

EFEITOS DA MORFODINÂMICA COSTEIRA NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MICROPARTÍCULAS ANTROPOGÊNICAS

ISABELA FURLAN DE CARVALHO

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA

EFEITOS DA MORFODINÂMICA COSTEIRA NA
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MICROPARTÍCULAS
ANTROPOGÊNICAS

ISABELA FURLAN DE CARVALHO

MILENE FORNARI

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências, Câmpus do Litoral Paulista,
UNESP, para obtenção do título de
Mestra no Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade de Ambientes
Costeiros.

SÃO VICENTE - SP
2023

F985e Furlan, Isabela de Carvalho
Efeitos da morfodinâmica costeira na distribuição
espacial de micropartículas antropogênicas / Isabela
de Carvalho Furlan. -- São Vicente, 2023
74 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual
Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São
Vicente
Orientadora: Milene Fornari

1. Poluição ambiental. 2. Dinâmica costeira. 3.
Micropartícula. 4. Conservação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca do Instituto de Biociências, São Vicente. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Na finalização de mais uma etapa de minha vida gostaria de agradecer:

A minha mãe, Ana Maria pelo amor e apoio incondicional, dedicação e paciência durante toda a vida. Obrigada principalmente por ter me mostrado como a simplicidade, humildade e alegria tem o poder de transformar o mundo a nossa volta. A minha irmã, Juliana Furlan que sempre me apoiou em todas as minhas decisões e que estava sempre presente para me contar verdades que ninguém mais tinha coragem. A minha sobrinha, Aurora Furlan, por ter resignificado o amor e gratidão na minha vida. À minha família, todo o carinho do mundo.

A UNESP CLP pela infraestrutura fornecida, em especial ao apoio das técnicas Márcia Regina, Luciana Silva e Cláudia Neves. Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros pela oportunidade de agregar conhecimento e contribuir com esta pesquisa para a comunidade científica.

Ao laboratório de Dinâmica Evolutiva e seus integrantes: Ana Fortes, Ana D'angelo, Matheus Henrique, Pryscilla Camargo, Bié Fortes e Nicole Freitas. Obrigada pelas trocas de conhecimento, motivação e risadas. Sem dúvidas vocês tornaram as tardes no laboratório mais divertidas.

A minha orientadora Dr^a. Milene Fornari, aqui expresso meu total respeito e admiração. Agradeço por seus ensinamentos, atenção, dedicação, disponibilidade, paciência, profissionalismo e acima de tudo por acreditar em mim. Obrigada por ter me dado a grande oportunidade de trabalhar ao seu lado, e ter se importado.

Ao professor Dr. Décio Luis Semensatto pelo apoio e tempo a esta pesquisa deste o início. Pela disponibilização da infraestrutura fornecida do *Laboratory of Integrated Sciences* (UNIFESP) para a realização dos registros fotográficos e medições das partículas.

Ao Laboratório de Sedimentologia (USP) e sua equipe que novamente forneceu toda a infraestrutura necessária para a realização das análises granulométricas. Em especial aos professores Dr. Paulo Giannini e Dr. André Sawakuchi, pelas contribuições com ideias, discussões e revisões na elaboração do artigo científico.

Ao professor Dr. Niklaus Ursus Wetter, ao Centro de Lasers e Aplicações do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e em especial a Dr^a. Jessica Dipold por realizarem as análises de caracterização e identificação dos compostos

das micropartículas. Esse dado foi fundamental para esta pesquisa, muito grata pela colaboração. Ao professor Fernando Erthal, pelas ideias e discussões frente as análises estatística dos dados.

As queridas amigas que estiveram presentes durante o desenvolvimento desta pesquisa, em especial: Juliana Felício, Igor Henrique, Carolina Assis, Caterina Trolla, Débora Lopes e Luanna Cenciareli.

Ao meu companheiro de vida, Maicon Antonio, obrigada por estar presente em todas as etapas desse trabalho. Muitas vezes você foi minha válvula de escape com apenas um abraço.

Muito grata a todos.

