



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS V
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

ANA KAROLYNA MAIA DE SOUZA

**OCORRÊNCIA E QUANTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS
SUPERFICIAIS À JUSANTE DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA, PB**

**JOÃO PESSOA
2021**

ANA KAROLYNA MAIA DE SOUZA

**OCORRÊNCIA E QUANTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS
SUPERFICIAIS À JUSANTE DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA, PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado à Coordenação do Curso Ciências
Biológicas da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Vendel.

**JOÃO PESSOA
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S729o Souza, Ana Karolyna Maia de.
Ocorrência e quantificação de microplásticos em águas superficiais à jusante do estuário do Rio Paraíba, PB [manuscrito] / Ana Karolyna Maia de Souza. - 2021.
35 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, 2021.

"Orientação : Profa. Dra. Ana Lúcia Vendel, Coordenação do Curso de Ciências Biológicas - CCBSA."

1. Microplástico. 2. Poluição. 3. Impacto antrópico. 4. Água. 5. Rio Paraíba. I. Título

21. ed. CDD 363.739 4

ANA KAROLYNA MAIA DE SOUZA

**OCORRÊNCIA E QUANTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS
SUPERFICIAIS À JUSANTE DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA, PB**

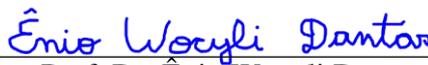
Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado à Coordenação do Curso Ciências
Biológicas da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 04/10/2021.

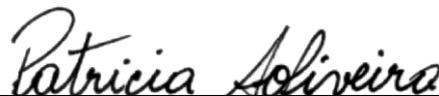
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Ana Lúcia Vendel (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Ênio Wocylí Dantas
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Patrícia Aguiar de Oliveira
Comissão Regional de Animais Silvestres e Meio Ambiente (CRASMA-CRMV-PB)

Aos meus pais, irmão e noivo pelo apoio, amor e dedicação, ao longo da minha vida, DEDICO.

“A persistência é o caminho do êxito.”
Charles Chaplin

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Mapa dos pontos de coleta entre as margens de Cabedelo e a Ilha da Restinga no estuário do Rio Paraíba, Paraíba.....	16
Figura 2 – Fatores abióticos: (a) Precipitação total mensal, (b) Salinidade, (c) Temperatura da água (°C), (d) transparência de Secchi (cm) do estuário do Rio Paraíba, de março/2019 a fevereiro/2020.....	19
Figura 3 – Quantidade mensal de MPs na água de superfície do estuário do Rio Paraíba, Paraíba.....	21
Figura 4 – Classificação de MPs segundo cor (a) e tipo (b) em águas superficiais do estuário do Rio Paraíba, Paraíba.....	22
Figura 5 – Tipos de MPs encontrados em águas superficiais do estuário do Rio Paraíba, Paraíba (a e b) e suas prováveis fontes (c e d)	23

TABELAS

Tabela 1 – Tabela de análise de variância resultado da regressão multivariada.....	20
Tabela 2 – Testes estatísticos aplicados correlacionando os fatores abióticos aos MPs ...	20
Tabela 3 – Abundância de MPs na água do estuário do Rio Paraíba, Paraíba.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
cm	Centímetros
ETAs	Estações de Tratamento de Água
ha	Hectares
km	Quilômetros
LabIctio	Laboratório de Ictiologia
m	Metros
mm	Milímetros
MPs	Microplásticos
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
PROCLIMA	Monitoramento Climático em Tempo Real
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
µm	Micrômetros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1	Área de estudo	14
2.2	Coleta de dados	15
2.3	Análise em laboratório	16
2.4	Análises dos dados.....	17
3	RESULTADOS	18
3.1	Influência dos fatores abióticos	18
3.2	Quantificação e caracterização de MPs.....	20
4	DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO	27
6	REFERÊNCIAS	27

OCORRÊNCIA E QUANTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS À JUSANTE DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA, PB

OCCURRENCE AND QUANTIFICATION OF MICROPLASTICS IN SURFACE WATER OF THE PARAÍBA RIVER ESTUARY DOWNSTREAM, PB

ANA KAROLYNA MAIA DE SOUZA

RESUMO

O meio aquático vem sofrendo grandes impactos antrópicos. Devido ao descarte incorreto, mais de 50% dos resíduos encontrados nos oceanos são plásticos que chegam através de efluentes domésticos, agrícolas e industriais. Esses resíduos se fragmentam em microplásticos (MPs), partículas entre 0,1 μm e 5,0 mm, que se acumulam nos ecossistemas e ficam acessíveis à biota nos ambientes onde ocorrem. Pela primeira vez no estuário do Rio Paraíba, Paraíba, Brasil, foi avaliada a contaminação por MPs na água de superfície. Foram realizadas amostragens mensais de água com rede de fitoplâncton, entre março/2019 e fevereiro/2020, num transecto entre a Ilha da Restinga e o Porto de Cabedelo. Com cinco pseudoréplicas mensais, foram analisadas 60 amostras de água neste período. Os MPs obtidos foram triados e classificados quanto seu tipo e cor. Houve predomínio do tipo fibra (51%), e da cor azul (74%). A partir das análises, obteve-se 443 MPs em aproximadamente 1105 m^3 de água filtrada e uma abundância média de $0,43 \pm 0,28 \text{ MP/m}^3$, variando entre 0,0673 (Setembro) e 0,9608 (Janeiro). Tais resultados revelam uma grande incidência de poluição por MPs à jusante deste sistema. Fatores abióticos testados, tais como transparência da água, velocidade e direção dos ventos, altura da maré, volume de água filtrada, período seco ou chuvoso não afetaram significativamente a quantidade de MPs registrada, portanto, não houve padrão espacial, nem temporal associado à quantidade de MPs na superfície da água neste estudo. De maneira ampla, o local é impactado pelo carreamento de detritos proveniente de diversas ações antrópicas ao longo da bacia do Paraíba, em especial no estuário, cujo entorno abriga uma população de mais de 1 milhão de habitantes. Desta forma, a predominância de fibras azuis, associada a lançamentos domésticos, implica na necessidade de saneamento básico. Por sua vez, fragmentos (48%) resultam da degradação, lenta e natural, de resíduos plásticos maiores, novamente inferindo a falta de destinação correta ao descarte do lixo na região metropolitana de João Pessoa, Paraíba. Diante dos resultados aqui apresentados, está claro que medidas mitigadoras devem ser implementadas no sentido de reduzir descartes de resíduos sólidos neste estuário e que estudos futuros ampliem a área investigada no intuito de efetivar medidas de controle da qualidade da água neste importante estuário paraibano.

Palavras-chave: Microplástico. Poluição. Impacto antrópico. Água. Rio Paraíba.

ABSTRACT

The aquatic environment has been suffering wide anthropic impacts. Due to the incorrect disposal, more than 50% of the waste found in the oceans is plastic that arrive through domestic, agricultural and industrial effluents. These residues fragment into microplastics (MPs), particles between 0.1 μm and 5.0 mm, which accumulate in ecosystems and become accessible to biota in the environments where they occur. For the first time in the estuary of the Paraíba River, Paraíba, Brazil, MPs contamination in surface water was assessed. Monthly water sampling with a phytoplankton net was conducted between March/2019 and February/2020 in a transect between Restinga Island and the Cabedelo Harbour. With five monthly pseudo replicates, 60 water samples were analyzed during this period. The obtained MPs were sorted and classified as to their type and color. There was predominance of fiber type (51%), and of the blue color (74%). From the analyses, 443 MPs were obtained in approximately 1105 m^3 of filtered water and an average abundance of $0.43 \pm 0.28 \text{ MP/m}^3$, ranging from 0.0673 (September) to 0.9608 (January). Such results reveal a high incidence of MPs pollution downstream of this system. The abiotic factors tested, such as water transparency, wind speed and direction, tide height, filtered water volume, dry or rainy season did not significantly affect the amount of MPs recorded, therefore, there was no spatial or temporal pattern associated with amount of MPs on the water surface in this study. In a broad way, the site is impacted by the transport of debris from various anthropic actions along the Paraíba basin, especially in the estuary, whose surroundings are home to a population of more than 1 million inhabitants. Thus, the predominance of blue fibers, associated with domestic waste, implies the need for basic sanitation. In turn, fragments (48%) result from the slow and natural degradation of larger plastic waste again inferring the lack of correct disposal of garbage in the metropolitan region of João Pessoa. In view of the results presented here, it is clear that mitigating measures should be implemented in order to reduce solid waste disposal in this estuary, and that future studies should expand the area investigated in order to control the water quality in this important estuary of Paraíba.

Keywords: Microplastic. Pollution. Anthropic impact. Water. Paraíba River.

