz de elucidar como a urbanização e o desenvolvimento da costa pode afetar a macrofauna de praias arenosas tropicais. Resultados semelhantes foram observados recentemente, no sudeste do país e na Índia, onde o BOPA não foi eficiente para avaliar praias arenosas e com bastante enriquecimento orgânico como é o caso das praias da RMR (EQUBAL et al., 2018; CHECON et al., 2023).

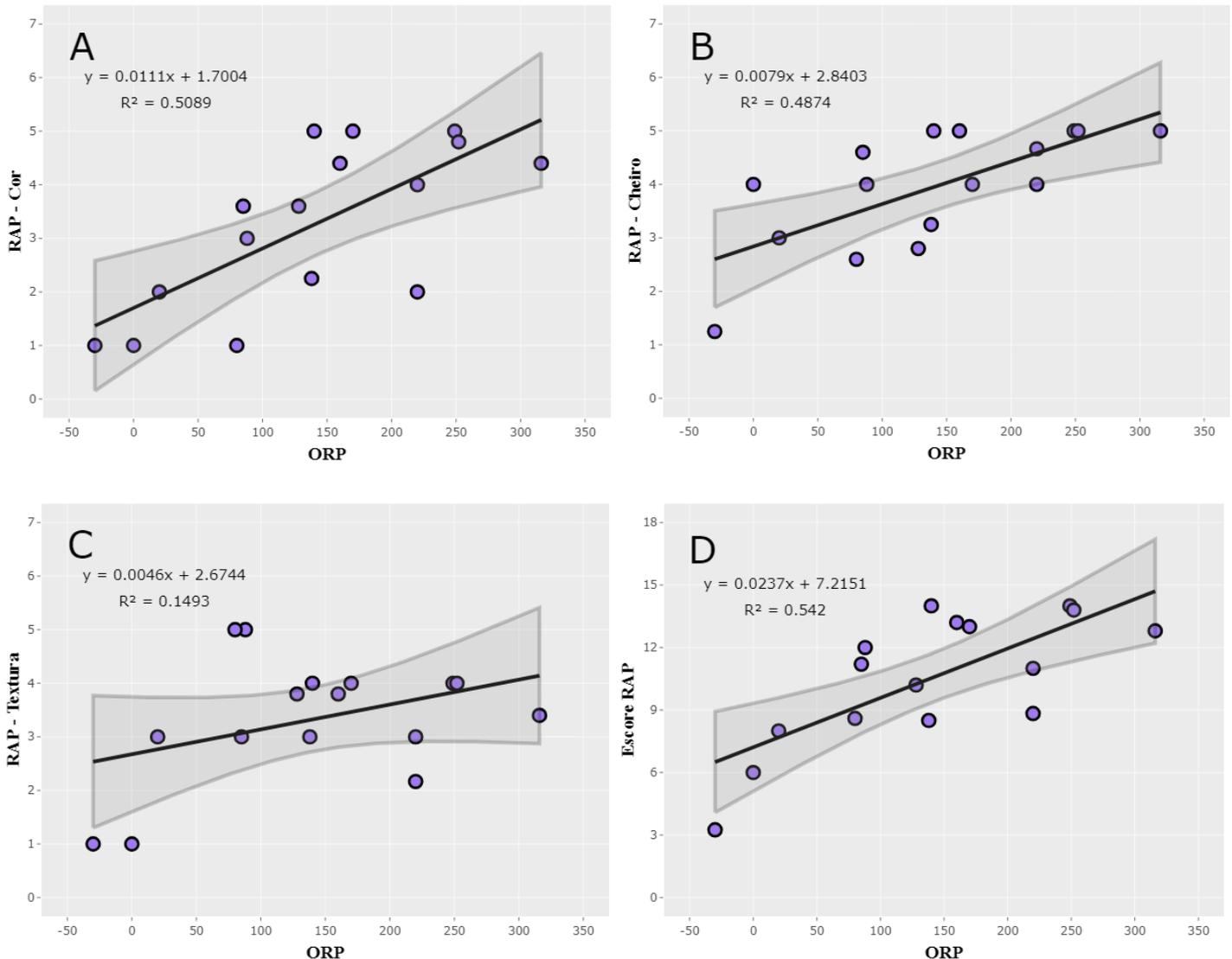
6.4.3 Protocolo Rápido de Avaliação

O RAP apresentou uma boa correlação com as medidas de ORP das praias amostradas (Figura 4). Relações positivas entre medidas de ORP e oxigênio dissolvido já foram discutidas na literatura, e nesse sentido, é possível inferir que os locais que apresentaram um escore total baixo estão sujeitos a fenômenos de hipóxia e anóxia ou seja, baixa oxigenação ou ausência de oxigênio (LIE; WELANDER, 1994). As melhores correlações das características do sedimento com o ORP foram principalmente cor e cheiro, o que é esperado, visto que mudanças na cor do sedimento para cinza e/ou marrom, além do cheiro acentuado de ovo podre, proveniente do acúmulo de sulfeto de hidrogênio, são características do sedimento impactado pelo aporte orgânico e desoxigenação, características apresentadas pelo sedimento das praias amostradas (HALLET et al., 2019). A cor da areia, que obteve a maior correlação (Figura 4A), recentemente foi capaz de estimar a quantidade de matéria orgânica acumulada nos sedimentos em praias arenosas do Caribe, evidenciando e reforçando que esse é um bom método para avaliar o enriquecimento orgânico em praias arenosas tropicais (MAURER; STAPLETON, 2021).