RESUMO

As micropartículas antrópicas (MPA, <5mm) tornaram-se uma das principais ameaças aos ambientes marinhos, devido a sua natureza onipresente e os efeitos prejudiciais sobre a biota e os ecossistemas. A distribuição espacial de MPA, incluindo celulose modificada e microplástico (MP), em sedimentos de diferentes feições deposicionais (planície de maré, praia e duna frontal) e em água estuarina e marinha foi estudada em área de proteção ambiental do litoral sul do estado de São Paulo, Brasil. Amostras sedimentares e de água foram submetidas a análise de MPA em relação a quantidade, forma, cor, tamanho e composição química. Adicionalmente as amostras sedimentares foram submetidas à análise granulométrica. Os sedimentos lamosos da planície de maré retêm a maior concentração de MPA, com 20.500 particles/kg na porção supramareal e 18.500 particles/kg na porção inframareal. Isto pode refletir à condição de baixa ação hidrodinâmica do rio que favorece o transporte e deposição das MPA junto aos sedimentos, caracterizando a planície de maré como o principal sumidouro de MPA. Enquanto os sedimentos arenosos da praia se caracterizam por menores concentrações de MPA, 5.900 partículas/kg na face praial e 4.700 partículas/kg no pós-praia. A diferença na abundância de MPA entre os dois setores praiais reflete a hidrodinâmica das feições, uma vez que a face praial está sob ação direta de ondas e correntes o que gera sucessivos ciclos de erosão e deposição das MPA. Enquanto no pós-praia, as MPA são controladas pelo fluxo e refluxo das ondas. A menor concentração de MPA nos sedimentos foi observada em amostras de dunas eólicas frontais (4.350 partículas/kg) que se caracterizam pelos sedimentos arenosos mais finos, o que reflete o transporte eólico das partículas. Entre as amostras de água analisadas, a concentração de MPA foi maior nas amostras de água marinha (85 partículas/l) do que na água estuarina (35 partículas/l). As fibras foram a forma predominante de MPA nos sedimentos (99-100%) e nas águas (80-95%). A composição química das fibras foi de 73% celulose modificada, 16% exibiam apenas a assinatura de corante e 11% micropartículas plásticas. Os resultados demonstram que para compreender a distribuição espacial de MPA em sedimentos e águas costeiras é importante analisar as partículas antrópicas a partir de uma perspectiva integrada, onde dados de abundância, características e composição das MPA, são interpretados juntamente com resultados de granulometria dos

sedimentos, condições hidrodinâmicas e morfologia de diferentes feições deposicionais costeiras.

Palavras-chave: Fibra; Celulose modificada; Microplástico; Granulometria; Poluição; Duna frontal.

ABSTRACT

The spatial distribution of anthropogenic microparticles (AMP, <5mm), including modified cellulose and microplastic (MP), in sediments of different depositional features (tidal flat, beach and foredune), and in estuarine and marine water was studied in an environmental protection area of the southern coast of the state of São Paulo, Brazil. Sedimentary and water samples were subjected to AMP analysis for abundance, shape, color, size and chemical composition. In addition, the sedimentary samples were submitted to grain size analysis. Mud tidal flat sediments exhibited the highest concentration of AMP, with 20,500 particles/kg in the supratidal and 18,500 particles/kg in the infratidal portion. This can be attributed to the low hydrodynamic action of the river that promotes the transport and deposition of AMP along with the sediments, thus distinguishing the tidal flat sediments as the primary sink for these particles. While sandy sediments are characterized by a decrease in AMP concentration, 5,900 particles/kg in the beachface and 4,700 particles/kg in the backshore. The difference in AMP abundance between the two beach sectors reflects the hydrodynamics of the features. Since the beachface is under the direct action of waves and currents, which generates successive cycles of AMP erosion and deposition. While in the backshore, the AMP are controlled by the swash and backwash of the waves. The lowest concentration of AMP in the sediments was observed in samples of foredune sediments (4,350 particles/kg) which are characterized by finer sandy sediments, reflecting the eolian transport of the particles. Among the analyzed waters, the AMP concentration was higher in marine water samples (85 particles/l) followed by estuarine water (35 particles/l). Fibers were the predominant shape of AMP in sediments (99-100%) and waters (80-95%). The chemical composition of the fibers was 73% modified cellulose, 16% exhibited dye signature only and 11% were MP. The results demonstrate that, in order to comprehend the spatial distribution of AMP in coastal sediments and waters, it is important to analyse anthropogenic particles from an integrated perspective, where data on abundance, characteristics and composition of AMP are interpreted together with results of sediment granulometry, hydrodynamic conditions, and morphology of different coastal depositional features.

