



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

THAIANE SANTOS DA SILVA

**OCORRÊNCIA DE LIXO MARINHO EM ALGAS ARRIBADAS NA ILHA DE  
ITAMARACÁ (PE)**

Recife

2025

THAIANE SANTOS DA SILVA

**OCORRÊNCIA DE LIXO MARINHO EM ALGAS ARRIBADAS NA ILHA DE  
ITAMARACÁ (PE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor(a) em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Abiótica.

Orientador (a): Monica Ferreira da Costa

Recife

2025

Silva, Thaianne Santos da.

Ocorrência de lixo marinho em algas arribadas na Ilha de Itamaracá (PE) / Thaianne Santos da Silva. - Recife, 2025.

131f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, , Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2025.

Orientação: Monica Ferreira da Costa.

Inclui referências e anexo.

1. Arribadas; 2. Lixo marinho; 3. Coastsnap. I. Costa, Monica Ferreira da. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

THAIANE SANTOS DA SILVA

**OCORRÊNCIA DE LIXO MARINHO EM ALGAS ARRIBADAS NA ILHA DE  
ITAMARACÁ (PE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor(a) em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Abiótica.

Aprovada em: 07/02/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. José Eduardo Martinelli (Titular Externo)  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Leonardo Evangelista (Titular Externo)  
Universidade Federal do Sul da Bahia

---

Profa. Dra. Maria Christina Araújo (Titular Externo)  
Universidade do Rio Grande do Norte

---

Profa. Dra. Natalia Pirani Ghilardi Lopes (Titular Externo)  
Universidade Federal do ABC

THAIANE SANTOS DA SILVA

**OCORRÊNCIA DE LIXO MARINHO EM ALGAS ARRIBADAS NA ILHA DE  
ITAMARACÁ (PE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor(a) em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Abiótica.

Aprovada em: 07/02/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Participação por videoconferência  
Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência  
Prof. Dr. José Eduardo Martinelli (Titular Externo)  
Universidade Federal do Pará

Participação por videoconferência  
Prof. Dr. Leonardo Evangelista (Titular Externo)  
Universidade Federal do Sul da Bahia

Participação por videoconferência  
Profa. Dra. Maria Christina Araújo (Titular Externo)  
Universidade do Rio Grande do Norte

Participação por videoconferência  
Profa. Dra. Natalia Pirani Ghilardi Lopes (Titular Externo)  
Universidade Federal do ABC

Dedico esse trabalho aos maiores exemplos de determinação que conheci ao longo da vida, Zoraide Pereira Santos e Rosilane Santos da Silva, que me inspiram a seguir e foram essenciais no processo de doutorado.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por priorizarem a minha educação e pelo ensinamento da importância da mesma, me fazendo chegar até aqui, traçando um caminho longo, cheio de gratidão e metas.

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco), pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco pelo curso e apoio oferecido.

Ao Projeto CoastSnap, em especial ao professor Pedro Pereira pelo apoio no uso da metodologia.

Às integrantes do LEGECE (Laboratório de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos), pelo apoio, incentivo e pela ajuda durante os campos. Não poderia deixar de citar minha gratidão a todo mundo que participou dos “passeios” a Itamaracá: Ithali Silva, Alanna Barros, Stefany Marques e tantos outros. Agradeço também ao @itamaraca\_preservada, especialmente ao Ruan Fernandes, pela disponibilidade em ajudar e tornar parte desse trabalho possível.

Agradeço ao meu maior incentivador, Filipe Brito, que teve e tem papel essencial na minha vida profissional, sendo estagiário, ouvinte, conselheiro e parceiro.

E não menos importante, agradeço à minha orientadora, professora Monica Costa, sempre atenta e presente, ensinando e inspirando como profissional. Obrigada pelo apoio e confiança.

## RESUMO

A deposição de arribadas e lixo antropogênico impacta praias em todo o mundo. A intensificação de eventos extremos em áreas costeiras torna esses acúmulos problemas ambientais globais, que ressaltam a necessidade pela busca de ferramentas eficientes mais rápidas e baratas de monitoramento de praias. O presente estudo tem como objetivo avaliar a interação entre lixo marinho e arribadas, cuja presença é condicionada por variáveis meteo-oceanográficas (ondas, ventos e precipitação pluviométrica). Para isso, o trabalho avaliou como essas variáveis influenciam os padrões deposição de lixo e arribadas. Além disso, testou o uso de imagens de smartphones como ferramenta de monitoramento, comparando fotografias comuns com registros feitos pela metodologia CoastSnap. Foi possível verificar que a ausência de correlação entre a presença dos itens de lixo e o peso das arribadas. Os períodos de maior ocorrência de lixo não é o mesmo período de maior ocorrência de biomassa vegetal seca das arribadas. Esses picos de ocorrências de arribadas não interferem na presença de usuários de praia. Por fim, observamos ainda que fotografias de smartphone sem metodologia padronizada são úteis para identificar eventos isolados e registram um *status* momentâneo da praia, enquanto fotografias padronizadas com o CoastSnap fornecem dados consistentes a longo prazo para identificar diferentes tendências da praia (erosão ou deposição).

Palavras-chave: arribadas, lixo marinho, coastsnap, smartphone

## **ABSTRACT**

The increase in the deposition of beach wrack and anthropogenic litter impacts beaches worldwide. The intensification of extreme events in coastal areas has made these accumulations a global environmental problem, highlighting the need for efficient, faster, and more cost-effective tools for beach monitoring. This study aims to evaluate the gap in understanding the interaction between marine litter and beach wrack, whose presence is influenced by meteo-oceanographic variables. To achieve this, the study assessed how these variables affect the patterns of litter deposition and beach wrack. Additionally, it tested the use of smartphone images as a monitoring tool, comparing standard photographs with records obtained using the CoastSnap methodology. The findings revealed no association between the presence of litter items and beach wrack. The highest occurrence of litter does not coincide with the periods of peak dry plant biomass from beach wrack. These peaks in beach wrack occurrences do not interfere with the presence of beach users. Lastly, it was observed that smartphone photographs without a standardized methodology are effective for identifying isolated events and capturing the momentary status of the beach, while standardized photographs using CoastSnap provide consistent long-term data for identifying different beach trends.

Keywords: beach wrack, marine litter, coastsnap, smartphone

## Lista de figuras

### Capítulo 1

- Fig. 1 Localização da Ilha de Itamaracá em Pernambuco, Nordeste do Brasil e praias pesquisadas representadas por ▲ Forte, ■ Pilar, ● Sossego, para amostras itens de lixo e biomassa vegetal em 2022..... 22
- Fig. 2 Precipitação mensal acumulada durante o ano de coleta (2022) comparada com a média histórica da Ilha de Itamaracá ..... 27
- Fig. 3 Intensidade e direção do vento para as três praias da Ilha de Itamaracá no ano de 2022..... 28
- Fig. 4 Intensidade e direção do vento em relação aos meses de coleta na Ilha de Itamaracá em 2022..... 28
- Fig. 5 Altura significativa (m) e período de pico (s) da onda nas praias durante os meses de coleta..... 29
- Fig. 6 Direção e período da onda durante os meses de coleta na Ilha de Itamaracá em 2022..... 30
- Fig. 7 Gráfico direção e período da onda (s) na praia do Forte, Pilar e Sossego. 31
- Fig. 8 Composição da biomassa vegetal estimada nas praias ao longo dos meses.\*Ausente..... 32
- Fig. 9 Peso total de biomassa vegetal seca por estação (a), meses (b) e praias (c) coletadas..... 34
- Fig. 10 Análises de Correspondência Canônica para relação entre o peso de biomassa vegetal, variáveis ambientais e fatores de composição (tipo e cobertura)..... 37
- Fig. 11 Material (a) e diversidade (b) de itens de lixo coletados nas praias da ilha de Itamaracá..... 39
- Fig. 12 Abundância de itens relacionados a resto de material de construção por mês (a) e por praia (b)..... 41
- Fig. 13 Número de itens por período climático (a), praias amostradas (b) e meses coletados na Ilha de Itamaracá (c) para um total de 1651 itens (□) e itens de 2013 (■) ..... 42
- Fig. 14 Análises de Correspondência Canônica para relação entre o lixo das praias, variáveis ambientais e fatores de composição..... 45
- Fig. 15 Porcentagem de lixo marinho total por mês (a) e por praia (c) e biomassa vegetal estimada acumulada por mês (b) e por praia (d)..... 46
- Fig. 16 Gráficos de ordenação em escala multidimensional não métrica (NMDS) para itens de lixo e biomassa vegetal estimada nas praias da Ilha de Itamaracá com variáveis ambientais e fatores de composição (a) e de acordo com os meses de amostragem (b)..... 48
- Fig. 17 Exemplos de itens e formas de lixo encontrados nas praias da Ilha de Itamaracá. (a) LI - Itens de linhas (emaranhamento muito alto); (b) S - Itens sólidos (emaranhamento muito baixo); (c) O - Itens ocos degradados (emaranhamento baixo na forma original); (d) MS - Misturados; (e) Emaranhados; (f) LM - Itens Laminares (emaranhamento alto)..... 50
- Fig. 18 Número total de itens emaranhados ao longo dos meses nas praias (a) e categoria coberta por detritos naturais nas praias (b)..... 53

### Capítulo 2

Fig. 1	Mapa da Ilha de Itamaracá indicando as praias do Forte ao sul e Sossego ao norte .....	75
Fig. 2	Fotografias da praia do Sossego com dois campos de visão, lado A em direção ao norte da praia (a) e lado B em direção ao sul da praia (b) .....	78
Fig. 3	Fotografias da praia do Forte em novembro de 2021 (a), dezembro de 2022 (b) e novembro de 2024 (c) .....	79

### Capítulo 3

Fig. 1	Área de registro das imagens semanais e coleta de lixo mensal na praia do Pilar. Localização do ponto fixo para registro das imagens: ☆. Área triangular branca: área de coleta mensal de lixo.....	87
Fig. 2	Período das ondas durante os registros das imagens de outubro de 2022 a fevereiro de 2024.....	90
Fig. 3	Tipo e grau da ocorrência de arribação no Pilar.....	90
Fig. 4	Número de usuários de praia por grau de cobertura.....	91
Fig. 5	Precipitação acumulada mensal de março de 2023 a fevereiro de 2024 para a Ilha de Itamaracá.....	93
Fig. 6	Direção (a) e intensidade (b) dos ventos predominantes próximos às horas das coletas de março de 2023 a fevereiro de 2024 na praia do Pilar.....	93
Fig. 7	Direção, altura significativa (a) e período (b) das ondas próximo à coleta de amostras dos itens de lixo.....	94
Fig. 8	Diferentes graus de cobertura observados durante as amostragens. (a), (b), (c) - grau 0; (d), (e), (f) - grau 1 e 3; (g), (h), (i) - grau 5.....	96
Fig. 9	Área de amostragem para macrolixo na praia do Pilar.....	97
Fig. 10	Variação da área de amostragem ao longo dos meses.....	97
Fig. 11	Materiais (a) e itens (b) e (c) mais abundantes entre as categorias de lixo de praia no Pilar (Ilha de Itamaracá) entre março de 2023 e fevereiro de 2024.....	98
Fig. 12	Média de itens de lixo apresentados por mês na praia do Pilar.....	100

### Lista de tabelas

#### Capítulo 1

Tabela 1	Análise de Variância Multivariada com Permutações (PERMANOVA) para efeitos da estação, mês e praia sobre a biomassa vegetal ( $\text{kg} \cdot 100\text{m}^{-2}$ ). Diferenças significativas representadas em negrito ( $p \leq 0,05$ ). .....	34
Tabela 2	Análise de Correspondência Canônica para biomassa vegetal com as variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição. ....	35
Tabela 3	Teste de significância das variáveis na análise de correspondência canônica (CCA). Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ). ....	36
Tabela 4	Teste de importância dos eixos por Permutação. Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ). ....	36
Tabela 5	Frequência de ocorrência (%) dos diferentes graus de cobertura (categorias de 0 a 5) por estação climática, mês e praia. ....	38

Tabela 6	Resultados da Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) para efeitos da estação, mês e praia sobre itens de lixo (itens.100m <sup>-2</sup> ). Diferenças significativas representadas em negrito ( $p \leq 0,05$ ). .....	40
Tabela 7	Análise de Correspondência Canônica para itens de lixo com as variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição. ....	43
Tabela 8	Teste de significância das variáveis na análise de correspondência canônica (CCA). Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ). ..	44
Tabela 9	Teste de importância dos eixos por Permutação. Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ). ....	44
Tabela 10	Resultado da PERMANOVA para itens de lixo e biomassa vegetal considerando estação climática, praia, mês e interações. ....	47
Tabela 11	Correlações de Spearman para os itens de lixo e peso de biomassa vegetal versus variáveis ambientais e fatores de composição. Valores em negrito indicam significância ( $p \leq 0,05$ ). ....	49
Tabela 12	Abundância de formas em função dos meses e praias de amostragem de itens de lixo na Ilha de Itamaracá. ....	51
 <b>Capítulo 3</b>		
Tabela 1	Tabela de contingência para número de dias (fotos).....	90
Tabela 2	Descrição da presença de arribação, pessoas e atividade observadas nas fotos. ....	92

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>QUESTÕES CIENTÍFICAS E OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1	QUESTÕES CIENTÍFICAS .....	14
2.2	OBJETIVO GERAL.....	15
2.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>ESTRUTURA DA TESE</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 1 - PADRÕES DE DEPOSIÇÃO E RELAÇÃO ENTRE LIXO MARINHO E ARRIBADAS EM PRAIAS ARENOSAS NA ILHA DE ITAMARACÁ (PE)</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 2 - PERCEPÇÕES VISUAIS DAS MUDANÇAS NAS PRAIAS ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS E POTENCIALIDADES DE MONITORAMENTO</b> .....	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE UMA PRAIA DA ILHA DE ITAMARACÁ (PE) COM LIXO E COASTSNAP PARA ARRIBADAS E USOS DE PRAIA</b> .....	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>108</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>111</b>
	<b>MATERIAL SUPLEMENTAR I</b> .....	<b>123</b>
	<b>MATERIAL SUPLEMENTAR II</b> .....	<b>125</b>
	<b>MATERIAL SUPLEMENTAR III</b> .....	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Ecossistemas costeiros, além de serem o “sumidouro” dos continentes, estão vulneráveis aos impactos de eventos ligados a mudanças climáticas combinados aos constantes efeitos antrópicos dos problemas de uso e gestão do lixo antropogênico no continente. Tanto detritos naturais trazidos pela água quanto o lixo marinho na faixa de areia da praia diminuem o valor dos serviços oferecidos por praias.

A intensificação de eventos ligados a mudanças climáticas, como tempestades e variação do nível do mar, está relacionada à presença de lixo marinho. Esses eventos podem levar ao aumento de entradas de lixo e de material orgânico vegetal no meio marinho, visto que atuam na retirada de material natural do substrato e transportam esses detritos junto ao lixo através de tempestades e do escoamento. A presença do lixo marinho intensificada vem junto a impactos negativos sobre espécies e habitats e consequentemente sobre serviços ecossistêmicos (LINCOLN et al., 2022).

Os detritos naturais marinhos chamados aqui de arribadas, são compostos por material orgânico transportado pelo mar (ROBBE et al., 2021) como restos de macroalgas, angiospermas marinhas, vegetação de mangue e de restinga. Podem ser vistos como “lixo” impactando na qualidade da praia para os seus diferentes usos. Já o lixo marinho é definido como qualquer material sólido persistente, fabricado ou processado que foi deliberadamente descartado ou perdido involuntariamente em ambientes marinhos e costeiros (OSPAR, 2010; UNEP, 2021).

Além do acúmulo de material orgânico, um evento natural nas praias, o lixo produzido pelo homem também tem sido um componente dessas arribadas na praia, tornando-se um problema crescente (CHUBARENKO et al., 2021). A interação entre lixo e arribadas foi relatada em pesquisas anteriores (GUERRERO-MESEGUER et al, 2020; ROBBE et al, 2021; CESARINI et al., 2021; BURLAT & THORSTEINSSON, 2022) ressaltando que, quando presentes ao mesmo tempo, lixo marinho e arribadas, se tornam problemas para a gestão de praias por seu emaranhamento, tornando a limpeza mais difícil e gerando conflitos quanto a sua retirada ou não em razão do valor ecológico das arribadas

(perda de biodiversidade e função de proteção costeira) (ZIELINSKI et al., 2019). Outra consequência dessa interação são alterações no comportamento de espécies e habitats-chave, afetando a biodiversidade, com consequências nas teias alimentares marinhas e nos processos de ciclagem biogeoquímica, impactando a resiliência e funções de habitats e espécies (LINCOLN et al., 2022).

Nesse cenário, os esforços de conservação devem considerar o uso de metodologias sustentáveis e eficientes em pesquisas científicas que, além dos resultados gerem uma conscientização social sobre a importância ecológica das arribadas. O uso do CoastSnap, uma metodologia baseada em ciência cidadã costeira (HARLEY et al, 2019), é abordada no presente estudo como uma forma de fazer o monitoramento de lixo e arribadas atendendo as demandas do meio científico sobre uma técnica rápida e barata para compreender a deposição desses detritos.

A ilha de Itamaracá foi eleita como modelo para desenvolvimento do estudo por ser uma ilha com grande relevância ecológica, sendo parte de um complexo estuarino, separada do continente pelo Canal de Santa Cruz. Faz parte de uma Área de Proteção Ambiental (APA de Santa Cruz), em Pernambuco, sendo uma Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável, que tem como objetivo básico compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (COUTINHO, 2018).

Entre os sistemas estuarinos do estado destaca-se o complexo estuarino de Itamaracá, o mais importante, que apresenta praias, manguezais e rios, que nascem na ilha e deságuam no oceano. Todos esses ambientes da ilha sofrem grandes impactos antrópicos (MELO et al., 2019; RAMOS & COSTA, 2023). Apesar disso, a ilha possui grande importância ecológica e socioeconômica para o estado, sendo considerada uma das áreas estuarinas mais ricas do país em recursos naturais e beleza paisagística, a tornando foco de atividades pesqueiras e turísticas (LEITÃO et al., 2007).

## **2 QUESTÕES CIENTÍFICAS E OBJETIVOS**

### **2.1 QUESTÕES CIENTÍFICAS**

Lixo marinho e arribadas apresentam alguma relação entre si? São depositados da mesma forma nas praias e nos mesmos períodos climáticos? Essa deposição é controlada pelas mesmas variáveis meteo-oceanográficas?

Uma significativa quantidade de lixo marinho é subestimada em dados de poluição marinha (Itamaracá) porque está emaranhado na arribação?

É possível observar resultados de eventos meteo-oceanográficos, a curto e a longo prazo, influenciando as deposições de lixo e arribadas?

## 2.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a interação entre lixo marinho e arribadas, cuja presença é condicionada por variáveis meteo-oceanográficas e são componentes importantes do fluxo de processos costeiros em três praias arenosas da Ilha de Itamaracá (PE).

## 2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o tipo de lixo que ocorre nas praias e a existência de padrões temporais e espaciais;
- Compreender o potencial de aprisionamento do lixo pelas algas arribadas;
- Identificar se há relação entre parâmetros meteo-oceanográficos, arribação e lixo;
- Avaliar fotos de smartphone como amostras científicas;
- Relacionar formas de monitoramento de arribadas e lixo;
- Verificar se há relação entre a presença de usuários e arribadas.

## 3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O documento da tese está dividido em 3 capítulos que se complementam como especificado abaixo:

O capítulo 1 é intitulado “PADRÕES DE DEPOSIÇÃO E RELAÇÃO ENTRE LIXO MARINHO E ARRIBADAS EM PRAIAS ARENOSAS NA ILHA DE ITAMARACÁ (PE)” e faz uma análise sobre a dinâmica de deposição de

arribadas e lixo marinho em 3 praias da ilha de Itamaracá durante o ano de 2022. Esse capítulo já foi submetido para publicação em revista e está sob análise.

O capítulo 2 é intitulado como “PERCEPÇÕES VISUAIS DAS MUDANÇAS NAS PRAIAS ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS E POTENCIALIDADES DE MONITORAMENTO”, e trata da análise de fotos comparando a forma livre de registro com a metodologia de captura pelo CoastSnap em duas praias da ilha.

O capítulo 3 é intitulado como “AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE UMA PRAIA DA ILHA DE ITAMARACÁ (PE) COM LIXO E COASTSNAP PARA ARRIBADAS E USOS DE PRAIA” e faz uma avaliação do uso da metodologia CoastSnap para diferentes aplicações em uma praia da ilha.

## **CAPÍTULO 1 - PADRÕES DE DEPOSIÇÃO E RELAÇÃO ENTRE LIXO MARINHO E ARRIBADAS EM PRAIAS ARENOSAS NA ILHA DE ITAMARACÁ (PE)**

### **RESUMO**

O aumento da deposição arribadas e lixo antropogênico impacta e diminui a qualidade de praias arenosas. A ilha de Itamaracá é uma ilha continental onde essas deposições ocorrem. O objetivo deste estudo foi avaliar a interação entre o lixo e arribadas nas praias da ilha. Para isso, três praias (Forte, Pilar e Sossego) foram estudadas quanto à deposição de algas arribadas através da determinação da biomassa vegetal e macrolixo em março, junho, setembro e dezembro de 2022. Dois mil e treze itens de lixo foram coletados, com maioria de plásticos (72%) e vidro e cerâmica (19%). Embalagens de uso único foram o plástico mais abundante. Mais de 70% (n = 969) dos itens ocorreram no Sossego. A maioria do lixo ocorreu em setembro (n = 952) e dezembro (n = 364). Cerca de 362 itens foram classificados como resto de construção, ocorrendo no Forte nos primeiros meses. Foram feitas análises para correlacionar alguns fatores abióticos com a distribuição das arribadas e do lixo nas localidades de estudo. Fatores de composição (grau de cobertura e tipo de detrito), direção do vento e precipitação foram responsáveis pela distribuição do lixo. Sossego foi dominada por macroalgas, com mais da metade de toda biomassa vegetal coletada (64,4%,  $252,5 \pm 41,4$  kg/100m<sup>2</sup>) com diferença significativa na comparação com Forte. Fatores de composição, direção do vento e precipitação determinaram o peso de biomassa vegetal arribada. Ambos tipos de detritos tiveram correlação positiva fraca ( $\rho=0,32$  e  $p \leq 0,05$ ). Picos de deposição de arribadas não coincidiram com os meses de mais ocorrência de lixo. O tipo de arribação mostrou associação com a velocidade do vento. A maioria dos plásticos tiveram baixo grau de emaranhamento e fragmentos tiveram emaranhamento muito alto. Emaranhados (n=53) foram identificados nas praias, em áreas não cobertas e fortemente cobertas de arribadas. Os resultados indicam que a sazonalidade climática controla a dinâmica de deposições e lixo e

arribadas, quando juntos, resultam na formação de emaranhados, um preocupante componente da poluição das praias.

Palavras-chave: monitoramento, macrolixo, macroalgas

## ABSTRACT

The increase in the deposition of beach wrack and anthropogenic litter impacts and decreases quality of sandy beaches. Itamaracá Island is a continental island where these depositions occur. This study aimed to address the data gap regarding the interaction between litter and beach wrack on the island's beaches. Three beaches (Forte, Pilar, and Sossego) were assessed for beach wrack with vegetable biomass and macrolitter deposition in March, June, September, and December 2022. A total of 2,013 litter items were collected, resulting in predominantly plastics (72%) and glass/ceramics (19%). Single-use packaging was the most abundant type of plastic. Over 70% ( $n = 969$ ) of the litter was found at Sossego, with the highest amounts recorded in September ( $n = 952$ ) and December ( $n = 364$ ). Approximately 362 items were identified as material construction, primarily at Forte during the early months of the year. Key factors influencing litter distribution included composition factors (coverage degree and debris type), wind direction, and precipitation. Sossego exhibited the highest biomass weight, being more than half of the total collected (64.4%,  $252.5 \pm 41.4$  kg/100 m<sup>2</sup>), significantly differing from Forte. Composition factors, wind direction, and precipitation also influenced vegetable biomass weight. A weak positive correlation was observed between litter and biomass ( $\rho = 0.32$ ,  $p \leq 0.05$ ). Peaks of stranded biomass deposition did not coincide with months of peak litter accumulation. Additionally, type of debris was associated with wind speed. Entanglements ( $n = 53$ ) were identified on the beaches, occurring in both uncovered and heavily covered areas, with plastics showing a low degree of entanglement, while fragments exhibited high entanglement potential. These findings suggest that climatic seasonality control the dynamics of the natural and anthropogenic debris deposition and, together, result in the formation of entanglements, a concerning element of beach pollution.

Keywords: monitoring, macrolitter, macroalgae

## 1 INTRODUÇÃO

A presença de arribadas em praias tem sido intensificada pelas mudanças climáticas e pela poluição marinha, resultantes de atividades antropogênicas. O enriquecimento das águas com nutrientes e matéria orgânica, assim como o aumento da temperatura dos oceanos favorecem o crescimento de macroalgas e fanerógamas marinhas que acabam depositadas nas praias (MARTINS et al., 2024). Essa deposição de macroalgas, em praias, após serem arrancadas de seus substratos é chamada de arribação, ocorrendo durante a maré baixa (CAVALCANTI, 2021). Além de macroalgas, essa arribação pode ser composta por fanerógamas marinhas, vegetação de mangue e vegetação continental, como plantas de restinga.

A presença e deposição desses detritos dependem de fatores como hidrodinâmica, características de fluviabilidade do material (CHUBARENKO et al., 2021), intensidade e direção das ondas, ventos e correntes. Esses fatores desempenham um papel importante no processo de desprendimento, transporte e acumulação desses detritos nas praias. A hidrodinâmica e as condições meteo-oceanográficas desempenham um papel importante no processo de acumulação de vegetação marinha (CHUBARENKO et al., 2021). Esses detritos naturais, compostos de macroalgas, fanerógamas ou outros materiais orgânicos são levados para a costa pelo vento, ondas, ação natural das marés ou outros eventos oceanográficos (SANTOS et al., 2013). Além disso, o tipo de uso desse ecossistema também determina o processo e o tipo de material depositado. A deposição desses detritos naturais subsidia a produção primária de praias (RUIZ-DELGADO et al., 2015). Além do material orgânico, considerado natural nas praias, o lixo antropogênico também tem sido um componente dessa arribação tornando-se um problema crescente.

O plástico encontrado preso em arribação é degradado e fragmentado, alterando as propriedades do ambiente (RYAN, 2015) e gerando produtos nocivos (por exemplo, microplásticos e produtos químicos) para a fauna que usa e habita essa zona intermareal. Devido às grandes quantidades acumuladas esse material arribado impacta na qualidade da praia e é descartado da mesma forma que detritos antropogênicos (CAVALCANTI et al., 2012; MARTINS et al.,

2024). Todo esse material é visto como “lixo” na praia pelo mau odor devido à sua decomposição. Essa problemática tem sido relatada ao longo do Oceano Atlântico Central, nas praias do Caribe (GOWER & KING, 2011; WANG & HU, 2016) e na costa brasileira (SISSINI et al., 2017). Tanto os detritos naturais quanto o lixo, arribados juntos, diminuem o valor ecossistêmico de praias em termos de fornecimento, regulação, manutenção e serviços que praias oferecem (Robbe et al., 2021). Além disso, o lixo marinho emaranhado nas arribações naturais intensifica ainda mais o problema de gestão e limpeza das praias dificultando a coleta e uso de ambos.

Nesse contexto, ressaltamos aqui que estudos sobre arribação estão focados na biologia e ecologia das florações e mesmo para o litoral brasileiro, poucos estudos relatam esses eventos (SZÉCHY et al., 2012; SANTOS et al., 2013; SISSINI et al., 2017). Para o litoral de Pernambuco, nordeste do Brasil, os estudos sobre arribadas estão ligados à ecologia de macroalgas e ao uso da biomassa vegetal como biossorvente e bioindicador da qualidade ambiental (VEIMROBER JÚNIOR, 2010; SILVA, 2010; BARROS, 2013).

O objetivo deste estudo foi avaliar a interação entre lixo marinho e arribadas para entender os padrões de deposição temporal e espacial desses detritos nas praias da Ilha de Itamaracá. Supomos que esses dados são subestimados nos registros de poluição marinha na ilha, desse modo pouco se sabe sobre os padrões de deposições de arribadas e de lixo nas praias de Itamaracá.

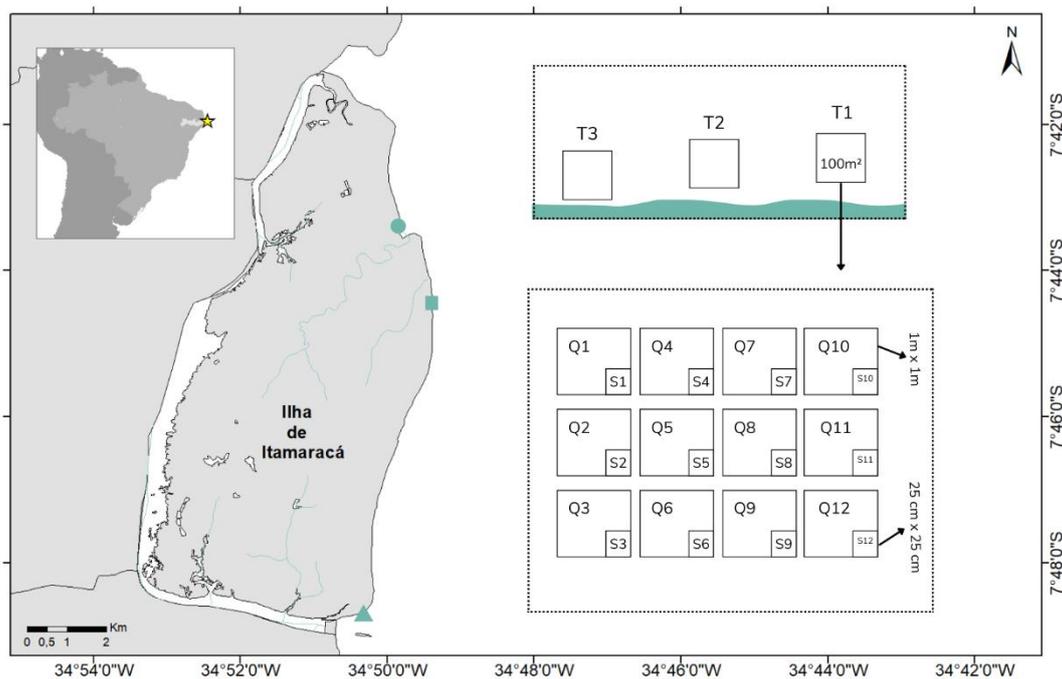
## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Área de estudo**

A Ilha de Itamaracá está situada ao norte de Pernambuco (Fig. 1) na costa nordeste do Brasil, a cerca de 50 km da capital Recife. A ilha tem uma área total de aproximadamente 67 km<sup>2</sup> e abriga uma população de 27.076 pessoas. O crescimento urbano e populacional desordenado entre os anos de 1970 e 2010 marcam a ocupação na ilha. Além disso, Itamaracá também é caracterizada por uma população flutuante significativa por ter residências destinadas aos períodos de veraneio (LIMA et al., 2017).

A ilha faz parte de um importante complexo estuarino separado do continente pelo Canal de Santa Cruz e composto por praias, manguezais e rios que deságuam no oceano e que sofrem grande impacto antrópico (MELO et al., 2019; RAMOS & COSTA, 2023). Possui clima tropical com temperatura máxima de 34°C e mínima de 20°C e dois períodos sazonais distintos, uma estação seca (setembro a fevereiro) e uma estação chuvosa (março a agosto) (MACÊDO et al., 2004; PITANGA et al., 2012; ARAÚJO et al., 2021). Uma precipitação média de 2060 mm/ano caracteriza Itamaracá, com maiores médias de precipitação nos meses de maio, junho e julho (APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2023).

Fig. 1: Localização da Ilha de Itamaracá em Pernambuco, Nordeste do Brasil e praias pesquisadas representadas por ▲ Forte, ■ Pilar, ● Sossego, para amostras itens de lixo e biomassa vegetal em 2022. O mapa mostra a estratégia de amostragem aplicada em 3 transectos para cada praia, repetida em cada mês de coleta. Q: quadrante para amostras de lixo; S: sub-quadrante para biomassa vegetal.



Fonte: A Autora (2024)

Os ventos predominantes são de SE com velocidade média de 3,2 m/s. Ventos fracos (média de 2,6 a 5,2 m/s) de NE ocorrem na estação seca com pico de 9,2 m/s e na estação chuvosa ventos fortes sopram de SE (média de 4,0 a 5,7 m/s) com pico de 9,2 m/s (MEDEIROS & KJERFVE, 1993; ARAÚJO et al.,

2021). As marés desempenham um papel importante nas mudanças morfológicas e sedimentológicas da costa em Itamaracá (ALMEIDA, 2011). As marés são do tipo mesomaré, dominadas por ondas (2-4m), e semidiurnas com um ciclo de duas marés altas e duas baixas no dia (ALMEIDA, 2011; MELO et al., 2019; ARAÚJO et al., 2021).

Segundo Almeida (2011), ondas de direção leste-sudeste, associadas a ventos de mesma direção, apresentam altura média de 1 a 1,5 m e períodos de 5 a 7s em áreas profundas. Na estação seca, ocorrem ondas menores, períodos mais longos e ventos mais fracos. Ainda, nesse período, a perda de sedimentos corresponde a eventos de aumento da potência das ondas (ARAÚJO et al., 2021). Na estação chuvosa, foram observados períodos de ondas mais curtos.

A praia do Forte, na figura 1, está ao sul do Canal de Santa Cruz, onde também se localiza o Forte Orange (Fortaleza de Santa Cruz), construção histórica de 1631, tombada pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) em 1938 pela sua importância histórica e cultural (IPHAN, 2010). É uma área predominantemente turística, com bares à beira-mar (LEITÃO et al., 2007). Essa praia, no entorno do Forte Orange, contém ainda vias de acesso, calçadas, estacionamentos, barracas, marinas, hotéis, pousadas e residências fixas e temporárias, além de abrigar uma parcela de manguezal (ARAÚJO, 2022).

Residências fixas, ocupação imobiliária precária e bares caracterizam a praia do Pilar (Fig. 1). Essa praia se encontra em área urbana, com presença de atividade comercial, turística e pesqueira. O uso da praia em feriados e finais de semana é intenso, assim como a presença de embarcações de pequeno porte, ancoradas na praia próximas a instalações de apoio à atividade pesqueira. Apesar dessas pressões antrópicas, ainda há pequenas regiões com vegetação de restinga nessa área.

A praia do Sossego se localiza próxima à foz do rio Jaguaribe, um importante curso d'água da ilha que desemboca no oceano. Na margem direita, à montante do rio, há um setor urbano composto por residências fixas e temporárias, atividade pesqueira, aquicultura e lazer, com bares e comércios (LEITÃO et al., 2007). Na margem esquerda, em direção à praia do Sossego, há presença de poucos bares, que têm sofrido com a intensa erosão costeira nessa

área. O Sossego se caracteriza principalmente por residências temporárias ocupadas em períodos de férias e veraneio. A ausência de coleta seletiva, saneamento básico e intensa erosão nessa área também define o local.

## 2.2 Coleta de amostras

As praias foram amostradas a cada 4 meses (Março, Junho Setembro e Dezembro), em 2022. Três transectos de 10m x 10m (100m<sup>2</sup>) desde a linha do deixa (linha de deposição) até a linha d'água foram definidos, priorizando áreas de ocorrência de arribadas quando possível (Fig. 1). Em cada transecto, durante a maré baixa, dentro de 12 quadrantes (1x1m), todo o macrolixo ( $\geq 2,5-100\text{cm}$ ) foi coletado manualmente e armazenado em sacos plásticos de 100L para transporte até o laboratório. Os quadrantes foram posicionados sistematicamente de modo que cobrissem toda a extensão do transecto. Todo o material de lixo coletado foi expresso nos resultados como itens/100m<sup>2</sup>.

Em adição, cada quadrante continha 1 sub-quadrante (25x25cm) onde foi coletado todo o material natural vegetal presente tanto recente (recém depositado) quanto antigo (seco). Esse material foi armazenado em sacos de 2L para análise de biomassa vegetal. Em laboratório o material foi seco em estufa por 3 dias a 60°C e pesado em balança de precisão. Os resultados foram expressos em kg/100m<sup>2</sup> (peso de biomassa vegetal seca). A partir das amostras dos sub-quadrantes o peso da biomassa vegetal seca foi estimada para os quadrantes de 1m<sup>2</sup> e para os transectos. As coletas resultaram em 432 amostras distribuídas em: 3 praias x 4 meses x 3 transectos/praias x 12 quadrantes/transectos x 12 sub-quadrantes (Fig. 1).

## 2.3 Dados meteo-oceanográficos

Os dados meteo-oceanográficos para cada praia foram obtidos online ([www.windguru.cz/](http://www.windguru.cz/), [www.surfguru.com.br/](http://www.surfguru.com.br/) e [earth.nullschool.net/pt/](http://earth.nullschool.net/pt/)). Intensidade de vento (m/s), direção do vento, altura (m), período (s) e direção da onda foram coletados para 12h anteriores até o momento da coleta de amostras a fim de verificar os fatores que influenciam a ocorrência diária e local da arribação na ilha. Os dados de precipitação mensal foram disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

## 2.4 Classificação de amostras

O macrolixo foi classificado para tipo de material (plástico, tecido, vidro e cerâmica, espuma, papel, madeira, borracha, outros) e diversidade de acordo as “Diretrizes para Pesquisa e Monitoramento de Lixo Marinho” (UNEP, 2009). O tipo arribação foi categorizado a partir do material que continha o detrito: vazio; macroalga; manguezal. Para grau de cobertura de arribação foram criadas classes de 0 a 5 baseadas no “Guia de fotos de arribação de praia (GFAP)” de Haseler et al., (2019): categoria 0 (<1%, não coberto), categoria 1 (1-5%, raramente coberto), categoria 2 (6 - 25%, levemente coberto), categoria 3 (26 - 50%, moderadamente coberto), categoria 4 (51 - 75 %, fortemente coberto) e categoria 5 (76 - 100%, intensamente coberto). O potencial de emaranhamento do lixo nos detritos arribados na praia foi avaliado a partir da classificação da forma dos itens (NAVARRETE-FERNÁNDEZ et al., 2022) em cinco categorias associadas aos graus de emaranhamento: itens de linha (emaranhamento muito alto); itens laminares (alto emaranhamento); itens mistos (emaranhamento médio); itens ocos (baixo emaranhamento); itens sólidos (emaranhamento muito baixo).