As praias da RMR apresentaram várias das características de locais impactados com enriquecimento orgânico, chamando atenção para a suscetibilidade do litoral pernambucano aos impactos da proteção de costa associada ao aporte orgânico de origem antrópica. O RAP inicialmente desenvolvido para avaliar áreas estuarinas, naturalmente mais impactadas pela eutrofização, foi capaz de classificar praias arenosas tropicais com base no potencial de oxirredução (PINCKNEY et al., 2001). Entretanto, é necessário que outras avaliações sejam feitas, visando o aprimoramento da técnica, investigando quais fatores podem influenciar diretamente na classificação dos ambientes. Os perfis refletivos e dissipativos, por exemplo, têm impacto direto nas dinâmicas de sedimentação e energia das praias, podendo atuar

diretamente nos resultados de avaliação do RAP (BROWN; MCLACHLAN, 1990; AAGAARD et al., 2013).

Figura 4. Regressões lineares do RAP correlacionadas com o valor de ORP da água intersticial nas praias amostradas. A – Cor, B – Cheiro, C – Textura, D – Escore.



Autoria Própria (2023)

6.4.4 Classes de Exposição

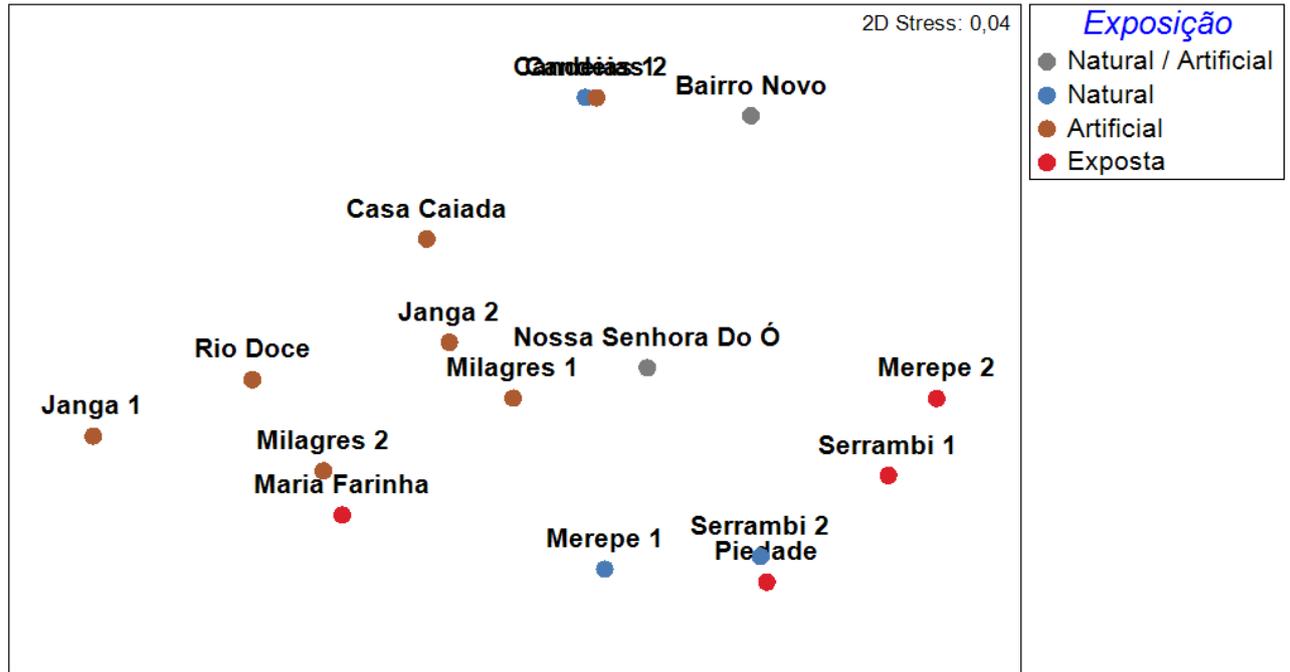
Quanto aos resultados do Pair-Wise Test, destacam-se os grupos Natural – Artificial ($p = 0,0454$) e Artificial – Exposta ($p = 0,0191$) (Tabela 3). As classes de exposição das praias parecem atuar de forma bem delimitada nas praias, com algumas exceções que podem ser vistas na Figura 5. Podemos destacar que principalmente o grupo das praias com proteção de costa artificial são aquelas distribuídas de forma mais homogênea. Entretanto, algumas sobreposições provavelmente ocorrem devido à afinidade dos locais de coleta. Candeias 1 e 2, por exemplo, são pontos com alta proximidade, e apesar de haver uma distinção quanto a proteção natural e