1. INTRODUÇÃO

A contaminação dos ecossistemas aquáticos com polímeros sintéticos, notadamente microplásticos (MPs), vem se tornando uma problemática global crescente (Ivleva et al., 2017). Esse material possui características como leveza, durabilidade, resistência, versatilidade, isolamento térmico e elétrico, além do baixo custo, que o torna um fator chave para inovação em campos como saúde, construção civil, energia e tecnologia (Derraik, 2002; Ivleva et al., 2017), sendo amplamente utilizado em indústrias de embalagens, cosméticos, têxtil e muitas outras. De forma que, notadamente após a Segunda Guerra Mundial, houve um aumento exponencial na demanda e na produção de plásticos pelo homem e em 2019, a produção global atingiu 368 milhões de toneladas/ano e pelo menos 10% desta produção é lançada anualmente no ambiente marinho (Plastics Europe, 2020), onde permanece acessível para ingestão por organismos de todas as guildas e níveis tróficos (Ferreira et al., 2018).

Cerca de 40 a 80% dos resíduos sólidos encontrados nos oceanos são plásticos (Derraik, 2002; Barnes et al., 2009), o que resulta em uma intensa pressão antrópica sobre esses ecossistemas. Poluentes plásticos que impactam o ambiente marinho, provém de fontes terrestres, como escoamento de rios, transportes de resíduos através do vento e efluentes domésticos, agrícolas e industriais (Ryan et al., 2009), tornando o acúmulo de plásticos nos oceanos de todo o mundo um risco ambiental, causando problemas não apenas estéticos, mas ameaçando a economia das regiões costeiras e principalmente a biota marinha (Thompson et al., 2009).

Neste cenário, notadamente a perda acidental, a eliminação incorreta e a fragmentação física dos detritos plásticos resultaram em um aumento de microplásticos que contaminam o ambiente marinho (Lusher et al., 2017). Os resíduos plásticos presentes no ambiente se fragmentam em microplásticos por meio da degradação fotoquímica e abrasão mecânica (Thompson et al., 2004; Andrady, 2011). Desse modo, a onipresença de MPs nos oceanos tem, portanto, atraído um interesse significativo dos pesquisadores, por ser um poluente potencialmente tóxico à vida marinha (Cole et al., 2011). Essa disponibilidade de MPs e o seu tamanho reduzido, resulta em uma ampla interação com os organismos, com potencial para serem ingeridos direta ou indiretamente, através de presas de níveis tróficos inferiores (Cole et al., 2011; Wright et al., 2013).

O termo microplásticos refere-se a todas as partículas plásticas com dimensões entre 0,1 μm e 5,0 mm (Thompson et al., 2004; Arthur et al., 2009). Os microplásticos podem ser classificados de acordo com sua origem como primários, utilizados como matéria-prima,

disponíveis para manufatura e diversos usos, enquanto que os MPs secundários compreendem artigos plásticos em processo de degradação, provenientes da decomposição de itens maiores que se fragmentam em diferentes tipos (Cole et al., 2011; Eerkes-Medrano et al., 2015).

Microplásticos ocorrem nos oceanos de todo o mundo (Barnes et al., 2009), sendo presentes desde a costa até os giros oceânicos (Cole et al., 2011). Entretanto, sua distribuição é ampla e influenciada por diversos fatores. No entanto, dispersos pelos ventos, turbulências geradas pelo tráfego de embarcações e correntes oceânicas, podem estar concentrados não apenas próximos às fontes poluidoras, mas ser transportados para longas distâncias e alcançar áreas remotas, distantes de ações humanas (Ivar do Sul & Costa, 2014). Devido a sua densidade variável, os microplásticos se distribuem também de maneira variável na coluna d'água, com amplo tempo de permanência desses detritos no ambiente marinho. Os MPs de baixa densidade tendem a flutuar e são principalmente encontrados na superfície do mar, já os de alta densidade são mais comumente encontrados na região bentônica. Tais partículas podem ter sua flutuabilidade influenciada pela incrustação biológica, por exemplo, que as tornam mais densas que a água e aumentam a probabilidade de afundar, assim como a eliminação desta bioincrustação na coluna d'água por organismos forrageiros, representa uma via de retorno potencial dessas partículas à superfície do mar. Desta forma, tais fatores determinam a distribuição e a disponibilidade desses poluentes ao longo da coluna d'água para os organismos marinhos (Wright et al., 2013).

Entre os ambientes mais impactados estão os estuários, sistema costeiro semifechado que conecta o rio ao mar. A dinâmica dos estuários é complexa, principalmente, pelas influências das condições marinhas e processos físicos, tais como mudanças do fluxo das marés, circulação dentro do estuário e a fisiografia estuarina (Mangas et al., 2013). Toda essa variação de parâmetros fisiográficos e ambientais, inclusive na disponibilidade de alimento, turbidez e salinidade, fazem deste local, um ecossistema de grande produtividade primária. Bem como um importante ambiente da zona costeira constituindo um local de proteção, abrigo, alimentação e reprodução para muitas espécies aquáticas (Santana et al., 2015), que dela fazem uso contínuo (espécies residentes), regular (espécies migrantes) ou esporádico (espécies ocasionais) (Elliott et al., 2007). Em estuários, microplásticos estão presentes em todos os habitats, vindos de fontes múltiplas (Ferreira et al., 2018). Ivar do Sul & Costa (2013) e Ferreira et al. (2018) relatam que em ambientes costeiros como estes, as principais fontes de entradas de microplásticos são a urbanização e a pesca. Há diversas fontes como esgoto doméstico sem o devido tratamento lançados *in natura* no ambiente aquático, devido à

falta de saneamento básico, é o caso das fibras de poliéster proveniente da lavagem de roupas, uma fonte de impacto antrópico bem documentada e impactante (Browne et al., 2011).

De toda forma, a ocorrência de microplásticos tem sido relatada para muitos ambientes marinhos, incluindo sedimentos (Claessens et al., 2011), praias (Martinelli Filho & Monteiro, 2019), ilhas (Ivar do Sul & Costa, 2013), peixes (Vendel et al., 2017) e águas superficiais (Schönlau et al., 2020). Assim, os organismos que habitam tais ambientes costeiros adjacentes são vulneráveis à ingestão de MPs, os quais podem lhes causar riscos químicos e físicos (Wright et al., 2013), distúrbios endócrinos, toxicidade reprodutiva (Shen et al., 2019; Zhang et al., 2021) e obstrução do trato digestório (Wright et al., 2013). Além de que, esses MPs podem atuar como vetores de transferência de aditivos e poluentes orgânicos persistentes (POPs), que são bioacumulados e biomagnificados nos organismos (Oehlmann et al., 2009; Rochman et al., 2013). Assim, a interação dos organismos marinhos com MPs, principalmente nas águas costeiras, tem trazido grandes preocupações sobre potenciais riscos para a saúde humana, através da teia trófica, pela ingestão de peixes (Cole et al., 2013; Zhang et al., 2021; Paiva et al., 2021a submetido).

Este representa o primeiro estudo sobre MPs na bacia do Rio Paraíba e objetiva identificar e quantificar a ocorrência deste poluente na sua jusante, a fim de alertar aos gestores locais sobre o impacto da poluição por MPs em águas superficiais deste importante estuário do Rio Paraíba, Paraíba, Nordeste do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no estuário do Rio Paraíba, PB, Brasil. A bacia hidrográfica deste Rio cobre aproximadamente 380 km e intercepta 37 municípios (Nishida et al., 2008), sendo a segunda maior bacia do estado. O estuário em si, que possui uma área de 3.012 ha, abrange os municípios de Bayeux, Santa Rita, João Pessoa, Lucena e Cabedelo, sendo constituído por uma planície flúvio marinha formada pelos rios Paraíba e seus afluentes Sanhauá, Paroeira, Mandacaru, Tibiri, Tambiá, Ribeira e Guia (Guedes, 2002). O clima do estuário, de acordo com a classificação de Köppen é equatorial (As) com verão seco (Álvares et al., 2013), com menor precipitação em novembro, na estação seca, e estação chuvosa estendendo-se entre fevereiro e agosto (Alves et al., 2016).

O estuário do Rio Paraíba apresenta áreas de manguezais que crescem aos arredores do canal principal e rios menores em conjunto com remanescentes de mata atlântica (Dolbeth

et al., 2016). Sua fauna e flora, características do ambiente estuarino, possuem grande importância biológica e também são exploradas pela população para consumo próprio e comércio. Sendo assim, este estuário, além da importância ecológica, tem grande importância socioeconômica e comercial para a população local, sendo uma área portuária e de atividade pesqueira (Ferreira et al., 2017; Pessoa et al., 2019). Este ambiente situa-se em uma região metropolitana com mais de 1 milhão de habitantes (IBGE, 2010), caracterizada por grandes plantações de cana de açúcar e atividades de cultivo de camarão (Dolbeth et al., 2016), com um registro de esgotamento sanitário nos municípios de João Pessoa, Cabedelo e Lucena de 70,8%, 51,1% e 29,7% respectivamente (IBGE, 2010). Além do impacto relativo às dragagens e tráfego no Porto de Cabedelo, à jusante. Frente às condições apresentadas, em especial à intensa urbanização, é notório e contínuo o impacto antrópico sofrido por este estuário, o qual representa uma fonte direta de MPs nestas águas.