## 2.5 Análise estatística

O lixo foi expresso por itens/100m<sup>2</sup> para cada estação climática (seco e chuvoso), mês (março, junho, setembro e dezembro) e praia (Forte, Pilar e Sossego). A média desse lixo foi apresentada por média  $\pm$  erro padrão. Os itens foram analisados com e sem presença de detritos de resto de construção. As amostras foram testadas para normalidade e homocedasticidade. Análise multivariada permutacional de variância (PERMANOVA) foi aplicada com padronização dos dados e conduzida com uma matriz de distância euclidiana, para testar o efeito dos 3 fatores (estação climática, mês e praia) e suas interações através de 999 permutações. Quando a PERMANOVA apresentou diferenças significantes ( $p \geq 0,05$ ), teste a *posteriori* (*pair-wise test*) com ajuste de Bonferroni foi aplicado.

Para comparação de distribuição das amostras de lixo junto aos fatores de composição de biomassa vegetal (tipo de detrito), peso de biomassa seca e

variáveis meteo-oceanográficas (direção e intensidade vento, altura significativa de onda, direção e período da onda, precipitação) foi utilizada Análise de Correspondência Canônica (CCA).

Para as arribadas, o peso de biomassa vegetal estimada foi apresentado em kg/100m<sup>2</sup> e média  $\pm$  erro padrão. Uma análise PERMANOVA com três fatores foi realizada para as amostras de biomassa vegetal. Frequência de ocorrência dos diferentes graus de cobertura foi apresentada em porcentagem. A resposta de distribuição das amostras de peso também foi obtida por CCA.

Para explorar a interação entre lixo e biomassa vegetal os dados foram testados com a PERMANOVA. Os padrões espaciais foram visualizados por Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS). Correlação de Spearman foi utilizada para verificar as relações das variáveis com lixo, biomassa vegetal e tipo de cobertura de detrito. Todas as análises estatísticas foram feitas no software R Studio Versão 4.2.0 (R CORE TEAM, 2022).

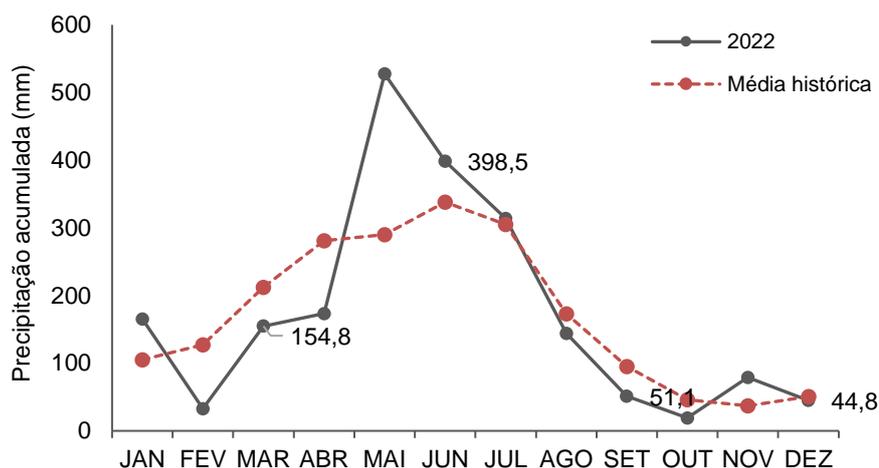
### **3 RESULTADOS**

#### 3.1 Variáveis meteo-oceanográficas

##### 3.1.1 Precipitação

Os registros de chuvas para a Ilha de Itamaracá no ano de 2022 estão resumidas na figura 3. Nos meses de maio, junho e julho ocorreram os maiores acúmulos e os menores registros foram de setembro a fevereiro. Em junho ocorreu a maior precipitação (398,5 mm) enquanto dezembro foi um mês seco (44,8 mm). Dois períodos climáticos, já conhecidos para o litoral, puderam ser observados entre os meses de coleta: março e junho como período chuvoso e setembro e outubro sendo período seco. Os dados coletados foram comparados com a média histórica de precipitação para a ilha (Fig. 2) através dos registros da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima).

Fig. 2: Precipitação mensal acumulada durante o ano de coleta (2022) comparada com a média histórica da Ilha de Itamaracá.



Fonte: A Autora (2024)

### 3.1.2 Vento

Nas 3 praias a intensidade do vento variou de 1,8 a 6 m/s, com direção predominante de SE (Fig. 3). Ventos mais intensos foram registrados na praia do Pilar e Sossego com velocidades máximas de 6 m/s e 5,7m/s respectivamente. Médias semelhantes foram registradas nas 3 praias, entre 3,5 e 3,7 m/s. As velocidades máximas e mínimas que ocorreram nas praias foram de 1 a 5,4 m/s no Forte, 1,8 a 6 m/s no Pilar e 2,1 a 5,7 m/s no Sossego, com menor variação de intensidade do vento.

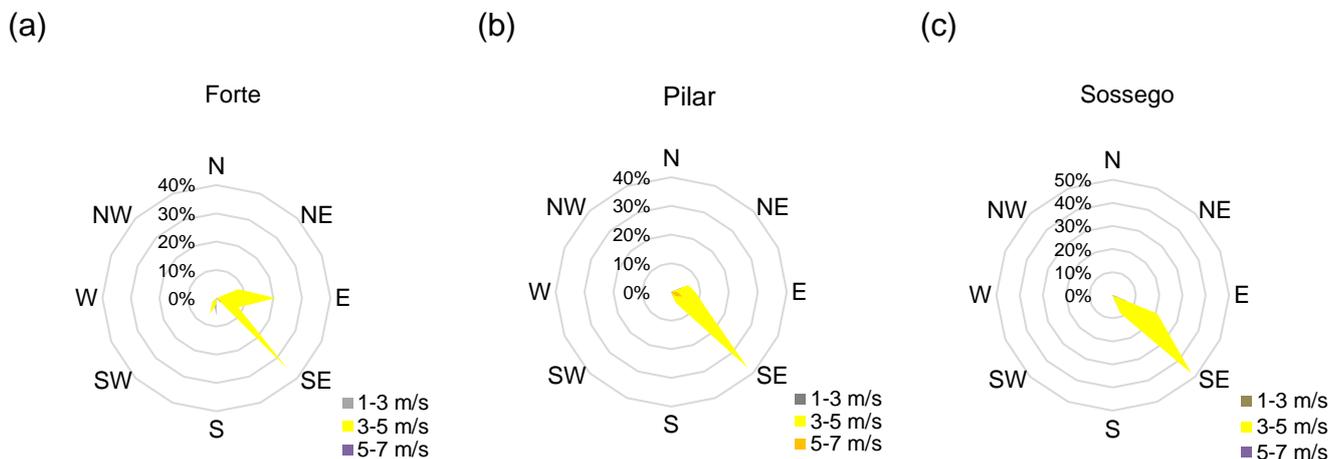
Ao longo dos meses, a direção foi predominante foi de SE (março, junho e setembro) e E (dezembro) (Fig. 4). A intensidade do vento apresentou variabilidade entre os meses. Em março e junho a velocidade predominante de vento foi de 3 a 5 m/s (72,2 % e 63,9% respectivamente). Ventos mais fracos de 1 a 3 m/s também ocorreram nesses meses (Fig. 4). Um aumento da intensidade ocorreu nos meses seguintes: setembro (3 a 5m/s; 88% - Fig. 4c) e dezembro (3 a 5m/s; 80,6% - Fig. 4d). Nesse período ainda foram registrados ventos com velocidade  $\geq 5$  m/s.

### 3.1.3 Ondas

As ondas tiveram uma altura significativa máxima (H<sub>máx.</sub>) de 1,6m e mínimo (H<sub>mín.</sub>) de 0,94m no Forte e no Pilar respectivamente, representados na figura 5a. Junho foi o mês com maiores índices de chuva e incidência de ondas com baixos valores de altura significativa (de 0,94 a 1,2 m). A maior média de altura foi em dezembro (1,39 m), correspondendo com ao período menos

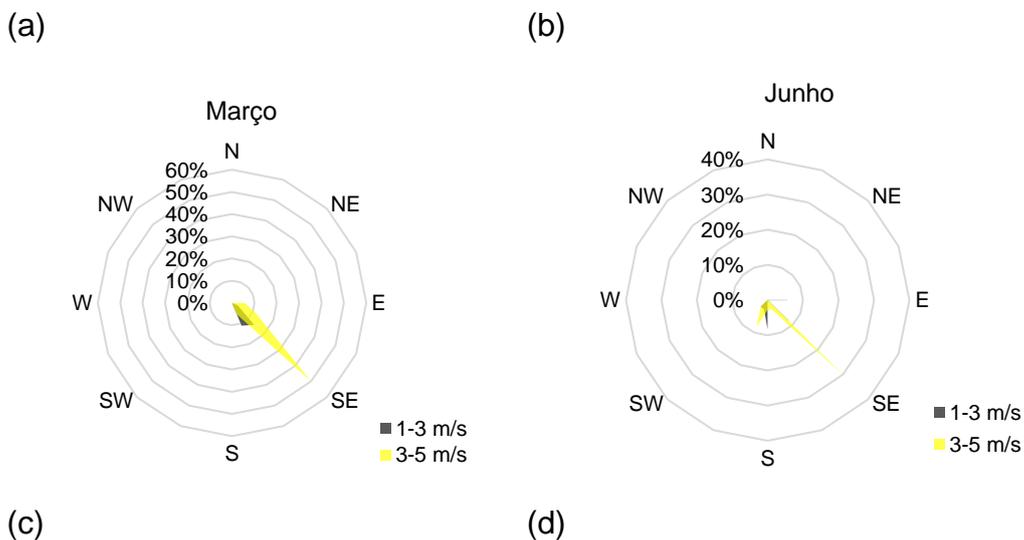
chuvoso. Além disso, setembro (Hmáx. 1,52 m; Hmín. 1,2m) e dezembro (Hmáx. 1,58m; Hmín. 1,3 m) registraram ondas com menor variação entre as alturas significativas máximas e mínimas.

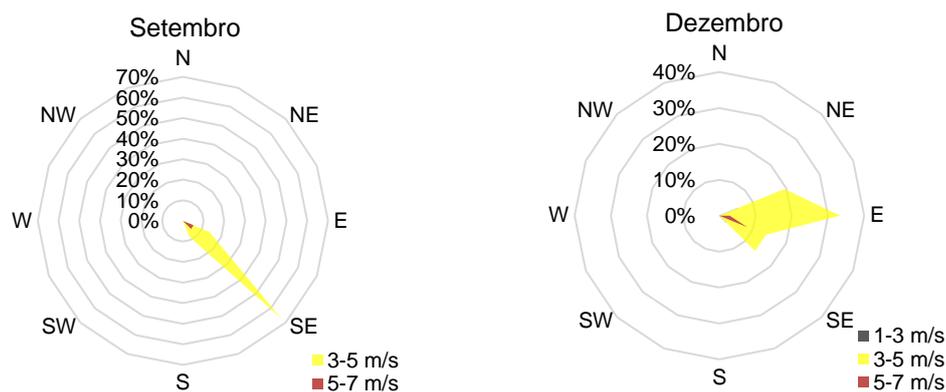
Fig. 3: Intensidade e direção do vento para as três praias da Ilha de Itamaracá no ano de 2022.



Fonte: A Autora (2024)

Fig. 4: Intensidade e direção do vento em relação aos meses de coleta na Ilha de Itamaracá em 2022.





Fonte: A Autora (2024)

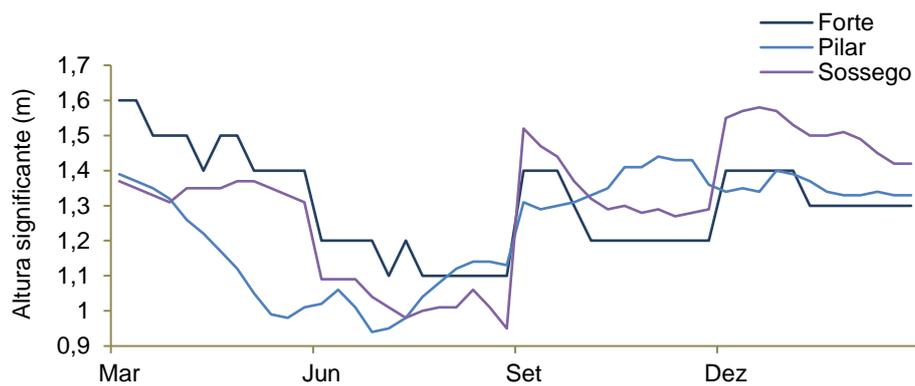
Quanto às praias, Forte e Sossego tiveram ondas com as maiores alturas (1,6 e 1,58m, respectivamente), enquanto Pilar registrou ondas de 0,94 a 1,44 m. Durante os meses de estudo ocorreu uma variação no período das ondas de 6,7 a 13s (Fig. 5b). Os valores extremos, tanto máximos quanto mínimos, ocorreram em março e setembro (Fig. 5b). Março teve maior período de onda (13s) assim como o maior valor de altura significativa da onda (1,6 m). Enquanto junho registrou o menor período (6,7s) e altura significativa de onda de 0,94 m dentro de uma variação de 0,95 a 1,2 m.

Ondas com maiores períodos ( $\geq 11$ s) ocorreram predominantemente em março e junho com direção predominante de leste (E) e sudeste (SE) respectivamente (Fig. 6). Nos meses menos chuvosos, que registraram ondas com  $H_{mín.} \geq 1$ m, setembro e dezembro tiveram ondas de leste-sudeste (ESE).

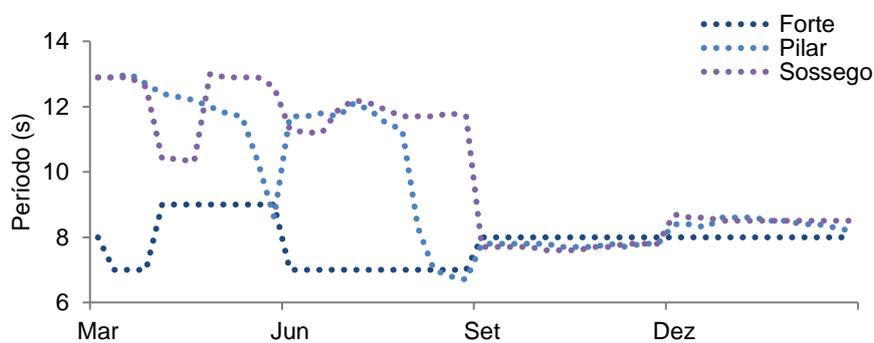
Os três locais de amostragem, Forte, Pilar e Sossego, tiveram ondas representadas em sua maioria com sentido de ESE (Fig. 7) e picos de períodos entre 7 e  $\geq 11$ s.

Fig. 5: Altura significativa (m) e período de pico (s) das ondas nas praias durante os meses de coleta.

(a)



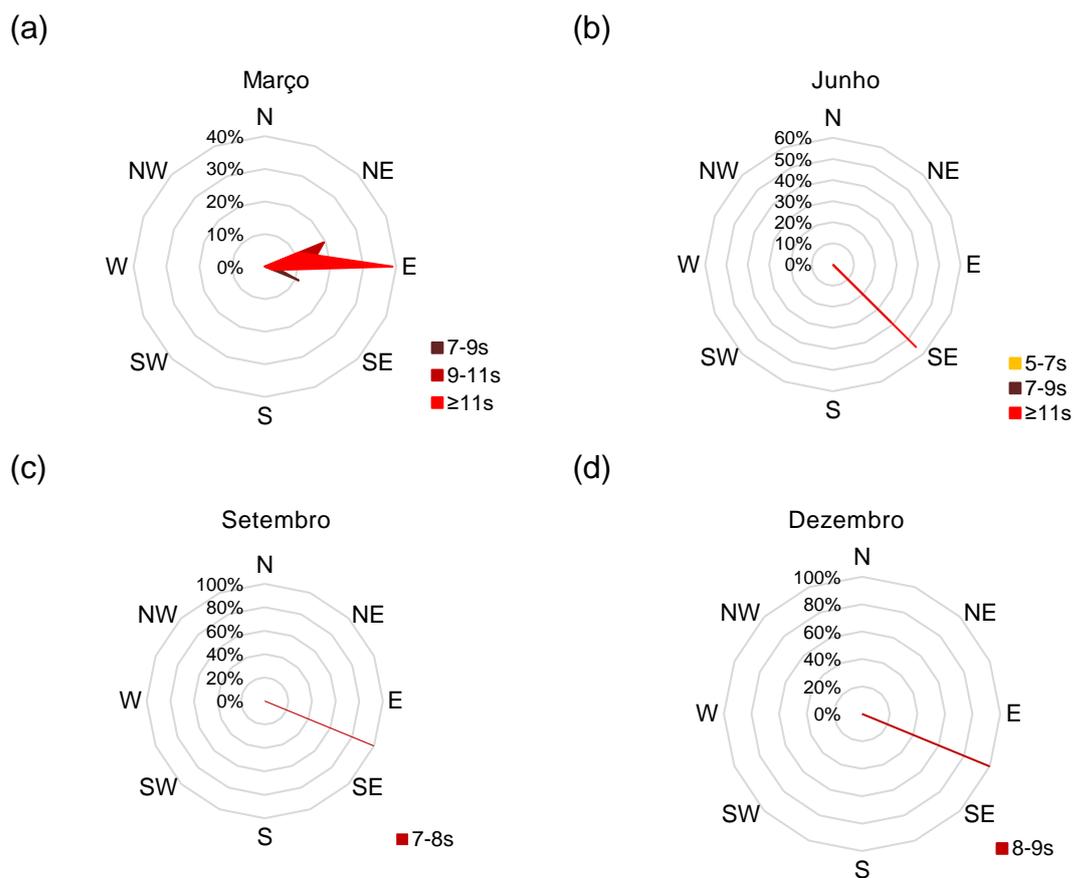
(b)



Fonte: A Autora (2024)

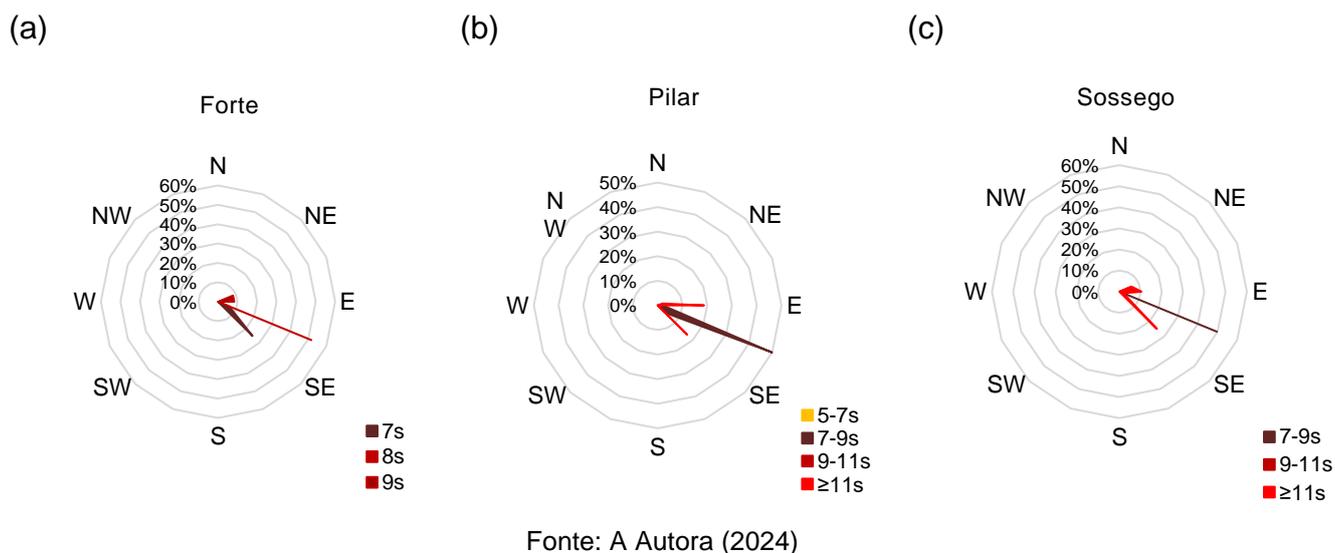
Na praia do Forte, ondas de SE (25%) e E (8,3%) ocorreram além da direção predominante de ESE (58,3%). Ondas com essas direções (SE 25%, E 23%, ESE 50%) também foram registradas no Pilar. O período dessas ondas foi distribuído entre 7 a 9s (56%) e picos de períodos  $\geq 11$ s (37,5%). Assim como no Pilar, a praia do Sossego teve ondas com picos de períodos na mesma escala (7 a 9s 50% e  $\geq 11$ s 43,7%) e direção predominante de ESE (52%).

Fig. 6: Direção e período das ondas durante os meses de coleta na Ilha de Itamaracá em 2022.



Fonte: A Autora (2024)

Fig. 7: Gráfico direção e período da onda (s) na praia do Forte, Pilar e Sossego.



Fonte: A Autora (2024)

Na praia do Forte, ondas de SE (25%) e E (8,3%) ocorreram além da direção predominante de ESE (58,3%). Ondas com essas direções (SE 25%, E

23%, ESE 50%) também foram registradas no Pilar. O período dessas ondas foi distribuído entre 7 a 9s (56%) e picos de períodos  $\geq 11$ s (37,5%). Assim como no Pilar, a praia do Sossego teve ondas com picos de períodos na mesma escala (7 a 9s 50% e  $\geq 11$ s 43,7%) e direção predominante de ESE (52%).

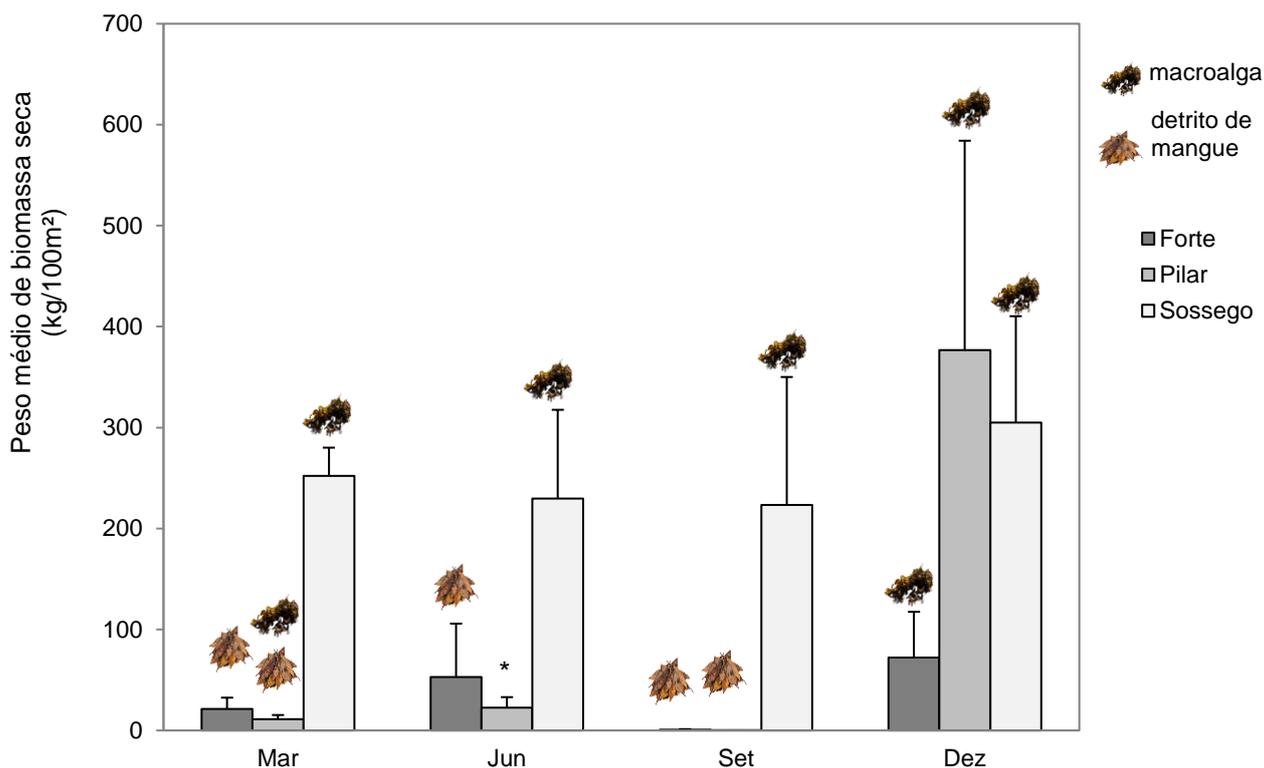
### 3.2 Arribadas

A deposição de arribadas foi composta por macroalgas, detritos de manguezal (folhas) e de restinga, distribuídos ao longo dos meses nas três praias representadas na figura 8. No Forte, na maior parte do ano, folhas de manguezal estavam em abundância, exceto em dezembro. Tanto macroalgas quanto folhas e vegetação de restinga ocorreram no Pilar, e ambos estavam ausentes em junho. Ao norte da ilha, a arribeação da praia do Sossego foi dominada por uma grande quantidade de macroalgas ao longo dos meses.

Nos meses mais chuvosos, Sossego teve pesos médios de biomassa vegetal quase dez vezes maior do que Pilar e Forte (Fig. 8). No período mais seco, a média de biomassa vegetal foi maior em dezembro na praia do Pilar ( $376,7 \pm 207,4$  kg/100m<sup>2</sup>) e no Sossego ( $304,9 \pm 105,4$  kg/100m<sup>2</sup>). Em setembro as praias do Forte e Pilar tiveram médias de biomassa vegetal inferiores a 1kg/100m<sup>2</sup> (Fig. 8).

Fig. 8: Composição da biomassa vegetal estimada nas praias ao longo dos meses.

\*Ausente.



Fonte: A Autora (2024)

No período seco o peso total de biomassa vegetal seca foi superior ( $2934,5 \text{ kg}/100\text{m}^2$ ) à quantidade dos meses de chuva ( $1769,5 \text{ kg}/100\text{m}^2$ ) (Fig. 9a). Diferenças estatísticas significativas não foram observadas (Tabela 1) entre as médias desses detritos durante o período chuvoso ( $98,3 \pm 28,9 \text{ kg}/100\text{m}^2$ ) e seco ( $163 \pm 50,9 \text{ kg}/100\text{m}^2$ ).

Comparando os meses (Fig. 9b), dezembro teve maior média de peso biomassa vegetal ( $250,3 \pm 82,3 \text{ kg}/100\text{m}^2$ ) se diferenciando estatisticamente. Amostras com o menor peso foram coletas em setembro ( $74,8 \pm 52,2 \text{ kg}/100\text{m}^2$ ). Março e junho tiveram peso total médio semelhantes ( $94,9 \pm 40,3$  e  $101,7 \pm 43,9$  respectivamente).

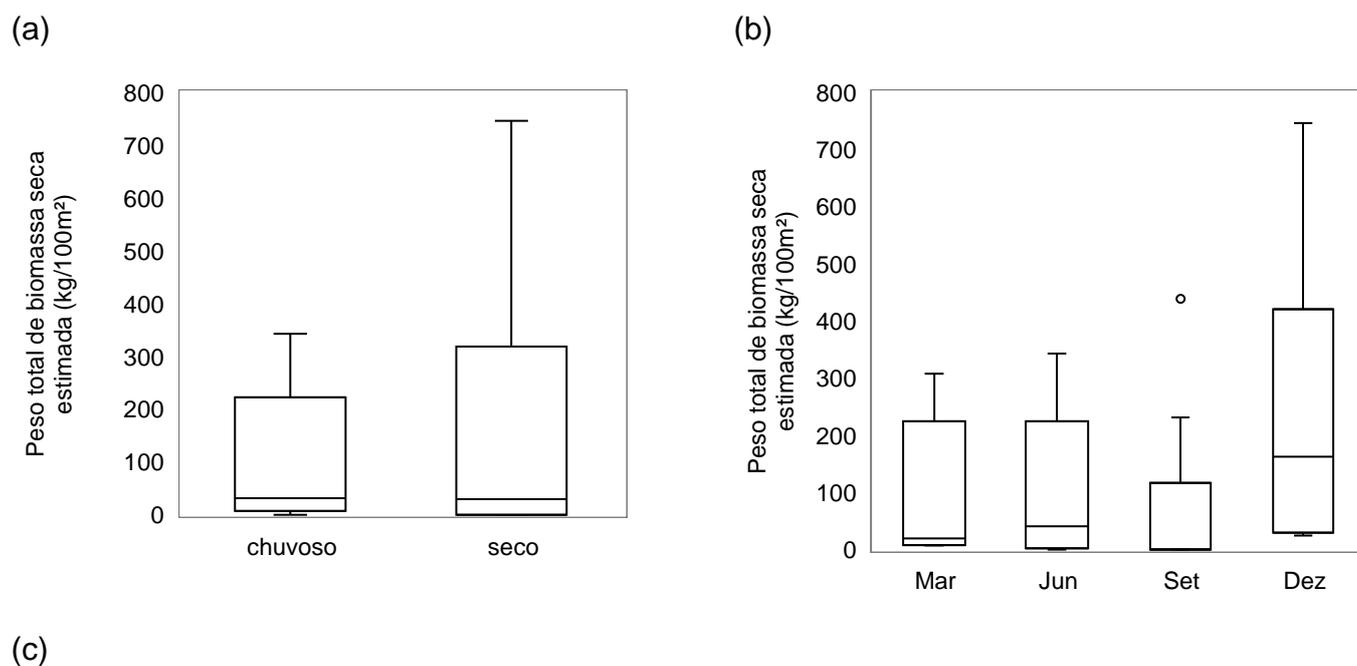
O peso médio de biomassa vegetal coletado foi diferente estatisticamente em relação às praias (Tabela 1). Sossego teve mais da metade de toda biomassa vegetal coletada ( $64,4\%$ ,  $252,5 \pm 41,4 \text{ kg}/100\text{m}^2$ ) com diferença significativa na comparação com Forte, que teve menos de 10% do total de biomassa vegetal e uma média de  $36,8 \pm 17,2 \text{ kg}/100\text{m}^2$ .

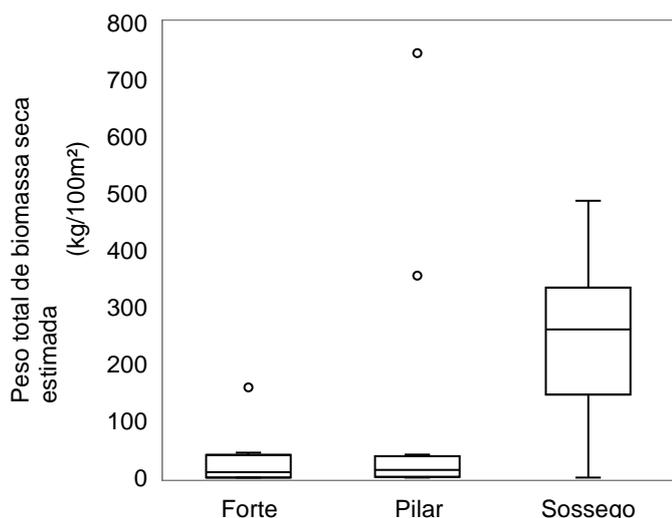
Tabela 1: Análise de Variância Multivariada com Permutações (PERMANOVA) para efeitos da estação, mês e praia sobre a biomassa vegetal (kg/100m<sup>2</sup>). Diferenças significativas representadas em negrito ( $p \leq 0,05$ ).

	Df	SumOfSqs	R <sup>2</sup>	F	Pr(>F)
Estação	1	1,179	0,03369	17,997	0,197
Mês	2	4,394	0,12554	33,528	<b>0,051</b>
Praia	2	9,178	0,26224	70,034	<b>0,002</b>
Estação:Praia	2	1,632	0,04663	12,453	0,303
Mês:Praia	4	2,889	0,08255	11,023	0,361
Resíduos	24	15,727	0,44934		
Total	35	35,000	100,000		

Fonte: A Autora (2024)

Fig. 9: Peso total de biomassa vegetal seca por estação (a), meses (b) e praias (c) coletadas.





Fonte: A Autora (2024)

Uma resposta de 58% da ocorrência do peso de biomassa vegetal em relação às variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição foi obtida pela Análise de Correspondência Canônica (CCA), com proporção cumulativa de 57% na CCA1 e 58% na CCA2 do total explicado (Tabela 2).

Tabela 2: Análise de Correspondência Canônica para biomassa vegetal com as variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição:

Particionamento de qui-quadrado em escala			Importância de componentes		
	Inércia	Proporção	CCA1	CCA2	
Total	0,3215	10000	Autovalor	0,1845	0,003898
Constrained	0,1884	0,5859	Explicação proporcional	0,5738	0,012123
Unconstrained	0,1331	0,4141	Proporção cumulativa	0,5738	0,585911

Biplot scores para as variáveis de construção:

	CCA1	CCA2
Cobertura	0,34054	-0,5691
Detrito	-0,52398	0,0182
Velocidade vento	-0,04984	0,1746
Direção vento	-0,08158	-0,4330
Período	0,07887	-0,2406
Altura	0,01694	0,2141
Direção onda	-0,01836	-0,2821
Precipitação	-0,01113	-0,2831

Fonte: A Autora (2024)

Testes de significância estatística em relação às variáveis explicativas e eixos da CCA indicaram que grau de cobertura, tipo de detrito, direção do vento e precipitação (Tabela 2) como principais fatores de resposta ao peso de biomassa vegetal nas praias. A primeira componente canônica (CCA1) explicou uma porção significativa da variação nos dados (Tabela 3). As amostras de biomassa vegetal do Forte foram distribuídas ao longo do eixo de CCA1 (Fig. 10), com influência das variáveis associadas a esse eixo, como grau de cobertura e tipo de detrito. Enquanto os pesos de biomassa vegetal presente no Pilar e no Sossego (Fig. 10) mostraram menor associação com as variáveis distribuídas em CCA1 e CCA2 (Tabela 4). Precipitação e velocidade do vento foram os fatores meteo-oceanográfico que mostraram correlação significativa com os eixos (Tabela 3).

Tabela 3: Teste de significância das variáveis na análise de correspondência canônica (CCA). Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ).

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
Cobertura	1	0,022657	45,946	<b>0,050</b>
Detrito	1	0,041928	85,027	<b>0,021</b>
Velocidade vento	1	0,015442	31,316	<b>0,052</b>
Direção vento	1	0,000206	0,0417	0,910
Período	1	0,006049	12,267	0,232
Altura	1	0,009165	18,586	0,135
Direção onda	1	0,000898	0,1822	0,665
Precipitação	1	0,092041	186,652	<b>0,001</b>
Resíduos	27	0,133140		

Fonte: A Autora (2024)

Tabela 4: Teste de importância dos eixos por Permutação. Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ).

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
CCA1	1	0,184488	457,269	<b>0,001</b>
CCA2	1	0,003898	0,9661	1,000
Resíduos	33	0,133140		

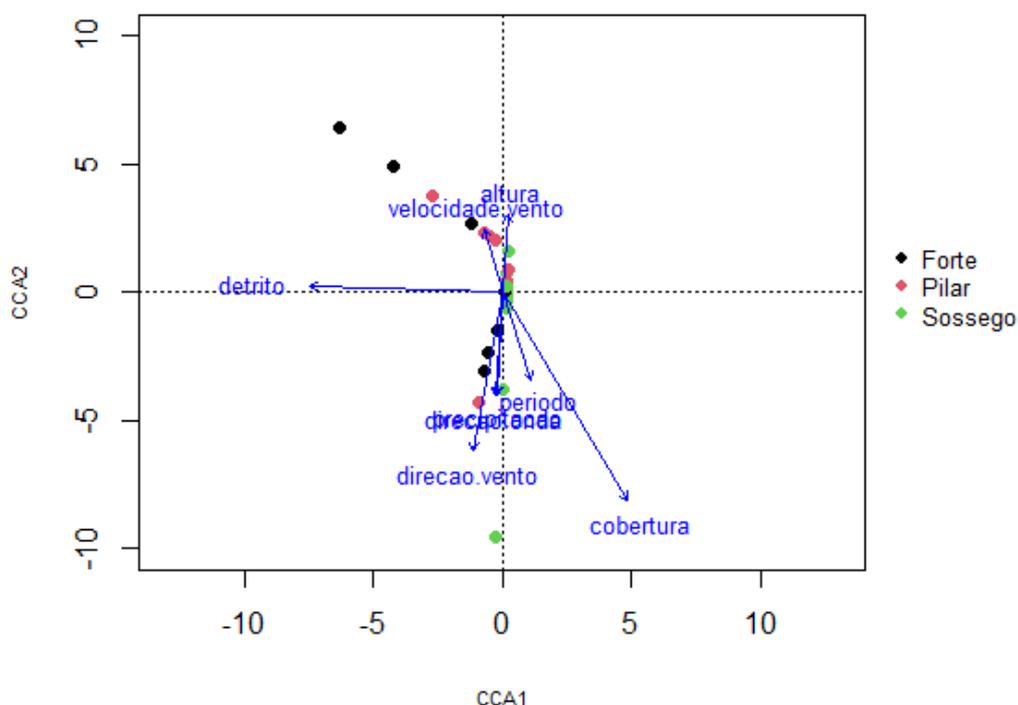
Fonte: A Autora (2024)

Quanto à classificação de grau de cobertura de vegetação nos quadrantes seis categorias, em termos de quantidades, foram usadas para análise de

fotografias dos quadrantes: categoria 0, categoria 1, categoria 2, categoria 3, categoria 4 e categoria 5 e em termos de estação climática, todas as categorias foram representativas tanto no período chuvoso quanto no período mais seco. Áreas não cobertas, raramente cobertas e intensamente cobertas foram as categorias com maior ocorrência (Tabela 9). Uma grande quantidade de áreas não cobertas ocorreu nos 3 primeiros meses de amostragem (maior ou igual 40%).

