

Microplásticos versus ictioplâncton: quem é mais abundante em um estuário urbano?

O estudo apresenta como objetivo investigar a distribuição e a abundância de microplásticos e larvas de peixes em um estuário urbano. Os resíduos analisados foram amostrados de três áreas distintas: estuário superior, médio e inferior. As larvas foram coletadas com auxílio de uma rede de plâncton de 500 µm, através de arrastos superficiais no sentido montante a jusante; para a categoria microplástica (<5mm) foram utilizadas as partículas retidas no copo da rede. Os microplásticos foram contados, medidos, identificados e classificados de acordo com o tamanho, tipo e cor. Considerando um total de 108 amostras, a distribuição plástica no estuário do Capibaribe apresentou de forma variável. O estuário apresenta abundância de microplástico de origem secundária, resultantes da fragmentação de plásticos maiores. Uma concentração de 19,71 part./m³ com tamanho médio de 2,2 mm, predominantes nas regiões superior e média. Os fragmentos moles correspondem ao tipo mais abundante (69%). O estuário apresenta uma abundância de larvas de peixes relativamente baixa 1,5 indivíduos/m³ com tamanho médio de 781,7 ± 449,8 mm, sendo Gobiiformes, a ordem mais abundante nesse ambiente. A natureza dinâmica do Capibaribe limita a degradação dos resíduos plásticos e contribui para a permanência desses resíduos nesse ambiente.

Palavras-chave: Poluição plástica; Degradação; Fragmentos plásticos; Microplástico.

Microplastics versus ichthyoplankton: which is more abundant in an urban estuary?

The study aims to investigate the distribution and abundance of microplastics and fish larvae in an urban estuary. The analyzed waste was sampled from three different areas: upper, middle and lower estuary. Larvae were collected using a 500 µm plankton net through surface trawls in the upstream to downstream direction; for the microplastic category (<5mm) the particles retained in the net cup were used. Microplastics were counted, measured, identified and classified according to size, type and color. Considering a total of 108 samples, the plastic distribution in the Capibaribe estuary presented variably. The estuary shows abundance of microplastics of secondary origin, resulting from the fragmentation of larger plastics. A concentration of 19.71 part./m³ with an average size of 2.2 mm, predominant in the upper and middle regions. Soft fragments correspond to the most abundant type (69%). The estuary presents a relatively low abundance of fish larvae 1.5 individuals/m³ with mean size of 781.7 ± 449.8 mm, being Gobiiformes, the most abundant order in this environment. The dynamic nature of the Capibaribe limits the degradation of plastic waste and contributes to the permanence of this waste in this environment.

Keywords: Plastic Pollution; Degradation; Plastics Fragments; Microplastic.

Topic: **Conservação da Biodiversidade**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Received: **10/10/2022**

Approved: **20/10/2022**

Elizângela Alves dos Santos 
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6486490442893946>
<https://orcid.org/0000-0001-8505-7492>
elisantos.as@hotmail.com

Ana Carla Asfora El-Deir 
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4822569793807941>
<https://orcid.org/0000-0001-5623-6387>
anacarlaeldeir@gmail.com

Felipe Antônio dos Santos 
Universidade Federal de São Carlos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3956271897745065>
<https://orcid.org/0000-0003-3632-7761>
felipe_ozzy19@hotmail.com

Jade Beatriz Alves da Silva 
Universidade Federal Rural de Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/7346027083165974>
<https://orcid.org/0009-0009-7952-3181>
jade-beatriz13@outlook.com

Jacqueline Santos Silva Cavalcanti 
Universidade Federal Rural de Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/9841407418433772>
<https://orcid.org/0000-0001-6859-4325>
jacqueline.silva@ufrpe.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.010.0008

Referencing this:

SANTOS, E. A.; EL-DEIR, A. C. A.; SANTOS, F. A.; SILVA, J. B. A.; CAVALCANTI, J. S. S. Microplásticos versus ictioplâncton: quem é mais abundante em um estuário urbano?. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.10, p.70-83, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.010.0008>

INTRODUÇÃO

Poluente abundante em ambientes aquáticos, o plástico consiste em um item frequentemente encontrado no estuário do Rio Capibaribe (LUZ et al., 2019). Devido a sua alta durabilidade e resistência, o plástico pode permanecer no ambiente por longos períodos (FOLLMANN et al., 2017) até completa degradação. A degradação física do plástico compreende na alteração da estrutura física desse material, em nível superficial causando a alteração na sua cor e rigidez (ANDRADY, 2017). A exposição aos raios UV representa um fator relevante para que ocorra a degradação de itens plásticos, resultando na fragmentação da cadeia principal do polímero (FOLMAN et al., 2017).

Plásticos amplamente degradados tornam-se enrijecidos e quebradiços (ANDRADY et al., 2011). Essa degradação leva a fragmentação e criação da classificação dos resíduos plásticos em escala de tamanho macro (>25mm), meso (5-25mm) e micrométrica (<5mm) (VAN CAUWENBERGHE et al., 2014; GIGAULT et al., 2018). Independente da fração plástica disponível no ambiente, os impactos observados na biota vão depender do grau de interação, sendo comum os principais impactos: sufocamento e obstrução física (macroplástico e mesoplástico); inflamações gastrointestinais e inibição do crescimento (microplástico) (WRIGHT et al., 2013; BRÅTE et al., 2016). Em estuários, a interação mais comumente estudada é com a ictiofauna. Por representarem 99% da fauna de vertebrados em ambientes estuarinos, sendo o ictioplâncton a parcela mais significativa (XAVIER, 2018).

Os estuários são ambientes fundamentais para o ictioplâncton e servem de berçário para diversos organismos que completam seu ciclo de vida nesse ambiente (LIMA et al., 2015). O ictioplâncton é essencial para os recursos pesqueiros, manejo e monitoramento (NAKATANI et al., 2001). Qualquer perturbação nos estuários pode afetar a reprodução e o desenvolvimento de diversas espécies de peixes (BARLETTA et al., 2020), refletindo na diminuição da abundância e diversidade local. Estudos apontam os diversos efeitos negativos resultantes da ingestão de microplástico pelo ictioplâncton, tais como acumulação no trato digestório (HOANG et al., 2019), inflamação em diversos órgãos (*e.g.* intestino, fígado) e tecidos (*e.g.* muscular, branquiais) (MAZURAS et al., 2015; LU et al., 2016; LEMOINE et al., 2018). Além disso, é preocupante a transferência desse poluente através da cadeia alimentar para níveis tróficos superiores (PAYTON et al., 2019; BARLETTA et al., 2020).