2.2 Coleta de dados

As amostragens de água foram realizadas entre março/2019 e fevereiro/2020 totalizando doze meses de amostragens. Em cada mês, foram obtidas cinco amostras em cinco pontos, perfazendo cinco pseudoréplicas mensais, no transecto entre as margens do município de Cabedelo e a Ilha da Restinga, que distam 1,4 km entre si (Fig. 1). As amostragens ocorreram sempre no período matutino, através do lançamento de uma rede de fitoplâncton de 20 μm acoplada a um fluxômetro Hidro-Bios modelo 438 110, para registro do fluxo de água durante a ação, com distância de aproximadamente 100m entre cada ponto amostral, percorrida em cerca de seis minutos, via deslocamento em canoa de motor de popa.

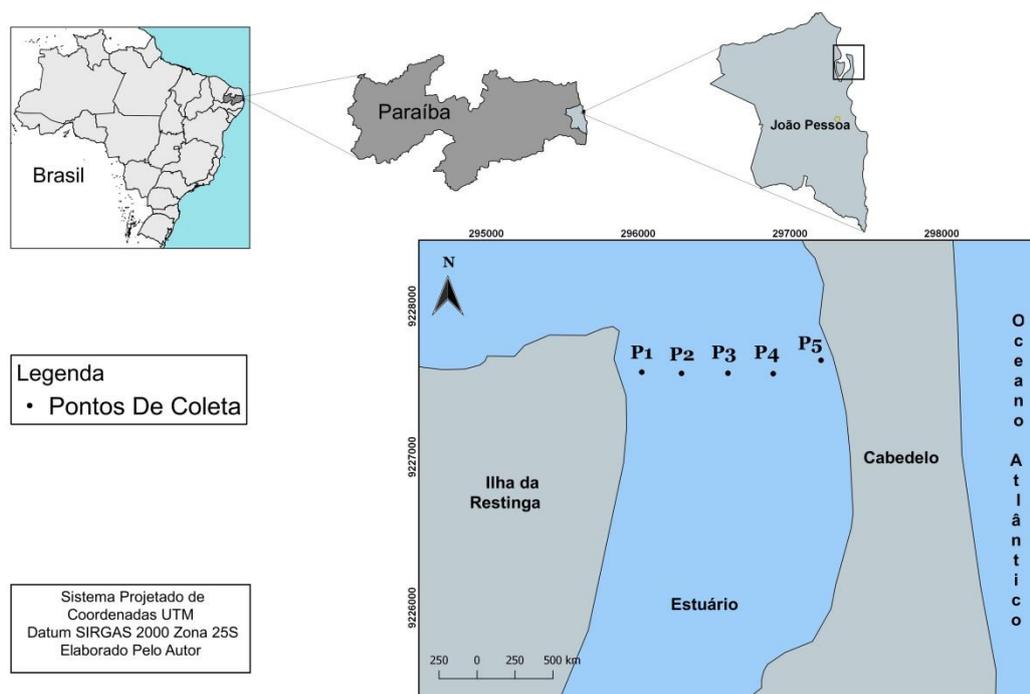


Figura 1: Pontos amostrados entre Cabedelo e a Ilha da Restinga no estuário do Rio Paraíba, Paraíba. Fonte: Software QGIS 2.18.20 - Lyon (2018).

Após a coleta padronizada de água, esta foi transferida do recipiente acoplado à rede para um frasco de vidro devidamente lavado e identificado. O material coletado foi imediatamente conduzido ao Laboratório de Ictiologia (LabIctio) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus V, João Pessoa.

Durante as amostragens foram obtidos parâmetros abióticos como temperatura da água (°C), com termômetro, salinidade utilizando refratômetro e transparência da água (m) medida através do disco de Secchi em cada local de coleta. Para a precipitação, os dados pluviométricos utilizados foram disponibilizados pelo Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste (PROCLIMA, 2020). A velocidade e a direção dos ventos foram obtidas no National Weather Service dos EUA (GFS/NCEP/US, 2020).

2.3 Análises em laboratório

No LabIctio cada amostra de água foi filtrada em rede 15 μm , sendo o conteúdo obtido armazenado em frascos de vidro etiquetados por ponto de amostragem para posterior análise. A triagem foi feita mensalmente com auxílio de microscópio estereoscópico para busca, quantificação e caracterização dos microplásticos ocorrentes na água do estuário. As partículas plásticas das amostras foram quantificadas e classificadas de acordo com suas cores

em azul, transparente, preto e outras, bem como quando às suas características físicas em fibras, fragmentos e filmes.

Foram tomados os devidos cuidados com relação à contaminação aérea durante a triagem das 60 amostras de água. Assim como descrito por Paiva et al. (2021b) para assegurar a fidelidade na quantificação dos MPs, todos os utensílios usados na análise, como placas de Petri e pinças foram cuidadosamente lavados com água destilada filtrada sempre em rede de 15µm, assim como a bancada e os microscópios estereoscópicos também foram previamente higienizados com álcool 70% filtrado, o ar-condicionado local foi mantido desligado e acesso ao laboratório interditado para evitar fluxo de pessoas no ambiente, todas as cadeiras e equipamentos do LabIctio foram revestidos com capas 100% algodão, bem como foram utilizadas luvas de látex descartáveis e jalecos 100% de algodão durante toda a triagem de MPs nas amostras.

No intuito de averiguar e controlar a contaminação aérea local foram utilizados brancos durante as triagens das amostras, os quais consistiram em três placas de Petri lavadas três vezes, secas e analisadas sob microscópio estereoscópico, para garantir a total ausência de contaminação aérea por MPs. Essas três placas conferidas foram então deixadas na bancada ao lado do microscópio estereoscópico, com água destilada, também filtrada com rede de 15µm para aferir uma possível contaminação de microplásticos provenientes da contaminação aérea no interior do laboratório, durante todo o tempo de triagem da amostra, tempo este reduzido ao máximo possível.

2.4 Análises dos dados

O volume de água filtrado (m³) foi calculado através da seguinte fórmula:

$$V = A \times R \times C$$

Onde, **A** é a área de abertura da rede utilizada (m²), **R** é o número de rotações do fluxômetro (número final – número inicial) e **C** é o fator de aferição após calibração do aparelho em metros por rotações (0,3), fornecido pelo fabricante.

A abundância de MPs ocorreu conforme conversão de números de partículas por metro cúbico de água superficial do mar:

$$a = \frac{\text{Número de microplásticos}}{\text{Volume de água filtrada}}$$

Onde **a** é a abundância em MP/m³

Todos os dados tiveram sua normalidade testada através do teste Shapiro-Wilk. Para a análise temporal, uma regressão multivariada, considerando o número de MPs como a

variável resposta, foi aplicada para investigar a relação entre os MPs e os fatores abióticos transparência da água (cm), velocidade e direção dos ventos, assim como, um teste Qui-Quadrado foi aplicado para testar a relação entre os MPs e a altura da maré (m). Para comparação de médias de MPs entre os períodos seco/chuvoso e correlação de MPs com o volume de água filtrada foram utilizados os testes T e a correlação de Pearson, respectivamente.

Para análise espacial foi usado teste Kruskal-Wallis para comparação das médias de MPs obtidas nos pontos de amostragem. Para investigar a contaminação aérea foi realizado o teste Mann-Whitney. As análises estatísticas foram realizadas utilizando os softwares RStudio 3.6.3 e BioEstat 5.3.

3. RESULTADOS

3.1 Influência dos fatores abióticos

Com relação aos fatores abióticos, a precipitação seguiu o padrão da região, com mínimas e máximas em novembro (0,58 mm) e junho (461,36 mm) respectivamente. A temperatura variou ao longo do ano com o menor valor registrado em março no período chuvoso (25°C) e o maior em janeiro, no período seco (30°C). As médias mensais de salinidade variaram conforme esperado à jusante em sistemas estuarinos (entre 26 e 36). A transparência da água apresentou maior variação (53 a 121 cm) com maior valor em maio, na estação chuvosa, e a velocidade dos ventos variou entre 11 km/h e 28 km/h durante o ano, considerado um valor de intensidade fraca a moderada (Fig. 2).