Quadrantes raramente cobertos (categoria 1) e levemente cobertos (categoria 2) foram observados com maior frequência em março (25,9% e 13,9% respectivamente) e dezembro (23,1% e 13,9% respectivamente) (Tabela 5). Em junho, a maioria das áreas foram classificadas nas categorias extremas, 0 (55,6%) e 5 (22,2%). Dezembro foi o mês com menor números de áreas sem cobertura (n=16) comparado a março (n=40), junho(n=60) e setembro (n=60). Em relação às praias, a tabela 3 mostra como Forte e Pilar tiveram mais da metade das suas áreas sem cobertura de biomassa vegetal (categoria 0), enquanto Sossego destaca-se como a praia com maiores percentagens de áreas levemente cobertas até áreas com intensa cobertura.

Fig. 10: Análises de Correspondência Canônica para relação entre o peso de biomassa vegetal, variáveis ambientais e fatores de composição (tipo e cobertura).



Fonte: A Autora (2024)

Tabela 5: Frequência de ocorrência (%) dos diferentes graus de cobertura (categorias de 0 a 5) por estação climática, mês e praia.

	0	1	2	3	4	5
Chuvoso	48,1	14,8	12,0	6,5	6,0	12,5
Seco	35,2	18,5	12,5	11,6	9,3	13,0
Mar	40,7	25,9	13,9	8,3	8,3	2,8
Jun	55,6	3,7	10,2	4,6	3,7	22,2
Set	55,6	13,9	11,1	6,5	6,5	6,5
Dez	14,8	23,1	13,9	16,7	12,0	19,4
Forte	56,3	20,8	10,4	5,6	6,3	0,7
Pilar	61,8	22,2	3,5	6,3	4,9	1,4
Sossego	6,9	6,9	22,9	15,3	11,8	36,1

Fonte: A Autora (2024)

### 3.3 Itens de lixo marinho

Um total de 2013 itens de lixo foram coletados em 3 praias da Ilha de Itamaracá. Plásticos representaram 72% dos itens de lixo (Fig. 11a). Vidro e cerâmica (19%), outros itens (4%), tecido, metal, borracha, madeira e isopor também estavam presentes embora tenham sido representados por menos 1% dos itens. Embalagens de alimentos de uso único (PL06) foram o tipo de plástico mais abundante com mais de 500 itens, seguidos por material de construção (GC01) e outros itens plásticos (PL24) como fragmentos rígidos e flexíveis, fragmentos de embalagens e rótulos (Fig. 11b). Todas as categorias foram descritas no Material Suplementar I.

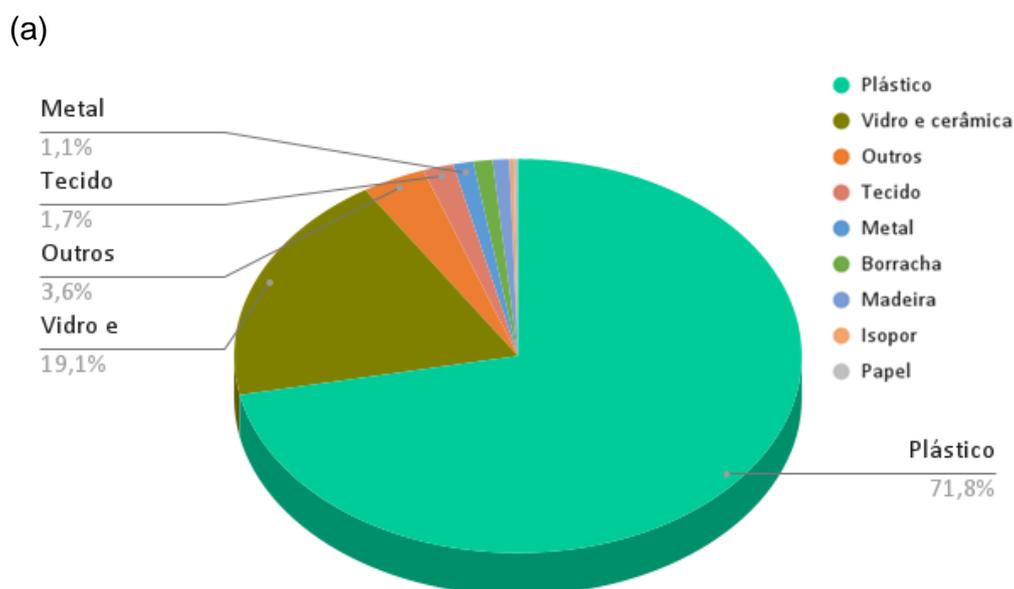
Não foram observadas diferenças estatísticas nessa concentração de lixo de acordo com os períodos climáticos e entre os meses (PERMANOVA,  $p \geq 0,05$ ). No entanto a PERMANOVA (Tabela 6; Fig. 13) mostrou diferenças significativas para as praias e na interação estação:praia ( $F = 49,9$ ;  $p \leq 0,05$ ).

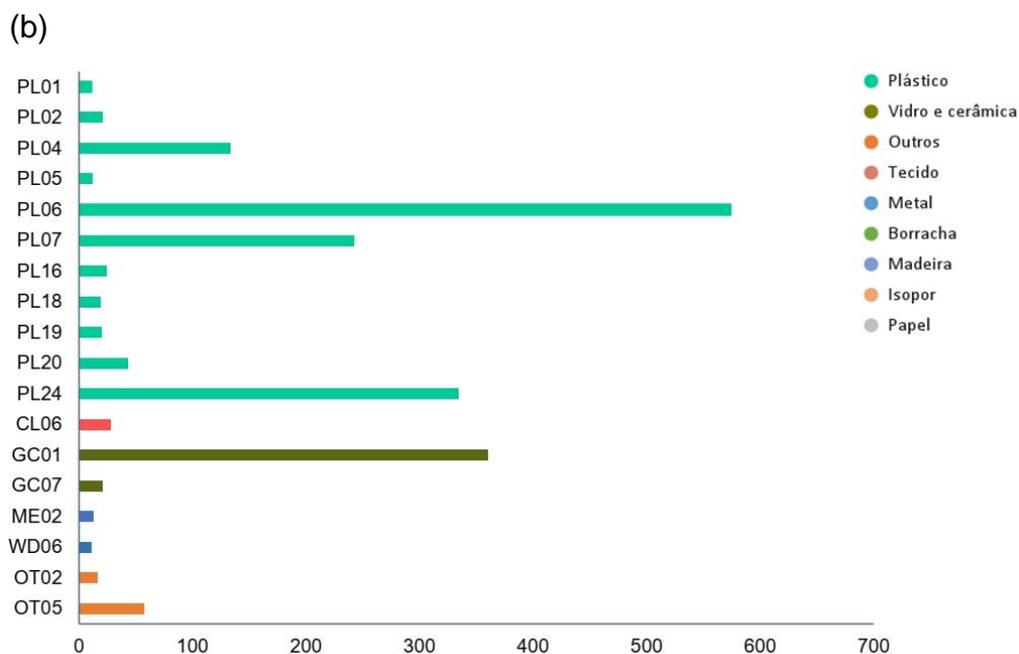
Embora não tenha apresentado diferenças estatísticas significativas, o período climático menos chuvoso (estação seca) teve maior densidade de itens de lixo (Fig. 13a), com um total de 1316 itens e média de  $73,11 \pm 26,16$  itens/100m<sup>2</sup> comparada com a estação chuvosa (697 itens) com uma média de  $38,72 \pm 10,74$  itens/m<sup>2</sup>.

Quanto as praias, nenhuma das comparações entre os pares de praias (post-hoc) resultou em diferenças estatísticas significativas, embora as comparações em termos de número total de itens diferem entre as praias analisadas. Mais de 70% ( $n = 969$ ) dos itens ocorreram no Sossego durante a estação seca. No Forte estavam 61,3% ( $n = 427$ ) dos itens coletados na estação chuvosa, enquanto Pilar e Sossego tiveram um total de 78 e 192 itens/m<sup>2</sup> respectivamente (Fig. 12b). No geral, Sossego foi representada por 57,67% dos itens de lixo coletados para o estudo, com um total de 1161 itens (média 96,75 itens/100m<sup>2</sup>). Essa praia também teve a maior densidade de itens plásticos, com 969 itens/100m<sup>2</sup> em setembro e dezembro (61,8%) e uma média anual de  $96,7 \pm 38,4$ . Essa média para o Forte foi igual a  $49,3 \pm 13,64$  itens/100m<sup>2</sup> (591 itens) e  $21,75 \pm 3,31$  itens/100m<sup>2</sup> (261 itens) no Pilar.

Em relação aos meses (Fig. 12a e 13c), a maioria dos itens de lixo coletados ocorreu em setembro 47,3% ( $n = 952$ ), seguido por dezembro (364 itens) com médias de  $105,78 \pm 50,14$  e  $40,44 \pm 11,26$  respectivamente. Março e junho tiveram número de itens de lixo semelhantes (339 e 358) representando 34,6% de todo material encontrado.

Fig.11: Material (a) e diversidade (b) de itens de lixo coletados nas praias da ilha de Itamaracá. \*(b) Representação para o total de lixo  $\geq 10$  itens por categoria.





Fonte: A Autora (2024)

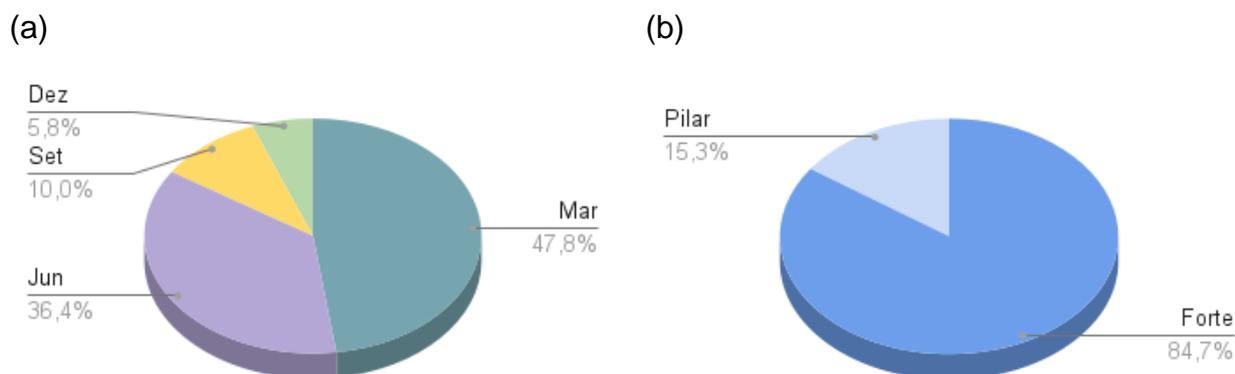
Tabela 6: Resultados da Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) para efeitos da estação, mês e praia sobre itens de lixo (itens/100m<sup>2</sup>). Diferenças significativas representadas em negrito ( $p \leq 0,05$ ).

	Df	SumOfSqs	R2	F	Pr(>F)
<b>Itens totais: 2013</b>					
Estação	1	1,459	0,04169	22,931	0,184
Mês	2	2,636	0,07532	20,713	0,151
Praia	2	4,737	0,13534	37,218	<b>0,026</b>
Estação:Praia	2	6,355	0,18156	49,930	<b>0,011</b>
Mês:Praia	4	4,541	0,12973	17,838	0,141
Resíduos	24	15,273	0,43636		
Total	35	35,000	100,000		
<b>Itens totais: 1651</b>					
Estação	1	2,925	0,08357	50,099	<b>0,010</b>
Mês	2	2,589	0,07398	22,174	0,110
Praia	2	6,626	0,18932	56,748	<b>0,005</b>
Estação:Praia	2	4,275	0,12215	36,614	<b>0,022</b>
Mês:Praia	4	4,573	0,13066	19,582	0,092
Resíduos	24	14,012	0,40033		
Total	35	35,000	100,000		

Fonte: A Autora (2024)

Do total de 2013 itens 362 objetos foram classificados na categoria de detritos relacionados resto de construção. O total sem a categoria de resto de construção foi igual a 1651 itens, abordados aqui separadamente. Mais itens ligados a resto de material de construção ocorreram no período chuvoso ( $n = 303$ ) em comparação ao período com menos chuva ( $n = 57$ ). Em relação aos meses (Fig. 12a), esses itens tiveram maior abundância em março (47,8%) e em junho (36,4%) referente ao total de itens classificados como GC01 ( $n = 360$ ). No Sossego esses detritos estavam ausentes, enquanto 305 itens estavam presentes no Forte e 55 no Pilar (Fig. 12b). A ocorrência desses itens de lixo distribuídos sob efeito das variáveis foi descrita na figura 11 através da Análise de Correspondência Canônica (CCA).

Fig. 12: Abundância de itens relacionados a resto de material de construção por mês (a) e por praia (b).



Fonte: A Autora (2024)

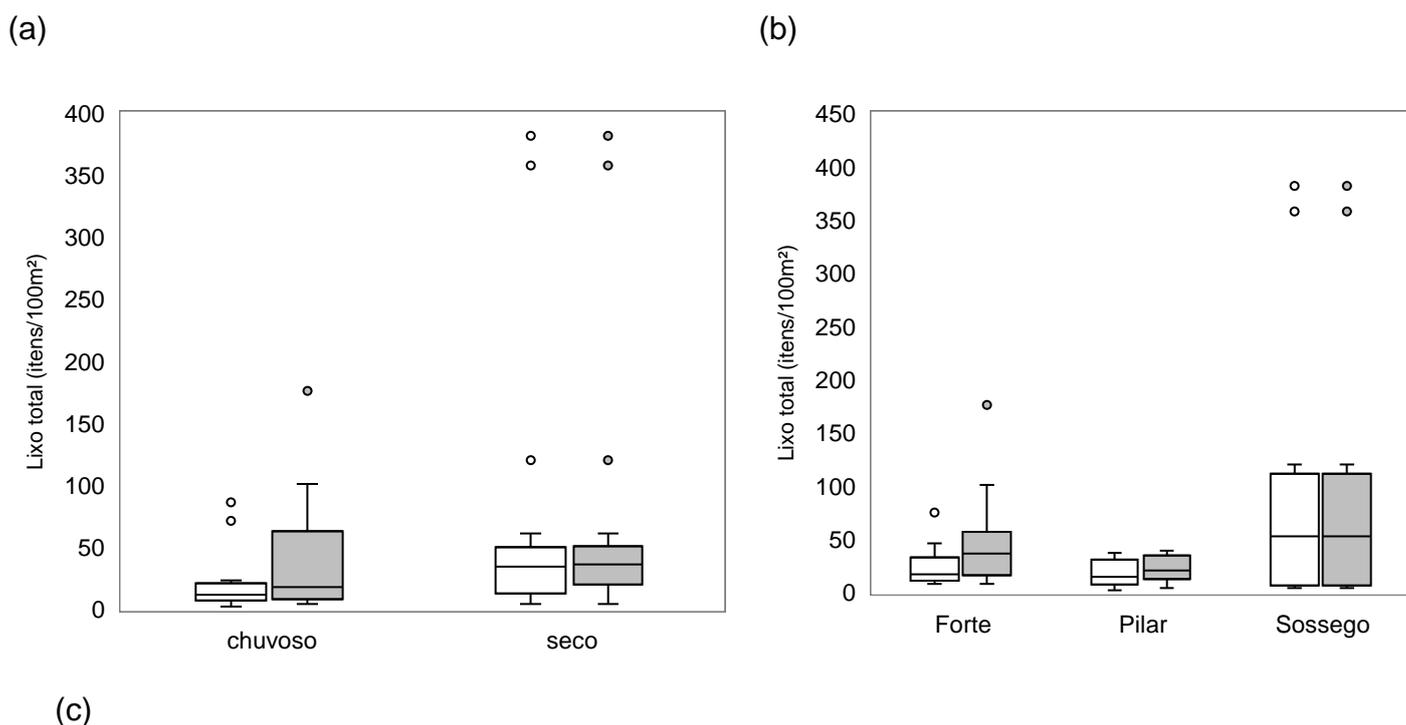
Quando os itens de lixo totalizaram 1651 detritos, a estação climática ( $F = 50,0$ ;  $p \leq 0,05$ ), as três praias ( $F = 56,7$ ;  $p \leq 0,05$ ) e a interação estação:praia ( $F = 36,1$ ;  $p \leq 0,05$ ) apresentaram diferenças estatísticas significativas. Os padrões estatísticos para o fator praia e o fator interação apresentaram semelhanças com os resultados observados também para o total de 2013 itens (Tabela 6).

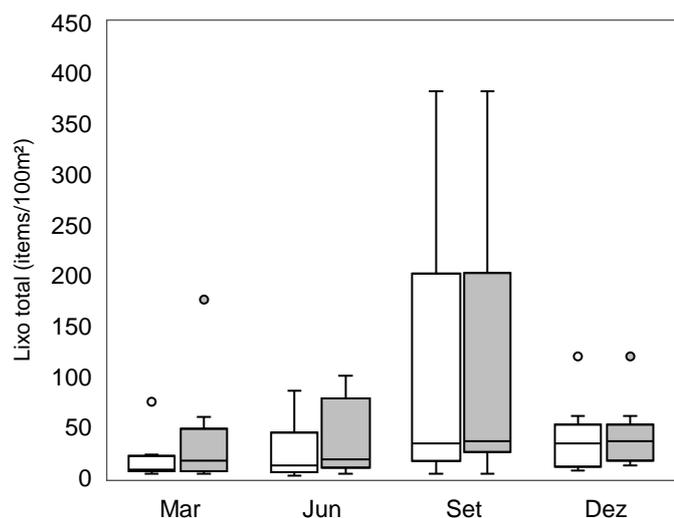
Quanto aos períodos climáticos, o período seco se manteve como estação com mais itens de lixo (Fig. 13a), com uma média de  $69,83 \pm 26,51$  itens/100m<sup>2</sup> comparada com a classificação para os 2013 itens ( $73,11 \pm 26,15$  itens/100m<sup>2</sup>).

Em relação às praias, dos 591 itens classificados 15% (n=307) eram relacionados a restos de construção na praia do Forte e quase 3% (n=55) no Pilar, que teve um total de 261 itens. Sossego foi a única praia em que esses itens não estavam presentes (Fig. 13b) e apresentou diferenças estatísticas em relação às outras ( $p \leq 0,05$ ) nas comparações entre os pares de praias (post-hoc). As concentrações médias dos itens foi de  $23,6 \pm 5,73$  itens/100m<sup>2</sup> no Forte,  $17,16 \pm 3,54$  itens/100m<sup>2</sup> no Pilar e  $96,75 \pm 38,40$  itens/100m<sup>2</sup> no Sossego.

Embora não tenha apresentado diferenças estatísticas, a maior diferença no número de itens ocorreu em março (n=172) e junho (n= 131). Setembro e dezembro mantiveram médias semelhantes para um total de 2013 e 1651 itens (Fig. 9c) respectivamente: setembro  $105,77 \pm 50,13$  e  $101,55 \pm 50,94$  itens/100m<sup>2</sup>; dezembro  $40,44 \pm 11,26$  e  $38,11 \pm 11,85$  itens/100m<sup>2</sup>.

Fig.13: Número de itens por período climático (a), praias amostradas (b) e meses coletados na Ilha de Itamaracá (c) para um total de 1651 itens (□) e itens de 2013 (■).





Fonte: A Autora (2024)

Variáveis meteo-oceanográficas (velocidade e direção do vento, altura, período e direção da onda e precipitação) junto aos fatores de composição (grau de cobertura e tipo de detrito) foram responsáveis pela ocorrência de 39% dos itens de lixo nas 3 praias segundo a Análise de Correspondência Canônica (CCA). A proporção de explicação foi de 22% da CCA1 e 31% da CCA2 (Tabela 7).

Tabela 7: Análise de Correspondência Canônica para itens de lixo com as variáveis meteo-oceanográficas e fatores de composição.

Particionamento de qui-quadrado em escala:

	Inércia	Proporção
Total	0,21325	10000
Constrained	0,08471	0,3972
Unconstrained	0,12854	0,6028

Importância de componentes:

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6	CCA7	CCA8
Autovalor	0,04751	0,01960	0,006126	0,005218	0,004913	0,0009288	0,0003348	0,00008349
Proporção explicada	0,22278	0,09191	0,028726	0,024470	0,023038	0,0043554	0,0015699	0,00039152
Proporção cumulativa	0,22278	0,31470	0,343423	0,367894	0,390932	0,3952869	0,3968568	0,39724829

Biplot scores para as variáveis de construção:

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6
Cobertura	-0,697382	-0,29529	-0,17142	0,32018	0,06236	0,44282
Detrito	0,719213	-0,24712	0,43118	-0,16461	-0,22761	0,01419

Velocidade vento	0,007369	0,67076	0,01406	0,04265	-0,23022	0,16019
Direção vento	0,197503	-0,25904	-0,85552	-0,24142	-0,15844	-0,15714
Período	-0,238182	-0,30931	-0,17760	0,54613	-0,55118	-0,32247
Altura	0,059340	0,19961	0,25670	-0,17487	0,76748	0,02842
Direção onda	-0,094955	0,06861	-0,44809	-0,02978	-0,67423	0,49805
Precipitação	0,236026	-0,24715	-0,42982	0,49737	-0,54897	0,07723

Fonte: A Autora (2024)

Quanto aos testes de significância estatística em relação ao conjunto de variáveis explicativas e eixos da CCA, foi realizada permutação com modelo reduzido com 999 permutações, indicando que grau de cobertura, tipo de detrito, direção do vento e precipitação (Tabela 8) foram as principais variáveis responsáveis pela distribuição do lixo nas praias sendo significativas no modelo da CCA ( $p \leq 0,05$ ), sendo o eixo CCA1 o mais significativo (Tabela 9).

Tabela 8: Teste de significância das variáveis na análise de correspondência canônica (CCA). Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ).

	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
Cobertura	1	0,025746	54,082	<b>0,001</b>
Detrito	1	0,014773	31,032	<b>0,020</b>
Velocidade vento	1	0,012877	27,049	<b>0,037</b>
Direção vento	1	0,007982	16,767	0,150
Período	1	0,004022	0,8448	0,456
Altura	1	0,002075	0,4358	0,809
Direção onda	1	0,002624	0,5512	0,728
Precipitação	1	0,014614	30,699	<b>0,023</b>
Resíduos	27	0,128536		

Fonte: A Autora (2024)

Tabela 9: Teste de importância dos eixos por Permutação. Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ).

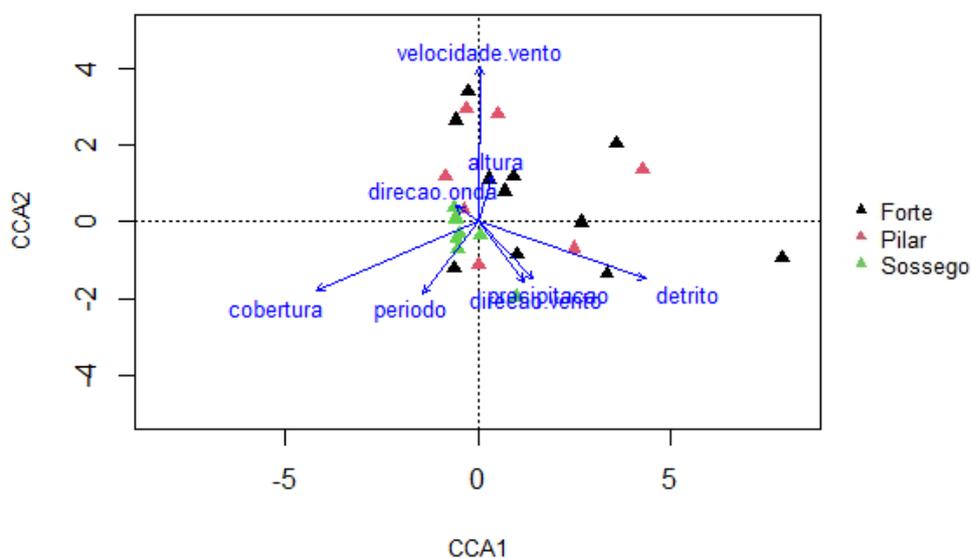
	Df	ChiSquare	F	Pr(>F)
CCA1	1	0,047508	99,795	<b>0,006</b>
CCA2	1	0,019601	41,173	0,194
CCA3	1	0,006126	12,868	0,987
CCA4	1	0,005218	10,961	0,986
CCA5	1	0,004913	10,320	0,953
CCA6	1	0,000929	0,1951	1,000
CCA7	1	0,000335	0,0703	1,000
CCA8	1	0,000083	0,0175	1,000

Resíduos	27	0,128536
----------	----	----------

Fonte: A Autora (2024)

O lixo presente no Sossego e no Pilar ocorreu em resposta ao grau de cobertura e período da onda, enquanto o lixo observado no Forte teve forte relação com tipo de detrito e precipitação registrados nessa área. O eixo CCA1 mostrou uma associação positiva com os fatores que influenciaram os itens do Forte e uma associação negativa com a cobertura e período (Fig. 14). O eixo CCA2, embora sem significância estatística, mostrou forte associação positiva com velocidade do vento, que influenciou algumas amostras coletadas nos transectos do Forte.

Fig. 14: Análises de Correspondência Canônica para relação entre o lixo das praias, variáveis ambientais e fatores de composição.



Fonte: A Autora (2024)

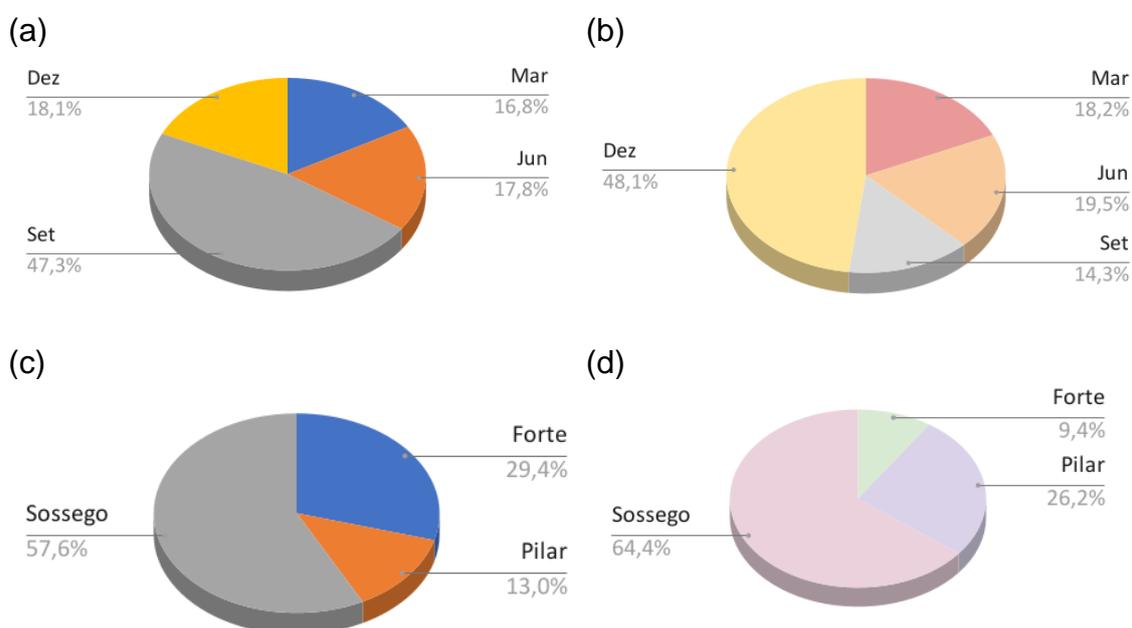
### 3.4 Lixo e Arribadas

Do total de 2013 itens de lixo, sem a separação dos itens de vidro e cerâmica, 16,8% ocorreram em março, 17,7% em junho, 47,2% setembro e 18% em dezembro. Ao longo do estudo foi coletado um total de 4.704,026 kg/100m<sup>2</sup> de detritos naturais. A figura 15 mostra o registro cumulativo de áreas de

ocorrência para cada mês e praia para os itens de lixo e para a biomassa seca. Toda a biomassa vegetal resultante da amostragem de dezembro (Fig. 15a) foi de aproximadamente 48% de todo material vegetal coletado. Essa quantidade de biomassa vegetal, em termos de área, foi maior do que o número de itens (18%) em dezembro (Fig. 15a). Itens de lixo e a biomassa tiveram uma ocorrência proporcional em março e junho. Quantidades inversas ocorreram em setembro e dezembro. O mês com mais itens de lixo foi também o mês com áreas de menor acúmulo de biomassa vegetal.

Em relação aos locais, a proporção de áreas com lixo e com biomassa vegetal foi próxima no Sossego. No Forte foi observado mais itens de lixo do que biomassa áreas com grandes quantidades biomassa vegetal (Fig. 15b). Do total de toda a biomassa vegetal coletada nas praias, Pilar foi a segunda praia com mais arribadas, com 26%, mostrado na figura 15d e teve menor quantidade de lixo (13%) em relação às outras praias.

Fig.15: Porcentagem de lixo marinho total por mês (a) e por praia (c) e biomassa vegetal estimada acumulada por mês (b) e por praia (d).



Fonte: A Autora (2024)

Um total de 432 quadrantes, de 1m<sup>2</sup>, foram coletados e noventa e cinco áreas apresentaram itens de lixo ausentes, representando 21% (n = 95) do total, enquanto 19% das áreas continham detritos naturais. Todos os meses

apresentaram quadrantes vazios. As áreas coincidentes, sem lixo e sem detrito natural, foram quase 7% ( $n = 30$ ). Essas áreas ocorreram em maior número em junho ( $n = 18$ ), seguido por setembro ( $n = 6$ ), março ( $n = 3$ ) e dezembro ( $n = 3$ ).

Em março 80 áreas (74%) tiveram pelos menos um item de lixo, enquanto que 91 (84,85%) das 108 analisadas para esse mês continham algum detrito natural. Um pouco mais da metade das áreas de junho ( $n = 63$ ; 58,33%) também continha algum item de lixo e detrito natural foi observado em 71 (65,74%). Comparando essas áreas de ocorrência, setembro foi o mês com mais itens (88,11%) do que detrito (75%). Em dezembro quase todas as áreas com lixo ( $n = 97$ ; 89,81%) também detritos naturais também estavam presentes ( $n = 104$ ; 96,29%).

Para explorar a interação dos dados de lixo (número de itens) e biomassa vegetal (peso total) foi aplicada Análise multivariada permutacional de variância (PERMANOVA) descrita na tabela 10. Estação climática, mês, praia e a interação estação:praia responderam com diferenças significativas. No teste a posteriori (*pair-wise test*) nenhuma das comparações entre os meses resultou em uma diferença estatisticamente significativa, portanto não houveram evidências de que os meses diferem entre si em termos de lixo e biomassa vegetal. Já na combinação para as praias, Forte e Sossego e Pilar e Sossego foram estatisticamente diferentes, indicando grande variabilidade nos dados do Sossego em relação às outras praias.

Tabela 10: Resultado da PERMANOVA para itens de lixo e biomassa vegetal considerando estação climática, praia, mês e interações. Em negrito os valores com significância ( $p \leq 0,05$ ).

	Df	SumOfSqs	R2	F	Pr(>F)
Estação	1	4,104	0,05863	3,3122	<b>0,040</b>
Mês	2	6,983	0,09976	2,8178	<b>0,027</b>
Praia	2	15,805	0,22578	6,3774	<b>0,001</b>
Estação:Praia	2	5,907	0,08439	2,3837	<b>0,050</b>
Mês:Praia	4	7,462	0,10660	1,5056	0,163
Resíduos	24	29,738	0,42484		
Total	35	70,000	100,000		

Fonte: A Autora (2024)

Os padrões espaciais de interação entre esses detritos (lixo e arribadas) foram visualizados usando a técnica não-métrica de ordenação de escala

multidimensional (NMDS). Variáveis meteo-oceanográficas e os fatores de composição dos detritos foram usados na construção do NMDS (Fig. 16a). O gráfico das duas primeiras dimensões revelou que as amostras foram organizadas com uma distribuição temporal ao longo dos meses (Fig. 16b).

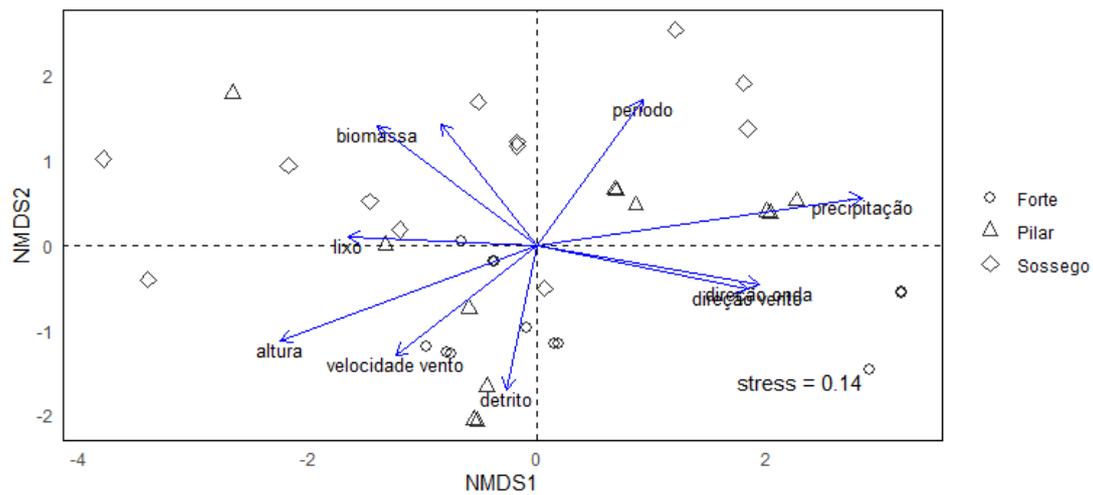
Em março as amostras do Pilar e Sossego se relacionaram com grau de cobertura e período da onda, enquanto em junho a distribuição sugere associação com período da onda, precipitação, direção do vento e da onda. Um agrupamento dos dados do Pilar e Sossego, sugere uma similaridade entre as amostras em junho. A dimensão NMDS2 permitiu visualização das amostras de setembro relacionadas com o tipo de detrito e um grupo (Sossego) pela altura da onda e de itens de lixo. O peso da biomassa vegetal diferenciou os dados de dezembro. As amostras distribuídas ao longo do eixo NMDS1 sugere que os detritos que ocorreram em março, setembro e dezembro possuíam maior variação entre as praias.

Uma correlação positiva ( $\rho = 0.58510$ ) foi observada entre os itens de lixo e velocidade do vento, com  $p \leq 0,05$ , indicando uma associação estatisticamente significativa entre essas duas variáveis (Tabela 11). O peso da biomassa vegetal e o grau de cobertura também mostraram correlações positivas fracas e significativas com o lixo.

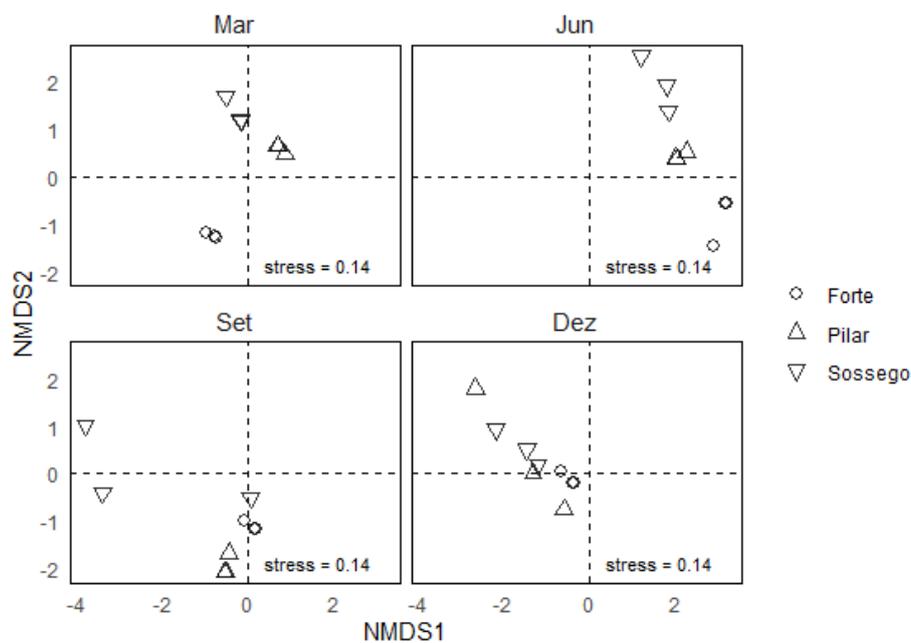
O peso da biomassa vegetal encontrado nas praias esteve fortemente correlacionado de forma positiva com o grau de cobertura ( $\rho = 0,81755$ ) e em menor intensidade com período da onda ( $\rho = 0.35633$ ) como apresentado na tabela 11. A direção da onda mostrou correlação negativa ( $\rho = -0,31715$ ) com o detrito natural. As três variáveis foram estatisticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ). Quanto à relação ao tipo de detrito (Tabela 11), a maioria das variáveis tem correlações muito fracas e valores de  $p$  indicando que suas correlações não são estatisticamente significativas. Apenas velocidade do vento mostrou uma correlação positiva moderada indica uma correlação positiva moderada estatisticamente significativa ( $\rho = 0,34020$  e  $p \leq 0,05$ ).

Fig. 16: Gráficos de ordenação em escala multidimensional não métrica (NMDS) para itens de lixo e biomassa vegetal estimada nas praias da Ilha de Itamaracá com variáveis ambientais e fatores de composição (a) e de acordo com os meses de amostragem (b).