artificial, a distância pode não ser suficiente para tornar esses locais mais distintos, estando mais próximos de praias com dupla classificação (Bairro Novo e Nossa Senhora Do Ó).

As praias naturalmente protegidas, por sua vez, estão mais próximas daquelas que não apresentam nenhum tipo de proteção de costa (Figura 5). Esses resultados indicam que os esforços para proteção do litoral deveriam estar voltados para a conservação dos recifes costeiros, que teriam potencial para proteger a costa sem causar impactos negativos na qualidade do sedimento e conseqüentemente na macrofauna. Fica evidente como a proteção artificial se diferencia de praias sem proteção, visto que são grupos espacialmente distantes (Figura 5). Essa distância ocorre principalmente pela alteração das características físicas, químicas e biológicas que ocorrem com a implementação dessas estruturas nas praias arenosas, onde podemos observar diversos impactos negativos como a perda de habitats do infralitoral, diminuição da diversidade e abundância de diversos grupos da fauna, alterações no acúmulo de matéria orgânica, a perda de serviços ecossistêmicos e da valoração desses serviços, alterações na sedimentação e transporte de partículas, facilitação da instalação de espécies exóticas, entre outros (GRIGGS, 2005; DUGAN et al., 2008; JEBARATHANAM et al., 2019; LI et al., 2023).

Visto que algumas praias não possuem recifes que sirvam como proteção de costa, e outras já tem obras de contenção instaladas há décadas na RMR, é de extrema importância que olhares sejam voltados para a adequação das estruturas já instaladas e a implementação do que chamamos de engenharia verde (MORRIS et al., 2018). É possível que estruturas rígidas como quebra-mares sejam modificados, possibilitando o aumento da complexidade estrutural com disponibilização de microhabitats e aumento da diversidade local (CHAPMAN; UNDERWOOD, 2011). De forma semelhante, a “implementação de um habitat natural” pode agir de forma complementar a uma estrutura artificial já instalada, servindo como uma segunda linha de defesa (MORRIS et al., 2018). Existem diferentes formas de unir serviços ecossistêmicos com aqueles oferecidos pelas obras de contenção, fortalecendo ainda mais o ambiente costeiro, diminuindo a quantidade dos impactos ao ambiente natural.

Figura 5. Plot *multidimensional scaling* (MDS) das praias amostradas com base nas características descritivas das praias, RAP, ORP e balneabilidade.



Autoria Própria (2023)

De forma geral, o processo de urbanização, aliado à ocupação do litoral e à necessidade de estruturas de contenção do mar, pode afetar negativamente a qualidade ambiental das praias. Testar os efeitos negativos sofridos por esse ecossistema demanda recursos e tempo, e o BOPA não apresentou resultado satisfatório na identificação de impactos provenientes da urbanização da costa em conjunto com a construção de estruturas de contenção do mar. Identificar esses impactos pode ser mais fácil utilizando protocolos rápidos de avaliação, que podem ser aplicados por qualquer pessoa e sem a necessidade de mão de obra especializada. A utilização desses protocolos em praias tropicais parece ser eficaz, entretanto, é necessário que estudos futuros elenquem uma série maior de fatores que possam influenciar as características do sedimento para refinar a classificação obtida por esse método. Ademais, é necessário ressaltar a vulnerabilidade das praias próximas a grandes metrópoles, que estão sujeitas ao enriquecimento orgânico e baixa oxigenação, criando um ambiente impróprio para a macrofauna, restringida principalmente a grupos de espécies oportunistas. Por fim, o cenário ambiental dos próximos anos na cidade do estado de Pernambuco é de dificuldades frente ao avanço do mar, e será necessário que os tomadores de decisão façam um balanço consciente entre proteção de costa e sua qualidade ambiental, focando seus recursos nas engenharias verdes, visando maximizar os efeitos positivos e minimizar os impactos severos e indesejados.