A disponibilidade do resíduo plástico à biota pode variar de acordo com o tempo e a região do estuário. Em épocas de seca, durante a maré baixa, a hidrodinâmica contribui para uma maior acumulação e sedimentação desses resíduos plásticos, deixando-os mais expostos à degradação física ocasionada pela radiação solar (XAVIER, 2018). Durante períodos com alta precipitação, a influência dos afluentes e tributários ao longo de um estuarino possibilita uma maior disponibilidade desses resíduos ao longo do espaço e do tempo. Nesse período, a ação do intemperismo consolida o processo de degradação e fragmentação dos resíduos plásticos, incorporando ao ambiente, diferentes tamanhos de resíduos.

A biota presente no estuário poderá interagir de diferentes formas com esse poluente, deixando-a suscetível a dose biodisponível ao consumo em diferentes períodos do ano. Este estudo apresenta como

objetivo investigar a contaminação em águas superficiais de um estuário urbano impactado por microplástico, e estudar a abundância e distribuição de microplásticos e larvas de peixes neste estuário.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estuário do Capibaribe está localizado na Região Metropolitana do Recife, estado de Pernambuco, no Nordeste do Brasil, entre as coordenadas 8°2'56" e 8°5'47", de latitude sul, e 34°52'31" e 34°53'38", de longitude oeste (GABRYELE et al., 2018). Atinge cerca de 25km de extensão, 50m de largura na cabeceira e 200m de largura próximo a foz, totalizando uma área de cerca de 10 km², abrangendo os municípios de São Lourenço da Mata, Camaragibe e Recife (LAMARDO et al., 2016). É constituído pela confluência do trecho inferior do rio Capibaribe, a Bacia do Pina, e recebe aporte dos rios Beberibe, Jordão, Pina e Tejiptió, e está dividido em três regiões distintas de acordo com a hidrodinâmica local: região superior do estuário (região localizada a montante do estuário), região do médio estuário (área intermediária) e a região inferior (localizada a jusante) (SCHETTINI et al., 2016).

O clima predominante na área de estudo é caracterizado como tropical úmido e quente, tipo As' segundo a classificação de Köppen, com períodos de maior precipitação entre março e agosto e períodos de seca entre setembro e fevereiro (RESENDE et al., 2017).

Amostragem espaço-temporal

A amostragem dos plásticos e do ictioplâncton foi realizada durante a maré baixa, através de uma rede de plâncton cônica cilíndrica, com malha de 500 µm e dimensões de 3 m de diâmetro de boca e 2 m de comprimento. Arrastos horizontais de superfície foram realizados com duração padronizada em 10 minutos, com auxílio de uma embarcação no sentido montante a jusante. O volume de água filtrado durante os arrastos foi calculado através de fluxômetro G.O. (General Oceanics) modelo 2030R, acoplado no centro da boca da rede.

A amostragem foi realizada em triplicatas, para cada uma das três regiões do estuário (superior, média e inferior). A região superior (pontos 1, 2 e 3) apresenta-se como uma área com predominância de vegetação de mangue, numa extensão de 13 km e <10 m de largura (LUZ et al., 2019). A região do médio estuário (pontos 4, 5 e 6) apresenta um ambiente transicional com paisagens urbanizadas, indicando área mais antropizada e com diferentes tipos de ocupações urbanas: residencial, comercial e hospitalar; e a presença de fragmentos de mata ciliar (manguezal). Na região inferior (pontos 7, 8 e 9) existe uma predominância de paisagem urbanizada, próximo a desembocadura, onde está localizada a Bacia Portuária do Recife, formada pela confluência do Rio Capibaribe e a Bacia do Pina (SCHETTINI et al., 2016; LAMARDO et al., 2016;) (figura 1).

Para avaliar os efeitos temporais na quantidade de resíduos plásticos ao longo do estuário, as coletas foram realizadas em quatro estações de acordo com o padrão histórico dos índices de precipitação

(BARLETTA et al., 2009), sendo elas: início da estação seca - IS (setembro e novembro), final da estação seca - FS (janeiro e fevereiro), início da estação chuvosa - IC (março e abril) e final da estação chuvosa - FC (junho, julho e agosto). Foram realizadas 12 campanhas amostrais tendo início em janeiro de 2018 e finalizando em agosto de 2019. Em cada campanha foram amostrados 9 pontos, distribuídos entre as três regiões do estuário, totalizando 108 amostras.

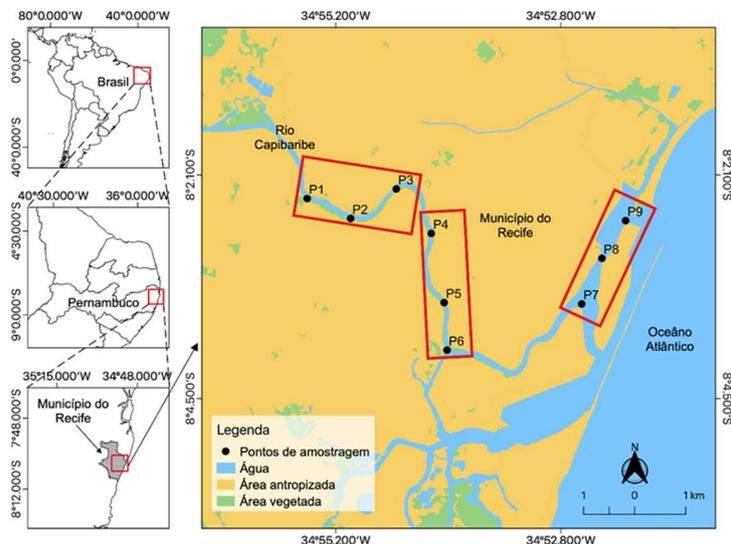


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. Estuário do Rio Capibaribe - P1, P2, P3 corresponde a região superior; P4, P5, P6: região média; P7, P8, P9: região inferior.