(a)



(b)



Fonte: A Autora (2024)

Tabela 11: Correlações de Spearman para os itens de lixo e peso de biomassa vegetal versus variáveis ambientais e fatores de composição. Valores em negrito indicam significância ( $p \leq 0,05$ ).

	rho	p-valor
Lixo		
detrito	0,21554	0,206760901
cobertura	<b>0,44869</b>	<b>0,006055658</b>
biomassa vegetal	<b>0,32487</b>	<b>0,05320433</b>

	velocidade vento	<b>0,58511</b>	<b>0,000178198</b>
	direção vento	-0,04349	0,801145022
	período	-0,12347	0,473108087
	altura onda	0,20812	0,223206653
	direção onda	0,07061	0,682398002
	precipitação	-0,30282	0,072622614
Biomassa vegetal	detrito	-0,02223	0,897597184
	cobertura	<b>0,81755</b>	<b>1,16226E-09</b>
	lixo	<b>0,32487</b>	<b>0,05320433</b>
	velocidade vento	-0,00991	0,954248026
	direção vento	-0,26964	0,111747852
	período	<b>0,35633</b>	<b>0,032918891</b>
	altura onda	0,17373	0,310902388
	direção onda	<b>-0,31715</b>	<b>0,059469925</b>
	precipitação	-0,20807	0,223313018
Tipo de detrito	cobertura	-0,05299	0,75889333
	lixo	0,21554	0,2067609
	biomassa vegetal	-0,02223	0,89759718
	velocidade vento	<b>0,34020</b>	<b>0,04234222</b>
	direção vento	-0,01430	0,93404184
	período	-0,15790	0,35770995
	altura onda	0,27011	0,11110214
	direção onda	-0,12913	0,4529144
	precipitação	-0,10879	0,52765478

Fonte: A Autora (2024)

### 3.4.1 Potencial de emaranhamento

Os itens foram distribuídos em 49 categorias e as categorias mais abundantes em termos de formato foram recipientes para alimentos e vidro e cerâmica. Dentro da classificação do potencial de emaranhamento os recipientes para alimentos foram classificados como itens ociosos com baixo grau de emaranhamento e vidro e cerâmica como itens sólidos com grau muito baixo de emaranhamento. No entanto, em uma análise mais detalhada, os recipientes para alimentos também incluem fragmentos de copo (Fig. 17c) que têm potencial de emaranhamento muito alto.

Fig. 17: Exemplos de itens e formas de lixo encontrados nas praias da Ilha de Itamaracá. (a) LI - Itens de linhas (emaranhamento muito alto); (b) S - Itens sólidos (emaranhamento muito

baixo); (c) O - Itens ocós degradados (emaranhamento baixo na forma original); (d)MS - Misturados; (e) Emaranhados; (f) LM - Itens Laminares (emaranhamento alto).



Fonte: A Autora (2024)

Itens sólidos e ocós foram os mais comuns nas amostras de março e junho, com vidro e cerâmica (Fig. 17d) e embalagens de alimentos. Itens ocós e laminares estavam em abundância em setembro e dezembro (Tabela 12) representados por embalagens de alimentos e sacolas plásticas (Fig. 17c). Itens sólidos e ocós foram os mais comuns nas amostras de março e junho, com vidro e cerâmica (Fig. 17d) e embalagens de alimentos. Itens ocós e laminares estavam em abundância em setembro e dezembro (Tabela 12) representados por embalagens de alimentos e sacolas plásticas (Fig. 17c).

Tabela 12: Abundância de formas em função dos meses e praias de amostragem de itens de lixo na Ilha de Itamaracá.

	Março	Junho	Setembro	Dezembro	Forte	Pilar	Sossego
O	33	104	341	139	91	65	460
LI	19	20	83	45	28	42	91
LM	20	30	209	79	47	87	463
S	195	166	145	51	347	66	143
MS	71	38	174	51	78	1	4

Fonte: A Autora (2024)

Os outros itens sólidos, além dos itens de vidro e cerâmica, foram registrados em março, incluindo plásticos, metal, madeira e outros. Itens de linha (Fig. 16a) estavam entre as formas mais abundantes de materiais plásticos que também abrangueu rede de pesca, sacos plásticos de tecido, equipamentos de

pesca e corda. A rede de pesca foi o item laminar mais abundante em março (n = 16) de um total de 21 objetos. Embalagens de alimento dominaram os itens ocios de março, com 22 dos 33 itens que continham também tampas de garrafas, tampas e garrafas. Alguns itens tinham formatos combinados, então itens mistos com emaranhamento médio foram definidos como “MS” (misturados, itens sólido-laminares). O formato MS em março continha 71 tipos de outros itens plásticos divididos em fragmentos de embalagem, cabos de energia, peças de plástico rígido e emaranhados.

Mais de 70% dos itens encontrados em junho eram ocios (104) ou sólidos (166). Objetos classificados como MS de junho eram semelhantes aos itens MS de março. Formas laminares nesse mês tiveram maior diversidade, incluindo sacolas plásticas, embalagens de bebidas, cordas, tecidos, fragmentos de vidro ou cerâmica, embalagens de papel alumínio e balões. Itens relacionados à pesca tiveram 20 peças em formato de linha.

O lixo de setembro continha todas as formas descritas na tabela 12. Eram itens de linha (n = 83), laminares (n = 209), ocios (n = 341), sólidos (n = 145) e misturados (n = 174). A forma mais abundante, itens ocios, continha lixo composto de plástico, espuma, vidro e cerâmica, metal, papel e borracha. Embalagens de alimentos representaram 93% dos itens ocios. O maior número de lixo amostrado para dezembro foi classificado como itens ocios e laminados, seguidos por itens sólidos, MS e de linha (Tabela 10). O plástico foi o material mais abundante, observado na forma oca (n = 133) e laminar (n = 61), compostos por recipientes para alimentos e sacos plásticos.

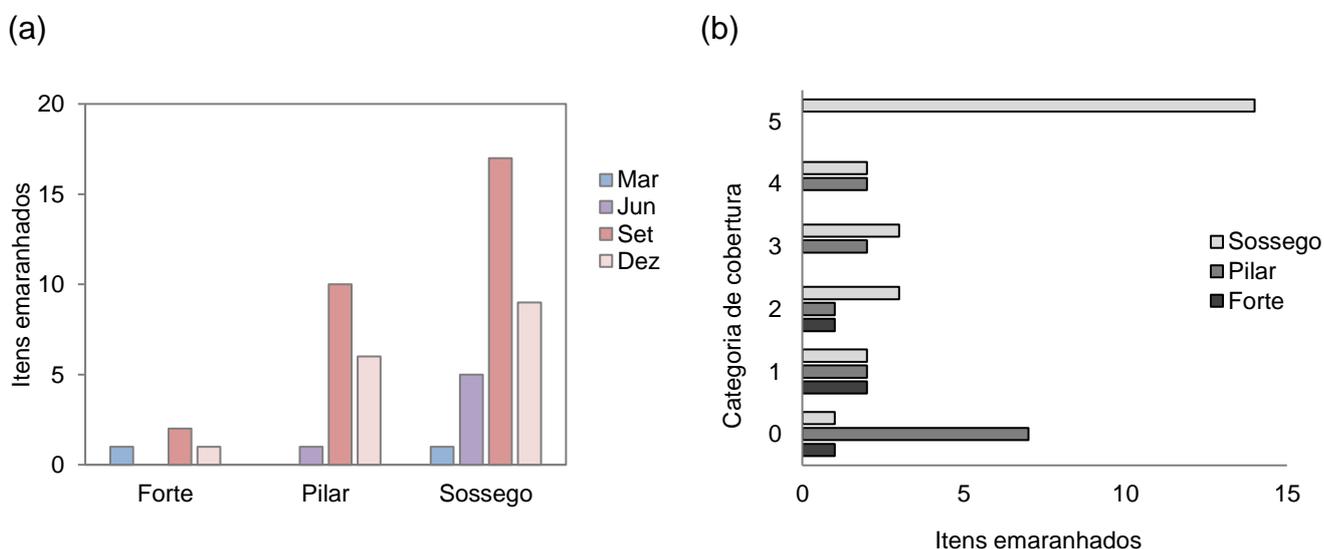
Quanto às praias, no Forte a forma mais abundante foi o lixo sólido (n = 347). No Pilar (n = 87) e no Sossego (n = 463) lixo em formato laminar foram maioria. Ainda no Sossego itens ocios (n = 460) e sólidos (n = 143) também estavam presentes nas amostras de lixo.

#### 3.4.2 Emaranhados

Cerca de 53 itens de lixo coletados na Ilha de Itamaracá foram identificados como itens de emaranhamento (Fig. 18a). O acúmulo desses itens ocorreu em 44 quadrantes com diferentes padrões de distribuição e categorias de cobertura (Fig. 18b) ao longo dos meses e das praias.

Setembro e dezembro tiveram grande número de emaranhados quando comparados aos outros meses (29 e 16 emaranhados, respectivamente). Em março, corda, linha de náilon e saco plástico fragmentado foram identificados nos 2 emaranhados no Forte e no Sossego. Os transectos do Forte onde esses itens foram encontrados possuíam material arribado composto por restos de manguezal (poucas folhas) e macroalgas no Sossego. Os quadrantes de ocorrência desses emaranhados na classificação do grau de cobertura de detritos foram identificados (Fig. 19b) como não cobertos (<1%) e fortemente cobertos (51 - 75%).

Fig. 18: Número total de itens emaranhados ao longo dos meses nas praias (a) e categoria coberta por detritos naturais nas praias (b).



Fonte: A Autora (2024)

Fragmentos de sacos de rafia, nylon de linha e retalhos de tecido foram observados emaranhados de junho distribuídos em 6 quadrantes, em um transecto do Pilar e 2 do Sossego. O transecto do Pilar era composto por fragmentos de macroalga e com áreas onde o detrito estava praticamente ausente, enquanto nos outros dois transectos macroalgas estavam presentes no Sossego. Os quadrantes apresentaram diferentes graus de cobertura de: não coberto (1 quadrante no Pilar) a intensamente cobertos (5 quadrantes no Sossego).

Os emaranhados de setembro possuíam cordas, redes de frutas, sacos plásticos, fragmentos de sacos rafia, linhas de pesca, raízes e fibras de algodão.

Um total de 29 emaranhados foram coletados nas três praias nesse período. As áreas de origem dos emaranhados tiveram composição de material diversificada, com detritos de mangue (folhas), macroalgas e fanerógamas marinhas. A maioria dos itens emaranhados de setembro estava no Sossego, com quadrantes intensamente cobertos e no Pilar, em áreas sem cobertura ou raramente cobertas.

Em dezembro, nos itens emaranhados haviam sacos plásticos, redes de pesca e fitas de saco de ráfia. Todos os transectos emaranhados, 1 no Forte, 2 no Pilar e 3 no Sossego, eram compostos por macroalgas e todos os quadrantes apresentaram grau de cobertura de raramente coberto a intensamente coberto. Um total de 16 emaranhados foram identificados nas amostras de dezembro.

Do total de 43 áreas com itens emaranhados, o local com maior grau de cobertura de detritos ocorreu no Sossego (categoria 5) como mostra a figura 18b. Mais da metade (60,3%) dos emaranhados foram coletados nessa praia, enquanto 32% dos emaranhados estavam nas amostras do Pilar em 7 quadrantes sem cobertura do total de 14 com emaranhados. Na praia do Forte 4 emaranhados foram observados em quadrantes das categorias de 0 a 2 (< 1% a 25% de cobertura), com pelo menos 1 item em cada mês, exceto em junho (Fig. 18a).

## **4 DISCUSSÃO**

### **4.1 Variáveis meteo-oceanográficas**

O presente estudo registrou valores de precipitação acima da média histórica para Itamaracá. Em 2022, maio registrou quase o dobro do valor para a precipitação histórica da ilha. Do final de maio ao início de junho, chuvas intensas assim como inundações e deslizamentos foram registrados em todo o estado (MARENGO et al., 2023). Essas chuvas fortes resultaram em impactos econômicos, sociais e ambientais em várias cidades e mostrando necessidade de cidades costeiras, como Itamaracá, de lidar com extremos climáticos.

O litoral da ilha é dominado por corrente de maré, que têm sua velocidade aumentado em períodos chuvosos (ARAÚJO, 2022). Somado a isso, o resultado de chuvas intensas na ilha pode ser muito influenciado pela dinâmica dessas

marés. Essa dinâmica é mais forte perto da zona costeira e mais fraca na zona urbana (MARENCO et al., 2023), onde a contribuição da precipitação para a ocorrência de impactos como enchentes por exemplo, é mais importante do que as influências da maré (YONEHARA & KAWASAKI, 2020).

Para as 3 praias a direção de ventos predominantes de SE e as velocidades médias semelhantes entre 3,5 e 3,7 m/s se deve a proximidade das mesmas. A praia do Pilar e do Sossego são separadas por menos de 4km, enquanto a praia do Forte está a aproximadamente 8,5km do Pilar. Assim, mesmo com características físicas diferentes, as praias estão sob os efeitos dos mesmos ventos, com exceção do Forte, que se configura como um pontal no sentido sul da ilha, onde o efeito do fluxo das correntes de maré domina a morfodinâmica local (ARAÚJO et al., 2021). Ventos mais intensos registrados tanto no Pilar quanto no Sossego podem ser resultado da localização, que são mais expostas à ação direta dos ventos costeiros ao longo da margem norte da ilha.

Em relação aos ventos observados de março a dezembro, estes apresentaram direção predominante de sudeste (SE) e de leste (E), assim como descreve a literatura para a região (ALMEIDA, 2018; ARAÚJO et al., 2021). Ventos mais intensos foram registrados em setembro e dezembro, corroborando com os dados já conhecidos para a ilha com períodos de maior velocidade entre julho a outubro e menor velocidade entre dezembro a março (ALMEIDA, 2018). Domingues et al. (2017) descrevem o regime de ventos local controlado pelo sistema semipermanente de alta pressão do Oceano Atlântico Sul com direção predominante E no verão e SE no inverno.

Ventos de SE ocorreram em setembro, seguindo um padrão para fevereiro a setembro, com velocidades de 2,6 a 4,0 m/s e aumento da intensidade de junho a setembro com valores  $\geq 10$  m/s (BEZERRA, 2013). De abril a setembro, Araújo et al. (2021) também observaram ventos de SE (142°) com velocidade média de 5,7 m/s.

Comparando os dois primeiros meses (março e junho) com os registros do estudo durante setembro e dezembro, foi possível verificar um aumento na intensidade dos registros de velocidade passando da escala de 1 a 5 m/s para 3 a 7 m/s. Ventos mais fortes num período de abril a setembro já tinham sido

observados por Medeiros & Kjerfve (1993). Em dezembro ventos de E foram predominantes de 3 a  $\geq 5$  m/s. Ventos de leste e menos intensos foram descritos para ilha nos meses de novembro e dezembro (ALMEIDA, 2018).

As direções predominantes das ondas foram E-SE, associadas a uma altura máxima ( $H_{m\acute{a}x}$ ) de 1,6m no Forte e uma altura mínima ( $H_{m\acute{i}n}$ ) de 0,94m no Pilar. Essas direções, altura e períodos de 5 a 7s dominam a ilha durante o ano todo (ALMEIDA, 2018). Março registou a  $H_{m\acute{a}x}$  com pico de período igual a 13s no Sossego, enquanto junho, mês chuvoso, teve a  $H_{m\acute{i}n}$  e o menor valor de período 6,7s no Pilar. Assim, compreende-se que em períodos mais chuvosos ondas (0,9 a 1,2m) e períodos menores estão presentes, enquanto que em setembro e dezembro, meses mais secos, ocorreram maiores médias de alturas de ondas (1,2 a 1,5m).

Um período  $\geq 11$ s também ocorreu ligado a estação chuvosa e às direções de onda de E-SE. Ondas de SE prevalecem também nos achados de Araújo et al. (2021) nessa estação, assim como ondas de E e ESE (leste-sudeste) em meses com menos chuvas. No presente estudo, em setembro e dezembro a direção predominante foi ESE com período de onda de  $< 9$ s. Períodos de onda mais curtos (6s) são gerados por ventos locais, enquanto ventos oceânicos formam ondas com períodos mais longos ( $> 10$ s) que geralmente são originadas ainda em regiões distantes por tempestades e podem se propagar em bacias oceânica (ASSUNÇÃO, 2017). Uma média de 7,6s e pico de 9,9s foi observada na ilha durante estação chuvosa (ARAÚJO et al., 2021). Picos semelhantes, de 7 a 9s ocorreram junto a ondas com direção ESE foram dominantes nas três praias.

#### 4.2 Arribadas

A composição da arribação normalmente inclui grupos de macroalgas (FERREIRA et al., 2020), fanerógamas marinhas, folhas e galhos em praias de todo o mundo (CUCCO et al., 2020). Em avaliação de conhecimentos sobre algas pela região nordeste, Cavalcanti et al. (2021) já demonstrou que esse material arribado pode ser chamado de "sargaço" ou visto como lixo, já que esses detritos são comumente encontrados arribados junto aos detritos antropogênicos na areia da praia.

Assim como as taxas de deposição, o tipo de deposição (macroalgas, macrófitas ou folhas de mangue) podem ser variáveis em relação a cada praia, dependendo do tipo de exposição da praia, da hidrodinâmica próxima à costa, de características de fluabilidade e do tipo de sedimento. As linhas de deposição podem variar entre detritos envelhecidos ou novos, resultando no fluxo de nutrientes entre habitats (ORR et al., 2005), incluindo manguezais e restingas.

A composição variável da arribação composta macroalga, folhas e vegetação de restinga nas praias da ilha de Itamaracá é de origem local, formada principalmente pós eventos de ventos fortes, aumento do período e altura de ondas (SUURSAAR et al., 2014; ISACHENKO et al., 2023) e trazidas ainda pela ação das marés.

Os resultados demonstram que as arribações nas praias caracterizam o ambiente costeiro de modo que podem ser ferramentas para descrever a macro vegetação (SUURSAAR et al., 2014) costeira da ilha, que possui áreas de mangues, rios que desembocam no Canal de Santa Cruz, áreas estuarinas e praias resultando na caracterização da ilha como APA (Área de Proteção de Santa Cruz) considerado os ambientes de relevante importância ambiental (CPRH, 2010).

A presença de folhas de mangue no Forte é resultado da localização da praia na foz do Canal de Santa Cruz. Folhas que ocorreram no Pilar é resultado do transporte desse material através de correntes de maré enquanto a vegetação de restinga ocorreu como uma possível resposta ao aumento da altura significativa de ondas nessa praia em setembro e dezembro. A arribação do Sossego composta por macroalgas tem sua origem local. A presença da foz do rio Jaguaribe e a baixa taxa de saneamento (IBGE, 2024) na ilha tendem a ser fonte de matéria orgânica, que controla a riqueza e diversidade podendo aumentar a floração de macroalgas específicas em praias. Áreas com alto impacto antrópico tendem a ter alta cobertura de algas oportunistas (VASCONCELOS et al., 2019). O resultado da intensificação dos ventos nos meses mais secos foi as arribações nas três praias compostas por macroalgas.

Durante o período chuvoso onde essa deposição era pouca ou ausente pode-se supor que esses detritos são temporariamente estocados ou realocado

em outras áreas da costa e reaparecem nos próximos períodos de verão. Como citado anteriormente, em dezembro com aumento dos períodos e dos picos das ondas houve um aumento da deposição das arribadas em todas as praias. As condições das ondas com efeito significativo na abundância de acumulações de macroalgas na areia da praia foram demonstradas por Herrero et al. (2023).

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os períodos climáticos, ambos tiveram grandes quantidades de arribação em todas as praias estudadas. O mês com maior peso de biomassa vegetal se diferenciou estatisticamente, sendo um período com menor média pluviométrica. Os meses mais chuvosos tiveram quantidades de biomassa vegetal semelhantes. Diferenças significativas ocorreram entre as praias com Sossego sendo a praia com maior peso de biomassa vegetal ao longo de três meses coletas exceto em dezembro, tanto nos meses mais chuvosos quanto no mês mais seco. A manutenção constante da descarga de nutrientes, a hidrodinâmica e a exposição dessa praia podem controlar as altas taxas de arribação nesse local.

Haseler et al. (2019) demonstrou que o monitoramento direto de arribação da praia foi inadequado no estudo de deposições nas categorias 0 e 1. No entanto no presente estudo o método adaptado, usando o "Guia de fotos de arribação de praia (GFAP)", foi eficiente para categorização dos níveis de ocorrência de arribadas por cada área de 1m<sup>2</sup> nas praias corroborando com os pesos de biomassa vegetal coletados.

Como esperado, um grande número de áreas não cobertas foi observado nos meses com médias pluviométricas maiores. Nos meses sem chuvas áreas intensamente cobertas foram mais frequentes, com destaque para as áreas do Sossego com maiores percentagens de ocorrência.

Em 26 áreas analisadas por Haseler et al. (2019), utilizando o GFAP a categoria 2 (6 a 25%) foi a mais observada (n=8). No presente estudo, de um total de 432 áreas as categorias 0 e 1 foram as mais representativas, se diferenciando dos resultados do método usado anteriormente. Tanto nos períodos climáticos quanto nos meses, áreas não cobertas, incluídas na categoria 0, foram as mais observadas, com exceção de dezembro, que teve maior frequência de áreas raramente cobertas (categoria 1). Em relação às praias, Forte e Pilar foram raramente cobertas ao longo das coletas. O oposto

ocorreu no Sossego, quadrantes intensamente cobertos dominaram essa praia assim como observado no peso de biomassa vegetal coletado nesse local.

Os principais fatores de resposta ao peso de biomassa vegetal nas praias foram os fatores ligados a composição (grau de cobertura e tipo de detrito) além da direção do vento e precipitação. Junto a esses fatores, a dinâmica das arribadas nas praias da ilha é fortemente influenciada pelos efeitos da maré. Na praia do Forte essa maré se propaga pelo canal de Santa Cruz e no sentido norte da ilha, pela costa de Catuama, próxima à praia do Sossego, onde os efeitos são atenuados desse lado (MEDEIROS et al., 2001). No fundo costeiro da ilha, o efeito das correntes de maré são os mais importantes, embora haja ainda o efeito do vento da superfície e da precipitação sobre esse sistema com variações sazonais (Medeiros et al., 2001). Portanto, Itamaracá, assim como outros ambientes costeiros, é composta por sistemas sazonais de ventos, correntes, transporte ao longo da costa, controlando essa deposição variável arribadas assim como observado por Haseler et al. (2019) no Mar Báltico.

#### 4.3 Itens de lixo marinho

O lixo estava presente em todas as praias, com predominância de itens plásticos. O plástico também foi o material mais encontrado em outros estudos na região (RAMOS et al., 2023; RAMOS et al., 2024). Além da presença desses detritos a ilha também enfrenta outros impactos historicamente conhecidos como o despejo de esgoto não tratado em canais fluviais, a expansão urbana e comercial desordenada ao longo da costa, a ancoragem de embarcações e o descarte inadequado de detritos antropogênicos (PITANGA et al., 2012).

Quanto aos detritos plásticos, tanto ilhas oceânicas quanto costeiras estão suscetíveis à presença desse tipo de lixo (MONTEIRO et al., 2018; GRILLO & MELLO, 2021; PFUETZENREUTER & VIEIRA, 2022; SANTOS et al., 2024). Ilhas habitadas ou não comumente possuem acúmulo de lixo ao longo de suas costas por estarem expostas às correntes oceânicas que transportam esse material. Nesse sentido, praias de ilhas são locais fortemente poluídos por plásticos (HIDALGO-RUZ & THIEL, 2013).

Os principais itens de lixo plástico encontrados nas praias estudadas foram embalagens de comida, fragmentos flexíveis ou rígidos, sacos e sacolas,

talheres e outros itens plásticos como fragmentos de embalagens e rótulos. A maioria desse lixo é classificada como item de uso único (UNEP, 2018) ou itens de consumo para viagem (MORALES-CASELLES et al., 2021). A presença desses itens é associada a usuários de praia em atividades recreativas, turísticas (RAMOS et al., 2021), lazer e veraneio.

A razão para as maiores quantidades de plásticos de uso único pode estar relacionada ao tipo de uso na praia ligada ao uso da praia como lazer/veraneio, com um grande número de casas ocupadas apenas durante o período de verão, localizadas longe do centro urbano, no caso do Sossego. Nesse contexto, itens de uso único são itens que facilitam as necessidades em curtos períodos de ocupação. Recipientes de alimentos de uso único também são itens de uso na praia e fazem parte da maioria do lixo plástico marinho (80%) que se origina de fontes terrestres (JAMBECK et al., 2015).

O uso da praia como atividade de lazer, veraneio e turismo contribui para a poluição marinha plástica em ilhas, como ocorre em Itamaracá, maior volume de detritos deve ser gerenciado localmente principalmente durante alta temporada (HOELLEIN et al., 2015). Assim, cria-se uma demanda adicional onde comumente os resíduos sólidos já são mal geridos (GUITTARD et al., 2023) e o resultado é a presença desse lixo entre os dez itens mais coletados em praias (BERGMANN et al., 2015; WILSON & VERLIS, 2017; OCEAN CONSERVANCY, 2023) com picos em temporadas de verão (GUITTARD et al., 2023).

Plásticos de uso único têm grande flutuabilidade, são transportados pelo vento e podem ser facilmente levados do continente para o mar (GUERRERO-MESEGUER et al., 2020) ou trazidos para a areia da praia, especialmente após períodos de chuva forte. Além disso, a presença de itens de uso único nas áreas costeiras foi analisada em diferentes estudos (SIMEONOVA & CHUTURKOVA, 2020; MORALES-CASELLES et al., 2021; BAXTER et al., 2022; KIESSLING et al., 2023) destacando a importância de ações e legislação para controlar a produção, uso e gestão de resíduos plásticos.

Um grande número de fragmentos de embalagens, fragmentos de rótulos e ainda fragmentos rígidos e flexíveis é consequência da presença de uns itens maiores que umas vezes no ambiente são degradados por processos físico-químicos originando fragmentos menores (ANDRADY, 2021).

Por outro lado, um alto número de peças relacionadas a restos de materiais de construção também foi identificado no lixo das praias. A origem desse tipo de lixo está ligada ao uso desse material como barreiras de proteção costeira e ainda é resultado do processo erosivo atuante nas praias da ilha (GONÇALVES et al., 2019; ARAÚJO et al., 2021).

Os resultados estatísticos para o total de 2013 itens de lixo não indicaram diferenças no número de itens entre os locais e os meses, apenas na interação entre estação climática e praia, indicando que as praias sofrem efeito da sazonalidade climática em relação à presença do lixo. No verão mais lixo foi contabilizado, supondo então que em períodos de chuva esse material é transportado estando disponível em mar aberto. Além disso, nesse período ocorre diminuição do uso da praia, portanto diminuição de fonte domésticas e turísticas desse lixo.

Esse lixo também foi observado excluindo a categoria de itens relacionados a restos de materiais de construção por supormos que esse tipo de detritos tem sua origem no continente. Em adição, esse material se distingue dos outros por ter seu transporte limitado apenas à zona de espraiamento enquanto o restante, tem alta mobilidade transitando entre mar aberto e zona costeira. Portanto esses itens classificados como GC01 possuem mobilidade reduzida representando uma categoria de lixo com fonte exclusivamente local, como resultado da erosão costeira da ilha.

Do mesmo modo que feições costeiras são resultantes de interações entre processos eólicos, transporte de sedimentos e hidrodinâmica costeira (ANDRIOLO & GONÇALVES, 2022), intervenções antrópicas nessa área, como construção de casas ou muros, também estão susceptíveis a ação da dinâmica costeira (ondas, correntes, ventos) que resulta na perda de sedimentos a longo prazo e na erosão das praias (YE YINCAN et al., 2017). Essa erosão pode ser completa ou parcial, cobrindo ou expondo detritos. Andriolo e Gonçalves (2022) ressaltam a erosão de dunas expondo lixo marinho composto por sacolas, garrafas, itens ligados a pesca e materiais de construção. O mesmo pode ocorrer com erosão de intervenções antrópicas.

Portanto, a maior ocorrência dos itens GC01 em períodos climáticos mais chuvosos se deve ao efeito intensificado da hidrodinâmica costeira, com mais

ondas, correntes, ventos e chuvas aumentando a instabilidade e desequilíbrio de praias levando à perda de sedimentos, recuo da praia (ANTHONY, 2018) e exposição das áreas.

Durante esses períodos, correntes de maré, com maior efeito sobre a região do que ondas, estão com mais energia junto a fatores meteorológicos e hidrodinâmicos que combinados intensificam a erosão e disponibilizam ou cobrem os detritos na areia das praias. No presente estudo, a praia do Forte, que tem setores com tendência erosiva (ARAÚJO et al., 2021), foi a praia onde detritos ligados a restos de construção estavam mais disponíveis na área de coleta. Esses detritos também estavam presentes, em menor quantidade, no Pilar. Assim como o Forte, Pilar também tem áreas visíveis com erosão, que podem ser fonte de materiais ligados a resto de construção presente na praia.

A praia do Forte, com forte ação de corrente de maré devido à presença do Canal de Santa Cruz, assim como todo o estado, recebe maior parte de suas chuvas sazonais durante os meses de o primeiro semestre do ano até agosto. Mudanças nos padrões climáticos globais podem resultar na variabilidade da descarga de água e da dinâmica costeira, no suprimento de sedimentos (DUBL, 2000) e conseqüentemente na deposição ou no encobrimento de detritos relacionados a poluição por lixo marinho.

Para o lixo sem os detritos de resto de construção foram identificadas diferenças estatísticas significativas para todos os fatores observados (período climático, praia e período:praia), exceto para os diferentes meses de coleta. O período seco se manteve como o período com mais itens de lixo. Sossego se diferenciou das outras praias por não apresentar itens GC01. Essa praia, localizada na foz do rio Jaguaribe, tem o lixo caracterizado por grandes quantidades de detritos plásticos. Esses plásticos são trazidos pelo rio e pelo transporte dos itens flutuantes, que se depositam na praia junto às algas, que está presente em grandes quantidades nessa praia.

O gráfico nMDS destacou dois grupos diferentes baseado nas 3 praias. As amostras do Forte se relacionaram com a velocidade e direção do vento, com a direção da onda e tipo de detrito. O estudo de Burlat e Thorsteinsson (2022) mostrou que a chegada de ventos mais forte marcou uma mudança nas condições climáticas em uma praia no oeste da Islândia, e que aumentos e

diminuições rápidas na cobertura de arribadas levaram a diferenças consideráveis no número de lixo plástico registrados de um dia para o outro. Seguindo mesmo cenário, na praia do Forte, o mês com mais itens de lixo (setembro), teve registros de velocidades do vento mais intensos do que os meses anteriores. Foi ainda a praia com maior variação de direção do vento (4 direções) e ondas de sudeste. Essas variações de direção e intensidade de ventos e onda resultam nas quantidades de detritos naturais e do lixo depositados sobre as praias.

Além da fonte local para os detritos ligados a itens de vidro e cerâmica, o lixo plástico encontrado no Forte já havia sido descrito por Araújo et al. (2018) como resultado da localização da praia, na foz de um estuário, que contribui para a deposição através de ondas e marés. A arribação dessa praia foi composta por detritos de mangue (folhas), presente em todos os meses, exceto em dezembro, caracterizado pela presença de macroalgas. Esses fatores colaboraram para a presença de mais itens de lixo disponíveis na praia, principalmente o lixo classificado como vidro e cerâmica, que não é emaranhado nas folhas arribadas e ficam expostos e disponíveis na areia da praia.

Por outro lado, o lixo encontrado no Pilar pode ter sido influenciado pelo tipo de detrito e pela precipitação. Um grande número de áreas não cobertas, cerca de 61,8% incluídas na categoria 0 (<1% de cobertura), com poucos detritos de algas, podem ter controlado a dinâmica do lixo no Pilar. Do mesmo modo, um mês mais chuvoso em junho influenciou no número de itens coletados. Nessa praia, foi identificado o menor número de itens de lixo em comparação com as outras. Portanto, há evidências de que áreas não cobertas por arribação e a intensificação de chuvas são fatores que controlam a ausência do lixo na areia da praia, tanto pela ausência de usuários e de arribação nesse quanto por um possível transporte dos itens para mar aberto.

O lixo do Sossego foi relacionado com o período da onda, peso de biomassa vegetal e grau de cobertura de detritos. Sossego teve o maior período de onda registrado entre as praias, assim como maior peso de biomassa vegetal e áreas de coleta intensamente cobertas. É possível estabelecer uma relação entre essa praia com maior número de itens de lixo, o peso de biomassa vegetal e período de onda. Isachenko et al. (2023) já destacaram em estudo costa norte

da Península Sambiana (Mar Báltico), que longos períodos (>6s) e grandes alturas de onda são parâmetros importantes para o aparecimento de material arribado. Grandes quantidades de arribação podem ser responsáveis por prender um maior número itens de lixo plástico bem como ondas com períodos mais longos podem transportar ambos materiais para a areia da praia.

No geral, a presença do lixo nas praias foi condicionada pelos fatores de composição (grau de cobertura e tipo de detrito) e por duas principais variáveis meteo-oceanográficas: direção do vento e precipitação. A variação dos fatores de composição e das variáveis é relacionada com a sazonalidade climática da região.

Vento, altura das ondas e a precipitação pluviométrica já foram citadas como fatores controladores de arribação por Silva Jr. (2022). Assim como os detritos naturais, todo e qualquer material depositado nas praias, incluindo os detritos antropogênicos, estão suscetíveis às condições meteorológicas e oceanográficas influenciam a morfodinâmica de cada praia, bem como o tempo de exposição da praia a essas condições.

As maiores quantidades de itens de lixo foram observadas no Sossego, no período com menor registro de precipitação, em concordância com estudos anteriores onde foi encontrada relação entre períodos de verão e a ocorrência de lixo costeiro (ASENSIO-MONTESINOS ET AL., 2019; RIBEIRO et al., 2021; RAMOS et al., 2021). Além do lixo, maiores quantidade de arribação e consequentemente maior grau de cobertura caracterizaram a praia do Sossego em períodos mais secos. No verão também é comum a ocorrência de arribação nas praias do nordeste. A variabilidade temporal e quantidade de arribação na praia já foi associada em estudos anteriores (SANTOS et al., 2013; SILVA JR., 2019; 2022).

O mesmo padrão de ocorrência do lixo do Sossego é descrito para o Pilar, entretanto essa praia se caracteriza como uma praia mais urbana, devido à sua localização central na ilha e por ainda possuir imóveis e bares próximos à área de coleta. Em adição, essa praia também pode estar recebendo o lixo de um canal a cerca de 1,5 km, que tem saída na praia em direção ao norte da ilha, assim como o rio Jaguaribe, que tem sua foz a 3,7 km do Pilar.

Assim como outras praias urbanas da região (SILVA-CAVALCANTI et al., 2013; ARAÚJO et al., 2018), no Pilar durante algumas coletas foi observado a presença de serviço público de varrição enquanto em outras ocasiões de amostragem uma grande quantidade de lixo também estava presente na área. Essa praia pode ser classificada como uma praia urbana com infraestrutura turística, e conseqüentemente recebe maior número de usuários do que o Sossego, tendo como resultado a presença de lixo antropogênico (DE VEER et al., 2023).

#### 4.4 Interação lixo e arribadas

Quase metade dos itens de lixo coletados no estudo ocorreu em setembro e o mês seguinte foi marcado pelo maior peso da biomassa vegetal. Foi possível verificar uma relação em termos de proporção. O mês com mais lixo teve menos biomassa vegetal e o mês com maior peso de detrito natural teve menor número de lixo.

Maior peso de biomassa vegetal e de área coberta não significou maiores quantidades de lixo, assim como observado por Haseler et al. (2019) em áreas levemente cobertas (5 a 25%), que foram as áreas com maior frequência e maior número de fragmentos de lixo ( $73 \pm 60$  itens). No presente estudo esses resultados também foram observados com quase a metade dos itens de lixo presentes nessas áreas, enquanto áreas intensamente cobertas continham 17% do lixo.

Foram identificadas diferenças estatísticas significativas para todos os fatores de análise (estação, praia e interação) entre lixo e biomassa vegetal com exceção dos meses. Essas variações mensais foram pequenas visto que a ocorrência dos detritos naturais possui padrão sazonal e diferenças estatísticas poderiam ser mais expressivas em uma comparação espaço-temporal mais longa para os meses. A ausência de biomassa vegetal nas áreas das praias observadas ao longo dos meses ocorre porque a quantidade de material arribado é pequena e ainda porque esses detritos se degradam ao longo do tempo mais facilmente do que os itens de lixo (GUERRERO-MESENGER et al., 2020).

Uma correlação positiva fraca foi observada entre o lixo e o peso de biomassa vegetal. Essa ausência de uma correlação forte pode ser explicada pelos picos de produção de cada material. O aumento da produção dos itens de

lixo ocorreu no mês de setembro enquanto que o das arribadas ocorreu em dezembro. Esse cenário foi definido no ano de 2022 e pode ser variável em uma escala temporal maior. A ausência de arribadas em períodos com maior quantidade de lixo representa ainda uma situação preocupante também pois o lixo presente na praia pode estar emaranhado nos detritos vegetais flutuantes e presente em outros ambientes deposicionais, submerso ou enterrado no continente. De qualquer forma a presença de arribação vegetal faz o lixo ficar no ambiente impedindo que o mesmo seja recolhido.

Por outro lado, cada variável de análise (lixo e biomassa vegetal) apresentou correlações significativas com as variáveis meteo-oceanográficas. Os itens de lixo têm sua distribuição controlada pela velocidade do vento, confirmando que a presença desses detritos nas praias ocorre de forma sazonal quando há inversão dos ventos e correntes no estado (DOMINGUES et al., 2017).

Maiores quantidade biomassa vegetal está relacionada ao período e direção de ondas que ocorrem nas praias e o tipo de detrito presente nos locais e nos meses observados varia em função das fontes desse material, da proximidade com essa fonte e da configuração da praia. Esses fatores não foram observados no presente estudo. Em estudos anteriores sobre a relação entre lixo e arribadas (HASELER et al., 2019; GUERRERO-MESENGER et al., 2020) nenhuma correlação foi observada, corroborando com os resultados observados aqui de que o acúmulo desses detritos é controlado por fatores como diferenças temporais de deposição, comportamento deposicional diferente em cada praia (GUERRERO-MESENGER et al., 2020), e hidrodinâmica peculiar de cada praia em um complexo sistema costeiro (HASELER et al., 2019).

Assim como nos achados de Navarrete-Fernández et al. (2022), na classificação quanto à forma, lixo plástico foi o mais abundante. Itens ocos (30,7%) e sólidos (27,7%) foram dominantes. Os resultados demonstram que embora tenha baixo grau de emaranhamento esses itens estão presentes no meio da arribação principalmente no mês de setembro. São facilmente transportados por serem copos descartáveis, garrafas e fragmentos desses itens. Por outro lado, itens sólidos não são facilmente emaranhados com detritos naturais, mas são encobertos ou se depositam acima da arribação. Itens menos

móveis em prados de fanerógamas marinhas reduzem do fluxo de correntes, facilitam a sedimentação e dificultam ressuspensão de partículas (TERRADOS & DUARTE, 2000). Quase que o mesmo efeito pode ser descrito para praias, a presença dos itens sólidos em grandes quantidades pode impedir a remobilização tanto da arribação quanto do sedimento, ainda interferindo no fluxo de volta para o mar e conseqüentemente afetando a dinâmica costeira natural.