6.5 REFERÊNCIAS

AAGAARD, Troels; GREENWOOD, Brian; HUGHES, Michael. Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches. **Earth-Science Reviews**, v. 124, p. 32-50, 2013.

AGÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CPRH. Informativo de Balneabilidade Semanal. Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/informativo-semanal-2022/>. Acesso em: 25 de Abril de 2023.

ANTROP, Marc. Landscape change and the urbanization process in Europe. **Landscape and urban planning**, v. 67, n. 1-4, p. 9-26, 2004.

BESSA, Filipa et al. Sandy beach macrofaunal assemblages as indicators of anthropogenic impacts on coastal dunes. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 196-204, 2013.

BORJA, Angel; FRANCO, Javier; PÉREZ, V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. **Marine pollution bulletin**, v. 40, n. 12, p. 1100-1114, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000. Estabelece as condições de balneabilidade das águas brasileiras. Brasília, 2000. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/legislacao/resolucao/425-2000.html>. Acesso em: 28 de abril de 2023.

CHAPMAN, M. G.; UNDERWOOD, A. J. Evaluation of ecological engineering of “armoured” shorelines to improve their value as habitat. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 400, n. 1-2, p. 302-313, 2011.

CHARLIER, Roger H.; CHAINEUX, Marie Claire P.; MORCOS, Selim. Panorama of the history of coastal protection. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 1, p. 79-111, 2005.

CHECON, Helio H. et al. The efficacy of benthic indices to evaluate the ecological quality and urbanization effects on sandy beach ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 856, p. 159190, 2023.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. PRIMER: Getting started with v6. **PRIMER-E Ltd: Plymouth, UK**, v. 931, p. 932, 2005.

COSTA, Leonardo Lopes et al. Cumulative stressors impact macrofauna differentially according to sandy beach type: a meta-analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 307, p. 114594, 2022.

DADASHPOOR, Hashem; AZIZI, Parviz; MOGHADASI, Mahdis. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 707-719, 2019.

DAUVIN, Jean-Claude. Twenty years of application of Polychaete/Amphipod ratios to assess diverse human pressures in estuarine and coastal marine environments: A review. **Ecological Indicators**, v. 95, p. 427-435, 2018.

DAUVIN, Jean-Claude; RUELLET, T. Polychaete/amphipod ratio revisited. **Marine Pollution Bulletin**, v. 55, n. 1-6, p. 215-224, 2007.

DUGAN, Jenifer E. et al. Ecological effects of coastal armoring on sandy beaches. **Marine Ecology**, v. 29, p. 160-170, 2008.

EQUBAL, Jawed et al. Testing performances of marine benthic biotic indices under the strong seasonality in the tropical intertidal habitats, South Andaman, India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 266-282, 2018.

ESGOTO e sargaço causam mancha escura e mau cheiro na praia de candeias, em Jaboatão, aponta análise do CPRH. **G1**, Recife, 2 de março de 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/03/02/esgoto-e-sargaco-causaram-mancha-e-mau-cheiro-na-praia-de-candeias-em-jaboatao-aponta-analise-da-cprh.ghtml>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

FENNESSY, M. Siobhan; JACOBS, Amy D.; KENTULA, Mary E. An evaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands. **Wetlands**, v. 27, n. 3, p. 543-560, 2007.

FERRARIO, Filippo et al. The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. **Nature communications**, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2014.

GESTEIRA, JL Gómez; DAUVIN, J.-C. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 11, p. 1017-1027, 2000.

GRIGGS, Gary B. The impacts of coastal armoring. **Shore and beach**, v. 73, n. 1, p. 13-22, 2005.

HALLETT, Chris S. et al. A rapid protocol for assessing sediment condition in eutrophic estuaries. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 21, n. 6, p. 1021-1037, 2019.

JARDIM, Wilson F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (Eh) em matrizes ambientais. **Química nova**, v. 37, p. 1233-1235, 2014.

JEBARATHANAM, Prince Prakash Jebakumar et al. Impact of artificial coastal protection structures on Ascidiens settlement along the Tamil Nadu coast, India. **Oceanologia**, v. 61, n. 1, p. 60-67, 2019.