Os espécimes de ictioplâncton coletados foram fixados em solução formalina a 4% tamponado, neutralizada com carbonato de cálcio (CaCO_3) e conservados, posteriormente, em álcool a 70% em recipientes de 500 mL, devidamente etiquetados e levados até o laboratório para posterior análise.

Variáveis Ambientais

A distribuição da precipitação pluviométrica no Estuário do Capibaribe foi obtida através de banco de dados anuais da Agência Pernambucana de Águas - APAC, correspondem a média histórica para as estações de amostragem IS, FS, IC e FC. As variáveis físico-químicas pH, condutividade, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), concentração de oxigênio dissolvido, turbidez (NTU), salinidade e sólidos totais dissolvidos, foi realizada através de uma sonda de multiparâmetros HORIBA U-52.

Análise dos Microplásticos

Os microplásticos encontrados no copo da rede foram examinados com auxílio de pinças, placas de petri e lupa estereoscópica (Zeiss, Stemi 2000 C) com aumento de 20 vezes, foram contados, medidos e fotografados com o auxílio de uma câmera digital microscópica, acoplada ao estereomicroscópio, de software Belview. Posteriormente foi utilizada uma adaptação da metodologia descrita por Sadri et al. (2014) para classificar o tipo de microplástico de acordo com a morfologia (fragmento mole/duro, pellet, fibra e isopor); categorizados conforme as cores mais comuns identificadas já descritas: Preto, azul, branco (opaco), transparente (translúcido), vermelho, verde; multicor (MPs que apresentam mais de uma cor), e

outros (roxo, rosa, cinza, amarelo ou marrom), (SUL et al., 2014; GAGO et al., 2019); e analisado o estágio de degradação, classificado em pouco degradado (podendo ser considerado um estágio de degradação intermediário) e muito degradado (estágio de degradação avançado, com alteração de cor, aspectos de intemperismo, e incrustações), conforme uma adaptação da metodologia utilizada por Silva (2016).

Cada fragmento de plástico foi verificado através do teste da pinça quente (WITTE et al., 2014). Não foi realizada a análise das partículas através do Espectrofotômetro de Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR), uma vez que o objetivo desse estudo não foi identificar os principais tipos de polímeros, mas quantificar a presença e o estágio de degradação dos microplásticos. Sendo assim, o teste da pinça quente torna-se eficiente para esta verificação.

Estratégia para minimizar contaminação aérea

A contaminação aérea por fibras sintéticas decorrentes de roupas, equipamentos e precipitação atmosférica corresponde ao maior risco de contaminação das amostras (BOZENA, 2017). Assim, para mitigar o risco de contaminação aérea ou ambiental durante o processo de amostragem e análise, foram utilizadas medidas de precaução tais como: (1) Utilização de jalecos 100% algodão e luvas de laboratório durante a análise do material; (2) Os recipientes utilizados durante o processamento da amostra, foram limpos com água destilada e cobertos antes da reutilização; (3) Todos os aparelhos (utensílios de vidros e pinças) foram lavados três vezes com água filtrada para reduzir as chances de contaminação; e (4) Foram posicionados ao redor da área de trabalho filtros de controle (espaços em branco processuais), paralelos ao processamento da amostra, para quantificar e contabilizar a contaminação aérea (BARLETTA et al., 2020; HOANG et al., 2020). Posteriormente os filtros de controle foram visualizados sob o estereomicroscópio para verificar a presença de microplástico.

Análise das larvas de peixe

O processamento do material biológico ocorreu em laboratório com auxílio de lupa estereoscópica para a triagem e, posteriormente, as larvas foram quantificadas, medidas e identificadas quanto ao menor nível taxonômico possível. As identificações foram baseadas em bibliografias especializadas como: Ahlstrom et al. (1984); e Nakatani et al. (2001), utilizando de caracteres morfológicos, merísticos e morfométricos.

Análises estatísticas

Para verificar a normalidade dos dados, foi empregado o teste de Shapiro-Wilk. Uma análise de correlação canônica (CCA) foi utilizada para observar correlações ecológicas entre a abundância de macropástico, mesopástico, microplástico, ictioplâncton e variáveis abióticas (pH, oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade, sólidos totais, turbidez e precipitação) nas três regiões do estuário (superior, média e inferior), a partir de valores médios. Todas as análises foram realizadas através do programa R estatística (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS

Variáveis Ambientais

A maior média de precipitação ocorreu na estação IC (216,2 mm) e FC (212,5 mm). A estação FS apresentou uma média de pluviosidade atípica (média= 93,7 mm) (Figura 2). Os parâmetros abióticos foram avaliados nas três regiões do estuário (superior, média e inferior), e os valores médios entre as estações, estão apresentados na Tabela 2. Os valores de pH não variaram significativamente, apresentando ligeiro aumento durante as estações mais secas (IS= $7,3 \pm 0,1$; FS = $7,4 \pm 0,11$).

Assim como a temperatura da água de superfície que apresentou variação dentro do esperado, com médias mais baixas durante as estações IC e FC e mais elevadas nas estações IS e FS. Ao mesmo tempo, o estuário do Capibaribe exibiu variação na quantidade de oxigênio dissolvido, apresentando condição anóxia durante o IC e FC (figura 2).

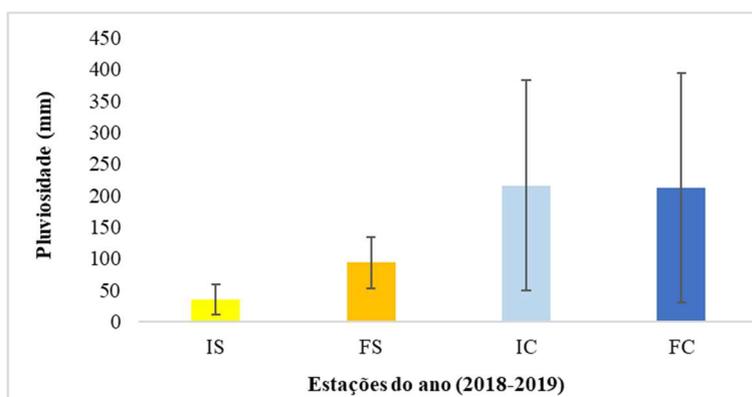


Figura 2: Distribuição da média anual das chuvas no estuário do rio Capibaribe referente as estações IS: Início da seca (setembro-novembro); FS: Final da seca (dezembro-fevereiro); IC: Início da chuvosa (março-maio); FC: Final da chuvosa (junho-agosto), para os anos de 2018 e 2019.