A dinâmica do lixo não flutuante foi delineada ainda por Navarrete-Fernandez et al. (2022), demonstrando uma tendência a longo prazo de acumulação no fundo do mar em escala anual e representando um estado de equilíbrio dinâmico. O lixo registrado no verão sem chuvas e ondas intensas representa um cenário equilibrado. O efeito de eventos meteo-oceanográficos intensos atua como perturbação, liberando grandes cargas de lixo em curto período de tempo, trazendo lixo pra costa, que é arrastado de volta pro mar e enterrado em áreas mais profundas. Essa dinâmica se aplica principalmente na praia do Forte em Itamaracá. Nessa praia estavam presentes grandes quantidades de itens ligados a restos de construção. Embora o transporte desses itens não se estenda a grandes distâncias nessa zona costeira, a longo prazo o fluxo de transporte de sedimentos na praia possui mais um componente que interfere nessa dinâmica.

Os resultados também mostraram formas laminares com grande diversidade, como sacolas plásticas, embalagens de bebidas, cordas, tecidos e balões. A alta mobilidade e alto grau de emaranhamento desses itens facilita o transporte tanto para praias quanto para o escoamento para mar aberto, podendo ainda se fragmentarem e serem depositados em recifes e prados fanerógamas marinhas (GONZÁLEZ-ORTIZ et al., 2014). O resultado desse emaranhamento e do transporte já foi observado em Itamaracá por Souza et al. (2024), onde ressaltaram que prados de fanerógamas marinhas retêm micropartículas antropogênicas, principalmente fibras azuis, componentes relacionados à pesca em formato de linha em abundância no mês de setembro e na praia do Sossego.

Os maiores registros de itens emaranhados ocorreram onde as quantidades de arribação também estavam em abundância, como verificado no

Sossego. Grandes quantidades de arribação em praias com presença de poluição plástica resultam na junção desses dois componentes através das forçantes meteo-oceanográficas que atuam ali, como chuvas, ondas, ventos e marés. Os componentes naturais dessa arribação prendem os itens facilmente emaranháveis, com forma linear e laminar como linhas, tecidos, fragmentos de sacolas e de copos descartáveis. Esse emaranhamento origina um novo detrito que, quando não transportado para o mar é composto por lixo e macroalgas secas, depositados na areia expostos à ação do tempo acelerando a fragmentação e degradação destes em pedaços menores (BURLAT & THORSTEINSSON, 2022). Uma preocupação é ressaltada em um estudo de correlação entre arribação e lixo marinho em uma praia arenosa na Islândia (BURLAT & THORSTEINSSON, 2022). O curto tempo de soterramento de linhas e cordas resulta em um problema costeiro a longo prazo em zonas pesqueiras. Esse fato também é preocupante nas áreas estudadas onde há atividade de pesca, principalmente no Pilar. No caso do Sossego, pela proximidade com a foz do rio Jaguaribe, a praia tem intensas variações na sua dinâmica com períodos de grandes deposições de arribação e transporte de sedimentos além da ausência de limpeza de praias e coleta de lixo. Portanto essa arribação é exposta por longos períodos aos detritos antropogênicos presentes nessa praia em áreas intensamente cobertas por macroalgas.

## **5 CONCLUSÕES**

Em Itamaracá a sazonalidade climática controla a dinâmica de ocorrência do lixo nas praias assim como a variação das forçantes hidrodinâmicas. Em períodos chuvosos, a ausência de maiores quantidades de itens lixo pode ser explicada pelo transporte pelo aumento da descarga hídrica do continente para o oceano. O aumento da descarga de canais e rios pode ser o motor de transporte junto às chuvas, principalmente de itens plásticos que possuam grande mobilidade. Da mesma forma, nos meses de verão, um maior volume de detritos está disponível nas praias através de fontes locais, como resultado do maior consumo de itens de uso único e da falta de gestão adequada desse lixo. Portanto, é importante ressaltarmos que o gerenciamento os detritos em cidades

costeiras controlarão o fluxo entre continente e oceano durante todo o ano, resultando no controle dos impactos econômicos, ambientais e sociais da poluição por lixo nas praias de Itamaracá.

Em relação à arribação nas praias, a deposição do material caracteriza os ambientes costeiros de relevância ambiental presentes na ilha. A presença de maiores quantidades de arribação e biomassa vegetal é resultado da localização da praia e dos ambientes ao redor que a compõem, como rios, manguezais e recifes. Menores quantidades de arribação em período chuvoso, com ventos mais intensos, podem ser resultado também do aumento do fluxo de descarga hídrica, que impede essa deposição na praia, transporta e estoca esses detritos em outros ambientes, visto que esse material pode ser composto por folhas e vegetação de restinga com alta flutuabilidade. Além disso, deve-se atentar para os períodos de crescimento e reprodução de macroalgas que também compõem grande parte da arribação, já que no verão uma maior diversidade de macroalgas é depositada nas praias. Nesse cenário, uma arribação composta tanto por folhas, vegetação de restinga ou macroalgas deve ser entendida como importante componente do sistema costeiro a partir da sua dinâmica sazonal de deposição.

O padrão de deposição de arribadas não é um padrão para o lixo das praias. Maiores quantidades de biomassa vegetal e áreas cobertas não significam maiores quantidades de lixo. Dessa forma, áreas cobertas não influenciam a presença desses detritos que estarão presentes tanto em áreas cobertas quanto em áreas expostas. No entanto, uma praia com intensa cobertura pode esconder o lixo presente ali. Uma fraca correlação foi observada entre lixo e biomassa vegetal. Ambos são controlados pela variação sazonal de variáveis meteo-oceanográficas como intensidade do vento, período e direção de ondas. Além disso o padrão de deposição da biomassa vegetal vai depender do tipo de detrito da arribação.

A forma dos itens de lixo influencia o grau de emaranhamento com a arribação assim como a formação de emaranhados. Embora itens ocios tenham baixo grau de emaranhamento, fragmentos de garrafas e copos são facilmente transportados e se prendem à arribação junto a itens laminares como linhas, cordas e tecidos dando origem aos emaranhados. Esse novo item representa

um componente preocupante porque se mantém no ambiente após ser degradado sendo incorporado no ambiente como um poluente praticamente invisível. O mesmo ocorre com itens sólidos que se acumulam ao longo da costa da ilha e interferem na dinâmica sedimentar das praias sendo incorporadas no fluxo costeiro de detritos.

A presença de detritos com alto ou baixo grau de emaranhamento nas praias da ilha reflete a falta de medidas de mitigação da poluição por várias formas de lixo marinho. Grandes quantidades de itens de uso único nas 3 praias, principalmente no verão, é resultado da necessidade do controle de produção global, uso e descarte correto desse material. É importante ressaltar ainda que o uso da ilha pelo setor turístico sem uma preparação e gestão adequada para aumento de demandas ambientais resulta na presença desse lixo nas praias e perda da sua qualidade como ecossistema costeiro. A presença de materiais ligados a restos de construção reflete a problemática histórica da ilha com ocupação costeira desordenada e tentativas de mitigação da erosão dessas intervenções antropogênicas. Os resultados abordados mostram que a prevenção da poluição e mudanças dos atuais padrões das praias passam por demandas de gestão ambiental para preservar e fazer uso sustentável tanto da praia quanto dos seus componentes como as arribadas.

## **CAPÍTULO 2 - PERCEPÇÕES VISUAIS DAS MUDANÇAS NAS PRAIAS ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS E POTENCIALIDADES DE MONITORAMENTO**

### **RESUMO**

A intensificação de eventos extremos em áreas costeiras tem acelerado a necessidade pela busca de ferramentas eficientes mais rápidas e baratas de monitoramento dessas áreas. Assim a participação da sociedade na geração de dados se apresenta como ciência cidadã, que pode gerar conhecimento de forma rigorosa. Neste estudo, objetivamos mostrar o potencial de uma ferramenta comum (smartphone) na geração de dados através de imagens fotográficas que podem contribuir com as demandas de gestão da ilha de Itamaracá. Comparamos quais informações de fotografias livres, sem uma técnica pré-estabelecida, somos capazes de extrair em comparação com os registros de fotografias que seguem a metodologia CoastSnap. As fotografias livres possibilitaram fazer uma comparação entre as imagens de dois lados da praia do Sossego em 2022 e 2023, indicando que houve variação sedimentar na praia, com intensa retirada e exposição total das estruturas anteriormente cobertas pela areia. Nesse cenário de comparação de fotografias o mês de setembro de 2023 foi marcado por intenso processo de erosão, que modificou a configuração conhecida da praia. Já na praia do Forte, fizemos uma comparação de registros do ano de 2021 a 2024 usando registros livres e registros baseados na metodologia CoastSnap. Os registros livres foram marcados por intenso processo de erosão com impactos estruturais nas construções presentes na área. As imagens padronizadas possibilitam identificar sempre do mesmo campo de visão variações da linha de costa, preferências de uso, a dinâmica sedimentar e de deposição de arribadas. As fotografias analisadas aqui mostram o potencial de imagens de smartphones na contribuição da pesquisa científica para reconhecer um status momentâneo como na praia do Sossego e determinar tendências da praia a longo prazo com dados mais rigorosos cientificamente na praia do Forte.

Palavras-chave: fotografia, smartphone, coastsnap, monitoramento

## ABSTRACT

The intensification of extreme events in coastal areas has heightened the need for efficient, faster, and cost-effective monitoring tools. Citizen science emerges as a promising approach, engaging society in data generation that upholds scientific rigor. This study explores the potential of a common tool—smartphones—for generating data through photographic images to address in Itamaracá Island management challenges. We compare information extracted from free photographs, without a pre-established technique, with those obtained using the CoastSnap methodology. At Sossego Beach, free photographs from 2022 and 2023 revealed sedimentary variations, including significant sand removal and full exposure of previously buried structures. September 2023, in particular, witnessed intense erosion, altering the beach's configuration. At Praia do Forte, photographic records from 2021 to 2024, including both free and CoastSnap-based images, highlighted severe erosion processes and structural impacts on nearby buildings. The standardized images from the CoastSnap fixed base enabled detailed analyses of coastline variations, sedimentary dynamics, and cliff deposition from the same field of view. This study demonstrates the potential of smartphone photography in coastal monitoring, from capturing momentary conditions, as exemplified at Sossego Beach, to providing rigorous, long-term data insights at Forte Beach.

Keywords: picture, smartphone, Coastsnap, monitoring

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão ambiental sustentável passa pela inclusão da perspectiva sócio-ecológica, considerando por exemplo, o valor social e cultural além das demandas econômicas e ecológicas de conservação (WAHLER et al., 2023). Nesse cenário, praias arenosas demandam uma gestão costeira integrada que aborde toda e qualquer perspectiva para conservação do bem comum. Portanto o envolvimento da sociedade, além da comunidade científica na pesquisa e gestão costeiras tem sido essencial através da participação no desenvolvimento de conhecimento e tomada de decisões (HARLEY & KINSELA, 2022).

Praias arenosas são historicamente locais de conflitos de interesses pelos serviços ecossistêmicos e de bens que oferecem, como regulação do clima, proteção costeira, alimento, turismo e recreação, etc. Entretanto a qualidade desses serviços depende da resiliência desse ecossistema e do seu nível de proteção (OCEAN AND CLIMATE, 2016). Assim, os esforços de conservação devem atender demandas das modificações naturais e antropogênicas que ocorrem nesse ambiente.

A gestão e medidas de conservação se baseiam em dados científicos e usam ferramentas técnicas para avaliar, gerenciar e mitigar os impactos em praias. A intensificação de eventos extremos tem acelerado a necessidade pela busca de ferramentas eficientes mais rápidas e baratas de monitoramento de áreas costeiras.

A ilha de Itamaracá, território insular ao norte de Pernambuco, é conhecida por seus atrativos turísticos formando uma área urbana em zona litorânea. Desempenhou um papel importante no turismo do litoral norte do estado entre 1980 e 2000 com a implantação de residências de veraneio no seu território (BEZERRA JÚNIOR et al., 2024). Uma imagem negativa é replicada sobre a ilha atualmente em contraste com a visão passada (BEZERRA JÚNIOR et al., 2024). A ilha é composta ainda por um importante complexo estuarino de Santa Cruz, que possui praias, rios, manguezais e estuários.

Neste estudo, pretendemos mostrar o potencial de uma ferramenta comum (smartphone) na geração de dados cientificamente rigorosos que podem contribuir com as demandas de gestão da ilha.

A costa de Itamaracá está vulnerável a riscos naturais e intervenções humanas. Apesar dos esforços em algumas áreas, grande parte da ilha está sujeita a intensos processos de retirada de sedimentos causando prejuízos sociais, ecológicos e econômicos. Nesse cenário sugerimos a necessidade de implementação de ferramentas globais a serem trabalhadas de forma colaborativa no nível regional.

O uso de fotografias surge como importante ferramenta na abordagem sustentável de gestão que busca trazer a comunidade para o campo da pesquisa desconstruindo a ideia de que dados científicos são gerados de forma complexa. A tecnologia de fotografia tem sido utilizada para monitoramento de linha de costa (HARLEY et al., 2017), pesquisa sobre lixo de praia (HASELER et al., 2017), para explorar a relação entre serviços ecossistêmicos culturais e características paisagísticas (OTEROS-ROZAS et al., 2018), entre outros. Aqui comparamos quais informações de fotografias livres, sem uma técnica pré-estabelecida, somos capazes de extrair em comparação com os registros de fotografias que seguem uma metodologia definida pelo CoastSnap (HARLEY et al., 2019).

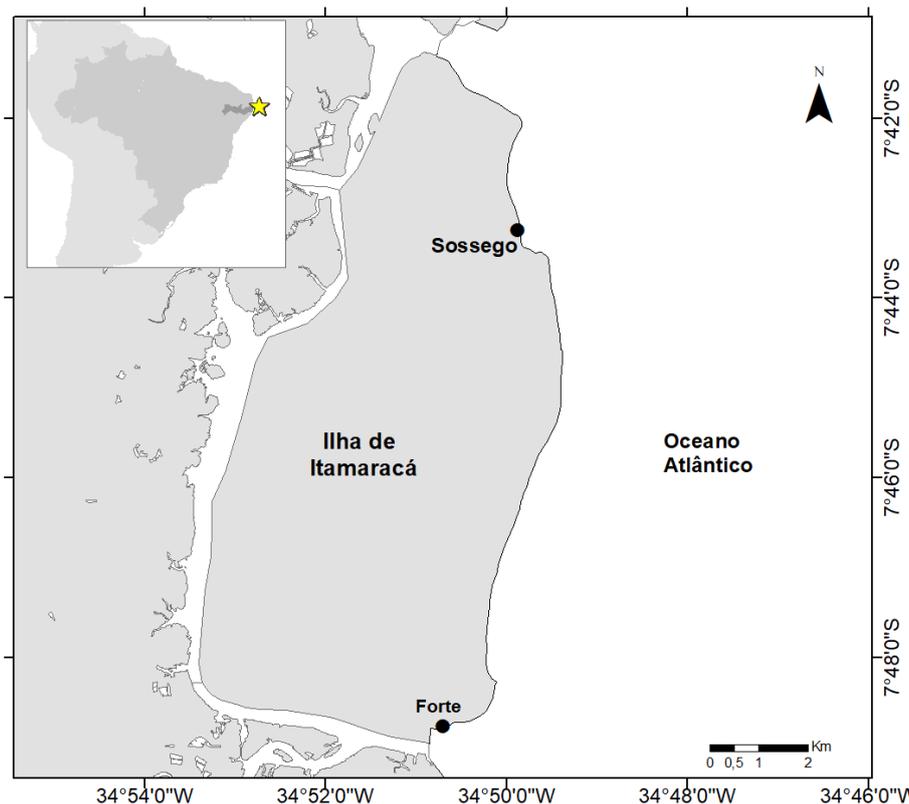
## **2. METODOLOGIA**

A área de estudo localiza-se na Ilha de Itamaracá (Fig. 1), ao norte do estado de Pernambuco, que de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tem uma população residente de 24.540 habitantes, uma densidade com uma densidade demográfica em 2022 de 371,00 hab/km<sup>2</sup> e com uma área total de aproximadamente 67 km<sup>2</sup>.

Itamaracá é uma ilha costeira separada do continente pelo Canal de Santa Cruz e composta por diferentes praias na borda leste ao longo de cerca 15 km de linha de costa. A praia do Forte está ao sul do Canal de Santa Cruz, próxima ao Forte Orange (Fortaleza de Santa Cruz). É uma área predominantemente turística, com bares à beira-mar (LEITÃO et al., 2007). Já a praia do Sossego, se localiza ao norte da ilha, com residências temporárias ocupadas em períodos de férias e veraneio e quase que nenhum bar na sua margem. Além disso, é uma área com modificações constantes da dinâmica sedimentar por se localizar próxima à foz do rio Jaguaribe.

Os registros foram feitos pela autora ao longo da área abordada entre junho de 2021 e dezembro de 2024. Esse registro de campo foi baseado em oportunidade de visita técnica durante a maré baixa, para verificação máxima da área da praia.

Fig.1: Mapa da Ilha de Itamaracá indicando as praias do Forte ao sul e Sossego ao norte.



Fonte: A autora (2024).

Além disso as fotografias das praias foram feitas de duas formas: registros livres e registro CoastSnap. O registro livre consistiu na fotografia sem uma metodologia previamente estabelecida, usando a câmera do smartphone. Da mesma forma as configurações da câmera do smartphone não foram alteradas, usando a configuração padrão para captura de imagens. As áreas das praias foram observadas e fotografadas por caminhada ao longo da faixa de areia para o registro livre.

Já o registro usando Coastsnap foi feito a partir de uma base fixa com coordenada conhecida. A metodologia consiste na captura de imagens através do smartphone posicionado na base de forma horizontal como descrito por Harley et al. (2019).

Foi feita comparação visual dos mesmos locais, com as fotografias de diferentes anos. A percepção das mudanças costeiras foi feita através da inspeção visual.

### **3. RESULTADOS**

Desde 2021 visitas técnicas foram realizadas baseadas em oportunidades, na ilha de Itamaracá para duas praias, Sossego e Forte. Os registros da praia do Sossego foram apresentados na figura 2 para dois lados da praia. Fotografias livres foram feitas em posições semelhantes na praia, com smartphone, sem configuração específica. Os registros livres possibilitaram fazer uma comparação entre as imagens de dois lados da praia (A e B). A primeira fotografia, do lado “A” da figura 2a foi feita em junho de 2022 e a segunda em setembro do mesmo ano. A terceira foi do mês de setembro de 2023. A partir disso é possível verificar que houve variação sedimentar na praia, com intensa retirada e exposição total das estruturas (manilhas) que estavam encobertas parcialmente, indicadas pela seta vermelha.

Quanto aos registros do lado “B”, o primeiro é de junho de 2022 e o segundo de setembro de 2023. Nessas fotografias também foi possível verificar grande retirada de sedimentos da praia expondo o material encoberto (pedras e manilhas). Nesses cenários de comparação de fotografias nota-se que esse mês de setembro do ano de 2023 foi marcado por intenso processo de erosão, que modificou a configuração conhecida da praia.

Já na praia do Forte, fizemos uma comparação de registros do ano de 2021 a 2024 usando registros livres e registros baseados na metodologia CoastSnap. A figura 3 mostra a praia do Forte em diferentes momentos a partir de registro livre (Fig. 3a e b). Aqui as fotografias livres foram feitas em diferentes posições da praia, através de smartphone, sem uma configuração específica. Foi possível observar intenso processo de erosão com impactos estruturais nas construções presentes na área. Esse local da praia é caracterizado pela presença de bares que posicionam mesas e cadeiras na areia para usuários. Esses impactos aparecem nas imagens na forma de materiais de resto de construção (tijolos, pedras, tubos) junto à presença de arribadas na praia.

As fotografias da figura 3b, cerca de um ano após os registros da figura 3a, também foram feitas através do registro livre, sem metodologia. Durante essa diferença de tempo o poder público interviu na praia com colocação de estruturas (trancos de coqueiros) para contenção da erosão. Observamos ainda uma extensa faixa de areia durante a maré baixa, junto a presença de arribadas e mesas e cadeiras. O lixo resultante de processos de erosão (resto de construção) não estava presente.

A partir da instalação da base do CoastSnap, em meados de 2024, os registros fotográficos começaram a ser feitos usando a estrutura e metodologia disponível. Nessas imagens (Fig. 3c), a metodologia exige que pontos controle fixos (GPC - Ground Control Points) sejam identificados ("x" vermelho) nas imagens, sendo objetos ou feições fixas claramente identificáveis distribuídos no campo visual da imagem. Essas imagens registradas a partir de uma base fixa possibilitam identificar sempre do mesmo campo de visão variações da linha de costa, preferências de uso, a dinâmica sedimentar e de deposição de arribadas.

Fig. 2: Fotografias da praia do Sossego com dois campos de visão. (a) Registros do lado A, de junho e setembro 2022 e setembro 2023. (b) Registros do lado B, junho 2022 e setembro 2023.

(a)

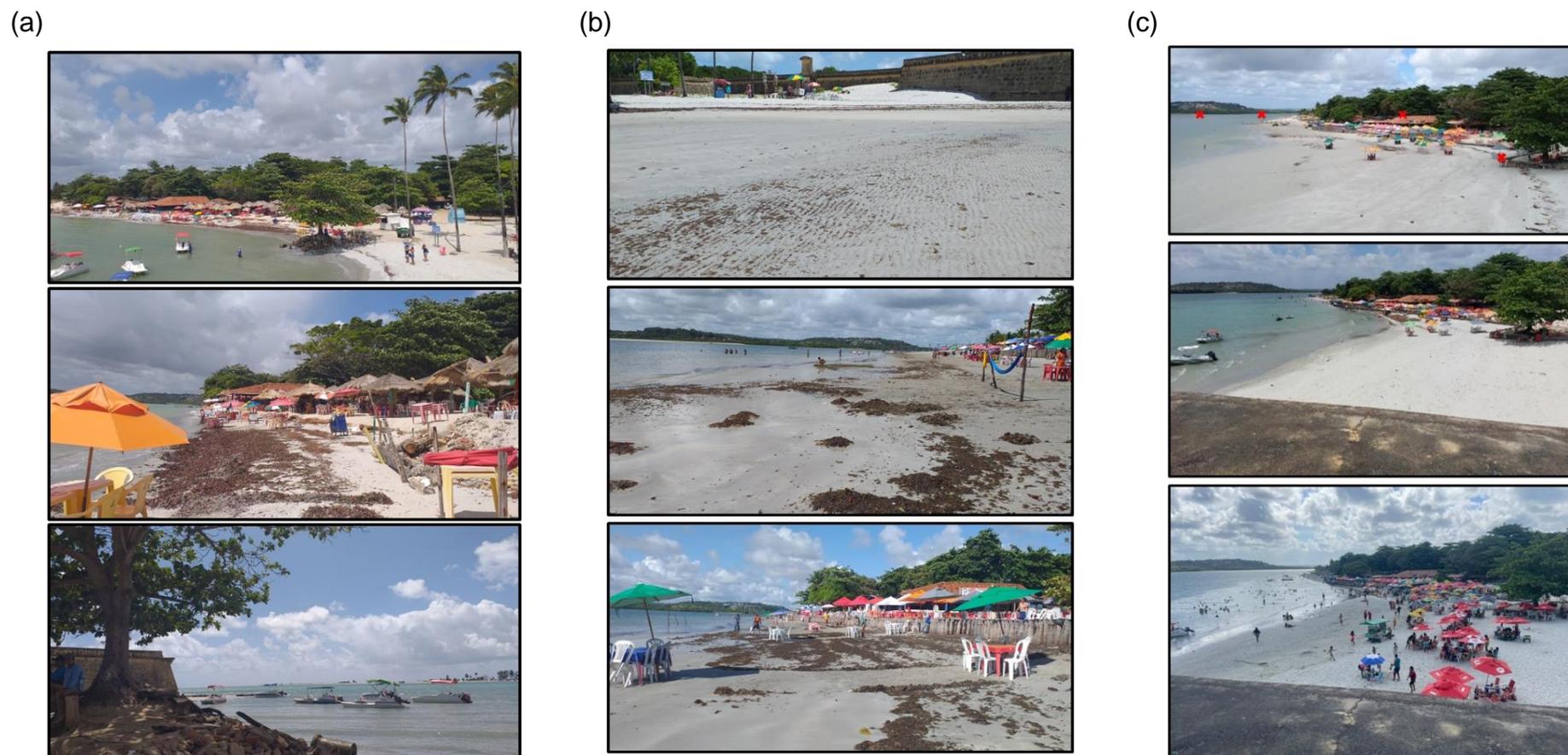


(b)



Fonte: A autora (2024).

Fig. 3: Fotografias da praia do Forte em novembro de 2021 (a), dezembro de 2022 (b) e novembro de 2024 (c).



Fonte: A autora (2024).

#### 4. DISCUSSÃO

Os métodos atuais de monitoramento de mudanças na morfologia da praia geralmente envolvem o estabelecimento técnicas que produzam medições precisas da topografia costeira e exigem tempo e esforço (HAPKE & RICHMOND, 2000). Eles geralmente envolvem medição da linha de costa ou da marca d'água alta usando fotografia aérea (HANSLOW, 2007). Para costas dinâmicas, como praias na foz de rios, no entanto, tendências a curto prazo podem ser visualizadas de forma mais simples.

O registro oportuno das fotografias das praias trouxe um conhecimento imediato sobre a dinâmica do Sossego. O monitoramento tradicional, seguindo uma metodologia pré-estabelecida, envolve caracterizar o local para se ter o máximo de informações para implementação de ferramentas. Os registros livres podem auxiliar sobre quando deve-se ter mais atenção no uso e na implementação de uma metodologia mais complexa. O resultado de dessas avaliações inclui conhecimento prévio, por exemplo, da dinâmica da praia, como é o caso do Sossego.

Fotografias aéreas são a forma mais comum utilizando registros de imagens. Essa metodologia usada para medir esse processo não é novidade, há estudos de 1978 com fotografias aéreas cobrindo décadas para demonstrar a metodologia e fornecer informações de base de longo prazo sobre a dinâmica da linha costeira (DOLAN et al. 1978). Há ainda o uso de fotografia aérea digital para monitorar dunas de areia costeiras (EDWARDS, 2001) e condições costeiras e mudanças topográficas de longo prazo (ONAKA et al., 2023). Entretanto, a fotografia aérea demanda custo, tempo e necessita de experts para interpretação dos dados.

As fotografias livres são mais simples e baratas, podendo ser feitas por qualquer pessoa da sociedade. Além disso sua interpretação para uma análise a curto prazo é mais fácil, por exemplo, as fotografias analisadas no presente estudo mostraram que o processo de erosão no Sossego pode ter dinâmica cíclica, ocorrendo em um ano sim e outro não.

Nesse sentido, a dinâmica que ocorre no Sossego pode ser melhor investigada com o monitoramento regular para verificação das tendências dessa praia, observando se foi um evento isolado entre o ano de 2022 e 2023 ou se é uma dinâmica já estabelecida que será intensificada com o aumento da frequência de eventos ligados a mudanças climáticas. Eventos climáticos como tempestades, clima de ondas e ventos e elevação do mar impactam a erosão costeira, levando ao aumento das

taxas de erosão e as praias arenosas são ecossistemas vulneráveis a essa erosão (DONG et al., 2024).

Uma fotografia livre, tirada de forma espontânea, pode se tornar uma amostra científica que resulta em uma infinidade de dados para pesquisa científica. Técnicas de baixo custo e simples fornecem oportunidade para implementar a ciência cidadã para expandir a escala dos programas de monitoramento (PUCINO et al., 2021). A ciência cidadã se trata de uma metodologia onde qualquer pessoa, fora da comunidade científica, como voluntários, atua ativamente na geração de dados para a pesquisa científica (BONNEY et al., 2014).

A metodologia do CoastSnap usa a ciência cidadã costeira, que explora a tecnologia de smartphones e técnicas de processamento de imagens. Os participantes posicionam seus smartphones no suporte e capturam uma foto da praia compartilhada em um banco de dados. Segundo Harley e Kinsela (2022) o que diferencia o CoastSnap de outros programas que usam fotografias são suas técnicas avançadas de processamento de imagens que transformam essas imagens de praia em um conjunto de dados cientificamente rigorosos da posição da linha costeira e outros parâmetros necessários para informar decisões de gestão costeira.

As fotografias livres embora contribuam para análises da praia, para se tornarem dados científicos precisam seguir um conjunto de regras e técnicas para obter resultados confiáveis em pesquisas científicas. Portanto, as observações de indícios de erosão na praia do Forte antes da instalação do CoastSnap são dados prévios sobre o status da praia. Um dado retirado de uma amostra científica fornece base para tomadas de decisões de gestão baseada na ciência.

Nesse sentido, as fotografias analisadas aqui mostram o potencial de imagens de smartphones na contribuição da pesquisa científica para reconhecer um status momentâneo como na praia do Sossego e determinar tendências da praia a longo prazo como no Forte.

## **5. CONCLUSÕES**

Esta pesquisa se concentrou na descrição da conversão fotografias simples em amostras científicas para monitoramento de praia. Usamos fotografias geradas por smartphone para identificar seu uso potencial em uma metodologia consolidada globalmente. O resultado mostra que a aplicação da tecnologia de imagens é útil para

estimar a necessidade de instalação de um método padronizado de monitoramento. Além disso, os resultados indicam que:

- I. A comparação de diferentes fotografias pelo registro livre contam a história da dinâmica a curto prazo da praia.
- II. O registro das fotografias seguindo o método CoastSnap seguem um padrão rigoroso de técnicas necessárias para interpretação avançada de imagens e necessitam de dados prévios sobre a praia com demanda para o uso.
- III. O uso de smartphones foi útil como tecnologia para geração remota de dados científicos de forma barata e rápida.

## **CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE UMA PRAIA DA ILHA DE ITAMARACÁ (PE) COM LIXO E COASTSNAP PARA ARRIBADAS E USOS DE PRAIA**

### **RESUMO**

O acúmulo de arribação e lixo marinho pode representar um problema ambiental intensificado por mudanças nas condições climáticas. O objetivo deste estudo foi buscar uma forma de monitorar esses acúmulos através de imagens de smartphone por ciência cidadã aliada à coleta de campo para gerar dados a respeito da praia do Pilar na ilha de Itamaracá. Para isso, foi realizado o registro semanal de fotografias da praia, além da coleta mensal de lixo. Dados de vento e onda ficaram próximos aos padrões conhecidos. Precipitação pluviométrica aumentou comparada à média histórica. Setenta e uma fotografias foram recebidas por ciência cidadã e em 62,8% tinham arribação. A arribação foi classificada no grau 0 (37,1%), 1 (18,6%), 3 (24,3%) e 5 (20%). O número de usuários de praia foi 460, com maioria na arribação grau 1, resultando em usuários e arribação não significativamente associados. A distribuição de usuários pode ser muito semelhante com e sem arribação. Um total de 3433 itens de lixo foram coletados. Plástico foi abundante seguido de vidro e cerâmica, isopor e madeira. Não houve diferenças estatísticas no número de lixo entre os meses. Mais lixo após intensas chuvas ocorreu em resposta ao transporte por ventos, descarga de rios ou foram reintroduzidos após encobertos por sedimentos em áreas de erosão. Número de usuários pode ter influenciado mais lixo. Plástico em maioria resulta da falta de normas eficientes para controle e gestão de resíduos urbanos e de atividades de praia. Monitoramento semanal permitiu avaliar mudanças sazonais e tendências a longo prazo.

Palavras chave: fotografias, arribação, usuários de praia, lixo marinho

## ABSTRACT

The accumulation of wrack and marine debris can be an environmental problem intensified by changing climatic conditions. This study aimed to explore a method for monitoring these accumulations through smartphone images via citizen science, combined with field collection, to generate data on Pilar Beach, located on Itamaracá Island. Weekly photographic records of the beach were taken, along with monthly litter collection. Wind and wave data remained close to known patterns, while rainfall increased compared to the historical average. 71 photographs were received through citizen science, with 62.8% showing wrack. Wrack was classified into degrees 0 (37.1%), 1 (18.6%), 3 (24.3%), and 5 (20%). The number of beach users was 460, with the majority present in areas with wrack degree 1, resulting in no significant association between users and wrack. User distribution appeared similar with or without wrack. A total of 3,433 waste items were collected, with plastic being the most abundant, followed by glass and ceramics, Styrofoam, and wood. No statistical differences were found in litter quantity across months. Increased litter accumulation after heavy rains was likely due to wind transport, river discharge, or reintroduction from sediment-covered erosion areas. The number of beachgoers may have influenced waste accumulation. The predominance of plastic reflects the lack of effective regulations for urban waste management and beach activities—weekly monitoring allowed for assessing seasonal changes and long-term trends.

Keywords: photographs, beach wrack, beachgoers, marine litter

## 1. INTRODUÇÃO

Praias arenosas enfrentam historicamente pressões antrópicas resultantes do desenvolvimento econômico através da exploração insustentável dos recursos naturais (AMARAL et al., 2016) e da urbanização com a população e atividades econômicas concentradas ao longo da costa (MARQUES et al., 2004). Essas pressões submetem as praias brasileiras a diversos impactos humanos relacionadas à exploração do turismo, recreação e ocupação. Esses impactos podem resultar ainda da pesca, do aumento do turismo náutico, do enriquecimento de nutrientes pelo despejo de esgotos, de processos de erosão e sedimentação e da presença de lixo nas praias.

Lixo antropogênico em praias ao redor do mundo é onipresente, afetando ilhas oceânicas e diferentes ambientes costeiros, que tendem a acumular o lixo flutuante (ANDRADES et al., 2020) e são locais de depósito do despejo direto de resíduos com má gestão no continente. A distribuição de global desse lixo é controlada por diversos fatores incluindo proximidade com centros urbanos, geomorfologia, contribuição de rios, correntes (CORCORAN, 2015), variações de maré e diferentes usos da praia.

No mesmo sentido, a intensificação de eventos ligados a mudanças climáticas contribui significativamente para o cenário de poluição costeira e marinha por detritos antropogênicos. Tsunamis podem liberar e transportar itens de lixo no oceano como detritos plásticos, pedaços de barcos, resíduos de casas, madeira processada, equipamentos de pesca, tecidos e outros materiais (QI et al., 2024). Relacionar esses eventos com poluição marinha pode ajudar a entender e gerenciar os efeitos negativos para biodiversidade e habitats marinhos e costeiros e bem como para a sociedade que depende desses ecossistemas (LINCOLN et al., 2022).

Detritos plásticos entram constantemente nos ecossistemas aquáticos (UNEP, 2021), e variações nos padrões climáticos como ventos fortes, aumento de tempestades e inundações associadas a desastres naturais podem contribuir para a distribuição e ocorrência desses detritos em diferentes ambientes incluindo praias. Um exemplo disso é a presença de grandes manchas de lixo espalhadas no mar e identificadas por imagens de satélite após o terremoto seguido por tsunami no Japão em 2011 (QI et al., 2024).

No Brasil, a costa nordeste tem sido exposta a impactos relacionados ao derramamento de óleo (SANTOS et al., 2022), à problemas referentes a inundações e erosão costeira (COSTA et al, 2010; NICOLODI & PETTERMANN, 2011), ao turismo

(BARRADAS et al., 2012) e à presença de detritos antropogênicos nas praias (ARAÚJO et al., 2018, CAVALCANTE et al., 2020, CINTRA et al., 2024). Além desses impactos, na região nordeste é comum a presença de grandes depósitos de detritos vegetais compostos por macroalgas, macrófitas aquáticas e vegetação de restinga em praias arenosas.

Desde 2014 grandes bancos de algas flutuantes têm aparecido na costa do Brasil podendo estar ligado a um aumento anormal na temperatura dos oceanos e à combinação de condições físico-químicas da água do mar e interações biológicas, que impulsionam o crescimento das macroalgas já presentes em menor quantidade no Atlântico Sul (SISSINI et al., 2017).

Esses depósitos chamados de arribação (CAVALCANTI, 2021), são um fenômeno natural, que têm aumentado em áreas costeiras devido à intensificação de eventos climáticos extremos como aquecimento global, atividades antropogênicas e enriquecimento da água com nutrientes (MARTINS et al., 2024). Em grande escala, essa superacumulação de biomassa passa representar um sério problema ambiental.

