

Artigo

Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno

Olivatto, G. P.; Carreira, R.; Tornisielo, V. L.; Montagner, C. C.*

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (6), 1968-1989. Data de publicação na Web: 17 de dezembro de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

Microplastics: Contaminants of Global Concern in the Anthropocene

Abstract: Since the beginning of mass production of plastic in the mid-20th century, environmental contamination by this anthropogenic material has been growing and is becoming increasingly apparent, and is even considered a potential geological indicator in the Anthropocene. Microplastics is a term used to group a range of different polymeric synthetic materials of size < 5 mm. These materials have been reported by several studies in different environmental matrices globally and present physical and chemical risk to organisms at the base of the food chain. However, in Brazil, interest in the subject is relatively new and few studies have been published in recent years. Here we present an overview of the plastic industry, microplastics as contaminants in the Anthropocene and review the literature on microplastic contamination in Brazilian environmental matrices with their respective methodologies.

Keywords: Plastics; contaminant; brazilian environmental matrices.

Resumo

Desde o início da produção em massa do plástico, em meados do século XX, a contaminação ambiental por esse material antropogênico tem sido crescente e cada vez mais aparente, sendo até considerado um indicador geológico potencial no Antropoceno. Microplásticos é um termo usado para agrupar uma gama de diferentes materiais sintéticos poliméricos de tamanho <5 mm. Esses materiais têm sido relatados por diversos estudos, em diferentes matrizes ambientais, a nível global e apresentam riscos físicos e químicos para os organismos na base da cadeia alimentar. No entanto, no Brasil, o interesse pelo assunto é relativamente novo e poucos estudos foram publicados nos últimos anos. Aqui apresentamos uma visão geral da indústria do plástico, os microplásticos como contaminantes no Antropoceno e revisamos a literatura sobre a contaminação por microplásticos em matrizes ambientais brasileiras com suas respectivas metodologias.

Palavras-chave: Plásticos; contaminante, matrizes ambientais brasileiras.

* Universidade de Campinas (Unicamp), Instituto de Química (IQ), Laboratório de Química Ambiental (LQA), CEP 13083-970, Campinas-SP, Brasil.

✉ montagner@iqm.unicamp.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20180125](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180125)

Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno

Glaucia P. Olivatto,^{a,b} Renato Carreira,^c Valdemar Luiz Tornisielo,^a
Cassiana C. Montagner^{b,*}

^a Laboratório de Ecotoxicologia, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba-SP, Brasil

^b Laboratório de Química Ambiental (LQA), Instituto de Química (IQ), Universidade de Campinas (Unicamp), Campinas-SP, Brasil

^c Laboratório de Estudos Marinhos e Ambientais (LabMAM), Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro-RJ, Brasil

* montagner@iqm.unicamp.br

Recebido em 27 de novembro de 2018. Aceito para publicação em 27 de novembro de 2018

1. Introdução
2. A Indústria do Plástico
3. Microplásticos
 - 3.1. Microplásticos primários
 - 3.2. Microplásticos secundários
 - 3.3. Onde estão os microplásticos?
 - 3.4. Impactos ecológicos e para a saúde humana
4. Microplásticos em Matrizes Ambientais Brasileiras
5. Considerações Finais

1. Introdução

Os polímeros são materiais constituídos por macromoléculas, estruturas químicas de alto peso molecular, formadas por uma grande cadeia de monômeros, unidades químicas menores, que são unidas por ligações covalentes e que se repetem ao longo da cadeia. Os polímeros podem ser naturais, como a seda, ou sintéticos, como o polietileno, e classificados como

termoplásticos (Plástico, do Grego, “adequado à moldagem”) ou termorrígidos (borrachas e fibras).¹

Os termoplásticos são considerados uma subcategoria da classe de polímeros orgânicos sintéticos e são facilmente fabricados, pois são passíveis de serem moldados quando submetidos ao aquecimento, tornando-se um fluido ou líquido viscoso, e se solidificam por resfriamento, em um processo reversível.^{1,2}

Os primeiros polímeros sintéticos foram introduzidos no início do século XX, mas

somente durante a Segunda Guerra Mundial que a indústria de polímeros sintéticos termoplásticos foi impulsionada a desenvolver materiais que atendessem as demandas do momento. O termoplástico polietileno, por exemplo, foi desenvolvido devido à necessidade de se utilizar um material de propriedade isolante e de fácil processabilidade. A poliamida foi desenvolvida para suprir as necessidades da indústria têxtil, que devido aos bloqueios de acesso ao mercado de seda, sofreu com a falta de abastecimento de seus suprimentos.³

Desde esse período até os dias atuais, esses polímeros sintéticos foram significativamente desenvolvidos em termos de diversidade de materiais com amplas e vantajosas propriedades, o que justifica o seu uso nos mais variados setores da sociedade.^{2,3} Dessa forma, em função de seus atributos como alta durabilidade, leveza, transparência, maleabilidade, impermeabilidade e, principalmente, devido ao seu baixo custo, os plásticos podem ser considerados materiais onipresentes da sociedade moderna atual.^{2,4}