Keywords: Fiber; Modified cellulose; Microplastic; Granulometry; Pollution; Foredune.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi concebida e organizada no intuito de apresentar os resultados da pesquisa em forma de artigo científico. Este artigo, redigido em língua inglesa, possui um breve resumo em língua portuguesa a fim de contextualizar o presente estudo e lista de referência bibliográfica própria.

O **Capítulo 1** apresenta a introdução da dissertação, as principais problemáticas envolvidas e o objetivo do trabalho.

O **Capítulo 2** apresenta o material e os métodos, contextualizando a área estudada em seu âmbito regional, bem como as principais metodologias aplicadas.

O **Capítulo 3** aborda o manuscrito intitulado “*Anthropogenic microparticles in coast depositional features: are microplastics predominate?*”. Este trabalho expõe os resultados e discussões primordiais da dissertação.

Finalmente, o **Capítulo 4** apresenta as conclusões principais desta dissertação.

LISTA DE ABREVIATURAS

MPA: anthropogenic microparticles.

BF: beachface.

BS: backshore.

DF: duna frontal.

E: leste.

ENE: leste-nordeste.

FD: foredune.

FP: face praial.

ITF: infratidal tidal flat.

MP: microplastic.

MPA: micropartículas antropogênicas.

NE: nordeste.

PET: polyethylene terephthalate.

PLMI: planície de maré inframareal.

PLMS: planície de maré supramareal.

PP: polypropylene.

Ppr: pós-praia.

S: sul.

SO: sudoeste.

SSO: sul-sudoeste.

STF: supratidal tidal flat.

SW: southwest.

Sumário

1. CAPÍTULO 1.....	11
1.1. Introdução	11
1.2. Objetivo	12
2. CAPÍTULO 2 – MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1. Área de estudo.....	13
2.2. Controle de qualidade.....	15
2.3. Amostragem de sedimento e água	15
2.4. Separação densimétrica de MPA	16
2.5. Quantificação e classificação de MPA.....	17
2.6. Análise química	18
2.7. Análise granulométrica	19
2.8. Análise estatística dos dados	20
3. CAPÍTULO 3 – Anthropogenic microparticles in coast depositional features:are microplastics predominate?	21
Abstract	21
3.1. Introduction	22
3.2. Material and Methods	25
3.2.1. Study area.....	25
3.2.2. Sample collection of the sediment and water	26
3.2.3. Extraction, identification and classification of AMP	27
3.2.4. AMP composition	28
3.2.5. Granulometric analysis.....	29
3.2.6. Data analysis.....	29
3.2.6.1. Sediment	29
3.2.6.2. Water	30
3.3. Results.....	30
3.3.1. Spatial distribution and concentration of AMP in sediments of morphological features.....	30
3.3.2. Grain size of morphological features.....	32
3.3.3. AMP in water samples	34
3.3.4. Raman analysis of AMP	36
3.4. Discussion	37
3.4.1. Morphosedimentary responses to spatial distribution of the AMP	37
3.4.1.1. Tidal flat.....	37
3.4.1.2. Beach	39

3.4.1.3. Foredune	41
3.4.1.4. Water	42
3.4.2. AMP size	43
3.4.3. Chemical composition of AMP	43
3.5. Conclusion	45
Appendix A. Supplementary data	46
References	50
4. CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS.....	63