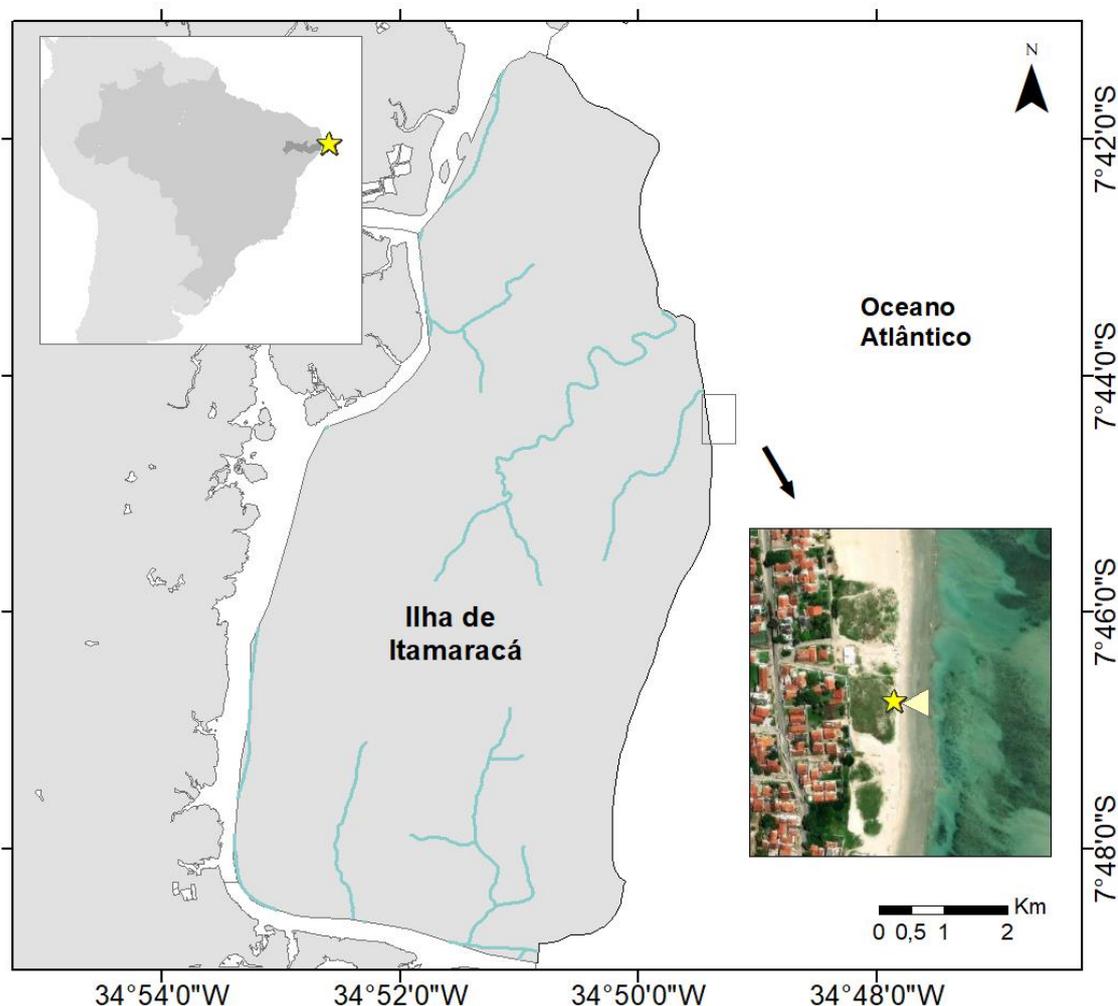
Portanto, buscar uma forma rápida e barata de monitorar eventos de deposição desses detritos que se somam às ocorrências de lixo costeiro em praias arenosas motivou o presente estudo. Aqui objetivamos relacionar o monitoramento desses dois detritos através do registro de imagens de smartphone usando a metodologia simplificada do CoastSnap (HARLEY et al., 2017) com a coleta de campo da forma tradicional para verificar de que forma esses métodos podem ser aliados na pesquisa científica para gerar maior número de dados e informações a respeito das praias.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Área de estudo**

A praia do Pilar se localiza ao norte da ilha de Itamaracá, com ocupação residencial e comercial, com bares e residências fixas e temporárias (Leitão et al., 2007). A beira mar é ocupada por bares, casas, apartamentos. Há ainda estruturas de apoio para pesca, com embarcações ancoradas e nas áreas de bares há quiosques fixos e mesas para usuários. A restinga está presente em pequenos setores da praia. Não há uma divisão geográfica clara da extensão da praia. O trecho estudado foi definido a partir de informações de pescadores e moradores sobre ser uma área comum de presença de arribação (7°44'27.10"S 34°49'24.29"O).

Fig.1: Área de registro das imagens semanais e coleta de lixo mensal na praia do Pilar. Localização do ponto fixo para registro das imagens: ☆ Área triangular branca: área de coleta mensal de lixo.



Fonte: A autora (2024).

## 2.2 Monitoramento semanal

O monitoramento semanal iniciou em outubro de 2022 e seguiu até fevereiro de 2024. As imagens foram capturadas com smartphone posicionado em uma base fixa seguindo a metodologia CoastSnap (HARLEY et al., 2017) com auxílio e parceria com um grupo de ativistas moradores da ilha (@itamaraca\_preservada) que atuaram como cidadãos cientistas. Os participantes foram recrutados a partir de reunião presencial para explicação sobre o estudo. Todas as fotos foram registradas às 12h do sábado de cada semana e identificadas com suas respectivas data e hora. As fotos eram recebidas imediatamente após o registro e armazenadas em banco de dados privado na nuvem.

Os registros foram analisados quanto à arribação (presença/ausência), tipo de arribação (antiga, nova, antiga e nova – ambas, contínua, ausente), graus de cobertura (0, 1, 3 e 5). Quanto ao tipo de arribação as imagens foram classificadas como arribação antiga quando a linha de detritos era próxima à vegetação de restinga. Arribação nova foi definida quando os detritos eram depositados próximo à linha d'água. A caracterização para “ambas” ocorreu quando foi possível visualizar duas linhas de detritos com tempo de deposição recente e antiga ao momento de registro da foto. Uma arribação contínua foi descrita quando a área da arribação era extensa formando um “tapete”. Os graus de cobertura seguiram a classificação de Haseler et al. (2019): 0 – não coberto, 1: raramente coberto, 3: moderadamente coberto e 5: intensamente coberto.

### 2.3 Coleta mensal

A amostragem de itens de lixo foi realizada mensalmente na praia do Pilar, durante um ano (março de 2023 a fevereiro de 2024) com coleta manual dos itens de macrolixo. O lixo foi coletado na área triangular da praia (Fig. 1), na região do campo de visão das fotografias em direção ao mar. Essas amostragens foram feitas durante as menores marés de cada mês, com toda a área amostrada. Ao fim de cada coleta os itens de lixo eram armazenados em sacos plásticos de 100L para transporte até o laboratório. Os itens de lixo foram classificados quanto ao número de itens, tipo e material (plástico, tecido, vidro e cerâmica, espuma, papel, madeira, borracha, outros) e diversidade de acordo o guia de “Diretrizes para Pesquisa e Monitoramento de Lixo Marinho” (UNEP, 2009).

### 2.4 Dados meteo-oceanográficos

Os dados meteo-oceanográficos (vento e onda) para cada praia foram obtidos online ([www.windguru.cz/](http://www.windguru.cz/), [www.surf guru.com.br/](http://www.surf guru.com.br/) e [earth.nullschool.net/pt/](http://earth.nullschool.net/pt/)). Intensidade de vento (m/s), direção do vento, altura (m), período (s) e direção da onda foram coletados nas horas próximas ao momento da coleta mensal (1 a 2h antes) e para as coletas semanais os dados da hora da captura (12h) foram usados, afim de verificar os fatores que influenciam a ocorrência diária e local da arribação na ilha. Os dados de precipitação mensal foram disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

## 2.5 Análise estatística

As fotos semanais foram analisadas em termos de frequência relativa de ocorrência de arribação com os dados apresentado em percentagem (%). Teste Qui-Quadrado de Pearson com correção de Yates foi usado como teste de hipótese para comparação de duas variáveis qualitativas. A correção de continuidade de Yates foi usada quando as frequências eram pequenas nas tabelas com tamanho 2x2. O teste foi usado para verificar associação entre arribação e a presença de usuários.

Para análise dos itens de lixo, foi feita verificação da distribuição da normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias, teste não paramétrico teste Kruskal-Wallis com nível significância igual a 0,05 foi usado para observar a presença de diferenças significantes. Quando presente diferenças estatísticas foram identificadas através do teste de comparações múltiplas de Dunn. O lixo foi expresso por itens/100m<sup>2</sup> e a média desse lixo foi apresentada por média  $\pm$  erro padrão.

## 3. RESULTADOS

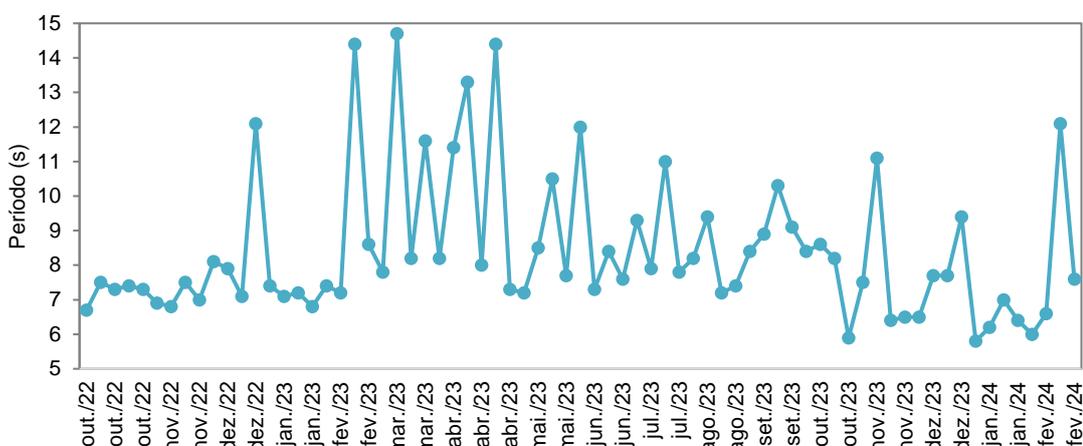
### 3.1 Coleta semanal

#### 3.1.1 Dados meteo-oceanográficos

Os dados de vento coletados mostram direções predominantes de SE (sudeste) e ESE (leste-sudeste) (Material suplementar III). Os ventos mais intensos eram de 7m/s em 3 dias dos meses de julho (foto 43), agosto (foto 48) e setembro (foto 51). Vento mais fraco ocorreu no último dia de captura de fotos de agosto com intensidade igual a 2,8m/s e direção E (leste). Ventos com intensidade <4m/s também foram registrados em dias dos meses de fevereiro, março, abril e maio.

Para as ondas registradas nos dias de captura das imagens (Material suplementar III) mostra os valores de altura significativa (m) e as direções predominantes durante a hora de captura. As maiores alturas verificadas ocorreram no mês de junho (foto 39) e setembro (foto 50) com valores de 1,9m. Por outro lado 0,86 e 0,87m foram as menores alturas em março (foto 25) e dezembro (foto 63) respectivamente. Durante o período do estudo a direção predominante das ondas foi de ESE (leste-sudeste) sempre as 12h. O período das ondas é descrito na figura 2, com valor máximo de 14,7s e mínimo de 5,8s.

Fig. 2: Período das ondas durante os registros das imagens de outubro de 2022 a fevereiro de 2024.

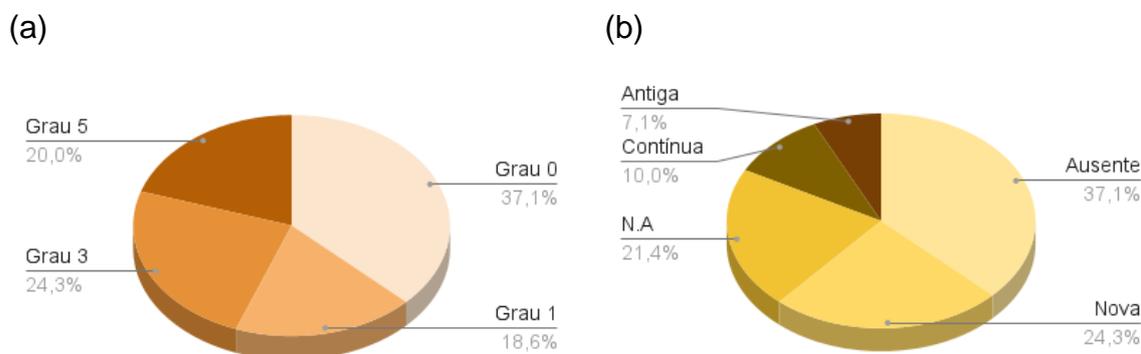


Fonte: A autora (2024).

### 3.1.2 Total de fotos

Um total de 70 fotografias foram recebidas entre outubro de 2022 e fevereiro de 2024. Nos registros foi possível verificar que 62,8% das imagens continham arribadas. Arribação nova e arribação nova e antiga (N.A) ocorreram com maior frequência, 24,28% e 21,42% respectivamente (Fig. 5b). Áreas contínuas foram identificadas em 7 imagens representadas por 10% na figura 5b. Em grande parte das fotos (37,14%) foi possível verificar áreas raramente cobertas incluídas na categoria 0 para graus de cobertura (Fig. 5a). Áreas intensamente cobertas foram 20% do total. Esses dados foram expressos quanto a sua frequência relativa (%) na figura 3.

Fig. 3: Grau (a) e tipo (b) da ocorrência de arribação no Pilar.



Fonte: A autora (2024)

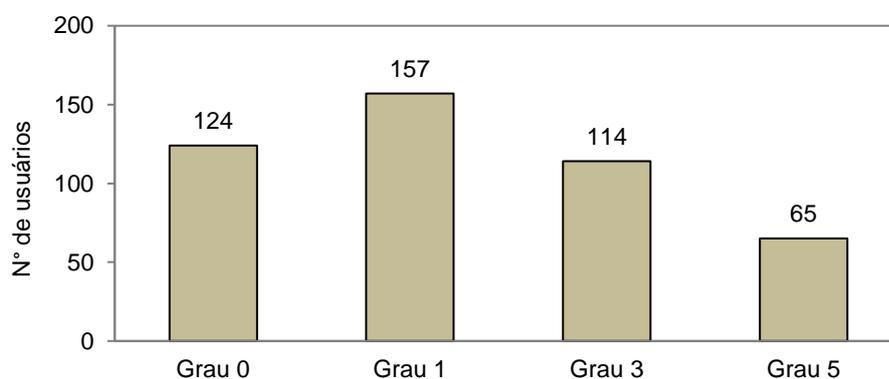
Quatrocentas e sessenta usuários foram contabilizados nos registros. Um pouco mais de 34% do total de usuários ocorreram quando a arribação presente era

no grau 1 (Fig. 4), seguida pelo grau 0 com 124 pessoas em 13 e 26 imagens respectivamente.

A tabela 1 mostra a presença e ausência de usuários em relação à presença e ausência de arribação. Dentro de 70 registros a presença de arribação foi identificada em 44. Entre os dias com arribação, usuários estavam presentes em 33 (Tabela 1). Nos 26 dias sem arribação, os usuários estavam presentes em 18.

O teste qui-quadrado resultou no valor de  $X^2$  igual a 0,061 e um  $p$ -valor igual 0,8, indicando que a presença de usuários e a presença de arribação não estão significativamente associadas. A distribuição de usuários pode ser muito semelhante para os casos com e sem arribação. A maioria dos registros com arribação também possui usuários (33 ocorrências). Entretanto, o número de observações em que arribação estava presente e usuários ausentes (11 ocorrências) não é tão diferente a ponto de sugerir uma forte associação, o que é corroborado pelo  $p$ -valor elevado ( $p=0,8$ ) no teste de qui-quadrado

Fig. 4: Número de usuários de praia por grau de cobertura.



Fonte: A autora (2024).

Tabela 1: Tabela de contingência para número de dias (fotos).

	Com usuários	Sem usuários
Com arribação	33	11
Sem arribação	18	8

Fonte: A autora (2024).

### 3.2 Relação foto x usuários x arribada

Os dias com maior número de usuários foram os dias em que a arribação estava presente, do grau 1 ao 5, descrito na tabela 2. A presença da arribação no maior grau ocorreu em janeiro, formada por deposição nova e antiga. Nesse mês, com a presença da arribação formando um “tapete” nota-se que os usuários não deixaram

de frequentar a praia, tendo preferência de uso próximo à restinga, na área sem deposição de arribadas. Nas fotos foi possível verificar diferentes usos da praia, como atividades de lazer, comércio e usuários transitando.

Tabela 2: Descrição da presença de arribação, pessoas e atividade observadas nas fotos.

Data	Grau	Tipo	Nº de pessoas	Atividade	
07/01/23	Grau 5	nova e antiga	25	lazer/trânsito	
14/01/23	Grau 3	nova e antiga	32	lazer/trânsito	
18/02/23	Grau 1	antiga	24	comércio/lazer	
08/04/23	Grau 1	antiga	35	comércio/lazer	
03/12/23	Grau 1	nova	34	lazer	
10/02/24	Grau 3	nova e antiga	20	lazer/comércio	

Fonte: A autora (2024).

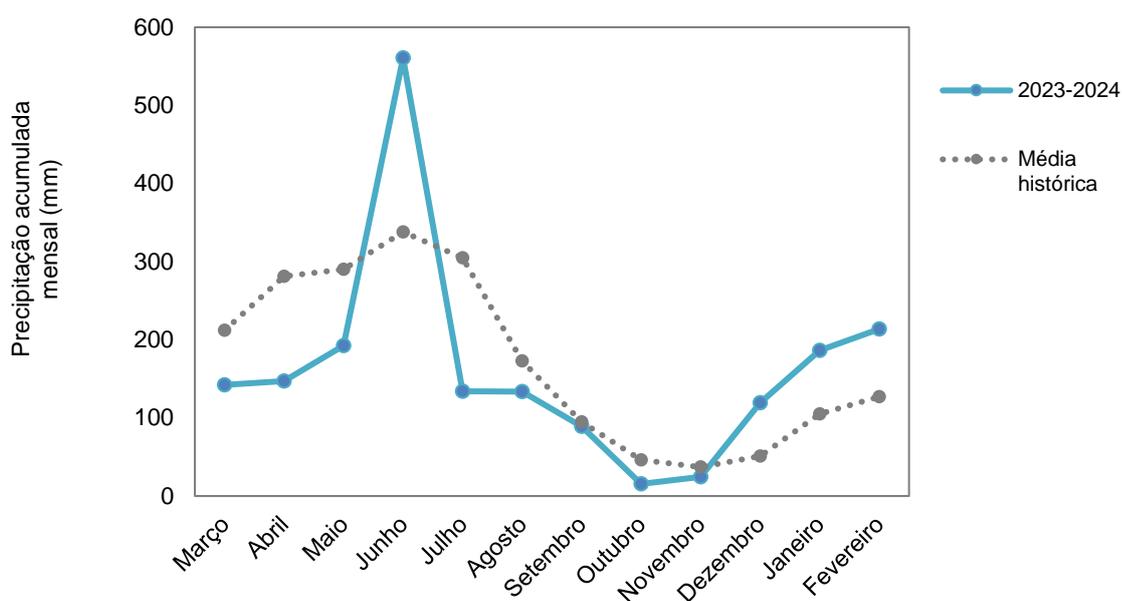
### 3.3 Coleta mensal

#### 3.3.1 Dados meteo-oceanográficos

A precipitação acumulada mensal obtida para os meses de coleta foi descrita na figura 7. Os dados de março de 2023 a fevereiro de 2024 mostram que os valores

observados seguiram o padrão para a média histórica observada. Embora junho de 2023 tenha registrado valores quase o dobro da média para o mês, os valores de máxima e mínima precipitação estão dentro do esperado para a região, com máxima em junho e mínimas nos meses de outubro e novembro.

Fig. 5: Precipitação acumulada mensal de março de 2023 a fevereiro de 2024 para a Ilha de Itamaracá.

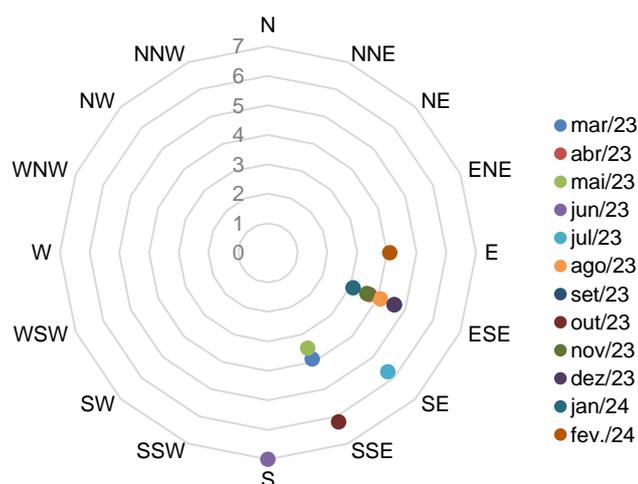


Fonte: A autora (2024).

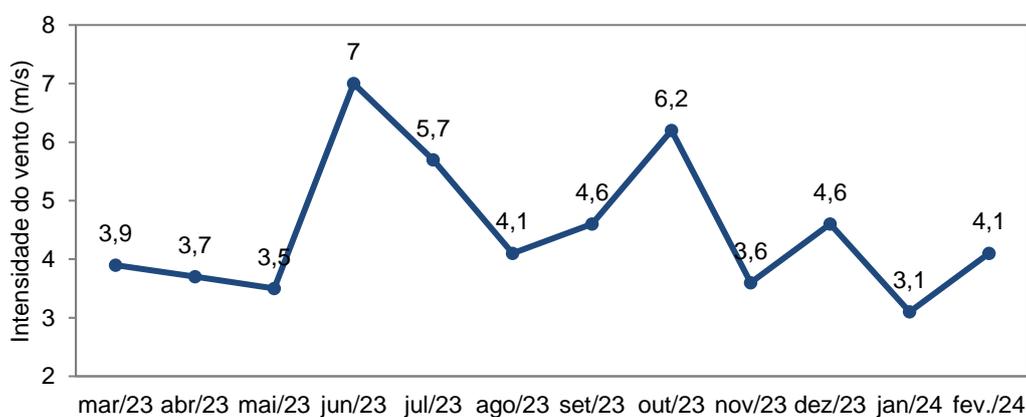
A figura 6a e b mostra as direções e intensidade dos ventos predominantes próximos à hora da coleta de itens de lixo em cada mês. A direção predominante foram ventos de ESE (leste-sudeste) ocorrendo entre 6 e 9 horas da manhã. Fevereiro e junho diferenciaram-se com ventos mais aos extremos, da direção E (leste) e S (sul) respectivamente. Quanto a intensidade desses ventos (Fig. 6b), junho teve vento mais forte com 7m/s e o oposto, vento mais fraco com 3,1m/s ocorreu em janeiro. Ventos mais fracos foram registrados ainda em março, abril e maio.

Fig. 6: Direção (a) e intensidade (b) dos ventos predominantes próximos às horas das coletas de março de 2023 a fevereiro de 2024 na praia do Pilar.

(a)



(b)

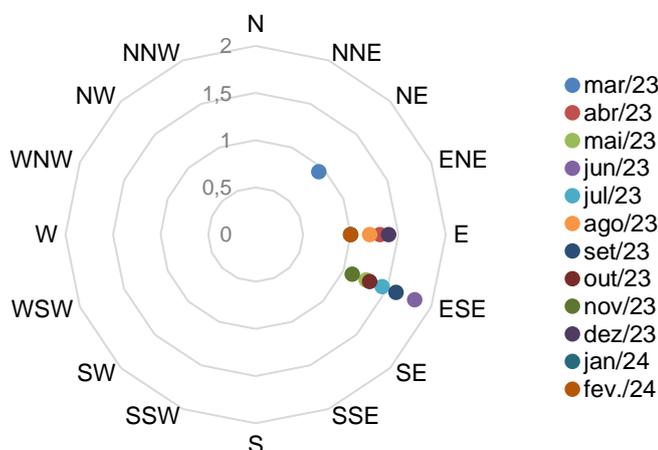


Fonte: A autora (2024).

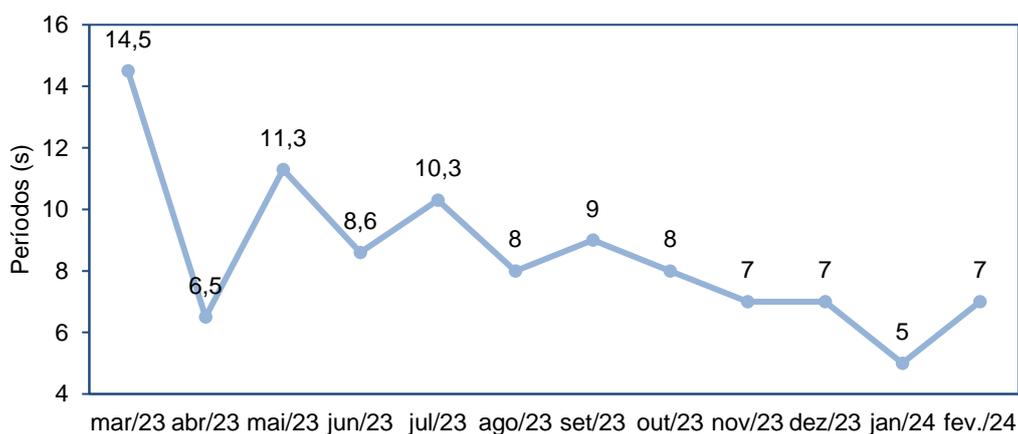
As ondas de E (leste), ESE e NE (nordeste) foram registradas nas coletas de março e fevereiro. A maior e menor altura significativa dessas ondas foram 1,81 m em junho e 0,94m em março respectivamente. Em março também ocorreram ondas com o maior período registrado igual a 14,5s. A período dessas ondas mostrou uma tendência de diminuição ao longo do ano chegando a 7s em dezembro e 5s em janeiro (Fig. 6b).

Fig. 7: Direção, altura significativa (a) e período (b) das ondas próximo à coleta de amostras dos itens de lixo.

(a)



(b)



Fonte: A autora (2024).

### 3.3.2 Caracterização da cobertura

Durante o período do estudo, somente nos meses de novembro e dezembro de 2023 a arribação estava presente no grau 5 nos dias das coletas (Fig. 8d, e, f). No restante dos meses a arribação era ausente ou em menor grau. Nas imagens registradas, a partir da base fixa, essa arribação só foi visualizada quando era do grau 5 (Fig. 8i). A presença da arribação não interferiu na coleta dos itens de lixo.

Fig.8: Diferentes graus de cobertura observados durante as amostragens. (a), (b), (c) - grau 0; (d), (e), (f) - grau 1 e 3; (g), (h), (i) - grau 5.



Fonte: A autora (2024).

### 3.3.3 Variação da área

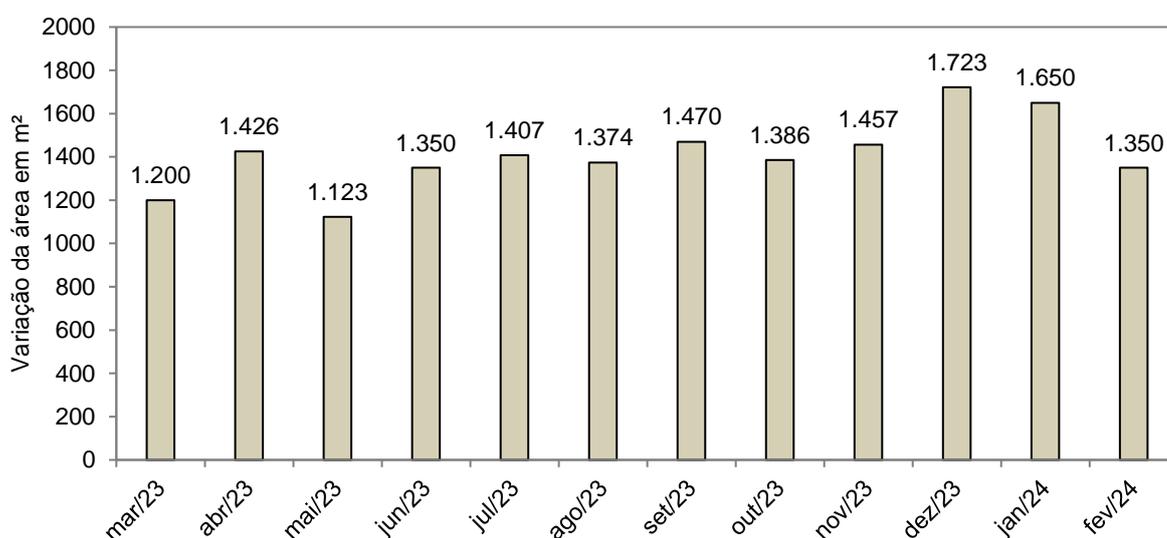
As coletas de itens de lixo ocorreram sempre durante a maré baixa. As áreas e amostragem mensais (Fig.9 e 10) variou de 1722,5m<sup>2</sup> a 1123,2m<sup>2</sup>, com média de 1409,6m<sup>2</sup>. As variações de área total (área), altura (base da foto até a linha d'água) e largura da base (base) foram descritas na tabela 4. Dezembro e janeiro foram os meses onde a área de amostragem apresentou maior extensão com 1722,5m<sup>2</sup> e 1650m<sup>2</sup> respectivamente. As menores áreas ocorreram em março e maio (Fig. 10).

Fig. 9: Área de amostragem para macrolixo na praia do Pilar.



Fonte: A autora (2024).

Fig. 10: Variação da área de amostragem ao longo dos meses.



Fonte: A autora (2024).

### 3.3.4 Itens de lixo

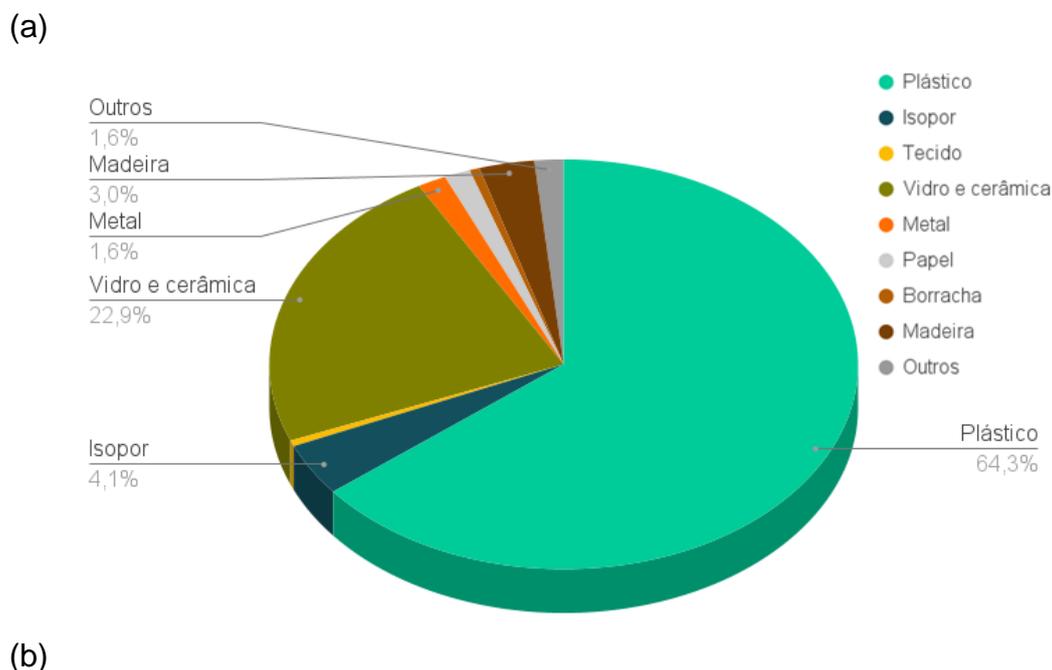
Um total de 3433 itens de lixo foram coletados ao longo de 12 meses. A concentração do lixo variou de 0,076 a 0,294 itens/m<sup>2</sup>, com média de 0,202±0,020 itens/m<sup>2</sup>. Julho e setembro foram os meses com maior número de itens (473 e 404 itens, respectivamente). O lixo foi composto por detritos classificados como plástico (n = 2208), vidro e cerâmica (n = 786), isopor (n = 142), metal (n = 54), tecido (n = 16), papel (n = 49), borracha (n = 19), madeira (n = 104) e outros (n = 55).

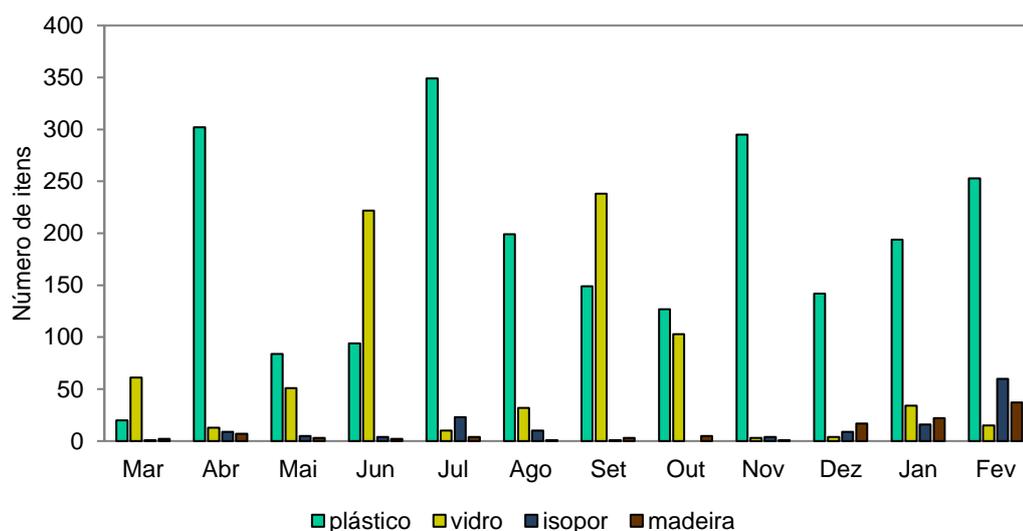
Plástico foi o material mais abundante seguido por vidro e cerâmica e itens de isopor (Fig. 13a e 13b). Entre os plásticos, o maior número de detritos estava presente na forma de sacolas (PL07; n = 634), diferentes tipos de plásticos, sendo fragmentos duros, moles ou flexíveis (PL24; n = 486) e embalagens de alimento (PL06; n = 388).

Em relação aos itens categorizados como vidro e cerâmica, a maioria era composta por restos de construção (GC01; n = 717). Ainda nessa categoria, fragmentos de vidro e/ou cerâmica (GC07; n = 66) também estavam presentes nas amostras como descrito na figura 1c. Fragmentos de isopor foram o tipo mais representativo em isopor, assim como tampas de metal e madeira processada nas suas respectivas categorias de material (Fig. 11c). Todas as categorias foram detalhadas no Material Suplementar II.

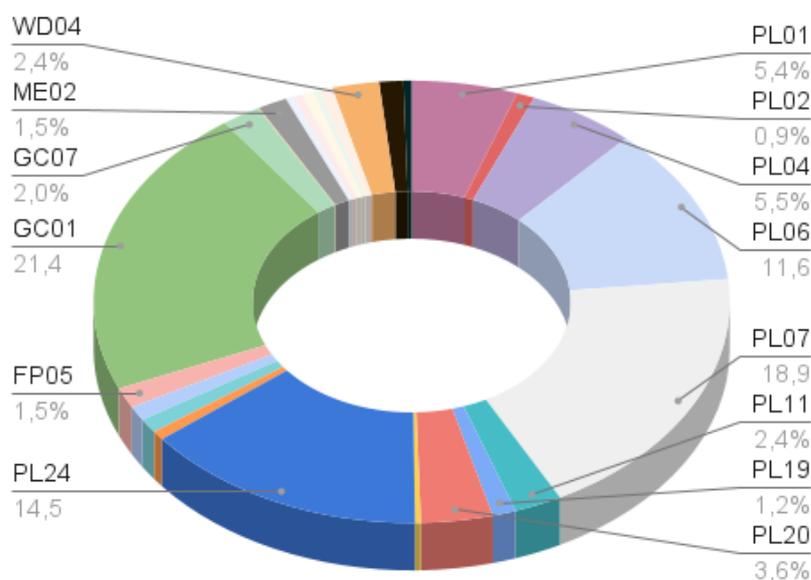
Os quatro materiais mais abundantes foram descritos na figura 13b. Julho e abril foram os meses com maior número de itens plásticos com 15,8% e 13,6% respectivamente. Do total de 786 itens de vidro e cerâmica setembro (n=238) e junho (222) foram os meses com mais de 200 itens comparando com os outros meses com menos de 100 itens. Ao longo dos meses foram identificados 142 materiais de isopor estando em abundancia no mês de fevereiro (n=60). Dezembro, janeiro e fevereiro tiveram mais de 70% dos itens de madeira coletados.

Fig. 11: Materiais (a), quatro materiais mais abundantes (b) e (c) categorias lixo de praia no Pilar (Ilha de Itamaracá) entre março de 2023 e fevereiro de 2024.





(c)

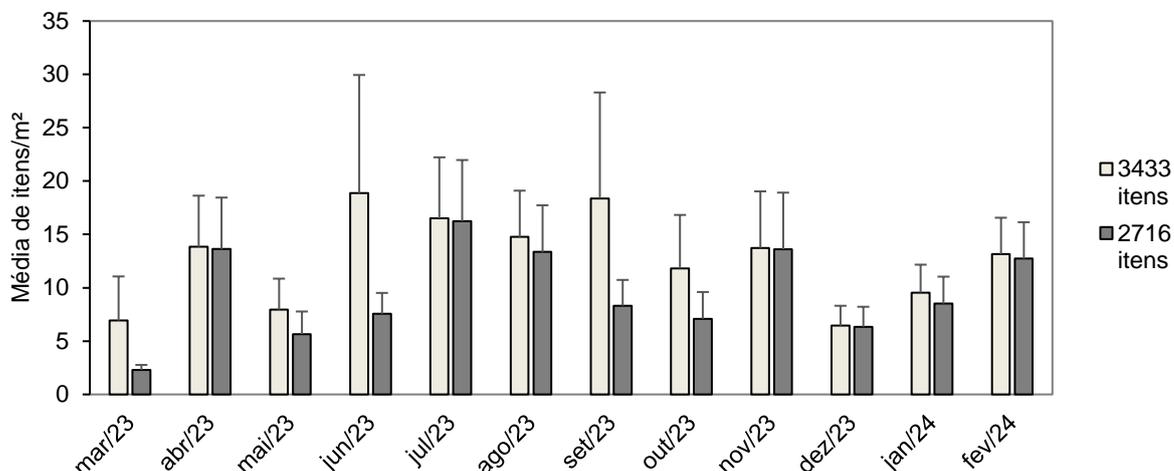


Fonte: A autora (2024).

O total de lixo excluindo os detritos classificados como GC01, que possuem menor mobilidade no transporte continente-mar, resultou em 2716 itens com média igual a  $0,165 \pm 0,023$ . Os meses com mais itens ligados a material de construção (Fig. 14) foram junho ( $n = 204$ ) e setembro ( $n = 221$ ). Esse tipo de detritos foi ausente em outubro e representou menos de 2% do lixo de abril ( $n = 5$ ), novembro ( $n = 3$ ) e

dezembro (n = 3). A diferença entre o lixo com e sem o material de resto de construção foi ilustrada na figura 12.

Fig. 12: Média de itens de lixo apresentados por mês na praia do Pilar



Fonte: A autora (2024).

Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas no número de itens para os 12 meses (n = 3433) através do teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ). Já para o tipo de material do lixo essas diferenças ( $p < 0,05$ ) foram observadas no teste de múltiplas comparações (Dunn test) na combinação entre plástico e todos os materiais, vidro-borracha e papel-vidro.