Tabela 1: Valores médios das variáveis ambientais analisadas durante as estações: IS e IF (início e final da seca), IC e FC (início e final da chuvosa), nas três regiões amostradas no canal principal do estuário do rio Capibaribe (Região Superior: SUP, média: MED; inferior: INF).

Área do Estuário	Estação	Temperatura	pH	Turbidez	Condutividade	Salinidade	Oxigênio dissolvido	Sólidos totais dissolvidos
Superior	IS	28,9	7,3	53,1	6,0	3,4	3,9	3,7
	FS	30,8	7,4	63,2	1,3	0,3	3,9	0,9
	IC	29,3	7,0	39,5	0,6	0,3	1,0	0,4
	FC	27,8	6,7	33,5	0,4	0,2	1,2	0,3
Média	IS	29,0	7,5	67,3	10,8	6,3	4,6	6,7
	FS	31,0	7,5	40,1	8,6	4,1	4,0	4,7
	IC	29,4	6,8	51,2	1,3	0,6	1,2	0,8
	FC	27,8	6,7	40,0	2,1	1,1	1,8	1,4
Inferior	IS	27,7	7,4	48,8	33,3	21,0	3,9	3,9
	FS	30,0	7,5	34,8	34,8	22,2	2,4	21,3
	IC	29,8	7,1	35,0	18,5	11,2	2,6	11,4
	FC	27,6	7,0	28,3	30,5	19,0	3,1	18,7

Distribuição espaço-temporal do Microplástico

Microplásticos aerotransportados incluindo o formato de fibra e de partícula, não foram encontrados nos espaços em branco de procedimento neste estudo.

O valor total de microplásticos identificados durante o período de monitoramento foi de 1757 microplásticos com uma concentração de 19,71 partículas por m³. O tamanho médio das partículas encontradas no estuário foi de 2,2 mm, com tamanhos médios de sua maior dimensão de 5,07 mm e tamanho médio de menor dimensão de 0,04 mm. Do total de microplásticos coletados (n=1757), 69% foram fragmentos moles, 17% fragmentos duros e 14% correspondem a isopor, fibras, filamentos, e pellets (figura 3).

Quanto a cor, houve um predomínio de microplásticos de cor transparente (29%), seguido por branco (27%), azul (24%), verde (6%), vermelho (4%), outros (5%) e multicolor (2%). A maioria dos microplásticos apresentam a condição de muito degradado, incluindo-os em um estágio de degradação avançado (78,9%) com alteração de cor, aspectos de intemperismo, e incrustações, enquanto que (21,1%) apresentam condição de pouco degradado, podendo ser considerado um estágio de degradação intermediário, uma condição boa.

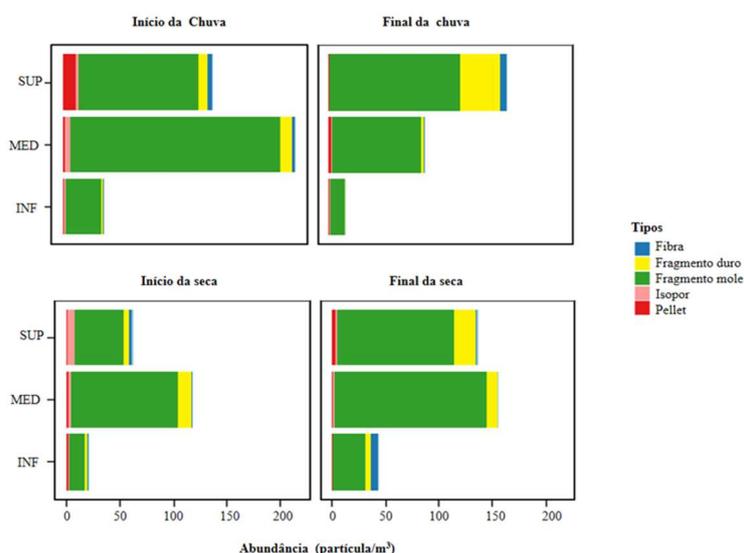


Figura 3: Abundância de microplásticos nas três regiões do estuário do Rio Capibaribe durante as estações. SUP: Região superior; MED: Região do média; INF: Região inferior.

Na região superior, os fragmentos tiveram maior representatividade, cerca de 149 part. de microplásticos durante a estação FC, seguidos de 121 part. durante a IC (figura 3). A densidade de microplástico nas estações IS, FS, IC e FC apresentaram similaridades entre si, sendo possível identificar maior concentração de fragmento duro seguido de fragmento mole. Em relação ao estágio de degradação do microplástico, foi possível identificar em alguns fragmentos duros e em alguns pellets a alteração de cor e a presença de incrustações, o que nos leva a incluir um possível estágio de degradação para os MP, sendo a condição muito degradado a condição predominante.

Distribuição espaço-temporal do ictioplâncton

No total, foram encontradas 106 larvas de peixes no estuário do Capibaribe. Os indivíduos identificados apresentam tamanho médio de (187,1 ± 398,9mm) e pertencem a 5 ordens, 4 famílias e 2 espécies (Tabela 3). Durante o estudo foi observada uma concentração de 1,5 larvas por m³. Sendo

Gobiiformes a ordem mais abundante (43% do total larvas) e Gobiidae, a família com maior representatividade dentro do estuário (64%), apresentando abundância na região inferior, durante as estações IS e FS. Para verificar a relação entre microplásticos e ictioplâncton foram consideradas apenas os indivíduos pertencentes a família Gobiidae, por ser a família mais rica em número de espécie no referido ambiente.

Tabela 2: Ictioplâncton encontrado no estuário do rio Capibaribe, durante as estações início e final da seca e início e final da chuvosa.