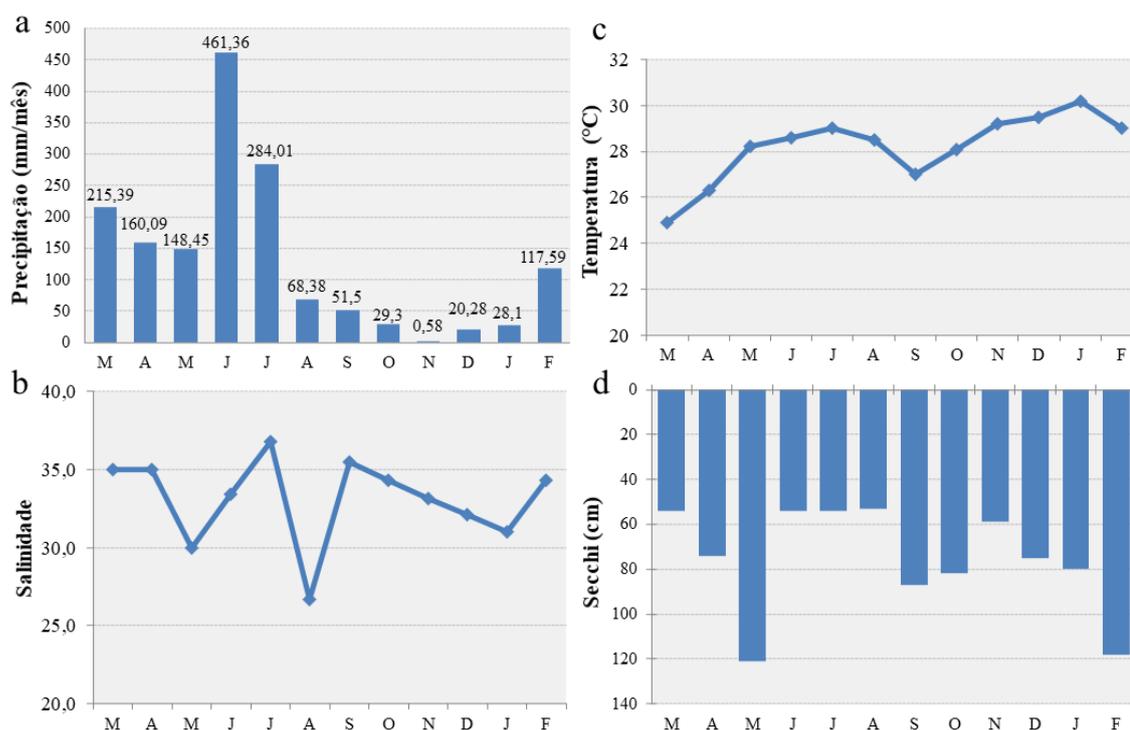


Figura 2. Fatores abióticos: (a) Precipitação total mensal, (b) Salinidade, (c) Temperatura da água (°C), (d) transparência de Secchi (cm) do estuário do Rio Paraíba, de março/2019 a fevereiro/2020.

Diante das análises temporais, o resultado da regressão multivariada aplicada à transparência da água, velocidade e direção dos ventos não foi significativo (Tabela 1; $p > 0,05$), demonstrando que estes fatores abióticos não determinam a distribuição de MPs na superfície da água neste estuário. O teste T aplicado para comparação de médias entre o período seco/chuvoso, em nível de 5% de significância com intervalo de confiança de [-36; 31] ($t = 0,189$; $p > 0,05$) também não foi significativo, sendo assim não houve distinção significativa de MPs entre os períodos seco e chuvoso. Da mesma forma, quando testada a influência da altura da maré, o Qui-quadrado aplicado ($t = 2,333$; $p > 0,05$) não foi significativo, indicando que a altura da maré no momento da amostragem não foi um fator associado à distribuição de MPs na superfície do estuário neste estudo. O resultado da correlação de Pearson aplicada ao volume de água filtrada ($r = 0,4220$; $p > 0,05$) não foi significativo, ou seja, também não houve correlação significativa entre abundância de MPs e volume de água filtrada.

Espacialmente, o teste Kruskal-Wallis aplicado para comparar as médias de MPs obtidas nos cinco pontos amostrais foi não significativo ($t = 1,018$; $p > 0,05$), sendo assim não se confirmou maior número de MPs mais próximo à Ilha da Restinga, nem ao Porto de Cabedelo, o que reforça o fato de que a incidência de MPs na água é elevada e generalizada,

ou seja, ocorre desde a ilha da Restinga não urbanizada até as margens da cidade de Cabedelo, onde visualmente o impacto por resíduos sólidos é maior. Os p-valores de cada teste encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Tabela de análise de variância resultado da regressão multivariada

Fontes de variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F	P-valor
Regressão	3	907,1643	302,3881	0,7200	0,5695
Resíduo	8	3359,7524	419,9690		
Total	11	4266,9167	---		

Tabela 2: Testes estatísticos aplicados correlacionando os fatores abióticos aos MPs.

Fatores abióticos	Teste utilizado	p - valores
Volume de água mensal filtrada	Correlação de Pearson	0,1717
Período seco x chuvoso	Teste T	0,8569
Altura da maré	Qui-Quadrado	0,5062
Pontos amostrais (P1, P2, P3, P4, P5)	Kruskall-Wallis	0,9070

3.2 Quantificação e caracterização de MPs

Foram analisadas 60 amostras da água de superfície do estuário do Rio Paraíba ao longo de 12 meses, com ocorrência de MPs em 100% delas (Fig. 3). Entretanto, no mês de setembro não foi possível realizar a quantificação adequada e padronizada, devido à amostra apresentar uma elevada quantidade de óleo, o que dificultou a triagem. Embora tenham sido identificados MPs mesmo nesta amostra, eles foram em menor número.

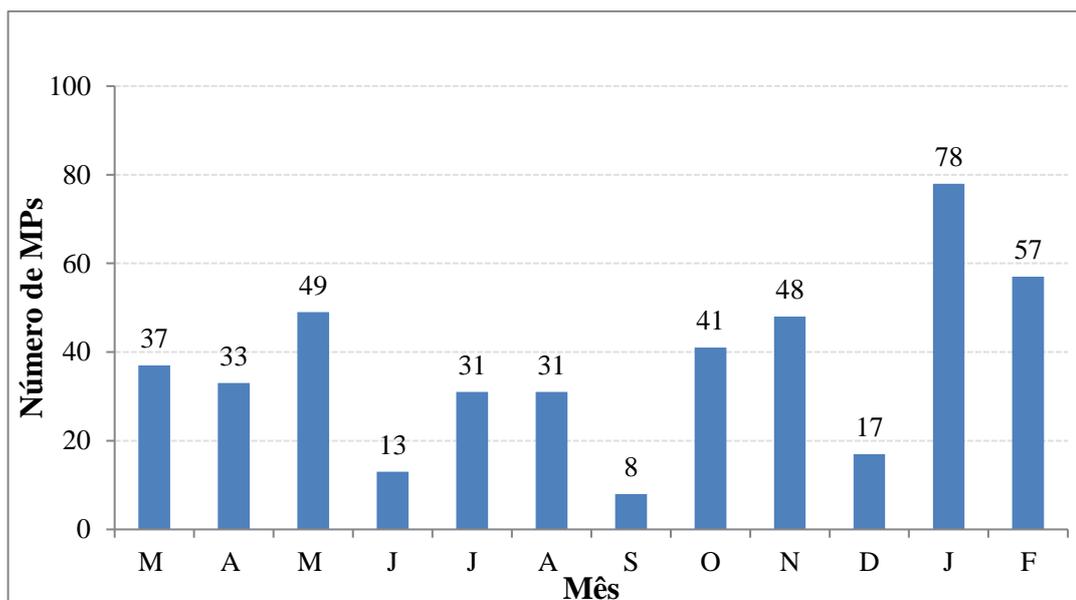


Figura 3: Total mensal de MPs na água de superfície do estuário do Rio Paraíba, Paraíba.

No total foram quantificados 443 microplásticos em aproximadamente 1105m³ de água filtrada representando $7,38 \pm 5,60$ MP/ponto amostrado. A abundância média de MPs foi de $0,43 \pm 0,28$ itens/m³, variando entre 0,0673 MP (Setembro) e 0,9608 MP (Janeiro) (Tabela 3).

Tabela 3: Abundância de MPs na água do estuário do Rio Paraíba, Paraíba.

Mês	Volume Filtrado (m ³)	Abundância de MPs
Março	67,53	0,5479
Abril	94,92	0,3476
Mai	90,90	0,5390
Junho	100,88	0,1288
Julho	95,73	0,3238
Agosto	113,77	0,2724
Setembro	118,77	0,0673
Outubro	100,94	0,4061
Novembro	52,73	0,9102
Dezembro	85,99	0,1976
Janeiro	81,18	0,9608
Fevereiro	101,78	0,5600

Todos os microplásticos analisados foram quantificados e classificados segundo cor e tipo. Quanto às cores, a predominância de MPs azul foi observada com 329 (74%) microplásticos encontrados, seguidos por 45 (10%) microplásticos da cor transparente, 37 (9%) microplásticos da cor preta e 32 (7%) de outras cores (Fig. 4a). Do total de MPs encontrados na água superficial do estuário, 227 (51%) foram do tipo fibra, 210 (48%) do tipo fragmento e apenas 6 (1%) do tipo filamento (Fig. 4b). Detalhes de tipos de MPs registrados neste estudo, bem como prováveis fontes estão disponíveis abaixo (Fig. 5a - 5d).