Para os itens sem a categoria GC01 (n = 2716), os mesmos resultados estatísticos foram observados, com diferenças estatísticas apenas nas comparações entre o tipo de material do lixo, com a combinação de plástico com todos os materiais se diferenciando estatisticamente, exceto plástico e isopor. A correlação de Spearman indicou uma relação fraca e não significativa estatisticamente tanto para número de itens igual à 3433 ( $\rho = -0,0212$ ;  $p > 0,05$ ) quanto o total de 2716 itens ( $\rho = 0,0113$ ;  $p > 0,05$ ) em relação à variação da área de coleta.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Coleta semanal

Os registros de ventos observados pelo presente estudo corroboram com a literatura já descrita para o litoral, com ventos mais intensos de julho a outubro (ALMEIDA, 2018). Ventos menos intensos ocorreram em dias de coleta nos meses de fevereiro a maio seguindo um padrão descrito por Bezerra (2013), com aumento da

intensidade de junho a setembro. Quanto às direções ventos de sudeste (SE) e de leste (E) são comuns para a área de estudo (ALMEIDA, 2018; ARAÚJO et al., 2021).

Embora ventos mais intensos tenham ocorridos em dias dos meses de julho, agosto e setembro, os registros das imagens desses dias mostram a praia com arribação ausente. Isso pode ser explicado pelo fato de que nesse período não é comum o depósito de arribadas em praias do nordeste, que ocorre em períodos de verão, relacionado aos últimos meses do ano. Santos et al. (2013) e Silva Jr. (2019 e 2022) já demonstraram que a variabilidade temporal e quantidade de arribação na praia estão associadas.

A presença das arribadas está relacionada ainda com a localização geográfica, sazonalidade das espécies e à exposição às ondas (CAVALCANTI, 2021), pois há espécies que se desenvolvem melhor dependendo da hidrodinâmica de cada praia. A praia do Pilar pode ser definida como uma praia exposta, com ondas pequenas. Nesse cenário, as maiores alturas significativas registradas ocorreram em 2 dias dos meses de junho e setembro. As fotografias da praia nesses dias mostram arribação ausente, no grau 0. Por outro lado, quando as ondas tinham as menores alturas foi possível visualizar a praia com arribação grau 3 e 5. A arribação no maior grau ocorreu no período em que já é esperada a presença dessas deposições na praia, durante o verão. Quando o período da onda foi  $\geq 9$ s as arribadas foram classificadas em todos os graus de cobertura. O mesmo ocorreu para períodos menores. Portanto não foi possível observar uma relação entre o período e os graus de cobertura da área monitorada na praia do Pilar, embora Isachenko et al. (2023) já tenha descrito essa relação junto à altura de ondas sendo importantes componentes no transporte de arribadas e itens de lixo para praias.

Em mais da metade dos registros foi possível observar a presença de arribação. Arribação nova foi descrita como um depósito recente enquanto a antiga se trata de uma deposição que ocorreu há algum tempo podendo estar seca e em breve estágio de decomposição. Quando ambas estavam presentes a arribação foi nomeada como nova e antiga. Nas imagens foi possível visualizar arribações recém depositadas, sugerindo que ao longo do ciclo de maré, diferentes processos de deposição e retirada podem estar ocorrendo na praia. Esse fato ocorre ao longo do ano todo e é intensificado no verão quando grandes quantidades são depositadas suprimindo o transporte de volta para o mar. Nos cenários de grandes acúmulos esse

material não é retirado da praia por serviços de limpeza pública, fato que pode interferir na presença ou ausência de usuários.

Embora os dados do presente estudo demonstrem que a presença de usuários e de arribação não estão associadas, pois a maioria dos registros com usuários também há presença dos detritos naturais, este estudo ressalta que em um cenário onde há presença de arribação em pequenas quantidades como no grau 1, não é um incômodo para os usuários de praia. Hofmann et al. (2023) demonstra que, embora as arribadas não afetem positivamente a experiência da maioria das pessoas na praia, pequenas quantidades de arribadas são toleradas, podendo desviar o caminho ou passar por cima.

Em um dos registros com maior número de pessoas na fotografia esses usuários estavam presentes mesmo presença da arribação presente no maior grau. Porém é importante ressaltar aqui que a percepção e o incômodo de cada usuário é uma experiência individual, podendo estar ligada ao nível de informação quanto ao reconhecimento dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelas arribadas por exemplo. Além disso essa experiência pode diferir por país e praia, essa a aceitação de certas quantidades pode ter relação com questões culturais, práticas e econômicas e visuais (HOFMANN et al., 2023).

A presença de arribadas, como detritos vegetais flutuantes ou depositados na areia, é ainda um importante parâmetro em avaliações de qualidade de praia, descrita anteriormente por Araújo e Costa (2008) como um dos parâmetros com maior peso em relação a outros pré-existentes em subsistemas naturais. Araújo e Costa (2008) consideraram para esse peso o aparecimento consistentemente estabelecido na avaliação de praias em literaturas anteriores. Nesse estudo 3 classes foram estabelecidas (infestada, ocasionalmente presente e ausente). Ramos e Costa (2023) também usaram arribadas como parâmetro frequente de descrição recomendado por literatura anterior. Definiram como característica ambiental evidências de qualquer tipo de vegetação natural incluindo a formação de linhas de deposição por arribadas como tópico de uma ferramenta de classificação de status da praia. Portanto o monitoramento semanal da arribação presente no Pilar, comumente no grau 1 ao longo do ano, mostra que esse detrito natural é importante componente desse ecossistema praias, que não impede o uso da mesma para atividades comuns de lazer, comércio ou trânsito de pessoas.

## 4.2 Coleta mensal

Dados meteo-oceanográficos de vento e onda se mostraram dentro da média observada por Domingues et al. (2017), com ventos intensos no meio do ano, nos meses de inverno e ventos mais fracos no verão. Quanto à onda Domingues et al. (2017) descreveu ondas com o período de pico de 8 a 10s e a direção de incidência entre ESE e S, com direção média em direção a SE. No presente estudo, nas medições diárias, foram observados períodos de 5 a 14,5s e direções predominantes de ESE e E.

O tamanho das áreas foi maior do que o recomendado nas diretrizes para a condução de estudos de lixo de praia (OSPAR, 2010), de 100m da linha d'água até a linha da duna ou da restinga. Tal abordagem foi feita para garantir a mesma área de visualização das imagens nos resultados, melhorando as percepções da praia a partir de uma base fixa. Foi possível observar a variação da área de coleta a partir das medições em virtude da presença da vegetação da restinga e pela altura da maré baixa. Houve diminuição da área total e da altura em relação a linha d'água quando a restinga estava mais densa, ocupando a areia na faixa superior da área de coleta. Foi possível perceber isso durante um período chuvoso de abril a julho e de novembro a janeiro. Nesses últimos meses outros fatores podem ter contribuído para o crescimento da vegetação como diminuição de atividades próximas, período de floração, crescimento de espécies invasoras, etc.

A área máxima de coleta ocorreu quando ondas tinham direção E, altura igual a 1,4m, e período de onda de 7s. A menor área ocorreu quando foi registrado o segundo maior período de onda igual a 11,3s, ondas com direção ESE e altura de 1,2m. Portanto verifica-se que áreas maiores podem resultar de ondas que têm curtos períodos e com maiores alturas, pois essa dinâmica tende a ser responsável pela retirada de maiores quantidades de detritos e sedimentos, deixando essa praia mais exposta e com tamanho da área de coleta maior do que em outros cenários.

Em relação à cobertura da área de coleta, observou-se arribação no maior grau de cobertura nos meses de verão, como era esperado e descrito em estudos de caracterização ecológica de arribadas no estado (SILVA, 2010; SILVA JR., 2019; 2022; CAVALCANTI, 2021). Pequenas quantidades não puderam ser visualizadas pela base fixa devido à altura de fixação, posicionada no mesmo nível do mar. Para uma visualização melhor de todos os graus de cobertura seria necessária a fixação da base acima do nível do mar.

Quanto aos itens de lixo, um máximo itens ocorreu em julho e setembro, logo após junho, que foi um mês com chuvas muito superiores à média histórica conhecida para área. Essas chuvas de julho podem ter contribuído para o transporte desses itens de lixo de rios até a praia (GALGANI et al., 2000). A presença dos itens de lixo na praia depende da ação de vários fatores espaciais e meteo-oceanográficos, tornando a distribuição ao longo de uma costa variável e complexa (MENICAGLI et al., 2022), assim como as arribadas. Chuvas, ondas, ventos e correntes podem ser responsáveis por essa distribuição. Além disso, tempestades isoladas podem reintroduzir lixos encobertos por sedimentos em áreas costeiras sujeitas a erosão (ANDRIOLO & GONÇALVES, 2022) como é o caso da praia do Pilar em Itamaracá.

Podemos sugerir que em agosto houve diminuição nas quantidades de lixo presentes na praia pela ação de ventos, que podem ter carregado ou encoberto o lixo, ou ainda atividades de limpeza podem ter ocorrido nos dias anteriores à coleta. Devemos considerar ainda que em agosto ainda ocorrem chuvas isoladas e para a área, setembro é um mês com tempo mais firme, onde há aumento das temperaturas e o fluxo de usuários de praia retorna, conseqüentemente maior número de itens de lixo pôde ser observado. Silva et al. (2015), Simeonova et al. (2017) e Araújo e Costa (2021) observaram que o número de usuários influencia em maiores quantidade de itens de lixo encontrados em praias durante o verão.

Uma grande proporção do lixo antropogênico marinho observado é composto plástico (FETISOV et al., 2024), que são depositados em áreas costeiras. Nenhuma diferença significativa foi observada entre os meses de coleta, mostrando que a variação do número de itens de lixo foi quase que constante ao longo do ano. Houve apenas diferença significativa entre os materiais identificados, com plástico se diferenciando dos outros.

Sacolas plásticas, fragmentos e embalagens de alimentos foram os itens mais encontrados e são lixos comumente encontrados em praias (GARCÉS-ORDÓÑEZ et al 2020; TZIOURROU et al., 2021; MARKIĆ et al., 2024), pela alta taxa de consumo desses materiais. Itens fragmentados são resultantes do processo de degradação de objetos maiores (CHUBARENKO et al., 2020). Objetos de isopor são utilizados na pesca e o local do estudo é uma área onde há galpões de apoio para a pesca local. Na área de estudo da praia há ainda a concentração de pequenas embarcações e fabricação de armadilhas. Essas armadilhas no geral são compostas por redes e

madeiras. A presença desses itens pode ser resultado das atividades de pesca assim como do transporte pós eventos de chuvas fortes.

Santos et al. (2008) também encontraram plásticos em 76% do lixo amostrado seguido por 14% de isopor e uma parcela de fragmentos em toda a área estudada ao longo de 150km de costa também no nordeste do Brasil. Fetisov et al. (2024) descreve a contaminação plástica ligada à presença de arribadas, ressaltando alguns eventos que podem adicionar lixo à praia como ventos e corrente fortes, a presença de macrófitas que prende esse material durante tempestades e o padrão de circulação da região que pode influenciar em áreas de deposição de arribadas e áreas livres de lixo. Esses fatores resultam em diferentes concentrações espaciais e temporais de lixo marinho e arribadas como ocorre no Pilar, com trechos com e sem arribadas.

A presença de resto de construção durante e após o período de chuvas ocorre como resultado da remobilização dos sedimentos durante essas chuvas, expondo o material mais pesado que poderia estar enterrado ou encoberto por detritos na área. Nos achados de Andriolo e Gonçalves (2022) foi ressaltado que o lixo pode ser desenterrado com o impacto de tempestades e processos de erosão. Sem os itens de resto de construção não houve diferença estatística nos dados para o número de itens em relação aos meses. Quanto aos materiais, plásticos se diferenciou de todos os outros, com exceção de isopor pelo alto número de fragmentos encontrados desse material.

Da mesma forma não houve nenhuma associação entre o número de itens e a variação da área. Nesse cenário, a área de estudo, conhecida por ter arribação não apresenta variação no número de lixo encontrado ao longo de um ano. Excluindo os plásticos e vidro e cerâmica, o lixo se mantém constante com a presença de itens de isopor e madeira.

#### 4.3 Coleta semanal + mensal

O monitoramento de praias através de imagens tem sido descrito como eficiente ferramenta para observações a longo prazo (HARLEY et al., 2017; ARRIAGA et al., 2022). As fotografias semanais ajudaram a compreender o cenário de cada mês de coleta. Por exemplo, em dezembro durante a coleta mensal verificou-se uma grande quantidade de arribação, a partir do monitoramento semanal chega-se à conclusão de que a deposição não foi um evento isolado e faz parte de um período onde as condições da praia favorecerem esse aparecimento.

O monitoramento semanal permite avaliar mudanças sazonais e tendências a longo prazo do mesmo modo que permite ter uma visão ampla dos processos que podiam ter sido observados em apenas um dia (dia da coleta mensal). A arribação muda muito em condições climáticas adversas ou em escalas de tempo de horas e dias (PAN et al., 2022). Portanto, esse monitoramento consegue estimar uma dinâmica a curto prazo com o recebimento das fotos de forma instantânea com apoio de um cidadão cientista comprometido com o estudo.

Em relação a presença dos itens de lixo e material arribado, os meses em que tiveram as menores médias de lixo foram março e dezembro. Esses meses apresentaram arribação em todos os graus, classificadas como nova, antiga e contínua. O que diferenciou os meses foi que o mês com menor média de itens de lixo foi também quando ocorreu o maior número de pessoas, em dezembro (n=53). Ou seja, embora houvesse arribação em todos os graus o que determinou a presença de usuários entre esses dois meses foi o período de veraneio. Além disso a presença das arribadas no grau 5 pode ter contribuído para uma diminuição da média de itens ou ainda nesse período pode ter ocorrido alguma atividade de limpeza de praia pelo serviço público.

## 5. CONCLUSÕES

As variáveis meteo-oceanográficas (vento, onda, precipitação pluviométrica) estiveram valores e direções próximos ao padrão descrito por estudos anteriores para a área. Os resultados mostram um cenário para um padrão de chuvas acima da média histórica. Nesse contexto, apesar de registros na literatura, verificou-se que os graus de cobertura de arribadas não teve relação com o período da onda e arribações recém depositadas ocorrem ao longo do ano todo. Além disso, a presença de usuários de praia e a arribação não estão associadas embora quando ocorreram áreas intensamente cobertas houve um menor número de usuários.

É importante ressaltar que estamos associando a presença e ausência de usuários quanto ao nível de incômodo, sendo essa uma experiência individual associada a questões sociais, culturais e visuais. Para entender em qual grau a arribação presente seria um “problema” deve-se considerar que o nosso monitoramento semanal somado a abordagens de qualidade de praia fornece base para compressão do tipo de ações de gestão deveriam ser tomadas considerando os serviços ecossistêmicos oferecidos pelas arribadas.

Maiores áreas de coleta puderam ser associadas à presença de ondas com curto períodos e maiores alturas, somados à presença menos densa da restinga na parte superior da praia. Na área de coleta maiores graus de arribação puderam ser constatados que ocorreram no último mês do ano, no início do verão, não coincidindo com o pico de ocorrência dos itens de lixo.

Os itens encontrados (sacos plásticos, embalagens, fragmentos, isopor, restos de construção, etc.) sugerem que a principal fonte do lixo é terrestre, provavelmente devido às atividades recreativas e de pesca na área ao longo do ano. Os itens plásticos foram observados em todos os meses estudados, mostrando o impacto da falta de normas eficientes para controle e gestão de lixo urbanos e do lixo de atividades de praia.

Nos meses com diminuição das médias dos itens de lixo sugere-se que os ventos mais intensos, acompanhado de chuvas possam ter encoberto ou carregado esses itens. Caso ações de limpeza tenham ocorrido em dias anteriores à coleta é importante que os gestores públicos intensifiquem essas ações durante todo o ano, vinculando a um programa de conscientização sobre a importância da presença das arribadas e implicações da presença dos itens de lixo em todas as suas formas e materiais. Assim, pode-se esperar mudanças nos padrões de poluição costeira a longo prazo quando o efeito de variáveis meteo-oceanográficas pode ser intensificado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu a análise de diferentes padrões de ocorrência de arribadas através de uma abordagem inédita, usando a tecnologia de fotografias para entender variações de deposição ao longo de praias arenosas em uma ilha com grande relevância ecológica para o estado de Pernambuco. Ainda foi possível determinar as eficiências e desvantagens do método de coleta de dados de campo por fotografia e sugerir diferentes usos para esses métodos.

A tese abordou a interação de lixo e arribadas e seus de padrões de deposição em 3 praias com caracterizações diferentes entre si, mostrando que uma grande quantidade de biomassa vegetal das arribadas e itens de lixo marinho dominam uma das praias embora essas variáveis não mostrem forte correlação entre si. Fatores meteo-oceanográficos e fatores de composição das arribadas determinam a ocorrência de biomassa vegetal e do lixo, influenciando sua variação espaço-temporal, com picos de ocorrência em determinados meses e áreas. Os resultados indicam, portanto, que as deposições são controladas pela sazonalidade climática, que resulta na interação dos detritos naturais e antropogênicos dando origem a outro preocupante componente da poluição das praias, os emaranhados.

Esses emaranhados dificultam a limpeza das praias, assim como o aproveitamento sustentável da biomassa e comprometem a dinâmica natural das praias formando um aglomerado de detritos que vai ser enterrado, degradado ou transportado para mar aberto, representando mais um item de lixo dentro do ambiente costeiro e marinho. Nesse cenário, sugerimos que gestores públicos devem dar atenção aos períodos de picos de ocorrência de arribadas e de lixo de modo a fazerem o manejo adequado desses detritos impedindo a interação desses componentes e garantido o equilíbrio ambiental das praias da ilha.

A tese aborda ainda a análise do uso de fotografias geradas por smartphones como ferramenta de monitoramento de praias da ilha de Itamaracá. Aqui analisamos fotografias livres, sem metodologia padronizada, para verificar quais dados conseguimos extrair em comparação com os registros de fotografias que seguem a metodologia CoastSnap. Os resultados indicaram que os registros livres podem ser úteis para compreensão momentânea do status da praia e para registrar um evento isolado específico enquanto as imagens padronizadas possibilitam determinar tendências a longo prazo. Entre os resultados da tese verificou-se que é possível fazer

uso de registros com CoastSnap adaptado para identificar outros eventos na praia além das mudanças da linha de costa. Deposição de arribadas, processos erosivos a curto prazo e uso da praia são alguns exemplos de aplicações do CoastSnap.

A tese discutiu o uso do método CoastSnap para monitorar eventos de deposição de arribadas aliado à coleta de campo da forma tradicional para gerar maior número de dados e informações a respeito da praia do Pilar na ilha de Itamaracá. Diferentes graus de arribação e quantidade de usuários de praia foram identificados através do monitoramento semanal por ciência cidadã e os resultados indicaram que a presença desses dois componentes não está associada. As coletas de campo mensais indicaram que lixo plástico e itens de vidro e cerâmica estão presentes na praia do Pilar sem diferença estatística significativa ao longo de todos os meses do ano. A partir desses resultados sugerimos que os gestores da ilha discutam medidas de prevenção e ações efetivas para combater presença dos itens de lixo após os períodos de chuvas intensas e durante períodos com maiores números de usuários de praia.

A limitação do estudo ocorreu no período inicial ao tentar contato com gestores públicos para instalação da base CoastSnap. O fato foi resolvido através de parceria com grupo de ativistas da ilha que colaboraram com o monitoramento da praia através da ciência cidadã. Nesse sentido, deixamos como sugestão também abertura de espaço para participação social em tomadas de decisão e em pesquisas científicas que podem ser realizadas de forma eficiente por diferentes grupos colaborativos. Ainda como resultado da busca por parcerias para o estudo ressaltamos que a instalação definitiva da atual base de monitoramento do CoastSnap na ilha é resultado dos esforços para esta pesquisa e segue gerando resultados.

O presente estudo terá seus resultados compartilhados com o grupo gestor da estação CoastSnap na ilha assim como objetiva tornar público os dados observados para lixo e arribadas para os gestores da ilha, de modo a ressaltar a importância ecológica da conservação da arribação em praias arenosas como prevenção de processos erosivos. Sugerimos ainda que medidas prevenção básicas em períodos de picos de maiores quantidade de lixo na praia sejam mais efetivas como coletas de lixo regulares nas praias e presença de lixeiras. Por fim, entendemos que o acesso a pesquisas científicas de através de divulgação científica e a participação por ciência cidadã tem papel relevante no processo de conscientização social sobre a importância

da conservação de praias arenosas, prevenindo a presença de lixo marinho e ressaltando o valor ecológico das arribadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. L. M. **Sedimentologia e batimetria da plataforma interna adjacente à Ilha de Itamaracá – PE**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 94 p.

ALMEIDA, T. L. M. **Caracterização da dinâmica costeira de Itamaracá (PE): aplicação do sistema de modelagem costeira do Brasil**. 2018. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 172 p.

AMARAL, A. C. Z., CORTE, G. N., FILHO, J. S. R., DENADAI, M. R., COLLING, L. A., BORZONE, C., VELOSO, V., OMENA, E. P., ZALMON, I. R., ROCHA-BAREIRA, C. de A., DE SOUZA, J. R. B., DA ROSA, L. C., & DE ALMEIDA, T. C. M. Brazilian sandy beaches: Characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities. **Brazilian Journal of Oceanography**, 64(Special Issue 2), 5–16, 2016. DOI: [10.1590/S1679-875920160933064sp2](https://doi.org/10.1590/S1679-875920160933064sp2)

ANDRADES, R., PEGADO, T., GODOY, B. S., REIS-FILHO, J. A., NUNES, J. L. S., GRILLO, A. C., MACHADO, R. C., SANTOS, R. G., DALCIN, R. H., FREITAS, M. O., KUHNEN, V. V., BARBOSA, N. D., ADELIR-ALVES, J., ALBUQUERQUE, T., BENTES, B., & GIARRIZZO, T. Anthropogenic litter on Brazilian beaches: Baseline, trends and recommendations for future approaches. **Marine Pollution Bulletin**, 151, 110842, 2020. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110842](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110842)

ANDRIOLO, U.; GONÇALVES, G. Is coastal erosion a source of marine litter pollution? Evidence of coastal dunes being a reservoir of plastics. **Marine Pollution Bulletin**, v. 174, 2022. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.113307](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113307).

ANTHONY, E. J. Beach erosion. p. 234–246, 2019. DOI: [10.1007/978-3-319-93806-6\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6_33).

ARAÚJO, M. C. B., COSTA, M. F. Environmental quality indicators for recreational beaches classification. **Journal of Coastal Research**, 24(6), 1439–1449, 2008. DOI: [10.2112/06-0901.1](https://doi.org/10.2112/06-0901.1)

ARAÚJO, M. C. B., SILVA-CAVALCANTI, J. S., COSTA, M. F. Anthropogenic litter on beaches with different levels of development and use: A Snapshot of a coast in Pernambuco (Brazil). **Frontiers in Marine Science**, 5, 2018. DOI: [10.3389/fmars.2018.00233](https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00233)

ARAÚJO, M. C. B., COSTA, M. F. Cigarette butts in beach litter: Snapshot of a summer holiday. **Marine Pollution Bulletin**, 172, 112858, 2021. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112858](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112858)

ARAÚJO, R.; PEREIRA, P.; LINO, A.; ARAÚJO, T.; GONÇALVES, R. Morphodynamic study of sandy beaches in a tropical tidal inlet using RPAS. **Marine Geology**, v. 438, 2021. DOI: [10.1016/j.margeo.2021.106540](https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106540).

ARAÚJO, R. J. V. **Dinâmica costeira e processos erosivos: alternativas de controle para o pontal sul da Ilha de Itamaracá – PE, Brasil.** 2022. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 146 p.

ASENSIO-MONTESINOS, F.; ANFUSO, G.; AGUILAR-TORRELO, M. T.; RAMÍREZ, M. O. Abundance and temporal distribution of beach litter on the coast of Ceuta (North Africa, Gibraltar Strait). **Water**, v. 13, n. 19, p. 2739, 2021. DOI: [10.3390/w13192739](https://doi.org/10.3390/w13192739).

ASSUNÇÃO, R. V. **Variabilidade sazonal da dinâmica oceânica na região do mar de dentro do arquipélago de Fernando de Noronha, PE.** 2017. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 101 p.

BARRADAS, J. I., AMARAL, F. D., HERNÁNDEZ, M. I., MONTES, M. F., STEINER, A. Q. (2012). Tourism impact on reef flats in Porto de Galinhas beach, Pernambuco, Brazil. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, 2012, 45(2): 81 – 88.

BARROS, N. C. G. **Algas marinhas bentônicas como bioindicadoras da qualidade ambiental em área recifal de Tamandaré, Pernambuco, Brasil.** 2013. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 118 p.

BAXTER, L.; LUCAS, Z.; WALKER, T. R. Evaluating Canada's single-use plastic mitigation policies via brand audit and beach cleanup data to reduce plastic pollution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 176, p. 113460, 2022. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2022.113460](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113460).

BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. **Marine anthropogenic litter.** Springer International Publishing, 2015, 447 p.

BEZERRA, C. S. **Clima de ondas e correntes no litoral de boa viagem (Recife – PR): Aplicação do sistema de radar náutico de banda-x.** 2013. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 99 p.

BONNEY, R., SHIRK, J. L., PHILLIPS, T. B., WIGGINS, A., BALLARD, H. L., MILLER-RUSHING, A. J., & PARRISH, J. K. (2014). Next Steps for Citizen Science. **Science**, 343(6178), 1436–1437. DOI: [10.1126/science.1251554](https://doi.org/10.1126/science.1251554)

BURLAT, L.; THORSTEINSSON, T. Seasonal variation in the correlation between beach wrack and marine litter on a sandy beach in West Iceland. **Marine Pollution Bulletin**, v. 183, p. 114072, 2022. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2022.114072](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114072).

CAVALCANTE, D.; XAVIER, M.; COSTA, M.; GUEDES, É. Avaliação do conhecimento sobre algas marinhas pelos frequentadores de uma praia do nordeste brasileiro. **Revista Ouricuri**, Paulo Afonso, v. 2, n. 2, p. 39-53, 2012.

CAVALCANTE, R. M., PINHEIRO, L. S., TEIXEIRA, C. E. P., PAIVA, B. P., FERNANDES, G. M., BRANDÃO, D. B., FROTA, F. F., FILHO, F. J. N. S., & SCHETTINI, C. A. F. Marine debris on a tropical coastline: Abundance, predominant sources and fate in a region with multiple activities (Fortaleza, Ceará, northeastern Brazil). **Waste Management**, 108, 13–20, 2020. DOI: [10.1016/j.wasman.2020.04.026](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.026)

CAVALCANTI, M. I. L. G. **Macroalgas arribadas da costa brasileira: biodiversidade e potencial de aproveitamento**. 2021. Tese (Doutorado) – Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, São Paulo, 2021.

CESARINI, G. et al. Is the weight of plastic litter correlated with vegetal wrack? A case study from a Central Italian beach. **Marine Pollution Bulletin**, v. 171, p. 112794, 2021. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112794](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112794).

CHUBARENKO, I. et al. On mechanical fragmentation of single-use plastics in the sea swash zone with different types of bottom sediments: Insights from laboratory experiments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 150, p. 110726, 2020. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110726](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110726).

CHUBARENKO, B. et al. Converting beach wrack into a resource as a challenge for the Baltic Sea (an overview). **Ocean & Coastal Management**, v. 200, p. 105413, 2021. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2020.105413](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105413).

CHUBARENKO, I., EFIMOVA, I., BAGAEVA, M., BAGAEV, A., & ISACHENKO, I. On mechanical fragmentation of single-use plastics in the sea swash zone with different types of bottom sediments: Insights from laboratory experiments. **Marine Pollution Bulletin**, 150, 110726, 2020. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110726](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110726)

CINTRA, M. M., SILVA-CAVALCANTI, J. S., MARIA, M. C., MAZZINI, P. L. F., ROLLNIC, M., & MENDES, D. Sudden arrival of marine litter on the northeastern coast of Brazil: Physical forcings and associated transport. **Regional Studies in Marine Science**, 71, 2024. DOI: [10.1016/j.rsma.2024.103382](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103382)

COSTA, M. B. S. F., MALLMANN, D. L. B., PONTES, P. M., & ARAUJO, M. Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 5(2), 2010.

COUTINHO, S. M. V.; SULAIMAN, S. N.; CARBONE, A. S. **ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DE SANTA CRUZ: (re)conhecendo o valor ecológico, histórico-cultural e econômico**. Recife: CPRH, 2018. 48p. ISBN 978-85-98965-12-3. Disponível em: [https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/apa\\_de\\_santa\\_cruz.pdf](https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/apa_de_santa_cruz.pdf).

CORCORAN, P. L. Benthic plastic debris in marine and fresh water environments. **Environmental Science: Processes & Impacts**, 17(8), 1363–1369, 2015. DOI: [10.1039/C5EM00188A](https://doi.org/10.1039/C5EM00188A)

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Serviço para a implantação da área de proteção ambiental APA – Santa Cruz, Pernambuco. **Zoneamento ambiental da área de proteção ambiental - APA Santa Cruz – Itapissuma, Itamaracá e Goiana, PE**. Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional, Recife, setembro 2010, 91 p. Disponível em: [http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\\_ANEXO/zoneamentosantacruz;2243;20120906.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/zoneamentosantacruz;2243;20120906.pdf).

CUCCO, A.; QUATTROCCHI, G.; BRAMBILLA, W.; NAVONE, A.; PANZALIS, P.; SIMEONE, S. The management of the beach-cast seagrass wracks - A numerical modelling approach. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 11, p. 1–27, 2020. DOI: [10.3390/jmse8110873](https://doi.org/10.3390/jmse8110873).

DE VEER, D. et al. **Citizen scientists study beach litter along 12,000 km of the east pacific coast: a baseline for the international plastic treaty.** **Marine Pollution Bulletin**, v. 196, p. 115481, 2023. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2023.115481](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115481).

DOLAN, R., HAYDEN, B., & HEYWOOD, J. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. **Coastal Engineering**, 2, 21–39, 1978. DOI: [10.1016/0378-3839\(78\)90003-0](https://doi.org/10.1016/0378-3839(78)90003-0)

DOMINGUES, E. de C.; SCHETTINI, C. A. F.; TRUCCOLO, E. C.; OLIVEIRA FILHO, J. C. de. Hidrografia e correntes da Plataforma Continental de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, 2017. DOI: [10.1590/2318-0331.0217170027](https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170027).

DONG, W. S., ISMAILLUDDIN, A., YUN, L. S., ARIFFIN, E. H., SAENGSUPAVANICH, C., ABDUL MAULUD, K. N., RAMLI, M. Z., MISKON, M. F., JEOFRY, M. H., MOHAMED, J., MOHD, F. A., HAMZAH, S. B., & YUNUS, K. The impact of climate change on coastal erosion in Southeast Asia and the compelling need to establish robust adaptation strategies. **Heliyon**, 10(4), 2024. DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e25609](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25609)

DUBI, A. **Tanzania coastal management partnership. The present state of knowledge of marine science in Tanzania: synthesis report.** Chapter 1 - **Coastal Erosion**, p. 11(183), 2000.

EDWARDS, E. An investigation into the use of aerial digital photography for monitoring coastal sand dunes. PhD thesis, Bath Spa University, 2001. DOI: [10.17870/bathspa.00001442](https://doi.org/10.17870/bathspa.00001442)

FERREIRA, G. S.; BRITO, P. O. B.; ADERALDO, F. I. C.; CARNEIRO, P. B. M.; ROCHA, A. M.; GONDIM, F. A. **ALGAS ARRIBADAS DA PRAIA DO PACHECO, CEARÁ, BRASIL.** **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 2, 2020.

GALGANI, F., LEAUTE, J. P., MOGUEDET, P., SOUPLET, A., VERIN, Y., CARPENTIER, A., GORAGUER, H., LATROUITE, D., ANDRAL, B., CADIOU, Y., MAHE, J. C., POULARD, J. C., & NERISSON, P. Litter on the Sea Floor Along European Coasts. **Marine Pollution Bulletin**, 40(6), 516–527, 2000. DOI: [10.1016/S0025-326X\(99\)00234-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00234-9)

GARCÉS-ORDÓÑEZ, O., ESPINOSA, L. F., CARDOSO, R. P., ISSA CARDOZO, B. B., & MEIGIKOS DOS ANJOS, R. Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia. **Environmental Pollution**, 267, 115495, 2020. DOI: [10.1016/j.envpol.2020.115495](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115495)

GONÇALVES, R. M.; SALEEM, A.; QUEIROZ, H. A. A.; AWANGE, J. L. A fuzzy model integrating shoreline changes, NDVI and settlement influences for coastal zone human

impact classification. **Applied Geography**, v. 113, 2019. DOI: [10.1016/j.apgeog.2019.102093](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102093).

GONZÁLEZ-ORTIZ, V. et al. Interactions between Seagrass Complexity, Hydrodynamic Flow and Biomixing Alter Food Availability for Associated Filter-Feeding Organisms. **PLOS ONE**, v. 9, n. 8, e104949, 2014. DOI: [10.1371/journal.pone.0104949](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104949).

GOWER, J. F. R.; KING, S. A. Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 7, p. 1917–1929, 2011. DOI: [10.1080/01431161003639660](https://doi.org/10.1080/01431161003639660).

GRILLO, A. C.; MELLO, T. J. Marine debris in the Fernando de Noronha Archipelago, a remote oceanic marine protected area in tropical SW Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 164, 2021. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112021](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112021).

GUERRERO-MESEGUER, L.; VEIGA, P.; RUBAL. Spatio-Temporal Variability of Anthropogenic and Natural Wrack Accumulations along the Driftline: Marine Litter Overcomes Wrack in the Northern Sandy Beaches of Portugal. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 12, p. 966, 2020. DOI: [10.3390/jmse8120966](https://doi.org/10.3390/jmse8120966).

GUITTARD, A.; AKINSETE, E.; DEMIAN, E.; KOUNDOURI, P.; PAPADAKI, L.; TOMBROU, X. Tackling Single-Use-Plastic in small touristic islands to reduce marine litter: co-identifying the best mix of policy interventions. **Frontiers in Environmental Economics**, v. 2, 2023. DOI: [10.3389/frevc.2023.1145640](https://doi.org/10.3389/frevc.2023.1145640).

HANSLOW, D. J. (2007). Beach Erosion Trend Measurement: A Comparison of Trend Indicators, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium). Gold Coast, Australia, **Journal of Coastal Research**, 50(sp1):588-593. DOI: [10.2112/JCR-SI50-111.1](https://doi.org/10.2112/JCR-SI50-111.1)

HAPKE, C., & RICHMOND, B. Monitoring Beach Morphology Changes Using Small-Format Aerial Photography and Digital Softcopy Photogrammetry. **Environmental Geosciences**, 7(1), 32–37, 2000. DOI: [10.1046/j.1526-0984.2000.71001.x](https://doi.org/10.1046/j.1526-0984.2000.71001.x)

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A. CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. **Continental Shelf Research**, v. 245, p. 104796, 2022. DOI: [10.1016/j.csr.2022.104796](https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104796).

HARLEY, M. D., KINSELA, M. A., SÁNCHEZ-GARCÍA, E., & VOS, K. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. **Coastal Engineering**, 150, 175–189, 2019. DOI: [10.1016/j.coastaleng.2019.04.003](https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.003)

HASLER, M.; WEDER, C.; BUSCHBECK, L.; WESNIGK, S.; SCHERNEWSKI, G. Cost-effective monitoring of large micro- and meso-litter in tidal and flood accumulation zones at south-western Baltic Sea beaches. **Marine Pollution Bulletin**, v. 149, p. 110544, 2019. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110544](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110544).

HAPKE, C., & RICHMOND, B. Monitoring Beach Morphology Changes Using Small-Format Aerial Photography and Digital Softcopy Photogrammetry. **Environmental Geosciences**, 7(1), 32–37, 2000. DOI: [10.1046/j.1526-0984.2000.71001.x](https://doi.org/10.1046/j.1526-0984.2000.71001.x)

HERRERO, J. J. et al. Monitoring invasive macroalgae in southern Portugal: drivers and citizen science contribution. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, 2023. DOI: [10.3389/fenvs.2023.1324600](https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1324600).

HIDALGO-RUZ, V., & THIEL, M. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. **Marine Environmental Research**, 87–88, 12–18, 2013. DOI: [10.1016/j.marenvres.2013.02.015](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015)

HOELLEIN, T. J., WESTHOVEN, M., LYANDRES, O., & CROSS, J. (2015). Abundance and environmental drivers of anthropogenic litter on 5 Lake Michigan beaches: a study facilitated by citizen science data collection. **J. Great Lakes Res.**, 41, 78–86. DOI: [10.1016/j.jglr.2014.12.015](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.12.015)

HOFMANN, J., STYBEL, N., LOVATO, M., & BANOVEC, M. Beach wrack of the Baltic Sea – public acceptance and implications for beach management. **Journal of Coastal Conservation**, 28(1), 3, 2023. DOI: [10.1007/s11852-023-00995-3](https://doi.org/10.1007/s11852-023-00995-3)

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama das cidades do Brasil. 2024. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/ilha-de-itamaraca/panorama>

IPHAN - INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL / PROGRAMA MONUMENTA. 2010. Rotas do Patrimônio. Itamaracá – Forte Orange. Edição 2010. Publicação Iphan/Programa Monumenta/Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). 16p. [Link](#)

ISACHENKO, I., ESIUKOVA, E., & CHUBARENKO, I. Beach-cast appearance on the tide-less seashore: Parameters of favoring surface waves. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 108219, 2023. DOI: [10.1016/j.ecss.2023.108219](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108219)

JAMBECK, J. R., GEYER, R., WILCOX, C., SIEGLER, T. R., PERRYMAN, M., ANDRADY, A., NARAYAN, R., & LAW, K. L. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, 347(6223), 768-771, 2015. DOI: [10.1126/science.1260352](https://doi.org/10.1126/science.1260352)

KIESSLING, T., HINZMANN, M., MEDERAKE, L., DITTMANN, S., BRENNECKE, D., BÖHM-BECK, M., KNICKMEIER, K., & THIEL, M. What potential does the EU Single-Use Plastics Directive have for reducing plastic pollution at coastlines and riversides? An evaluation based on citizen science data. **Waste Management**, 164, 106-118, 2023. DOI: [10.1016/j.wasman.2023.03.042](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.042)

LEITÃO, S. S.; BARBOSA, J. M.; CARRARO, F. G. P. CARACTERIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA ILHA DE ITAMARACÁ, PERNAMBUCO. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 2, n. 2, p. 101–111, 2007.