1. CAPÍTULO 1

1.1. Introdução

Em 2010, a entrada global de resíduo plástico nos oceanos atingiu ~13 milhões de toneladas (Jambeck et al., 2015), sendo 80% de origem continental e 20% marinha (Ritchie e Roser, 2018). Plásticos são amplamente usados, devido sua alta durabilidade e resistência, e, consistem em um problema ambiental mundial, pois representam risco à biodiversidade e a saúde humana. Entre os tipos de plásticos destacam-se os microplásticos (MP) (Thompson et al., 2004), definidos como partículas plásticas com tamanho entre 1µm a 5mm (Arthur et al., 2009; Frias e Nash, 2019). Estes podem ter origem primária, quando fabricados com tamanho <5mm e são utilizados em produtos cosméticos, de cuidados pessoais e limpeza e como matéria prima para outros produtos plásticos (Cheung e Fok, 2017; Andrady, 2011) ou secundária, caracterizada por MP resultantes de processos de degradação microbiológica e fragmentação por variáveis físico-químicas do meio (transporte, salinidade, luz, temperatura, umidade, vento) (Cole et al., 2011; UNEP, 2016; Frias e Nash, 2019).

MP foram encontrados em sistemas costeiros tanto nas águas superficiais de estuários (Lima et al., 2014; Pinheiro et al., 2021; Wu et al., 2022) e do mar (Zhu et al., 2018; Fan et al., 2022), como em sedimentos de planície de maré (Nor e Obbard, 2014; Zamprogno et al., 2021; Liu et al., 2022), praia (Browne et al., 2011; Urban-Malinga et al., 2020; Perumal e Muthuramalingam, 2022) e dunas eólicas (Liebezeit e Dubaish, 2012; Costello e Ebert, 2020). Estes estudos voltam-se as discussões sobre ocorrência e distribuição espacial de partículas plásticas, porém MP é apenas um dos tipos de micropartícula antropogênica (MPA) que representam ameaças aos ambientes marinhos. As MPA, aqui definidas como partículas criadas ou processadas por seres humanos (Huntington et al., 2020) menores que 5mm (Friesen et al., 2020), incluem partículas de materiais sintéticos, semissintéticos e naturais modificados.

Normalmente, os estudos desconsideram as MPA naturais (modificadas ou não) e semisintéticas partindo do pressuposto que partículas não plásticas são facilmente biodegradáveis e, portanto, não causariam danos ao meio ambiente (Ladewig et al., 2015). Entretanto, pesquisas recentes sugerem que MPA não plásticas tem ecotoxicidade comparáveis a de partículas plásticas no meio ambiente,

devido a aditivos químicos e corantes usados durante a produção (Athey e Erdle, 2022). Visto que devido ao tamanho, forma e cor das MPA, estas são normalmente associadas a alimentos e ingeridas por organismos (Antão-Barboza et al., 2018; Wang et al., 2018) ocasionando bioacumulação de MPA na cadeia alimentar (Andrady, 2011; Wang et al., 2016).

Apesar da diferença na composição, MPA são encontradas nos ambientes predominantemente na forma de fibra (Barrows et al., 2018; Mu et al., 2019; Naidoo et al., 2020; Huang et al., 2021) e podem ter sua origem em materiais têxteis, produtos de higiene pessoal e filtros de cigarros (Carr, 2017; Gavigan et al., 2020; Belzagui et al., 2021; Soltani et al., 2021). A ocorrência de MPA nos ambientes é indiscutivelmente associada às ações antrópicas, porém sua distribuição espacial e temporal pode responder as características do meio onde ocorrem como topografia, dinâmica costeira, tipo de substrato sedimentar e proximidade de áreas fontes (Critchell e Lambrechts, 2016; Chouchene et al., 2021; Vega-Moreno et al., 2021).

Portanto, no presente estudo foram obtidos dados de quantificação, caracterização e composição das MPA (incluindo materiais sintéticos, semissintéticos e naturais modificados) em amostras de sedimento superficial nas feições deposicionais de planície de maré, praia e duna frontal, assim como para amostras de água estuarina e marinha. Adicionalmente todas as amostras sedimentares foram submetidas à análise granulométrica. Desta forma, integramos em um único estudo dados de MPA de amostras de água e de sedimentos para diferentes feições deposicionais costeiras em combinação com a análise granulométrica dos sedimentos para entender a distribuição espacial das MPA e as formas de acumulação junto aos sedimentos.