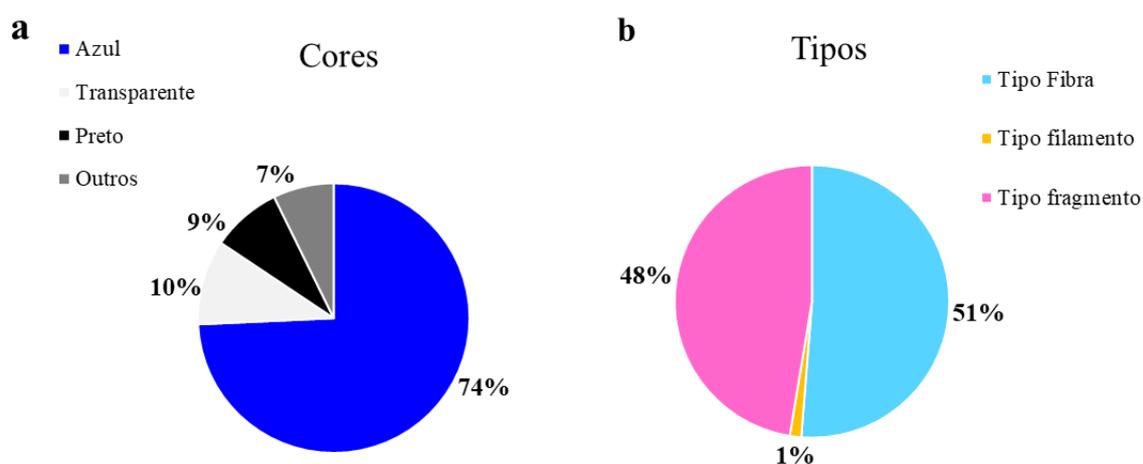


Figura 4. Classificação de MPs segundo cor (**a**) e tipo (**b**) em águas superficiais do estuário do Rio Paraíba, Paraíba.

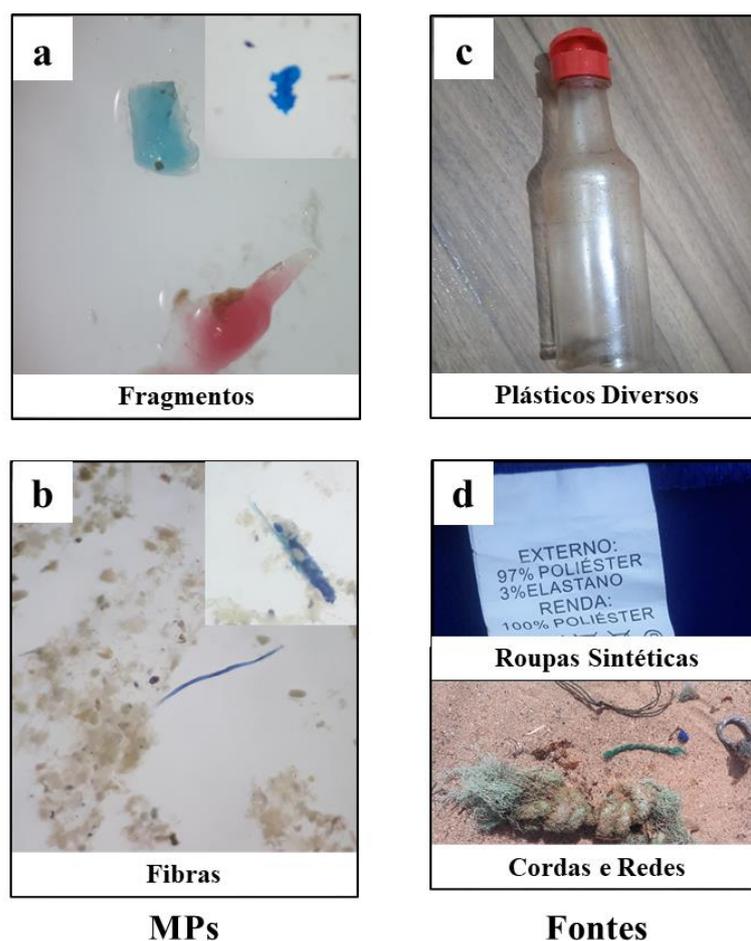


Figura 5. Tipos de MPs encontrados em águas superficiais do estuário do Rio Paraíba, Paraíba (a e b) e suas prováveis fontes (c e d).

4. DISCUSSÃO

Muitos fatores podem contribuir com os padrões de distribuição de microplásticos nos ecossistemas marinhos fazendo com que eles se acumulem de maneira variável, tais como a densidade e tamanho do plástico, ventos, correntes oceânicas, geografia da costa e urbanização (Barnes et al., 2009; Kukulka et al., 2012). Além disto, a dinâmica complexa de circulação da água estuarina pelas correntes de maré e afluxo fluvial podem causar ressuspensão de MPs da coluna d'água e dos sedimentos para a superfície, contribuindo para acúmulo destes nas águas superficiais do estuário, como relatado por Sadri & Thompson (2014) e Zhao et al. (2015). Tal dinâmica certamente contribui para a falta de variação tanto espacial quanto temporal, na incidência de MPs na superfície da água à jusante do estuário do Rio Paraíba demonstrada neste estudo.

Os ventos podem contribuir para as concentrações e distribuições dos MPs em estuários (Vermeiren et al., 2016). Com o aumento da velocidade, a tensão dos ventos resulta

na mistura vertical dos detritos de plásticos flutuantes na superfície, distribuindo-os verticalmente na coluna d'água. Tem sido observado que as concentrações de microplásticos na superfície do mar são menores em condições de ventos fortes (Kukulka et al., 2012). Assim como em períodos de chuva e de maré cheia, as concentrações de MPs podem aumentar devido às chuvas que elevam a carga de detritos do escoamento dos rios que adentram o estuário e as marés interferem no retorno de partículas com a maré enchente (Sadri & Thompson, 2014; Figueiredo & Vianna, 2018). A influência dos fatores abióticos investigados neste estudo, entretanto, não se relacionou a ampla distribuição de MPs, sendo observada uma ampla contaminação ao longo do tempo e do espaço investigados.

Neste estudo foram encontradas partículas em todas as amostras, confirmando assim elevada incidência de microplásticos nas águas superficiais do estuário do Rio Paraíba. No entanto, no mês de setembro foi registrada a menor abundância de MPs na água devido a um derramamento de óleo na costa brasileira, o que dificultou a nítida visualização dos MPs nas 5 amostras deste mês e contribuiu para a queda no número de partículas registradas. Segundo Araújo et al. (2021) e Câmara et al. (2021), o derramamento de cerca de 100 toneladas de óleo ocorreu em agosto/2019 e se espalhou por mais de 3.000 km, alcançando a costa do nordeste em setembro/2019, poluindo 132 praias em 9 estados nordestinos. Mais de um ano após o derramamento, suas causas estão em investigação confidencial e ainda são desconhecidas. Diante de várias hipóteses levantadas sobre a origem do petróleo, existe a suspeita de que seja venezuelano, por possuir características similares ao do país, porém, não há nenhuma evidência que confirme a veracidade desta hipótese (Câmara et al., 2021).

A abundância média de MPs registrada nas águas superficiais à jusante no estuário do Rio Paraíba foi elevada, mas a falta de dados acerca de contaminação por MPs no local impede uma comparação regional, seja temporal ou espacial, mais precisa. Entretanto, ao comparar a abundância de MPs como valores obtidos para outros estudos realizados com o mesmo método, a rede de plâncton, como no estuário de Goiana, PE, Brasil ($0,26 \text{ itens/m}^3$) (Lima et al., 2014), Canal da Mancha, Europa ($0,27 \text{ itens/m}^3$) (Cole et al., 2014) e no Mar de Bohai, China ($0,33 \pm 0,36 \text{ itens/m}^3$) (Zhang et al., 2017), sendo superior ao estuário de Tamar, Inglaterra ($0,028 \text{ itens/m}^3$) (Sadri & Thompson, 2014) e inferior aos encontrados na Baía de Guanabara, RJ, Sudeste do Brasil ($4,8 \text{ itens/m}^3$) (Figueiredo & Vianna, 2018) e na costa de Weihai, China ($5,9 \pm 3,5 \text{ itens/m}^3$) (Zhang et al., 2021).

A incidência temporal e espacial de MPs se deve a provável influência dos rios associados ao estuário do Rio Paraíba que sofrem com impactos da urbanização durante todo o ano. É amplamente relatado que os rios são uma das principais fontes de aporte de

microplásticos do ambiente terrestre para os mares costeiros (Eerkes-Medrano et al., 2015; Lebreton et al., 2017; Martinelli Filho & Monteiro, 2019), transportando de 70-80% dos detritos plásticos presentes no meio marinho (Carvalho et al., 2021). Sabe-se que os afluentes do Rio Paraíba carregam detritos domésticos e industriais (Guedes, 2002) até a desembocadura. Entretanto, esta região estuarina também é impactada por descarga de esgoto doméstico, insumos utilizados no cultivo de cana de açúcar e na carcinicultura (Marcelino et al., 2005; Dolbeth et al., 2016; Teixeira et al., 2019).