Ordem	Família	Espécie	Nº de indivíduos	Tamanho (mm)	Desvio Padrão
Elopiiformes	Megalopidae	<i>Megalops atlanticus</i>	1	0,19	0,33
Perciformes	Eleotridae	<i>Eleotris pisonis</i>	5	1,18	0,78
Perciformes	-----	-----	23	0,52	0,25
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	-----	1	1,09	0,57
Pleuronectiformes	Bothidae	-----	8	0,74	0,21
Gobiiformes	Gobiidae	-----	68	0,63	0,77

A abundância de larvas exibiu padrão similar entre as regiões estuarinas (média e inferior) durante a estação IC, onde observou-se apenas indivíduos da família Gobiidae (43% do total de indivíduos). Durante a estação FS foi possível observar uma heterogeneidade de larvas de peixe, apresentando indivíduos da ordem Perciformes nas regiões inferior e média seguida Pleuronectiformes. Similarmente, ocorreu durante a estação FC quando a abundância e heterogeneidade de larvas foram encontradas nas regiões superior e média.

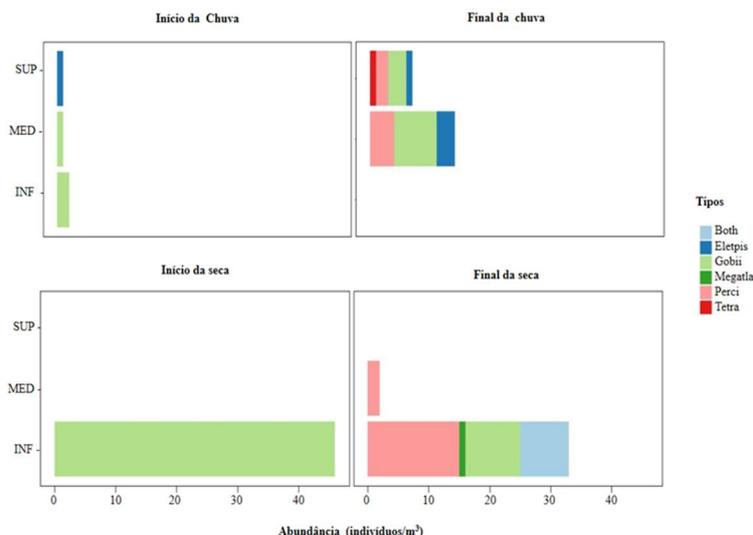


Figura 4: Abundância de larvas de peixe nas regiões do estuário do Rio Capibaribe nas estações início e final da seca, início e final da chuvosa. SUP: Região superior; MED: Região média; INF: Região inferior. Both: Bothidae; Eletpis: *Eleotris pisonis*; Gobii: Gobiidae; Megatla: *Megalops atlanticus*; Perci: Perciformes; Tetra: Tetraodontidae..

Correlação de resíduos plásticos e larvas de peixe com variáveis ambientais

De um total de 108 amostras coletadas, todas continham microplásticos e apenas 26 continham larvas de peixes. Os microplásticos foram, em média, mais abundante do que larvas de peixes ($19,71 \pm 35,87$ part./m³ VS $1,50 \pm 2,16$ larvas de peixes/m³). A variação espaço-temporal da relação larvas de peixes x microplástico, mostrou que essas partículas foram mais abundantes em todas as regiões estuarinas e estações (IS, FS, IC, FC), atingindo aproximadamente 1,0 larva de peixe: 13,5 MPs.

A CCA entre a abundância de ictioplâncton com as variáveis ambientais (figura 5) explicou 62% da

variação dos dados, com o primeiro eixo explicando 46% dos dados e o segundo eixo 16% da variância da relação entre larvas e variáveis ambientais. O primeiro eixo, mais explicativo, apresentou fortes reações positivas entre larvas de Perciformes, Pleuronectiformes e Elopiformes com três parâmetros distintos: condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, tendo com o último uma relação mais positiva em relação aos demais. Esse eixo ainda apresentou forte relação negativa com precipitação e moderada com a turbidez. Já Perciformes, Tetraodontiformes e totais de microplásticos (TMP) foram influenciados principalmente pela precipitação, enquanto Gobiiformes apresentou uma fraca relação com o oxigênio dissolvido, e a temperatura foi a única variável que não esteve relacionada a nenhum componente.

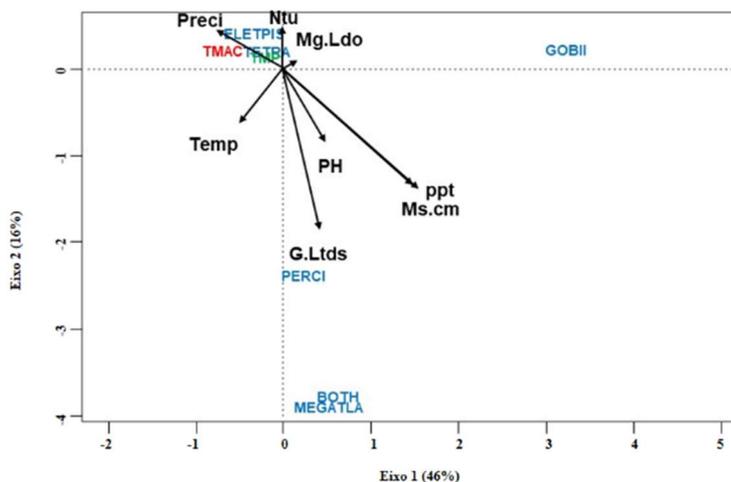


Figura 5: análise de correspondência canônica relacionando a abundância dos macro e microplásticos e ictioplâncton com as variáveis ambientais no estuário do rio Capibaribe. Eixo 1: Ictioplâncton; GOBII (Gobiidae), ELETPI (Eleotris pisonis), TETRA (Tetraodontidae), MEGATLA (Megalops atlanticus), BOTH (Bothidae), PERCI (Perciformes). Eixo 2: Variáveis ambientais. TMAC (Total de macroplástico); TMP (Total de microplástico); Preci (Precipitação), Ntu (turbidez), Mg.Ldo (oxigênio dissolvido), Temp (temperatura), pH (potencial hidrogeniônico), ppt (salinidade) G.Ltds (sólidos totais dissolvidos), Ms.cm (condutividade).

DISCUSSÃO

Contaminação por microplástico no estuário do Rio Capibaribe

O presente estudo, é o primeiro a investigar a caracterização de microplástico nas águas superficiais do estuário do Capibaribe, fornece informações básicas sobre a contaminação plástica e o estágio de degradação desses resíduos em um estuário antropizado. Este monitoramento aponta que os microplásticos estavam presentes em todas as regiões do estuário com uma concentração média de (19,71 part. de MP/m³).