1.2. Objetivo

O principal objetivo deste trabalho consiste em determinar e avaliar a poluição das MPA em amostras sedimentares de diferentes feições deposicionais costeiras e de águas superficiais do estuário e da praia, em área de conservação ambiental, de modo a entender os fatores controladores da distribuição espacial das MPA. Portanto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Quantificar e caracterizar as MPA presente nos sedimentos da planície de maré, praia e duna frontal;
- Quantificar e caracterizar as MPA encontradas em águas estuarina e marinha;

- Determinar identificação do material das MPA;
- Caracterizar as amostras sedimentares quanto às classes e estatísticas granulométricas;
- Avaliar o transporte e deposição das MPA em relação à distribuição espacial.

4. CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES

Este estudo aplicou uma abordagem integrada para analisar a ocorrência e características de AMP em amostras sedimentares de diferentes feições morfológicas costeiras (planície de maré, praia e duna frontal) e em amostras de águas costeiras (estuarina e marinha) em área de proteção ambiental do litoral sul do estado de São Paulo. Os sedimentos lamosos da planície de maré retêm a maior concentração de AMP (~20.500 partículas/kg), cerca de quatro vezes maior que a abundância de AMP nas outras feições. Esta concentração de AMP associada aos sedimentos lamosos pode ser favorecida pela baixa ação hidrodinâmica do rio e da maré no transporte e deposição das partículas, caracterizando assim os sedimentos da planície de maré como o principal sumidouro de AMP. Por outro lado, nos sedimentos arenosos, observamos a redução da acumulação de AMP (5.900 a 4.350 partículas/kg) associada a uma tendência de afinamento da granulometria dos sedimentos arenosos da praia para a duna frontal. Os sedimentos praias, sob ação de ondas e correntes, atuam como zona de deposição e transferência AMP, com acúmulo na face praias e distribuição para o pós-praia. Uma vez depositados na porção do pós-praia são transferidos para as DF onde podem ficar retidos em meio à vegetação. Além disso, a menor concentração de AMP nos sedimentos eólicos do DF deve estar associada ao transporte eólico que seleciona apenas as fibras.

AMP na forma fibra, transparente, menores que 1mm compostas por celulose modificada foram as partículas predominantemente encontradas nos sedimentos das feições morfológicas e nas águas. Enquanto MP foram encontrados em menor quantidade (10 — 25%) correspondente ao PP e PET. As características químicas das AMP identificadas na planície de Iguape indicam origem predominantemente têxtil, potencialmente originárias dos efluentes do Rio Ribeira de Iguape. Portanto, podemos inferir que diferentes processos e granulometrias refletem o transporte e acúmulo de AMP em sedimentos e águas das feições morfológicas costeiras. Consideravelmente mais pesquisas sobre a distribuição espacial de AMP em diferentes feições morfológicas e águas costeiras caracterizadas por diversas hidrodinâmicas em combinação com a identificação química das partículas precisam ser realizadas para discutir modelos de transporte e deposição AMP na zona costeira.

REFERÊNCIAS

- Alcántara-Carrió, J., Dinkel, T.M., Portz, L., Mahiques, M.M., 2018. Two new conceptual models for the formation and degradation of baymouth spits by longshore drift and fluvial discharge (Iguape, SE Brazil). *Earth Surf. Process. Landf.* 43. 10.1002/esp.4279.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitsch.* 22 (6), 711-728. 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.03>.
- Antão-Barboza, L., Vethaak, A.D., Lavorante, B., Lundebye, A., Guilhermino, L., 2018. Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. *Mar. Pollut. Bull.* 133, 336-348. 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047.
- Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., 2009. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS-OR&R-30. https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/TM_NOS-ORR_30.pdf.
- Athey, S.N., Erdle, L.M., 2022. Are we underestimating anthropogenic microfiber pollution? A critical review of occurrence, methods, and reporting. *Environ. Toxicol. Chem.* 5173. <https://doi.org/10.1002/etc.5173>.
- Barrows, A.P.W., Cathey, S.E., Petersen, C.W., 2018. Marine environment microfiber contamination: global patterns and the diversity of microparticle origins. *Environ. Pollut.* 237, 275-284. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.062>.
- Belzagui, F., Buscio, V., Gutiérrez-Bouzán, C., Vilaseca, M., 2021. Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern. *Sci. Total Environ.* 762, 144165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144165>.
- Bentz, D., 2004. Os Cordões Litorâneos da Planície de Una-Juréia, Municípios de Peruíbe e Iguape, SP. Dissertação (Mestrado), 134p. - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Besley, A., Vijver, M.G., Behrens, P., Bosker, T., 2017. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Mar. Poll. Bull.* 114, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.055>.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E.L., Tonkin, A., Galloway, T.,

Thompson, R.C., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45(21), 9175–9179. [dx.doi.org/10.1021/es201811s](https://doi.org/10.1021/es201811s).