Sendo assim, a predominância de fibras (51%) azuis pode estar principalmente relacionada à contaminação do estuário por esgoto doméstico (Browne et al., 2011), como também equipamentos de pesca (Cole et al., 2011), relevantes fontes de fibras coloridas derivadas principalmente de lavagem de roupas e da degradação de redes e cordas utilizadas em atividades de pesca (Zhao et al., 2015). Entretanto, em menor concentração, fragmentos (48%) foram encontrados podendo ter contribuído para a presença deste tipo de MPs, a degradação e fragmentação de resíduos plásticos maiores (Cole et al., 2011; Eerkes-Medrano et al., 2015). Semelhante a este estudo, Zhu et al. (2018) observaram no Yellow Sea, no Pacífico, uma alta abundância e distribuição heterogênea de MPs com predominância de fibras, que os autores atribuíram tanto aos esgotos domésticos, como às atividades de pesca no local. A predominância de fibras aqui observada é descrita em diversos estudos semelhantes (Thompson et al., 2004; Desforges et al., 2014; Wang et al., 2016; Martinelli Filho & Monteiro, 2019; Ferraz et al., 2020; Schönlaue et al., 2020; Napper et al., 2021), atribuir elevada abundância de MPs à pesca também é comum em estudos que investigam MPs no ambiente aquático (Cardozo et al., 2018; Zhu et al., 2018; Zhang et al., 2021).

De toda forma, os resultados aqui obtidos demonstram a contaminação preocupante registrada neste ecossistema estuarino, considerando o acúmulo desses poluentes e seu impacto na teia trófica pela comprovada ingestão direta e indireta (Wright et al., 2013; Prata et al., 2020), por exemplo, por parte da ictiofauna. Alves et al. (2016) comprovaram que *Atherinella brasiliensis*, um residente estuarino comum neste estuário, ingere MPs acidentalmente pois os confundem com oligoquetas. Por sua vez, Vendel et al. (2017) ao analisarem a assembleia de peixes do estuário do Rio Paraíba, demonstraram uma ingestão de $1,06 \pm 0,30$ itens/peixe, independente do seu tamanho, do seu grupo funcional ou da sua guilda trófica. Güven et al. (2017) relatam uma ingestão de 2,36 itens/peixe, sendo o nível trófico independente da concentração de MPs, e Amorim et al. (2020) uma ingestão de $1,31 \pm 0,52$ itens/peixes. De maneira experimental, Fabra et al. (2021) demonstraram a ingestão de MPs por ostras nativas da Europa (*Ostrea edulis*), em dois modelos, MPs virgens e MPs

revestidos com biofilmes de *Escherichia coli*, concluindo que ostras expostas a MPs com biofilmes ingeriram 10 vezes mais do que aquelas que tiveram acesso a MPs virgens, ou seja, os autores concluíram que os MPs podem transportar bactérias como *E. coli*, que são comuns e indicadoras de baixa qualidade das águas costeiras, via teia trófica. Sendo assim, outros organismos também podem apresentar a mesma preferência e como os MPs não se decompõem no animal, são transferidos via teia trófica. Isso reflete a importância do ambiente no qual os diversos organismos vivem e do qual fazem uso, cuja qualidade certamente impacta seus ciclos de vida.

Além do mais, com a crescente demanda por recursos da zona marinha adjacente à costa, há a preocupação com segurança alimentar e saúde humana, por meio do consumo desta proteína de relativo baixo custo (Paiva, et al., 2021a). Ferreira et al. (2018) relatam que peixes de níveis tróficos superiores são um dos principais alvos de pesca, como também, são os mais susceptíveis à contaminação por meio da biotransferência de MPs da presa aos seus predadores, podendo gerar níveis mais elevados de contaminação nos predadores de topos, que são os mais consumidos pelos humanos. Ou seja, os seres humanos estão frequentemente expostos a MPs das mais diversas origens, podendo ser ingeridos ou inalados através dos alimentos, do ar e das bebidas, inclusive através da água tratada.

Ferraz et al. (2020) quantificaram 105,8 MPs/L em águas tratadas provenientes de oito residências ao longo do Rio dos Sinos, RS, sul do Brasil, apenas pouco menos de um terço da concentração média de MPs encontrados da água proveniente do rio (330,2 itens/L) e Pivokonsky et al. (2018) quantificaram uma abundância média de MPs que variou de 338 ± 76 a 628 ± 28 itens/L na água tratada de três estações de tratamento de água (ETAs) abastecidas por diferentes tipos de corpos d'água, localizadas em áreas urbanas da República Tcheca. No entanto, ainda não se sabe se ou como essas partículas podem atravessar as barreiras epiteliais e trazer consequências afetando a saúde humana, porém esses dados não podem ser desprezados, pois resultam em uma importante fonte de contaminação para os humanos. Grandes soluções para mitigar a contaminação das águas devem ser propostas, como o projeto desenvolvido por um jovem brasileiro, ganhador do prêmio internacional Stockholm Junior Water Prize 2021, onde um sistema de filtração retém as partículas de MPs nas ETAs, diminuindo consideravelmente a concentração de MPs na água potável (Olsen, 2021a). Assim como, o jovem irlandês ganhador do Google Science Fair, em 2019, que criou um “ímã líquido” constituído de óxido de ferro magnetizado e óleo vegetal atrai os MPs da água por magnetismo (Olsen, 2021b).

Contudo, mesmo os resultados denotando uma elevada contaminação, é importante ressaltar a relevância de novos e mais aprofundados estudos, pois amostras mais abrangentes, em termos de tempo e espaço, contribuem com a avaliação da qualidade da água do ambiente em estudo (Zhao et al., 2015). É importante priorizar uma avaliação contínua e padronizada quanto ao volume de água filtrada e tamanho de malha da rede utilizada, atitudes que consequentemente, fornecerão um bom parâmetro comparativo acerca da gestão e do controle da contaminação da água do estuário. Diante disso, esse estudo representa o primeiro em águas superficiais do estuário do Rio Paraíba, sendo portanto, uma importante contribuição para conscientização acerca da contaminação local e um impulso à gestão consciente que visa assegurar a qualidade da água neste estuário.

5. CONCLUSÃO

A análise da ocorrência e distribuição de microplásticos em águas superficiais do estuário do Rio Paraíba revelou uma grande incidência de poluição por MPs. A contaminação observada nas amostragens foi considerada generalizada espacial e temporalmente, por não ter sido relacionada a nenhum dos fatores abióticos aqui investigados. Esta primeira investigação, focada na água de superfície, deixa o alerta para que medidas de mitigação do lançamento de resíduos sólidos no ambiente aquático sejam implementadas em caráter de urgência, no sentido de reduzir os poluentes lançados neste ecossistema e que estudos futuros avaliem uma área maior e possam confirmar a efetividade de ações que foquem no controle da qualidade da água neste importante estuário paraibano.

REFERÊNCIAS

- Alvares C. A.; Stape J. L.; Sentelhas P. C.; Moraes Gonçalves J. L.; Sparovek G. 2013. **Koppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*. 22(6): 711-728. Doi: [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)
- Alves V. E.; Patrício J.; Dolbeth M.; Pessanha A.; Palma A.R.; Dantas E.W.; Vendel A. L. 2016. **Do different degrees of human activity affect the diet of brazilian silverside *Atherinella brasiliensis*?** *Journal Fish Biology*, 89(2): 1239-1257.
- Amorim, A.L.A.; Ramos, J.A.A.; Nogueira Júnior, M. 2020. **Ingestion of microplastic by ontogenetic phases of *Stellifer brasiliensis* (Perciformes, Sciaenidae) from the surf zone of tropical beaches**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 158, p. 111214. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111214>

Andrady, A.L. 2011. **Microplastics in the marine environment**. Marine Pollution Bulletin, v. 62, p. 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

Araújo, K. C.; Barreto, M.C.; Siqueira, A.S.; Freitas, A.C.P.; Oliveira, L.G; Bastos, M.E.P.A.; Rocha, L.A.; Fragoso, W.D. 2021. **Oil spill in northeastern Brazil: application of fluorescence spectroscopy and PARAFAC in the analysis of oil-related compounds**. Chemosphere, v. 267, p. 129154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129154>

Arthur, C.; Baker, J.; Bamford, H. 2009. **Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris**. September 9-11. NOAA Technical Memorandum NOS-OR & R-30.

Barnes, D.K.A.; Galdani, F.; Thompson, R.C.; Barlaz, M. 2009. **Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 364, 1985 e 1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

Browne, M.A.; Crump, P.; Niven, S.J.; Teuten, E.; Tonkin, A.; Galloway, T.; Thompson, R. 2011. **Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks**. Environmental Science & Technology. <https://doi.org/10.1021/es201811s>

Câmara, S.F.; Pinto, F.R.; Da Silva, F.R.; Soares, M.O. De Paula, T.M. 2021. **Socioeconomic vulnerability of communities on the Brazilian coast to the largest oil spill (2019–2020) in tropical oceans**. Ocean & Coastal Management, v. 202, p. 105506. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105506>

Cardozo, A.L.P.; Farias, E.G.G.; Rodrigues-Filho, J.L.; Moteiro, I.B.; Scandolo, T.M.; Dantas, D.V. 2018. **Feeding ecology and ingestion of plastic fragments by *Priacanthus arenatus*: What's the fisheries contribution to the problem?**. Marine Pollution Bulletin, v. 130, p. 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.010>

Claessens, M.; De Meester, S.; Landuyt, L.V.; De Clerck, K.; Janssen, C.R. 2011. **Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast**. Marine Pollution Bulletin, v. 62, p. 2199-2204. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>

Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T.S. 2011. **Microplastics as contaminants in the marine environment: a review**. Marine pollution bulletin. 62: 2588-2597. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

Cole, M.; Lindeque, P.; Fileman, E.; Halsband, C.; Goodhead, R.; Moger, J.; Galloway, T. S. 2013. **Microplastic ingestion by zooplankton**. Royal Society B: Biological Sciences. v. 47, p.6646-6655. doi:[10.1021/es400663f](https://doi.org/10.1021/es400663f)

Cole, M.; Webb, H.; Lindeque, P.K.; Fileman, E.S.; Halsband, C.; Galloway, T.S. 2014. **Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms**. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/srep04528>

De Carvalho, A. R.; Garcia, F.; Riem-Galliano, L.; Tudesque, L.; Albignac, M.; Halle, A.T.; Cucherousset, J. 2021. **Urbanization and hydrological conditions drive the spatial and temporal variability of microplastic pollution in the Garonne River.** Science of The Total Environment, v. 769, p. 144479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144479>

Derraik, J.G.B. 2002. **The pollution of the marine environment by plastic debris: a review.** Marine Pollution Bulletin. 44: 842-52.