LAURINO, Ivan RA et al. Does coastal armoring affect biodiversity and its functional composition on sandy beaches?. **Marine Environmental Research**, v. 181, p. 105760, 2022.

LI, Jian et al. Increasing coastal reclamation by Invasive alien plants and coastal armoring threatens the ecological sustainability of coastal wetlands. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, p. 1118894, 2023.

LIE, Ewa; WELANDER, Thomas. Influence of dissolved oxygen and oxidation-reduction potential on the denitrification rate of activated sludge. **Water Science and Technology**, v. 30, n. 6, p. 91, 1994.

LINS, Kleber José Pinheiro; LINS, Micherllayne Alves Ferreira. Saneamento básico: impacto do esgoto despejado na orla de Olinda-PE. **Holos Environment**, v. 19, n. 2, p. 220-234, 2019.

KLEINHEINZ, Gregory T. et al. Effects of rainfall on E. coli concentrations at Door County, Wisconsin beaches. **International journal of microbiology**, v. 2009, 2009.

MAURER, Andrew S.; STAPLETON, Seth P. Inferring organic content of beach sand from color. **Caribbean Naturalist**, v. 80, p. 1-6, 2021.

MILES, Jonathon R.; RUSSELL, Paul E.; HUNTLEY, David A. Field measurements of sediment dynamics in front of a seawall. **Journal of Coastal Research**, p. 195-206, 2001.

MIMURA, Nobuo. Sea-level rise caused by climate change and its implications for society. **Proceedings of the Japan Academy, Series B**, v. 89, n. 7, p. 281-301, 2013.

MORRIS, Rebecca L. et al. From grey to green: Efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence. **Global change biology**, v. 24, n. 5, p. 1827-1842, 2018.

PHILLIPS, G. R. et al. Infaunal quality index: Water Framework Directive classification scheme for marine benthic invertebrates. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/314673/Water_Framework_Directive_classification_scheme_for_marine_benthic_invertebrates_-_report.pdf, 2014. Acesso em: 14 de mar. 2023

PINCKNEY, James L. et al. The role of nutrient loading and eutrophication in estuarine ecology. **Environmental health perspectives**, v. 109, n. suppl 5, p. 699-706, 2001.

PLOTLY. **Plotly Graphing Libraries**, 2023. Plotly R Open Source Graphing Library. Disponível em: <https://plotly.com/r/>. Acesso em: 25 mar. 2023

R: A language and environment for statistical computing. 4.1.1. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing/R Core Team . Link: <https://www.R-project.org/>

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Serviço de Informação ao Cidadão da CETESB. [São Paulo]:CETESB, [2023?]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/praias/balneabilidadeesaude/>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

SILVEIRA, Mônica et al. Esgoto despejado em rios e no mar deixa pescaria cada vez mais escassa no Grande Recife: 'espécies estão sumindo', diz pescador. **G1**, Recife, 14 de março de 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/03/14/esgoto-despejado-em-rios-e-no-mar-deixa-pescaria-cada-vez-mais-escassa-no-grande-recife-especies-estao-sumindo-diz-pescador.ghtml>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

SIMPSON, Stuart L. et al. **Handbook for sediment quality assessment**. Bangor, NSW: Centre for Environmental Contaminants Research, 2005.

SPALDING, Mark D. et al. The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. **Ocean & Coastal Management**, v. 90, p. 50-57, 2014.

VALENÇA, Ana Paula MC; SANTOS, Paulo JP. Macrobenthic community for assessment of estuarine health in tropical areas (Northeast, Brazil): review of macrofauna classification in ecological groups and application of AZTI Marine Biotic Index. **Marine pollution bulletin**, v. 64, n. 9, p. 1809-1820, 2012.

VÍDEO: esgoto despeja água suja na praia do Janga, na RMR. **TV JORNAL**, Recife, 12 de abril de 2019. Disponível em: <https://tvjornal.ne10.uol.com.br/por-dentro/2019/04/12/video-esgoto-despeja-agua-suja-na-praia-do-janga-na-rmr-122261/index.html>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

WALKER, Simon J.; SCHLACHER, Thomas A.; THOMPSON, Luke MC. Habitat modification in a dynamic environment: the influence of a small artificial groyne on macrofaunal assemblages of a sandy beach. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 79, n. 1, p. 24-34, 2008.

WICKHAM, Hadley et al. Welcome to the Tidyverse. **Journal of open source software**, v. 4, n. 43, p. 1686, 2019.