A fonte de entrada de resíduos plásticos no referido estuário está provavelmente relacionada com a urbanização local presente em seu entorno. O despejo constante de rejeitos domésticos e industriais ao longo de todo o trajeto dos rios que o constitui, formam um aporte para a entrada desses resíduos no estuário (LAMARDO et al., 2016).

Os resultados salientam que a precipitação é a principal responsável pelo acúmulo de plástico (independente da escala de tamanho) no estuário do Capibaribe. O ambiente apresentou variação anual na precipitação para o período de amostragem. O final da estação chuvosa apresentou maior variabilidade interanual (69,4 - 466,4mm), devido ao fato dessa região ser fortemente afetada pelo evento do El Niño-

Oscilação Sul, que ocorre nesse período (GONZALEZ et al., 2013). No entanto, durante a estação FS houve uma precipitação de chuva maior que o esperado, o que justifica maior semelhança entre os números de resíduos plásticos encontrados nessa estação e durante IC.

Microplásticos secundários foram abundantes nas três regiões estuarinas (superior, média e inferior). Os fragmentos representam a maior proporção de microplásticos no Capibaribe, assim como ocorreu em outros estuários urbanos (PAN et al., 2021; ANDRADE et al., 2019; NAIDOO et al., 2015; LIMA et al., 2014). O que diverge de alguns estudos, no qual as fibras correspondem ao tipo microplástico mais frequente nesse ambiente (RODRIGUES et al., 2019; PAZOS et al., 2018; ZHAO et al., 2015).

Os MPs apresentam uma tendência de serem encontrados em maiores concentrações em locais com intensa atividades antropogênicas devido a produção excessiva de resíduos nessas áreas (RODRIGUES et al., 2019). A origem dos MPs na região superior e média pode estar associada a diferentes fontes uma delas, possivelmente está associada à bacia hidrográfica do rio (COSTA et al., 2011). Assim como, a pesca e os efluentes domésticos (*e.g.* fibras), produzem e descartam uma grande quantidade de microfibras que alcançam os estuários (BARLETTA et al., 2020). Esse resultado pode estar associado a pesca local que ocorre nesse ambiente, uma vez que a coleta de molusco por exemplo é uma atividade recorrente nesse local (SCHETTINI et al., 2016). Os catadores de moluscos, ao cavar o sedimento, pode desenterrar itens de plástico que estavam enterrados (COSTA et al., 2011).

A presença de pellets encontrados na região superior pode ser pressuposta pela presença de esgotos residuais industriais. Nessa área, existe uma variedade de indústrias, dentre essas, indústrias de produtos de matéria plástica e indústria química, potencializando as pressões antrópicas na região superior e média do estuário (LAMARDO et al., 2016). Os pellets são itens fabricados industrialmente como microesferas de diferentes tamanhos, comumente utilizado na indústria de cosméticos e higiene pessoal (COSTA et al., 2010; ZETTLER et al., 2013), ou como bolas de plástico virgem utilizados como matéria-prima para a fabricação de outros produtos (BROWNE et al., 2011). Essas bolas se inserem no ambiente via “vazamento” durante a fabricação, transporte ou uso (ANDRADY, 2017).

Os pellets encontrados no Capibaribe em sua maioria eram semelhantes a pellets utilizados na fabricação de itens de plásticos, seguidos daqueles utilizados em produtos de higiene. A presença de pellets possivelmente pode ser explicada pela presença de indústria química próxima a essa região do estuário, sugerindo que esses MPs estão sendo inseridos no ambiente a partir do despejo de rejeitos industriais, ou de maneira acidental durante o transporte e manuseio.

Degradação dos microplásticos

Frequentemente, os microplásticos encontrados no estuário em estudo apresentavam características como alteração de cor e incrustação, um estado avançado de deterioração física. Luz et al. (2019) observaram que a configuração da paisagem do estuário influencia na retenção de resíduos plásticos, ou seja, em locais com assoreamentos, e com grande quantidade de troncos e vegetação acabam retendo uma grande quantidade de resíduos plásticos por mais tempo. Acredita-se que essa retenção de plásticos

aconteça em grande parte no estuário superior, o que facilita a ação do intemperismo e fotodegradação desses resíduos, resultando em aporte de microplásticos para a região média e inferior.

Microplásticos versus larvas

Indivíduos da família Gobiidae foram mais abundantes (43%), durante as estações mais secas, na região inferior do estuário. Considerados estuarinos residente, os indivíduos dessa família desempenham papel importante na comunidade ictioplanctônica, utilizando esse ecossistema como berçário (MIGUEL et al., 1999). Habitualmente sua abundância é máxima nas estações mais secas, e quase sempre amostrados nas regiões intermediárias e internas dos estuários (MIGUEL et al., 1999). Não foi encontrada nenhuma larva nas regiões superior e média do estuário durante a estação IS. No estuário do Douro, ocorreu um cenário similar, onde nenhuma larva foi encontrada na região superior, porém essa condição ocorreu durante o inverno (RODRIGUES et al., 2019).

Ao todo, no Capibaribe foram recolhidas 106 larvas, valor bem inferior quando comparado a outros estuários antropizados. Como no estuário do Douro que foram identificadas 1498 larvas de peixes (RODRIGUES et al., 2019); No Canal da Mancha 347 larvas (STEER et al., 2017). Como já mencionado, os estuários funcionam como habitats berçário para uma diversidade de organismos (DANTAS et al., 2012) e espera-se que ictioplâncton e zooplâncton sejam abundantes nesses ambientes (LIMA et al., 2014). Todavia, no Capibaribe, microplásticos foram significativamente mais abundante do que em relação a larvas de peixes ($19,71 \pm 35,87$ part/m³ VS $1,50 \pm 2,16$ larvas de peixes/ m³).

A contaminação dos ambientes marinhos e estuarinos por macroplásticos e microplástico vem se tornando uma preocupação mundial. A ingestão dessas partículas já foi documentada em diversas espécies de animais marinhos. Microplásticos se inserem na teia trófica primeiramente sendo ingerido pelo zooplâncton e pequenos peixes, atingindo sucessivamente diferentes níveis tróficos (WRIGHT et al., 2013; BARLETTA et al., 2020; COLEN et al., 2020) e contribuindo com o transporte dessas micropartículas para outros ambientes (COLE et al., 2013). Já é comprovado a abundância de microplásticos em frutos do mar (e.g. camarão, ostra e mexilhões) utilizados para o consumo humano (DEVRIESE et al., 2015; FERREIRA et al., 2018; BARBOZA et al., 2018).