Desforges, J.P.W.; Galbraith, M.; Dangerfield, N.; Ross, P.S. 2014. **Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean.** Marine Pollution Bulletin, v. 79, 94-99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.035>

Dolbeth, M.; Vendel, A.L.; Pessanha, A.; Patrício, J. 2016. **Functional diversity of fish communities in two tropical estuaries subjected to anthropogenic disturbance.** Marine Pollution Bulletin, v. 112, p. 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.011>

Eerkes-Medrano, D.; Thompson, R.C.; Aldridge, D.C. 2015. **Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritization of research needs.** Water Research. 75:63–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>

Elliott, M.; Whitfield, A.K.; Potter, I.C.; Blaber, S.J.M.; Cyrus, D.P.; Nordlie, F.G.; Harrison, T.D. 2007. **The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review.** Fish and Fisheries, v. 8, p. 241–268. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2679.2007.00253.X>

Fabra, M.; Williams, L.; Watts, J.E.M.; Hale, M.S.; Couceiro, F.; Preston, J. 2021. **The plastic Trojan horse: Biofilms increase microplastic uptake in marine filter feeders impacting microbial transfer and organism health.** Science of The Total Environment, v. 797, p. 149217, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149217>

Ferraz, M.; Bauer, A.L.; Valiati, V.H.; Schulz, U.H. 2020. **Microplastic Concentrations in Raw and Drinking Water in the Sinos River, Southern Brazil.** Water. <https://doi.org/10.3390/w12113115>

Ferreira, P.V.C.; Amorim, A.L.A.; Pessoa, W.V.N.; Ramos, J.A.A.; 2017. **Influência das fases da lua na abundância de *Larimus breviceps* na zona de arrebentação da praia de Miramar-PB.** Principia 36, 107 - 115.

Ferreira, G.V.B.; Barletta, M.; Lima, A.R.A.; Morley, S.A.; Justino, A.K.S.; Costa, M.F. 2018. **High intake rates of microplastics in a Western Atlantic predatory fish, and insights of a direct fishery effect.** Environmental Pollution, v. 236, p. 706-717. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.095>

Figueiredo, G.M.; Vianna, T.M.P. 2018. **Suspended microplastics in a highly polluted bay: Abundance, size, and availability for mesozooplankton.** Marine Pollution Bulletin, v. 135, p. 256-265. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.020>

GFS/NCEP/US 2020. National Weather Service EUA (NWS). www.earth.nullschool.net
Acesso em: 20/11/2020

Guedes, Luciano Da Silva. **Monitoramento geoambiental do estuário do rio Paraíba do norte-PB por meio da cartografia temática digital e de produtos de sensoriamento remoto**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

Güven, O.; Gökdağ, K.; Jovanović, B.; Kıdeys, A.E. 2017. **Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish**. *Environmental Pollution*, v. 223, p. 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.025>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021 **Censo demográfico 2010**. Disponível a partir de: <https://cidades.ibge.gov.br/>

Ivar do Sul, J. A.; Costa, M. F. 2013. **Plastic pollution risks in an estuarine conservation unit**. 2013. *Journal of Coastal Research*, v. 65, n. sp1, p. 48-53.

Ivar do Sul, J. A.; Costa, M. F. 2014. **The present and future of microplastic pollution in the marine environment**. *Environmental Pollution*, v. 185, p. 352-64. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>

Ivleva N.P.; Wiesheu A.C.; Niessner R. 2017. **Microplastic in Aquatic Ecosystems**. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 56(7):1720-1739. <https://doi.org/10.1002/anie.201606957>

Kukulka, T.; Proskurowski, G.; Morét-Ferguson, S.; Meyer, D.W.; Law, K.L. 2012. **The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris**, *Geophysical Research Letters*.39, L07601, [doi:10.1029/2012GL051116](https://doi.org/10.1029/2012GL051116)

Lebreton, L. C. M.; Zwet, J.V.D.; Damsteeg, J.W.; Slat, B.; Andrady, A.; Reisser, J. 2017 **River plastic emissions to the world's oceans**. *Nature Communications*, 8:15611 Doi: [10.1038/ncomms15611](https://doi.org/10.1038/ncomms15611)

Lima, A.R.A.; Costa, M.F.; Barletta, M. 2014. **Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary**. *Environmental Research*, v. 132, p. 146-155, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.031>

Liu, K.; Wang, X.; Wei, N.; Song, Z.; Li, D. 2019. **Accurate quantification and transport estimation of suspended atmospheric microplastics in megacities: implications for human health**. *Environment International*, v. 132, p. 105-127. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105127>

Lusher, A.L.; Welden, N.A.; Sobral, P.; Cole, M. 2017. **Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates**. *Analytical Methods* 9, 1346. <https://doi.org/10.1039/C6AY02415G>

Mangas, A.P.; Da Silva, A.C.; Ferreira, S.C.G.; Palheta, G.D.A.; De Melo, N.F.A.C. 2013. **Ictioplâncton da baía do Guajará e do estuário do rio Pará, ilha do Marajó, Pará, Brasil**. *Boletim Técnico Científico do Cepnor*, v. 13, n. 1, p. 43-54. <http://dx.doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v13n1p43-54>

Marcelino, R.L.; Sassi, R.; Cordeiro, T.A.; Costa, C.F.; 2005. **Uma abordagem socioeconômica e sócio-ambiental dos pescadores artesanais e outros usuários ribeirinhos do estuário do rio Paraíba do Norte, Estado da Paraíba.** Tropical Oceanography.33. 179-192. doi: [10.5914/tropocean.v33i2.5061](https://doi.org/10.5914/tropocean.v33i2.5061)

Martinelli Filho, J.E.; Monteiro, R.C.P. 2019. **Widespread microplastics distribution at an Amazon macrotidal sandy beach.** Marine Pollution Bulletin, v. 145, p. 219-223. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.049>

Napper, I.E.; Baroth, A.; Barrett, A.C.; Bhola, S.; Chowdhury, G.W.; Davies, B.F.R.; Duncan, E.M.; Kumar, S.; Nelms, S.E.; Niloy, M.N.H.; Nishat, B.; Maddalene, T.; Thompson, R.C.; Koldewey, H. 2021. **The abundance and characteristics of microplastics in surface water in the transboundary Ganges River.** Environmental Pollution, v. 274, p. 116-348. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116348>

Nishida, A.K.; Nordi, N.; Alves, R.R.N. 2008. **Aspectos socioeconômicos dos catadores de moluscos do litoral paraibano, Nordeste do Brasil.** Revista de Biologia e Ciências da Terra.

Oehlmann, J.; Schulte-Oehlmann, U.; Kloas, W.; Jagnytsch, O.; Lutz, I.; Kusk, K.O.; Wollenberger, L.; Santos, E.M.; Paull, G.C.; Van Look, K.J.W.; Tyler, C.R. 2009. **Critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife.** Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 364, 2047 e 2062. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0242>

Olsen, N. 2021a. **Brasileiro ganha prêmio internacional por sistema que filtra microplásticos.** Ciclo vivo. Disponível a partir de: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/inspiracao/brasileiro-ganha-premio-internacional-por-sistema-que-filtra-microplasticos/>

Olsen, N. 2021b. **Estudante irlandês cria “imã” que atrai microplásticos.** Ciclo vivo. Disponível a partir de: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/inspiracao/estudante-irlandes-cria-ima-que-atrai-microplasticos/?noamp=mobile>

Paiva, B.O.; De Souza, A.K.M.; Soares, P.L.; Da Silva, J.R.P.; Vendel, A.L. 2021a. **Elevada ingestão de microplásticos pela corvina: um indicativo da necessidade de redução do impacto antrópico costeiro.** Gaia Scientia. Submetido.

Paiva, B.O.; De Souza, A.K.M.; Soares, P.L.; Palma, A.R.T.; Vendel, A.L. 2021b. **Control of Airborne Contamination in Laboratory Analyses of Microplastics.** Aceito para publicação em outubro, 2021: Brazilian Archives of Biology and Technology.