Carr, S.A., 2017. Sources and dispersive modes of micro-fibers in the environment. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 13 (3), 466–469. <https://doi.org/10.1002/ieam.1916>.
CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2006. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, São Paulo. <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acessado em 20 de junho de 2023.

Cheung, P.K., Fok, L., 2017. Characterization of plastic microbeads in facial scrubs and their estimated emissions in Mainland China. *Water Resear.* 122, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.053>.

Chouchene, K., Prata, J.C., Costa, J., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., Ksibi, M., 2021. Microplastics on Barra beach sediments in Aveiro, Portugal. *Mar. Poll. Bull.* 167, 112264. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112264.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>.

Costello, J.D, Ebert, J.R., 2020. Microplastic pollutants in the coastal dunes of Lake Erie and Lake Ontario, *Journal of Great Lakes Research.* J. Great Lak. Resear. 46, 1754-1760. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.08.001>.

Critchell, K., Lambrechts, J., 2016. Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes? *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 171, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.036>.

Cutroneo, L., Reboa, A., Geneselli, I., Capello, M., 2021. Considerations on salts used for density separation in the extraction of microplastics from sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 166, 112216. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112216>.

DAEE, 2018. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Banco de Dados Hidrológicos. Dados sistematizados e consistidos pelo CTH - Centro de Tecnologia Hidráulica Financiamento Fehidro. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, São Paulo. <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acessado em 20 de junho de 2023.

Dubaish, F., Liebezeit, G., 2013. Suspended Microplastics and Black Carbon Particles in the Jade System, Southern North Sea. *Water Air Soil Pollut.* 224, 1352.

<https://doi.org/10.1007/s11270-012-1352-9>.

Fan, J., Zou, L., Duan, T., Qin, L., Qi, Z., Sun, J., 2022. Occurrence and distribution of microplastics in surface water and sediments in China's inland water systems: A critical review. J. Clean. Prod. 331, 129968. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129968>.

Frias, J.P.G.L., Nash, R., 2019. Microplastics: Finding a consensus on the definition. Mar. Pollut. Bullet. 138, 145-147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>.

Friesen, L.W., Granberg, M.E., Pavlova, O., Magnusson, K., Hassellöv, M., Gabrielsen, G.W., 2020. Summer sea ice melt and wastewater are important local sources of microlitter to Svalbard waters. Environ. Intern. 139, 105511. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105511>.

Furlan, I.C., Fornari, M., Buchamann, F.S.C., 2016. Variações morfológicas do sistema praia-duna frontal da Juréia, Iguape, São Paulo. In: XXVIII Congresso de Iniciação Científica da UNESP.

Gavigan, J., Kefela, T., Macadam-Somer, I., Suh, S., Geyer, R., 2020. Synthetic microfiber emissions to land rival those to waterbodies and are growing. PLoS One, 15, 10.1371/journal.pone.0237839.

GEOBRÁS–GEOBRÁS S/A, 1966. Engenharia e Fundações. Complexo Valo Grande–Mar Pequeno – Ribeira de Iguape. Relatório para o serviço do Vale do Ribeira, São Paulo, DAEE, 2.

Giarratano, E., Mauro, R.D., Silva, L.I., Tomba, J.P., Hernández-Moresino, R.D., 2022. The Chubut River estuary as a source of microplastics and other anthropogenic particles into the Southwestern Atlantic Ocean. Mar. Pollut. Bullet. 185, 114267. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114267>.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., ThoMPon, R. C., Thiel, M., 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. Environ. Sci. Technol. 46, 3060-3075. [dx.doi.org/10.1021/es2031505](https://doi.org/10.1021/es2031505).