Desta forma a presença de microplásticos no ambiente representa um risco a biota, que podem ingerir essas partículas ao confundi-la com alimento potencial, podendo atingir diferentes níveis tróficos. Constituindo um meio através do qual consumidores ficam expostos a essas partículas e aos seus componentes químicos. Por tanto, maiores investigações sobre esta temática são necessárias, uma vez que estudos e conhecimentos relativo a esta toxicidade ainda são incipientes.

CONCLUSÕES

O estuário do Capibaribe apresenta-se como um ambiente sumidouro na região superior e média do estuário, uma vez que a maioria dos resíduos plásticos analisados apresentaram estado de degradação (3) avançado. Essas regiões concentraram a maior abundância de resíduos de plásticos (macro, meso e

microplástico) pressupondo que o ambiente em estudo dispõe de características de acumulação a longo prazo, onde os plásticos ficam retidos e sofrem degradação lenta, quebrando-se em partículas menores e permanecendo no ambiente por longos períodos. As larvas apresentaram menor abundância nas regiões superior e média, e maior abundância na região inferior onde os microplásticos foram menos abundantes. As áreas estuarinas próxima a centros urbanos apresenta grande quantidade de itens plásticos, favorecendo a poluição do ambiente marinho e costeiro. O crescimento desordenado no entorno do Capibaribe resultou em impactos antrópicos como aterramento das áreas de mangue, várzeas e leitos dos rios, ou mesmo favorecendo o despejo de resíduos nesse local. Dessa forma essa pesquisa visa subsidiar estratégias futuras de gestão desse ambiente, através da identificação do estágio de degradação desses resíduos plásticos, possibilitando estudos futuros que estimem o tempo de residência desses resíduos.

REFERÊNCIAS

AHLSTROM, E. H.. **American Society of Ichthyologists and Herpetologists**. Ontogeny and systematics of fishes : based on an international symposium dedicated to the memory of Elbert Halvor Ahlstrom / sponsored by the National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Dept. of Commerce. New York: American Society of Ichthyologists and Herpetologists, 1984.

ANDRADE, M. C.; WINEMILLER, K. O.; BARBOSA, P. S.; FORTUNATI, A.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T.. First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. **Environmental Pollution**, v.244, p.766-773, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.088>

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

ANDRADY, A. L.. The plastic in microplastics: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v.119, p.12-22, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>

BARBOZA, L. G. A.; ET AL.,. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. **Environmental Pollution**, v.133, p.336-348, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047>

BARLETTA, M.; COSTA, M. F.; DANTAS, D. V.. Ecology of microplastics contamination within food webs of estuarine and coastal ecosystems. **MethodsX**, v.7, n.100861, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100861>

BARNES, D. K. A.; GALGANI, F.; THOMPSON, R. C.; BARLAZ, M.; BARNES, D. K. A.; GALGANI, F.; THOMPSON, R. C.; BARLAZ, M.. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **The Royal Society**, v.364, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

BOZENA, G.; SZEWC, K.; ZAKRZEWSKA, D.; DOLEGA, A.; BORUCHOWSKA, M. S.. Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea-a

preliminary study. **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.8, p.7650-7661, 2017.

DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-017-8419-5>

BRATE, I. L. N.; EIDSVOLL, D. P.; STEINDAL, C. C.; THOMAS, K. V.. Plastic ingestion by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast. **Marine Pollution Bulletin**, v.112, p.105-110, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.034>

BROWN, J. M.; DAVIES, A. G.. Flood/ebb tidal asymmetry in a shallow sandy estuary and the impact on net sand transport. **Geomorphology**, v.114, p.431-439, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.08.006>

BROWNE, M. A.; CRUMP, P.; NIVEN, S. J.; TEUTEN, E.; TONKIN, A.; GALLOWAY, T.; THOMPSON, R.. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. **Environmental Science & Technology**, v.45, p.9175-9179, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1021/es201811s>

COLE, M.; LINDEQUE, P.; FILEMAN, E.; HALSBAND, C.; GOODHEAD, R.; MOGER, J.; GALLOWAY, T. S.. Microplastic Ingestion by Zooplankton. **Environmental Science & Technology**, v.47, p.6646-6655, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1021/es400663f>

COLEN, C. V.; VANHAVE, B.; MOENS, A. D. T.. Does microplastic ingestion by zooplankton affect predator-prey interactions? An experimental study on larviphagy. **Environmental Pollution**, v.256, n.113479, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113479>

DANTAS, D. V.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A.; RAMOS, J. A. A.; COSTA, M. F.; PAUL, U. S.. Nursery Habitat Shifts in an Estuarine Ecosystem: Patterns of Use by Sympatric Catfish Species. **Estuaries Coasts**, v.35, p.587-602, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12237-011-9452-0>

DERRAIK, J. G.. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution Bulletin**, v.44, p.842-852, 2002. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](http://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)

DEVRIESE, L. I.; VAN DER MEULEN, M. D.; MAES, T.; BEKAERT, K.; PAUL-PONT, I.; FRÈRE, L.; ROBBENS, J.;