Pessoa, W.V.N.; Ramos, J.A.A.; Oliveira, P.G.V.; 2019. **Composition, density and biomass of fish community from the surf zone as a function of the lunar cycle at Miramar Beach in Cabedelo, Paraíba.** Neotropical Ichthyology, 17(2): e170042, 2019 <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170042>

Pivokonsky, M.; Cermakova, L.; Novotna, K.; Peer, P.; Cajthaml, T.; Janda, V. 2018. **Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water.** Science of The Total Environment, v. 643, p. 1644-1651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102>

Plastics Europe, 2020. **Association of Plastics Manufactures. Plastics - the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data.** Disponível a partir de: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>

Prata, J.C.; Castro, J.L.; da Costa, J.P.; Duarte, A.C.; Rocha-Santos, T.; Cerqueira, M. 2020. **The importance of contamination control in airborne fibers and microplastic sampling: Experiences from indoor and outdoor air sampling in Aveiro, Portugal.** Marine Pollution Bulletin, 159,111522. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111522>

Rochman, C. M.; Hoh, E.; Kurobe, T.; Teh, S.J. 2013. **Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress.** Scientific reports 3.1 1-7. doi: [10.1038/srep03263](https://doi.org/10.1038/srep03263)

Ryan, P. G.; Moore, C.J.; Franeker, A.A.V.; Moloney, C.L. 2009. **Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment.** Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 364, n. 1526, p. 1999–2012, 2009. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>

Sadri, S.S.; Thompson, R.C. 2014. **On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England.** Marine Pollution Bulletin, v. 81, p. 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.020>

Santana, L. M. B. M.; Costa, L. V.; Abessa, D. M. S. 2015. **A Contaminação antrópica e seus efeitos em três estuários do litoral do Ceará, Nordeste do Brasil – Revisão.** Arquivos de Ciências do Mar, 48(2): 93-115

Schönlau, C.; Karlsson, T.M.; Rotander, A.; Nilsson, H.; Engwall, M.; Bavel, B.V.; Kärrman, A. 2020. **Microplastics in sea-surface waters surrounding Sweden sampled by manta trawl and in-situ pump.** Marine Pollution Bulletin, v. 153, p. 111019. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111019>

Shen, M.; Zhang, Y.; Zhu Y.; Song, B.; Zeng, G.; Hu, D.; Wen.; Ren, X. 2019. **Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: a review.** Environmental Pollution, v. 252, p. 511-521. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.102>

Teixeira, Z.; Vital, S.R.O.; Vendel, A.L.; Mendonça, J.D.L.; Patrício, J. 2019. **Introducing fuzzy set theory to evaluate risk of misclassification of land cover maps to land mapping applications: Testing on coastal watersheds.** Ocean & Coastal Management, v. 184, p. 0964-5691. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104903>

Thompson, R.C.; Moore, C.J.; Vom Saal, F.S.; Swan, S.H. 2009. **Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends.** Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences. 1:1–14. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>

Thompson, R.C.; Olsen, Y.; Mitchell, R.P.; Davis, A.; Rowland, S.J.; John, A.W.G.; McGonigle, D.; Russel, A.E. 2004. **Lost at sea: where is all the plastic?.** Science, 304, 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

Vendel, A.L.; Bessa, F.; Alves, V.E.N.; Amorim, A.L.A.; Patrício, J.; Palma, A.R.T. 2017. **Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to**

anthropogenic pressures. Marine Pollution Bulletin, Volume 117, Issues 1-2, 15: 448-55.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.081>

Vermeiren, P.; Muñoz, C.C.; Ikejima, K. 2016. **Sources and sinks of plastic debris in estuaries: A conceptual model integrating biological, physical and chemical distribution mechanisms.** Marine Pollution Bulletin, v. 113 p. 7-16.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.002>

Wang, J.; Tan, Z.; Peng, J.; Qiu, O.; Li, M. 2016. **The behaviors of microplastics in the marine environment.** Marine Environmental Research, v. 113, p. 7-17.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>

Wright, S.L.; Thompson, R.C.; Galloway, T.S. 2013. **The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review.** Environmental Pollution, v. 178, p. 483-492.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>

Zhang, W.; Zhang, S.; Wang, J.; Wang, Y.; Mu, J.; Wang, P.; Lin, X.; Ma, D. 2017. **Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China.** Environmental Pollution, v. 231, p. 541-548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.058>

Zhang, X.; Li, S.; Liu, Y.; Yu, K.; Zhang, H.; Yu, H.; Jiang, J. 2021. **Neglected microplastics pollution in the nearshore surface waters derived from coastal fishery activities in Weihai, China.** Science of The Total Environment, v. 769, p. 144484.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144484>

Zhao, S.; Zhu, L.; Li, D. 2015. **Microplastic in three urban estuaries, China.** 2015. Environmental Pollution, v. 206, p. 597-604. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.027>

Zhu, L.; Bai, H.; Chen, B.; Sun, X.; Qu, K.; Xia, B. 2018. **Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: Observations on occurrence, distribution and identification.** Science of The Total Environment, v. 636, p. 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.182>

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por estar comigo, me guiando e me concedendo força e discernimento por todos os dias até a conclusão desta linda etapa da minha vida.

A minha família, especialmente meus pais Cleonice e Martinho e ao meu irmão Alexandre por todo apoio, força, dedicação e incentivo a minha vida acadêmica, por terem se doado e feito tudo que estava ao seu alcance para que eu realizasse meus sonhos até aqui.

Ao meu noivo Alexandre que sempre esteve ao meu lado, acreditando em mim e no meu potencial. Que segurou a minha mão desde o princípio e é meu fã número 1. Que é companheiro e amigo, que nunca duvidou do que eu sou capaz, meu eterno amor e gratidão.

A minha prima Leticia que faz parte da minha vida, compartilhando todos os momentos inclusive os que se referem à UEPB. Que acompanhou todo meu processo, e eu o dela para também entrar na universidade, que me dá dicas de química, que me manda 200 mensagens de uma vez, que mora longe, mas é aquela que mais está comigo dentre todas as outras.

A minha Orientadora Ana Lúcia por todo carinho, dedicação e competência não só com suas alunas e orientandas, mas com todos a sua volta. Obrigada por ser esta incrível mulher que nos ensina não só na vida acadêmica, mas nos dá exemplo de que podemos ser o que quisermos.

A professora Nyedja que não apenas foi uma coordenadora de estágio incrível, mas também se propôs a todos os momentos a me ajudar na parte estatística. Uma professora maravilhosa com todos os seus alunos e que merece todo agradecimento e carinho.

A todos do laboratório de ictiologia (LabIctio): Ana Lúcia, Patrícia, Laura, Summeya, Bianca, Petrucia, Jicaury, que fizeram parte dessa jornada e que jamais esquecerei. Grata a todas que em algum momento me ajudaram e sempre estiveram dispostas a me auxiliar. É claro por todos os momentos de análises e coletas, problemas (as vezes kkk), mas também de confraternização, amigos secretos, almoços descontraídos e todos os momentos que valeram a pena cada segundo.

A Bia que já foi citada como parte da família LabIctio, que foi a pessoa que começou a me apresentar a dinâmica do lab. Mas principalmente, porque mesmo a princípio não termos uma relação de amizade, desde o estágio I sempre esteve disposta a me ajudar. Que passou pelo TCC antes de mim e nunca se negou a passar a experiência que absorveu e nem a sanar minhas dúvidas. Obrigada por tudo.

A Petrucia que claro não podia faltar, a pessoa que me incentivou a entrar no LabIctio junto com ela, que mais do que qualquer outra pessoa passou comigo por todos os perrengues, todos os desesperos, por todas as provas e por todos os seminários (meu pavor). Agradeço por toda amizade, por me encorajar, por todas as conversas, todos os momentos e até por todos os peixes que eu abri por ela kkk.

As minhas amigas Cristiana, Gabriela, Fernanda, por fazerem parte desta história, e por fazerem parte da minha vida até hoje.

A todos os amigos que fiz durante essa jornada, em especial a Bruna Lorryne, Matheus, Romulo, Miguel, Gessica, Janaina, Roberta, Ana Luiza, Pablo, Dauline, Bruna Sawana, Rebeca, Laura, por terem participado do início da minha vida acadêmica e por toda a amizade conquistada, sabendo que alguns desistiram da biologia, mas que com certeza todos terão sucesso.

A duas pessoas maravilhosas já citadas: Gessica que mesmo que nosso caminho dentro da UEPB não foi sempre ligado (Lab diferente e disciplinas que não bateram) é uma amiga maravilhosa e com certeza está no meu coração e faz parte de tudo isto. E Ana Luiza que se tornou uma amigona que não quero largar, que me ajudou muito nessa reta final. A biologia molecular nos aproximou e quero por perto para a vida.

A todos os professores que contribuíram para minha formação, por todos os ensinamentos não só acadêmicos, mas que levarei para a vida, por despertar a sermos os melhores profissionais que pudermos.

A minha banca examinadora Prof. Dr. Ênio Wocyli Dantas e a Profa. Dra. Patricia Aguiar de Oliveira, que atenderam a este convite, muito obrigada pelas contribuições no presente estudo.

A todos que colaboraram fortalecendo minhas forças para concluir mais esta etapa.