Huang, Y., He, T., Yan, M., Yang, L., Gong, H., Wang, W., Qing, X., Wang, J., 2021. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a subtropical urban environment. J. Hazard Mater. 416, 126168. [10.1016/j.jhazmat.2021.126168](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126168).

Huntington, A., Corcoran, P.L., Jantunen, L.M., Thaysen, C., Bernstein, S., Stern, G., Rochman, C.M., 2020. A first assessment of microplastics and other anthropogenic microparticles in Hudson Bay and the surrounding eastern Canadian Arctic waters of Nunavut. Facet. 5 (1), 432–454. <https://doi.org/10.1139/facets-2019-0042>.

- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean. *Sci.* 347, 768-771. DOI: 10.1126/science.1260352.
- Ladewig, S.M., Bao, S., Chow, A.T., 2015. Natural Fibers: A Missing Link to Chemical Pollution Dispersion in Aquatic Environments. *Environ. Sci. Technol.* 49 (21), 12609–12610. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04754>.
- Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., Machado, M.A.S., 2009. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecol. Indic.* 9, 1188-1197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.006>.
- Liebezeit, G., Dubaish, F., 2012. Microplastics in Beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 89, 213–217. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0642-7>.
- Lefebvre, C., Bihanic, F.L., Jalón-Rojas, I., Dusacre, E., Chassaigne--Viscaïno, L., Bichon, J., Clérandeau, C., Morin, B., Lecomte, S., Cachot, J., 2023. Spatial distribution of anthropogenic particles and microplastics in a meso-tidal lagoon (Arcachon Bay, France): A multi-compartment approach. *Sci. Total Environ.* 898, 165460. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165460>.
- Lima, A.R.A., Costa, M.F., Barletta, M., 2014. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environ. Res.* 132, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.031>.
- Liu, X., Liu, H., Chen, L., Wang, X., 2022. Ecological interception effect of mangroves on microplastics. *J. Hazard. Mater.* 423, Part B, 127231. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127231>.
- Mahiques, M.M., Figueira, R.C.L., Salaroli, A.B., Alves, D.P.V., Gonçalves, C., 2013. 150 years of anthropogenic metal input in a Biosphere Reserve: the case study of the Cananéia–Iguape coastal system, Southeastern Brazil. *Environ. Earth Sci.* 68, 1073–1087. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-012-1809-6>.
- Masselink, G., Gehrels, R., 2015. Introduction to Coastal Environments and Global Change. In: *Coastal Environments and Global Change*. John Wiley & Sons 1-27. 10.1002/9781119117261.
- Mesquita, A.R., Harari, J., 1983. Tides and tide Gauges of Cananéia and Ubatuba - Brazil (lat, 24°). Internal Report Instituto Oceanográfico of the University of São Paulo 11, 1-14.
- MMA — Ministério da Infraestrutura e do Meio Ambiente. 2019. Plano de Manejo

—APA Marinha Litoral Sul. Fundação Florestal.
<https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Default.aspx?idPagina=15389>. Acessado
em 20 de junho de 2023.

Mu, J., Qu, L., Jin, F., Zhang, S., Fang, C., Ma, X., Zhang, W., Huo, C., Cong, Y., Wang, J., 2019. Concentration and distribution of microplastics in the surface sediments from the northern Bering and Chukchi seas. *Environ. Pollut.* 245 , 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.097>.

Muehe, D., 2012. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In *Geomorfologia do Brasil*, Cunha SB, Guerra AJT (eds), 8th edn., 273–349.

Naidoo, T., Sershen, Thompson, R.C., Rajkaran, A., 2020. Quantification and characterisation of microplastics ingested by selected juvenile fish species associated with mangroves in KwaZulu-Natal, South Africa. *Environ. Pollut.* 257, 113635. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113635>.

Nor, N.H.M., Obbard, J.P., 2014. Microplastics in Singapore’s coastal mangrove ecosystems. *Mar. Pollut. Bull.* 79, 278-283. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.025>.

Ouyang, X., Duarte, C.M., Cheung, S., Tam, N.F., Cannicci, S., Martin, C., Lo, H.S., Lee, S.Y., 2022. Fate and Effects of Macro- and Microplastics in Coastal Wetlands. *Environ. Sci. Technol.* 56 (4), 2386-2397. [10.1021/acs.est.1c06732](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06732).