- VETHAAK, A. D.. Microplastic contamination in brown shrimp (Crangon, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. **Marine Pollution Bulletin**, v.98, p.179-187, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.051>
- FERREIRA, G. V. B.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A.; MORLEY, S. A.; JUSTINO, A. K. S.; COSTA, M. F.. 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, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.095>
- FOLLMANN, A. J.; RODRIGUES, A. C.; CAMARGO, M.; FOLLMANN, D. N.; SOUZA, V. Q.; GRAEPIN, C.. Degradação de sacolas plásticas convencionais e oxibiodegradáveis. **Ciências Naturais**, v.39, p.187-192, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5902/2179460X24176>
- GAGO, J.; FRIAS, J.; FIGUEIRAS, A.; PEDROTTI, M. L.. **Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater**. JPI-Oceans BASEMANproject, 2019.
- GIGAULT, J.; HALLE, A. T.; BAUDRIMONT, M.; PASCAL, P.-Y.; GAUFFRE, F.; PHI, T.-L.; EL HADRI, H.; GRASSL, B.; REYNAUD, S.. Current opinion: What is a nanoplastic? **Environmental Pollution**, v.235, p.1030-1034, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>
- GONZALEZ, R. A.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F.. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amaz.**, v.43, n.4, p.469-480, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009>
- HOANG, T. C.; FELIX-KIM, M.. Microplastic consumption and excretion by fathead minnows (Pimephales promelas): Influence of particles size and body shape of fish. **Science Total Environment**, v.704, n.135433, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135433>
- LAMARDO, E. Z.; NÓBREGA, A. S. D. C.; SANTOS, R. H. D. A.; MACIEL, D. C.. Fontes e níveis de contaminação do sistema estuarino do Rio Capibaribe (Pernambuco/Brasil). **Tropical Oceanographic**, v.44, 2016. DOI: <http://doi.org/10.5914/tropocean.v44i2.8296>
- LEMOINE, C. M. R.; KELLEHER, B. M.; LAGARDE, R.; NORTHAM, C.; ELEBUTE, O. O.; CASSONE, B. J.. Transcriptional effects of polyethylene microplastics ingestion in developing zebrafish (Danio rerio). **Environmental Pollution**, v.243, p.591-600, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.084>
- LIMA, A. R. A.; BARLETTA, M.; COSTA, M. F.. Seasonal distribution and interactions between plankton and microplastics in a tropical estuary. **Estuar. Coast. Shelf Sci.**, v.165, p.213-225, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.018>
- LU, Y.; ZHANG, Y.; DENG, Y.; JIANG, W.; ZHAO, Y.; GENG, J.; DING, L.; REN, H.. Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver. **Environment Science Technol.**, v.50, p.4054-4060, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.est.6b00183>
- LUZ, G. C. B, TEIXEIRA, S. F.. Importância do manguezal e das barreiras físicas na contenção de resíduos sólidos XXIII. **Ciência Geográfica**, Bauru, v.23, n.2, 2019.
- MAZURAS, D.; ERNANDE, B.; QUAZUGUEL, P.; SEVERE, A.; HUELVAN, C.; MADEC, L.; MOUCHEL, O.; SOUDANT, P.; ROBBENS, J.; HUVET, A.; ZAMBONINO-INFANTE, J.. Evaluation of the impact of polyethylene microbeads ingestion in European sea bass (Dicentrarchus labrax) larvae. **Marine Environmental Research**, v.112, p.78-85, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.09.009>
- MIGUEL, P.; RÉ, A. B.. **Ictioplâncton Estuarino da Península Ibérica (Guia de Identificação dos Ovos e Estados Larvares Planctônicos)**. Prémio do Mar, 1999.
- NAIDOO, T.; GLASSOM, D.; SMIT, A. J.. Plastic pollution in five urban estuaries of KwaZulu-Natal, South Africa. **Marine Pollution Bulletin**, v.101, p.473-480, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.044>
- NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A. A, BAUMGARTNER, G.; BIALETZKI, A.; SANCHES, P. V.; MAKRAKIS, M. C.; PAVANELLI, C. S.. **Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá: EDUEM, 2001.
- PAN, Z.; LIU, Q.; JIANG, R.; LI, W.; SUN, X.; LIN, H.; JIANG, S.; HUANG, H.. Microplastic pollution and ecological risk assessment in an estuarine environment: The Dongshan Bay of China. **Chemosphere**, v.262, n.127876, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127876>
- PAYTON, T. G.; BECKINGHAM, B. A.; DUSTAN, P.. Microplastic exposure to zooplankton at tidal fronts in Charleston Harbor, SC USA. **Estuar. Coast. Shelf Sci.**, v.232, n.106510, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106510>
- PAZOS, R. S.; BAUER, D. E.; GÓMEZ, N.. Microplastics integrating the coastal planktonic community in the inner zone of the Río de la Plata estuary (South America). **Environmental Pollution**, v.243, p.134-142, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.064>
- RODRIGUES, S. M.; ALMEIDA, C. M. R.; SILVA, D.; CUNHA, J.; ANTUNES, C.; FREITAS, V.; RAMOS, S.. Microplastic contamination in an urban estuary: Abundance and distribution of microplastics and fish larvae in the Douro estuary. **Science Total Environment**, v.659, p.1071-1081, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.273>
- SADRI, S. S.; THOMPSON, R. C.. 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, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.020>
- SCHETTINI, C. A. F.; MIRANDA, J. B. DE, VALLE-LEVINSON, A.; TRUCCOLO, E. C.; DOMINGUES, E. C.. The circulation of the lower Capibaribe Estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars. **Brazilian Journal Oceanographic**, v.64, p.263-276, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1679-87592016119106403>
- STEER, M.; COLE, M.; THOMPSON, R. C.; LINDEQUE, P. K.. Microplastic ingestion in fish larvae in the western English

Channel. **Environmental Pollution**, v.226, p.250-259, 2017.

DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.062>

SUL, J. A. I.; COSTA, M. F.; CAVALCANTI, J. S. S.; ARAÚJO, M. C. B.. Plastic debris retention and exportation by a mangrove forest patch. **Marine Pollution Bulletin**, v.78, p.252-257, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.011>

VAN CAUWENBERGHE, L.; JANSSEN, C. R.. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. **Environmental Pollution**, v.193, p.65-70, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>

WITTE, B.; DEVRIESE, L.; BEKAET, K.; HOFFMAN, S.; VANDERMEERZCH, G.; COOREMAN, K.; ROBBENS, J.. Quality assessment of the mussel (*Mytilus edis*): comparison between comercial and wild types. **Marine Pollution Bulletin**, v.85, p.146-155, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.006>

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

XAVIER, D. A.; SCETTINI, C. A. F.; FIGUEIRA, R.; FRANÇA, E. J.. Anthropic Interventions in the Geomorphology of Capibaribe Estuary and its Reflex in Recente Sedimentation. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v.41, n.3, p.492-502, 2018.

ZETTLER, E. R.; MINCER, T. J.; AMARAL-ZETTLER, L. A.. Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. **Environmental Science Technologic**, v.47, p.7137-7146, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1021/es401288x>

ZHAO, S.; ZHU, L.; LI, D.. Microplastic in three urban estuaries, China. **Environmental Pollution**, v.206, p.597-604, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.027>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.