LIMA, J., GONÇALVES, R., & SCHMIDT, M. (2017). Avaliação da eficácia do gerenciamento costeiro integrado utilizando AHP (Analytic Hierarchy Process) para a Ilha de Itamaracá, Pernambuco – Brasil. **Revista Geociências**, 36(4). DOI: [10.5016/geociencias.v36i4.12020](https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i4.12020)

LINCOLN, S. et al. Marine litter and climate change: Inextricably connected threats to the world's oceans. **Science of The Total Environment**, v. 837, p. 155709, 2022. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.155709](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155709).

MARENGO, J. A., ALCANTARA, E., CUNHA, A. P., SELUCHI, M., NOBRE, C. A., DOLIF, G., GONCALVES, D., ASSIS DIAS, M., CUARTAS, L. A., BENDER, F., RAMOS, A. M., MANTOVANI, J. R., ALVALÁ, R. C., & MORAES, O. L. (2023). Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, 39. DOI: [10.1016/j.wace.2022.100545](https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100545)

MACÊDO, S. J., MUNIZ, K., & MONTES, M. J. F. (2004). Hidrologia da região costeira e plataforma continental do estado de Pernambuco. In: Eskinazi Leça, E.; Neumann Leitão, S. & Costa, M. F. (Orgs.), **Oceanografia: um cenário tropical**. Recife: Bagaço. p. 255-286.

MARQUES, M.; DA COSTA, M. F.; MAYORGA, M. I. D. O.; PINHEIRO, P. R. C. Water environments: Anthropogenic pressures and ecosystem changes in the Atlantic drainage basins of Brazil. **Ambio**, v. 33, n. 1-2, p. 68-77, 2004. DOI: [10.1579/0044-7447-33.1.68](https://doi.org/10.1579/0044-7447-33.1.68).

MARKIĆ, A. et al. Fragmented marine plastics as the prevalent litter type on a small island beach in the Adriatic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 203, p. 116467, 2024. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2024.116467](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116467).

MARTINS, M. SOUSA, F., SOARES, C., SOUSA, B., PEREIRA, R., RUBAL, M., & FIDALGO, F. Beach wrack: Discussing ecological roles, risks, and sustainable bioenergy and agricultural applications. **Journal of Environmental Management**, v. 356, p. 120526, 2024. DOI: [10.1016/j.jenvman.2024.120526](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120526)

MEDEIROS, C., & KJERFVE, B. (1993). Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 36, 495–515. DOI: [10.1006/ecss.1993.1030](https://doi.org/10.1006/ecss.1993.1030)

MEDEIROS, C., KJERFVE, B., ARAUJO, M., & NEUMANN-LEITÃO, S. (2001). The Itamaracá estuarine ecosystem, Brazil. In: Seeliger U, Kjerfve B (eds) **Coastal marine ecosystem of Latin America**. Ecological studies, Vol 144. Springer-Verlag, Berlin, p 71–81. DOI: [10.1007/978-3-662-04482-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_6)

MELO, M. BARCELLOS, R., OLIVEIRA, L., & MANSO, V. Aspectos sedimentológicos e batimétricos da plataforma continental norte de Pernambuco – Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 29, p. 17–30, 2019. DOI: [10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v29n2p17-30](https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v29n2p17-30).

MENICAGLI, V. et al. Impact of storms and proximity to entry points on marine litter and wrack accumulation along Mediterranean beaches: Management implications. **Science of The Total Environment**, v. 824, p. 153914, 2022. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.153914](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153914).

MONTEIRO, R. C. P., IVAR DO SUL, J. A., & COSTA, M. F. (2018). Plastic pollution in islands of the Atlantic Ocean. **Environmental Pollution**, 238, 103–110. Elsevier Ltd. DOI: [10.1016/j.envpol.2018.01.096](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.096)

MORALES-CASELLES, C., VIEJO, J., MARTÍ, E., et al. (2021). An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. **Nat Sustain**, 4, 484–493. DOI: [10.1038/s41893-021-00720-8](https://doi.org/10.1038/s41893-021-00720-8)

NAVARRETE-FERNÁNDEZ, T., BERMEJO, R., HERNÁNDEZ, I., DEIDUN, A., ANDREU-CAZENAVE, M., & CÓZAR, A. (2022). The role of seagrass meadows in the coastal trapping of litter. **Marine Pollution Bulletin**, 174, 113299. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.113299](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113299)

NICOLODI, J. L. P.; PETTERMANN, R. M. Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 1372-1379, 2011. ISSN 0749-0208.

OCEAN CONSERVANCY. Annual Report, Ocean Conservancy's International Coastal Cleanup. 34p. 2023. [https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2021/09/Annual-Report\\_FINAL\\_Digital.pdf](https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2021/09/Annual-Report_FINAL_Digital.pdf)

OCEAN & CLIMATE – Fact sheets, Second Edition. 2016. Disponível em: <https://ocean-climate.org/en/marine-and-coastal-ecosystem-services/>

ONAKA, S., UDA, T., SAN-NAMI, T., MIYAGAWA, K., & MORI, T. Coastal conditions and long-term topographic changes of Tanjung Benoa Beach on Bali Island, Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 1343(1), 012041, 2024. DOI: [10.1088/1755-1315/1343/1/012041](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1343/1/012041)

ORR, M., ZIMMER, M., JELINSKI, D. E., & MEWS, M. Wrack deposition on different beach types: Spatial and temporal variation in the pattern of subsidy. **Ecology**, 86(6), 1496–1507, 2005. DOI: [10.1890/04-1486](https://doi.org/10.1890/04-1486)

OSPAR. WENNEKER, B.; OOSTERBAAN, L.; INTERSESSIONAL CORRESPONDENCE GROUP ON MARINE LITTER (ICGML). **Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area**. Edition 1.0. London, UK: OSPAR Commission, 2010. 15p. & Annexes. DOI: [10.25607/OBP-968](https://doi.org/10.25607/OBP-968)

OTEROS-ROZAS, E., MARTÍN-LÓPEZ, B., FAGERHOLM, N., BIELING, C., & PLIENINGER, T. Using social media photos to explore the relation between cultural ecosystem services and landscape features across five European sites. **Ecological Indicators**, 94, 74–86, 2018. DOI: [10.1016/j.ecolind.2017.02.009](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.009)

PITANGA, M. E., MONTES, M. J. F., MAGALHÃES, K. M., & REIS, T. N. V. (2012). Quantification and classification of the main environmental impacts on a *Halodule*

*wrightii* seagrass meadow on a tropical island in northeastern Brazil. **An Acad Bras Cienc**, 84(1), 35–42. DOI: [10.1590/S0001-37652012000100005](https://doi.org/10.1590/S0001-37652012000100005)

PFUETZENREUTER, A., & VIEIRA, C. V. (2022). Avaliação do lixo marinho nas praias do norte da ilha de São Francisco do Sul, SC. **Revista GEAMA**, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology, 8(1), 04-13, ISSN: 2447-0740.

PUCINO, N., KENNEDY, D. M., CARVALHO, R. C., ALLAN, B., & IERODIACONOU, D. Citizen science for monitoring seasonal-scale beach erosion and behaviour with aerial drones. **Scientific Reports**, 11(1), 3935, 2021. DOI: [10.1038/s41598-021-83477-6](https://doi.org/10.1038/s41598-021-83477-6)

QI, L. et al. Marine debris induced by the Great East Japan Earthquake and Tsunami: A multi-sensor remote sensing assessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 207, p. 116888, 2024. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2024.116888](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116888).

RAMOS, B. de; COSTA, M. F. da. BeachLog: A multiple uses and interactive beach picture. **Marine Pollution Bulletin**, v. 193, p. 115156, 2023. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2023.115156](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115156).

RAMOS, B., COSTA, M. F., & LIMA, T. M. de. What lies underneath: Comparison among beach litter in the underwater bathing area and exposed beach. **Science of The Total Environment**, 947, 174661, 2024. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2024.174661](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174661)

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2022.

RIBEIRO, V. V., PINTO, M. A. S., MESQUITA, R. K. B., MOREIRA, L. B., COSTA, M. F., & CASTRO, Í. B. (2021). Marine litter on a highly urbanized beach at Southeast Brazil: A contribution to the development of litter monitoring programs. **Marine Pollution Bulletin**, 163, 111978, DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.111978](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111978)

ROBBE, E. et al. An impact assessment of beach wrack and litter on beach ecosystem services to support coastal management at the Baltic Sea. **Environmental Management**, v. 68, p. 835–859, 2021. DOI: [10.1007/s00267-021-01533-3](https://doi.org/10.1007/s00267-021-01533-3).

RUIZ-DELGADO, M.C., REYES-MARTÍNEZ, M.J., SÁNCHEZ-MOYANO, J.E., LOPEZ-PÉREZ, J., GARCÍA-GARCÍA, F.J. (2015). Distribution patterns of supralittoral arthropods: wrack deposits as a source of food and refuge on exposed sandy beaches (SW Spain). **Hydrobiologia**, 742, 205–219. DOI: [10.1016/j.jenvman.2024.120526](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120526)

RYAN, P.G. (2015). A Brief History of Marine Litter Research. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds) **Marine Anthropogenic Litter**. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-319-16510-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_1)

SANTOS, I. R.; FRIEDRICH, A. C.; IVAR DO SUL, J. A. Marine debris contamination along undeveloped tropical beaches from northeast Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 148, n. 1-4, p. 455-462, 2008. DOI: [10.1007/s10661-008-0175-z](https://doi.org/10.1007/s10661-008-0175-z)

SANTOS, G. do N., NASCIMENTO, O. S. do, PEDREIRA, F. dos A., RÍOS, G. I., VASCONCELOS, J. N. C., & NUNES, J. M. de C. Análise quali-quantitativa das algas arribadas do norte do Estado da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Malacitana**, 38, 13–24, 2013. DOI: [10.24310/abm.v38i0.2647](https://doi.org/10.24310/abm.v38i0.2647)

SANTOS, M. O. S. et al. Oil in Northeast Brazil: mapping conflicts and impacts of the largest disaster on the country's coast. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, 2022. DOI: [10.1590/0001-3765202220220014](https://doi.org/10.1590/0001-3765202220220014).

SANTOS, S. P., RODRIGUES, F. L., SANTOS, A. C. de A., & MORAES, L. E. Spatial and temporal patterns of floating litter in shallow habitats: Insights from high-tourism tropical areas in Northeastern Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, 78, 2024. DOI: [10.1016/j.rsma.2024.103782](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103782)

SILVA-CAVALCANTI, J. S., ARAUJO, M. C. B., & COSTA, M. F. Padrões e tendências a médio prazo da contaminação por resíduos sólidos na praia de Boa Viagem, Nordeste do Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, 4(1–2), 2013. DOI: [10.5380/abequa.v4i1-2.25691](https://doi.org/10.5380/abequa.v4i1-2.25691)

SILVA, D. **Estudo do processo adsortivo de cádmio por Algas Arribadas**. Recife, 2010. Dissertação de Mestrado - Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 55, 2010.

SILVA JR., C. P. **Dinâmica sazonal e influência das marés na ocorrência de algas arribadas em praia urbana de Pernambuco**. Trabalho de conclusão de curso em Ciências Biológicas, Recife, PE: Faculdade Frassinetti do Recife, 2019.

SILVA JR., C. P. **Influência dos fatores meteoceanográficos na composição e biomassa de algas arribadas em duas praias de Pernambuco**. Dissertação de mestrado. Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 59, 2022.

SIMEONOVA, A.; CHUTURKOVA, R.; YANEVA, V. Seasonal dynamics of marine litter along the Bulgarian Black Sea coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 119, n. 1, p. 110–118, 2017. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2017.03.035](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.035).

SIMEONOVA, A., CHUTURKOVA, R. Macroplastic distribution (Single-use plastics and some Fishing gear) from the northern to the southern Bulgarian Black Sea coast. **Regional Studies in Marine Science**, 37, 101329, 2020. DOI: [10.1016/j.rsma.2020.101329](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101329)

SISSINI, M., BARROS-BARRETO, M. B., SZÉCHY, M., LUCENA, M., OLIVEIRA, M., GOWER, J., LIU, G., DE OLIVEIRA BASTOS, E., MILSTEIN, D., GUSMÃO, F., MARTINELLI-FILHO, J., ALVES-LIMA, C., COLEPICOLO, P., AMEKA, G., JOHNSON, K., GOUEVA, L., SILVA, B., NAUER, F., NUNES, J. M., & HORTA, P. The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean - Likely scenarios. **Phycologia**, 56, 2017. DOI: [10.2216/16-92.1](https://doi.org/10.2216/16-92.1)

SOUZA, A. M. C., FERREIRA, G. V. B., DE LOS SANTOS, C. B., FRÉDOU, F. L., & MAGALHÃES, K. M. Anthropogenic microparticles accumulation in small-bodied

seagrass meadows: The case of tropical estuarine species in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 207, 116799, 2024. [DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116799](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116799)

SUURSAAR, Ü., TORN, K., MARTIN, G., HERKÜL, K., & KULLAS, T. Formation and species composition of stormcast beach wrack in the Gulf of Riga, Baltic Sea. **Oceanologia**, 56(4), 673–695, 2014. [DOI: 10.5697/oc.56-4.673](https://doi.org/10.5697/oc.56-4.673)

SZÉCHY, M., GUEDES, P., BAETA-NEVES, M., & OLIVEIRA, E. Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. **Check List**, 8, 638–641, 2012. [DOI: 10.15560/8.4.638](https://doi.org/10.15560/8.4.638)

TERRADOS, J., & DUARTÉ, C. M. Experimental evidence of reduced particle resuspension within a seagrass (*Posidonia oceanica* L.) meadow. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 243, 2000. [DOI: 10.1016/S0022-0981\(99\)00110-0](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00110-0)

TZIOURROU, P. et al. Microplastics formation based on degradation characteristics of beached plastic bags. **Marine Pollution Bulletin**, v. 169, p. 112470, 2021. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112470](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112470).

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Marine litter: A Global Challenge**. Nairobi: UNEP. 232 p., 2009. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/marine-litter-global-challenge>

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Single-use plastics: A Roadmap for Sustainability** (Rev. ed., pp. vi; 6), 2018. <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>

UNEP - United Nations Environment Programme. **From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution**, 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>.

VASCONCELOS, E.R.T.P.P., VASCONCELOS, J.B., REIS, T.N.d. et al. Macroalgal responses to coastal urbanization: relative abundance of indicator species. **J Appl Phycol**, 31, 893–903, 2019. [DOI: 10.1007/s10811-018-1639-3](https://doi.org/10.1007/s10811-018-1639-3)

VEIMROBER JÚNIOR, L.A.A. **Utilização da macroalga *Sargassum* sp. como adsorvente natural no controle de poluição por cobre em meio aquoso**. Dissertação de Mestrado - Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 80, 210.

WAHLER, H., FANINI, L., & RIECHERS, M. Valuing beaches for beauty and recreation only? Uncovering perception bias through a hashtag analysis. **Marine Policy**, 155, 105707, 2023. DOI: [10.1016/j.marpol.2023.105707](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105707)

WANG, M., HU, C. Mapping and Quantifying *Sargassum* Distribution and Coverage in the Central West Atlantic Using MODIS Observations. **Remote Sensing of Environment**, 183, 350-367, 2016. [DOI: 10.1016/j.rse.2016.04.019](https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.019)

WILSON, S. P., & VERLIS, K. M. (2017). The ugly face of tourism: marine debris pollution linked to visitation in the southern great barrier reef. **Australia, Mar. Pollut. Bull.**, 117, 239–246. [DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.036](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.036)

YINCAN, Y. (2017). Chapter 7 - Coastal Erosion. In Y. B. T.-M. G.-H. (Ed.), **Coastal Erosion** (pp. 269–296). Elsevier. [DOI: 10.1016/B978-0-12-812726-1.00007-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812726-1.00007-3)

YONEHARA, S., & KAWASAKI, A. (2020). Assessment of the tidal effect on flood inundation in a low-lying river basin under composite future scenarios. **Journal of Flood Risk Management**, 13(3). [DOI: 10.1111/jfr3.12606](https://doi.org/10.1111/jfr3.12606)

ZIELINSKI, S.; BOTERO, C. M.; YANES, A. To clean or not to clean? A critical review of beach cleaning methods and impacts. **Marine Pollution Bulletin**, v. 139, p. 390–401, 2019. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2018.12.027](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.027).

**MATERIAL SUPLEMENTAR I:** Tabela de descrição das categorias dos itens de lixo.

<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
Plástico	PL01	Tampinhas e tampas de garrafas
Plástico	PL02	Garrafas < 2 L
Plástico	PL04	Facas, garfos, colheres, canudos, agitadores, (talheres)
Plástico	PL05	Anéis para embalagens de bebidas, anéis para seis embalagens, porta-anéis
Plástico	PL06	Recipientes para alimentos (fast food, copos e similares)
Plástico	PL07	Sacos de plástico (opacos e transparentes); Embalagens plásticas finas (ex: embalagens de balas, sorvetes, salgadinhos, etc)
Plástico	PL08	Brinquedos e lançadores de festa
Plástico	PL09	Luvas
Plástico	PL11	Cigarros, pontas e filtros
Plástico	PL14	Boias de plástico
Plástico	PL15	Sacos de malha (vegetais, redes de ostras e sacos de mexilhão)
Plástico	PL16	Lonas (lona ou outros sacos plásticos tecidos, invólucro de paleta)
Plástico	PL17	Equipamento de pesca (iscas, armadilhas e potes)
Plástico	PL18	Linha de monofilamento
Plástico	PL19	Corda
Plástico	PL20	Rede de pesca
Plástico	PL21	Cintos
Plástico	PL24	Outro especificar)
Isopor	FP01	Esponja de espuma
Isopor	FP02	Copos e pacotes de comida (isopor)
Isopor	FP05	Outro especificar)
Tecido	CL01	Roupas, sapatos, chapéus e toalhas
Tecido	CL04	Corda e barbante
Tecido	CL06	Outros tecidos (incluindo trapos)
Vidro e cerâmica	GC01	Material de construção (tijolo, cimento, tubos)
Vidro e cerâmica	GC02	Garrafas e potes
Vidro e cerâmica	GC07	Fragmentos de vidro ou cerâmica
Vidro e cerâmica	GC08	Outro especificar)
Metal	ME02	Tampas de garrafas, tampas e abas de puxar
Metal	ME03	latas de bebida de alumínio
Metal	ME06	Envoltórios de papel alumínio
Metal	ME07	Pesca relacionada (cheiros, iscas, anzóis, armadilhas e potes)
Metal	ME08	Fragmentos

Metal	ME09	Arame, rede de arame e arame farpado
		Copos, bandejas para alimentos,
	ME10	embalagens para alimentos, maços de
Metal		cigarros, recipientes para bebidas
Papel	PC03	Tubos para fogos de artifício
Papel	PC05	Outro (fragmentos)
Borracha	RB01	Balões, bolas e brinquedos
Borracha	RB02	Calçado (chinelos)
Borracha	RB04	Pneus
Borracha	RB05	Câmaras de ar e folha de borracha
Borracha	RB06	Elásticos
Borracha	RB07	Preservativos
Borracha	RB08	Outro especificar)
	WD03	Palitos de sorvete, garfos para chips,
Madeira		pauzinhos e palitos de dente
Madeira	WD04	Madeira processada e caixas de paletes
Madeira	WD06	Outro (fragmentos)
	OT02	Sanitários (fraldas, cotonetes,
		aplicadores de tampões, escovas de
Outros		dentes)
Outros	OT05	Outro (material emaranhado)

---

**MATERIAL SUPLEMENTAR II:** Tabela de descrição das categorias dos itens de lixo.

<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
Plástico	PL01	Tampinhas e tampas de garrafas
Plástico	PL02	Garrafas < 2 L
Plástico	PL03	Garrafas, tambores, jerrycans e baldes > 2 L
Plástico	PL04	Facas, garfos, colheres, canudos, agitadores, (talheres)
Plástico	PL06	Recipientes para alimentos (fast food, copos, lancheiras e similares)
Plástico	PL07	Sacos de plástico (opacos e transparentes)
Plástico	PL08	Brinquedos e poppers de festa
Plástico	PL09	Luvas
Plástico	PL10	Isqueiros
Plástico	PL11	Cigarros, pontas e filtros
Plástico	PL15	Sacos de malha (vegetais, redes de ostras e sacos de mexilhão)
Plástico	PL16	Lonas (lona ou outros sacos plásticos tecidos, invólucro de paleta)
Plástico	PL17	Equipamento de pesca (iscas, armadilhas e potes)
Plástico	PL18	Linha de monofilamento
Plástico	PL19	Corda
Plástico	PL20	Rede de pesca
Plástico	PL21	Cintos
Plástico	PL22	Fragmentos de fibra de vidro
Plástico	PL24	Outro (Fragmentos)
Isopor	FP01	Esponja de espuma
Isopor	FP02	Copos e pacotes de comida (isopor)
Isopor	FP03	Boias de espuma
Isopor	FP05	Outro (Fragmento de isopor)
Tecido	CL01	Roupas, sapatos, chapéus e toalhas
Tecido	CL04	Corda e barbante
Tecido	CL05	Tapete e mobiliário
Tecido	CL06	Outros tecidos (incluindo trapos)
Vidro e cerâmica	GC01	Material de construção (tijolo, cimento, tubos)
Vidro e cerâmica	GC02	Garrafas e potes
Vidro e cerâmica	GC07	Fragmentos de vidro ou cerâmica
Vidro e cerâmica	GC08	Outro
Metal	ME02	Tampas de garrafas, tampas e abas de puxar
Metal	ME03	latas de bebida de alumínio
Metal	ME04	Outras latas (< 4 L)
Metal	ME06	Envoltórios de papel alumínio

Metal	ME09	Arame, rede de arame e arame farpado
Metal	ME10	Outros
Papel	PC01	Papel (incluindo jornais e revistas)
Papel	PC03	Copos, bandejas para alimentos, embalagens para alimentos, maços de cigarros, recipientes para bebidas
Papel	PC05	Outros (Fragmentos)
Borracha	RB01	Balões, bolas e brinquedos
Borracha	RB02	Calçado (chinelos)
Borracha	RB07	Preservativos
Borracha	RB08	Outros (Fragmentos)
Madeira	WD03	Palitos de sorvete, garfos para chips, pauzinhos e palitos de dente
Madeira	WD04	Madeira processada e caixas de paletes
Madeira	WD06	Outros
Outros	OT02	Sanitários (fraldas, cotonetes, aplicadores de tampões, escovas de dentes)
Outros	OT05	Outros

---

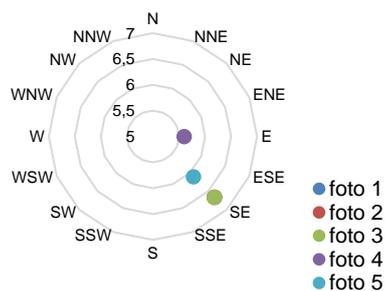
### MATERIAL SUPLEMENTAR III

Gráficos de direção e intensidade dos ventos em m/s durante a captura das imagens.

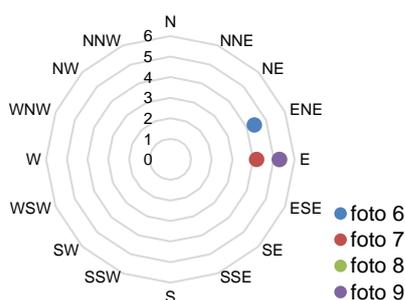
(a) Registros dos anos de 2022, (b) 2023 e (c) 2024.

(a)

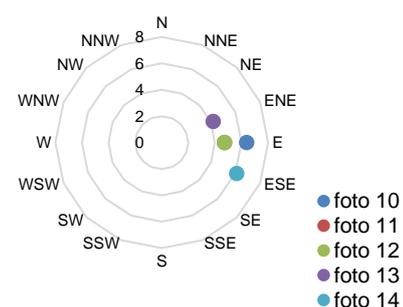
Outubro



Novembro

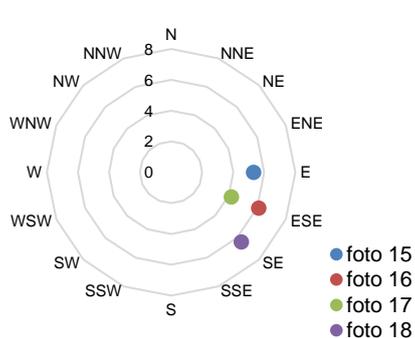


Dezembro

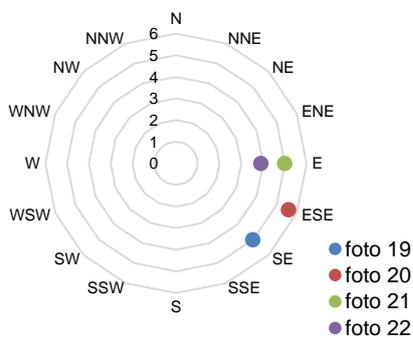


(b)

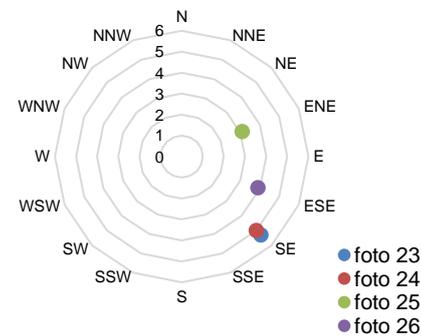
Janeiro



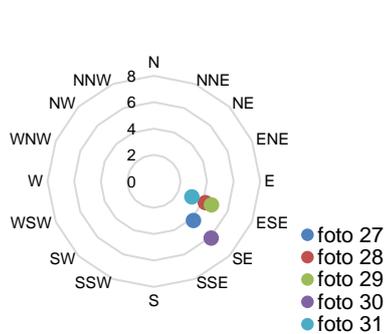
Fevereiro



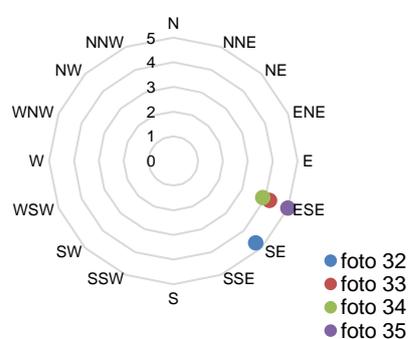
Março



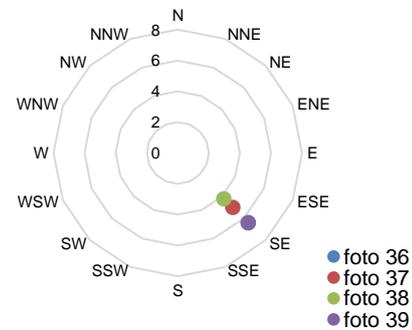
Abril



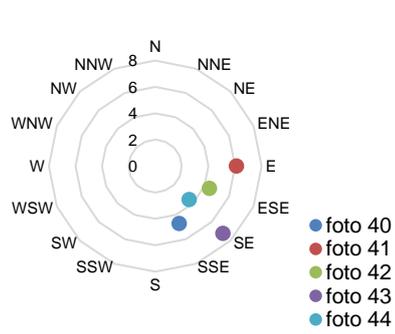
Maió



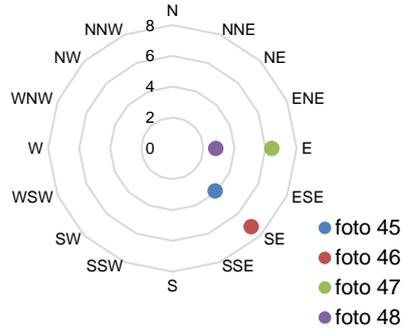
Junho



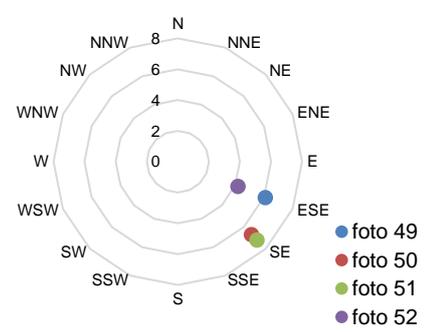
Julho



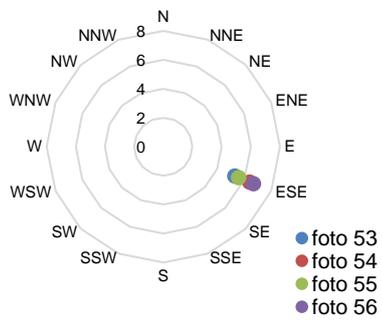
Agosto



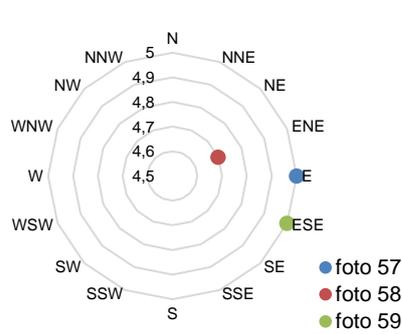
Setembro



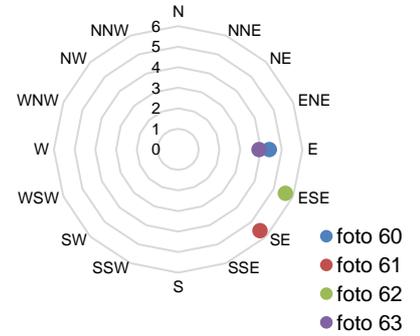
Outubro



Novembro

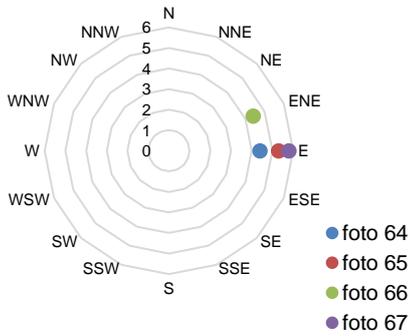


Dezembro

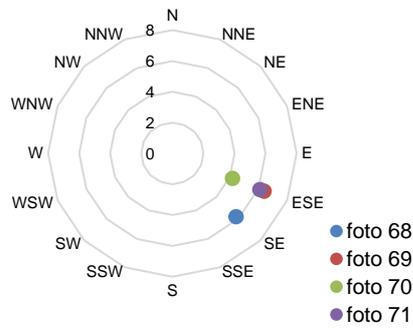


(c)

Janeiro



Fevereiro



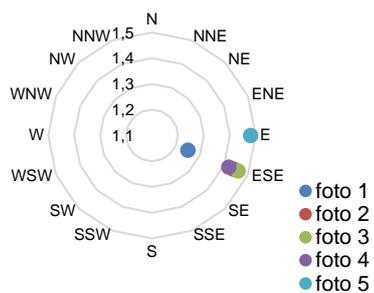
Fonte: Autores (2024).

Gráficos de direção e altura significativa das ondas durante a captura das imagens.

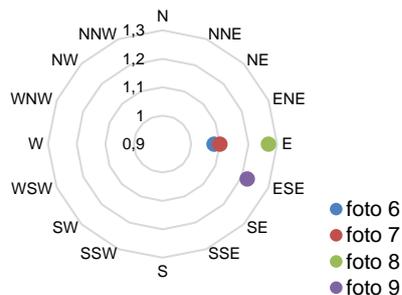
(a) Registros dos anos de 2022, (b) 2023 e (c) 2024.

(a)

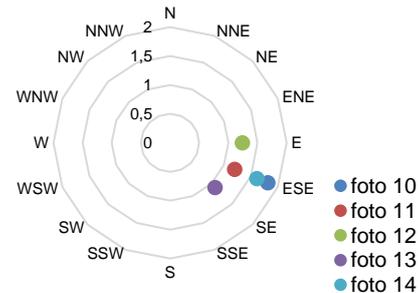
Outubro



Novembro

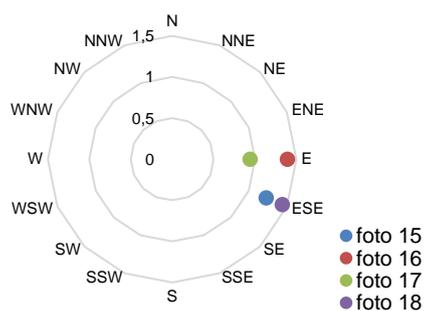


Dezembro

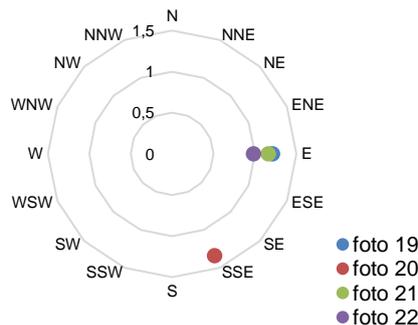


(b)

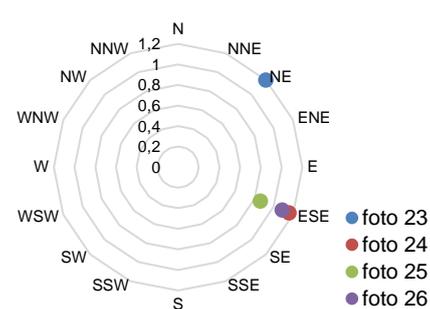
Janeiro



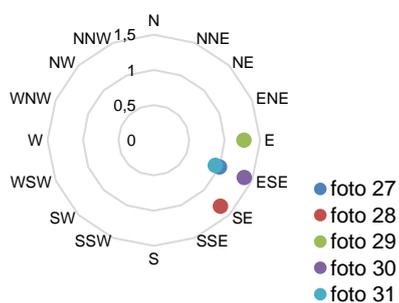
Fevereiro



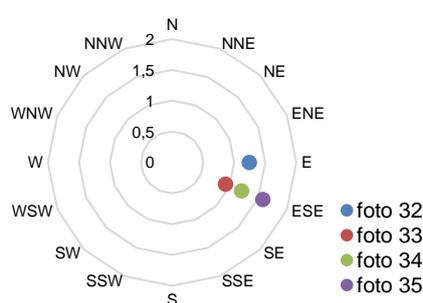
Março



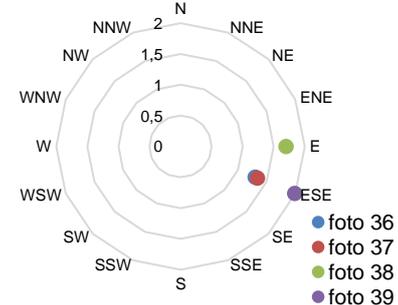
Abril



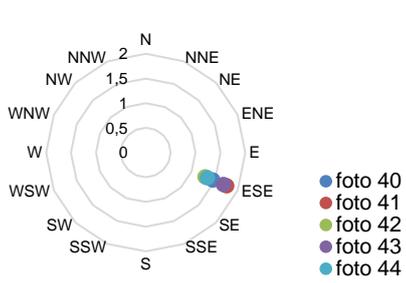
Maio



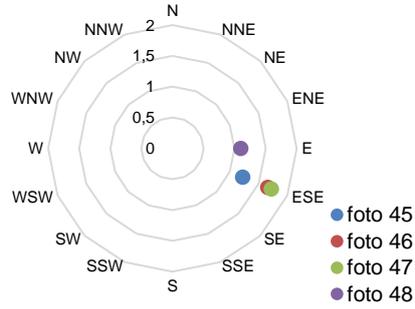
Junho



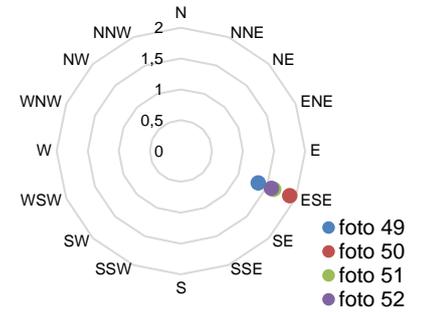
Julho



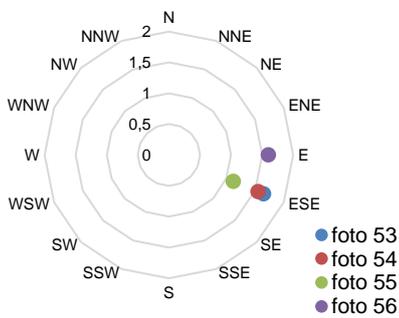
Agosto



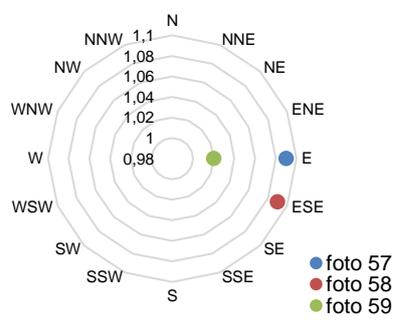
Setembro



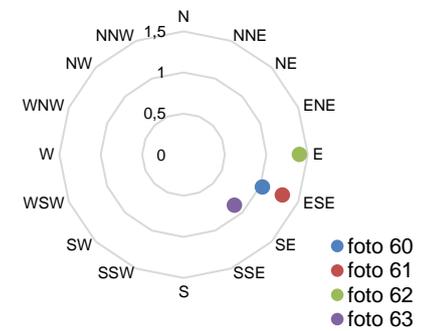
Outubro



Novembro

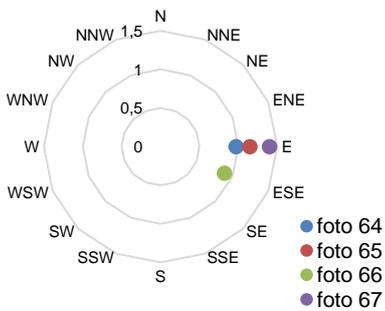


Dezembro

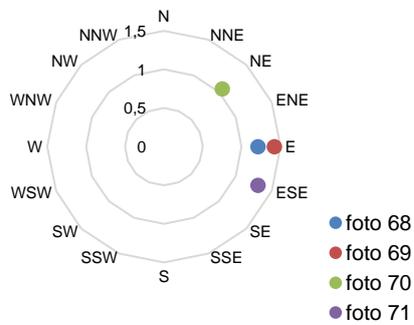


(c)

Janeiro



Fevereiro



Fonte: Autores (2024).