Perumal, K., Muthuramalingam, S., 2022. Global sources, abundance, size, and distribution of microplastics in marine sediments - A critical review. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 264, 107702. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107702>.

Pianca, C., Mazzini, P.L.F., Siegle, E., 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Braz. J.Oceanogr.* 58, 53–70. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000100006>.

Pinheiro, L.M., Agostini, V.O., Lima, A.R.A., Ward, R.D., Pinho, G.L.L., 2021. The fate of plastic litter within estuarine compartments: An overview of current knowledge for the transboundary issue to guide future assessments. *Environ. Pollut.* 279, 116908. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116908>.

Prata, J.C., Reis, V., Costa, J.P., Mouneyrac, C., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., 2021. Contamination issues as a challenge in quality control and quality assurance in microplastics analytics. *J. Hazard. Mater.* 403, 123660. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123660>.

R Core Team., 2021. R: A language and environment for statistical computing. R

Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ritchie, H., Roser, M., 2018. Plastic Pollution. Published online at Our World In Data.org. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>.

Schaeffer-Novelli, Y., Mesquita, H.S.L., Cintrón-Molero, G., 1990. The Cananéia Lagoon Estuarine System, São Paulo, Brazil. *Estuar.* 13, 193-203. <https://doi.org/10.2307/1351589>.

Soltani, N.S., Taylor, M.P., Wilson, S.P., 2021. Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust. *Environ. Pollut.* 283, 117064. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117064>.

Su, L., Xue, Y., Li, L., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., Shi, H., 2016. Microplastics in Taihu Lake, China. *Environ. Pollut.* 216, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.036>.

Tessler, M.G., Souza, L.A.P., 1998. Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do Sistema Cananéia-Iguape, SP. *Rev. Bras. Oceanogr.* 46, 69-83. <https://doi.org/10.1590/S1413-77391998000100006>.

Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: Where is all the plastic? *Sci.* 304, 838. DOI: 10.1126/science.109455.

UNEP, 2016. Marine plastic debris and microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi.

Urban-Malinga, B., Zalewski, M., Jakubowska, NA., Wodzinowski, T., Malinga, M., Palys, B., Dąbrowska, A., 2020. Microplastics on sandy beaches of the southern Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 155, 111170. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111170>.

Vega-Moreno, D., Abaroa-Pérez, B., Rein-Loring, P.D., Presas-Navarro, C., Fraile-Nuez, E., Machín, F., 2021. Distribution and transport of microplastics in the upper 1150 m of the water column at the Eastern North Atlantic Subtropical Gyre, Canary Islands, Spain. *Sci. Total Environ.* 788, 147802. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147802>.

Wang, J., Lv, S., Zhang, M., Chen, G., Zhu, T., Zhang, S., Teng, Y., Christie, P., Luo,

Y., 2016. Effects of plasticfilm residues on occurrence of phthalates and microbial activity insoils. Chemosp. 151, 171–177.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.076>.

Wang, F., Wong, C.S., Chen, D., Lu, X., Wang, F., Zeng, E.Y., 2018. Interaction of toxic chemicals with microplastics: a critical review. Water Res. 208–219.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.003>.

Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol. 30 (5), 377–392. <https://www.jstor.org/stable/30063207>.

Wu, Y., Wang, S., Wu, L., Yang, Y., Yu, X., Liu, Q., Liu, X., Li, Y., Wang, X., 2022.

Vertical distribution and river-sea transport of microplastics with tidal fluctuation in a subtropical estuary, China. Sci. Total Environ. 822, 153603.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153603>.

Zamprogno, G.C., Caniçali, F.B., Cozer, C.R., Otegui, M.B.P., Graceli, J.B., Costa, M.B., 2021. Spatial distribution of microplastics in the superficial sediment of a mangrove in Southeast Brazil: A comparison between fringe and basin. Sci. Total Environ. 784, 146963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146963>.

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. Sci. Total Environ. 636, 20–29. [10.1016/j.scitotenv.2018.04.182](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.182).