A utilização dos plásticos em substituição aos materiais tradicionais como o vidro, os metais e as madeiras tem sido cada vez mais frequente, o que em alguns aspectos contribui para a qualidade de vida da sociedade e proporciona diversos benefícios.¹⁻³ Por exemplo, na área da saúde, a substituição da seringa de vidro, entre outros materiais, por materiais de plásticos descartáveis possibilitou a redução dos riscos de contaminação inerente aos procedimentos hospitalares.⁵

No entanto, o consumo desenfreado de plásticos, adotado pela sociedade atual, tem sido motivo de crescente preocupação ambiental devido a grande quantidade de resíduos que são gerados.⁶ Em termos quantitativos, a produção mundial de plásticos tem crescido significativamente nos últimos anos, de 1,5 milhões de toneladas em 1950 para mais de 300 milhões de toneladas em 2017.⁷⁻⁹ Além disso, há a expectativa de que o aumento da produção mundial de lixo plástico acompanhe o crescimento populacional, que segundo estimativas, pode

atingir o incrível contingente de 9,2 bilhões de habitantes no ano de 2050.¹⁰⁻¹²

No Brasil, apesar do grande investimento e faturamento bilionário na indústria do plástico (que se aproxima de 63 bilhões de reais), estima-se que somente 1 % do material plástico pós-consumo é destinado à reciclagem, representando apenas 615 mil toneladas de material reciclado dos 6,24 milhões de toneladas de material produzido.⁵ Materiais poliméricos reciclados podem ser reutilizados, o que economiza energia para a produção de novos materiais e impede o despejo de mais plásticos no ambiente.^{1,8}

Porém, enquanto a coleta de lixo é realizada em quase 90 % dos municípios brasileiros, os que contribuem com a coleta seletiva não atinge 15 %.⁵ Além disso, as empresas de reciclagem encontram dificuldade para discriminar a identidade do polímero, devido a mistura de materiais poliméricos empregados na composição de um só produto.⁸ Fatores como a ausência de coleta seletiva por parte dos consumidores e a falta de padronização no uso dos polímeros para determinadas embalagens por parte da indústria dificultam a realização da reciclagem em grande massa, não só no Brasil como em todo o mundo.^{1,8}

Como consequência, no Brasil, os resíduos plásticos não reciclados acabam em lixões ou aterros sanitários, onde levarão anos para se decompor, outra alternativa, em desrespeito ao artigo 47 da Lei nº 12.305 referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos¹³, é o descarte inadequado, causando assim a poluição por plásticos que contribui com o desperdício de potencial ambiental e econômico de, em média, R\$ 5,8 bilhões por ano.^{5,14} Esses resíduos plásticos descartados inadequadamente causam o entupimento dos bueiros, favorecendo os eventos de enchentes e atingem os cursos hídricos, impactando negativamente em suas condições estéticas, ecológicas e ambientais.¹⁵⁻¹⁷

Dessa forma, a participação de todos os níveis da sociedade é extremamente relevante para que ocorra uma redução na

quantidade de resíduos plásticos gerados, aumento no percentual de reciclagem desse material, descarte adequado e melhorias no gerenciamento desses resíduos. Esses objetivos exigem, todavia, maior conjunção de ações governamentais, empresariais, educacionais e dos consumidores. Desde 1974, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) atua na elaboração de planos de ação envolvendo o governo de diversos países com o intuito de combater o problema da poluição por lixo plástico nos oceanos e zonas costeiras, esse programa conta com a participação de mais de 140 países e 18 zonas costeiras.⁸ No Brasil, no ano de 2017, a Organização das Nações Unidas (ONU) Meio Ambiente lançou a campanha Mares Limpos que no período de 5 anos realizarão ações para conter a entrada de resíduos plásticos no oceano.¹⁸

Além dos resíduos plásticos maiores, atualmente há uma crescente preocupação ambiental em relação a partículas inferiores a 5 mm, denominadas microplásticos.¹⁹⁻²¹ Partículas de microplásticos têm sido identificadas em amostras ambientais de água e sedimento coletados em rios, lagos, mares e oceanos.²² A presença de microplásticos no meio ambiente representa uma ameaça para a biota, pois, devido ao seu tamanho reduzido, essas partículas possuem maior distribuição, podendo atingir até áreas remotas, e se tornam disponíveis para uma grande variedade de organismos desde os níveis tróficos inferiores.²³⁻²⁵

Portanto, pode-se afirmar que a poluição ambiental por plásticos e microplásticos é tida como um dos fatores antropogênicos mais ressaltantes que afetam a biodiversidade, o que tem sido foco de estudos nos últimos anos. Assim sendo, aqui reporta-se uma revisão da literatura com o objetivo de divulgar os seguintes aspectos: i) a sistemática de funcionamento da cadeia produtiva da indústria do plástico, com as descrições dos principais polímeros produzidos e percentuais de consumo; ii) Microplásticos: definição por tamanho e origem, destinos no ambiente e impactos e iii) os estudos sobre microplásticos

realizados no Brasil e seus métodos analíticos utilizados. A metodologia empregada para a revisão da literatura foi a plataforma do Google Scholar e Periódicos Capes, para o levantamento de dados sobre os estudos com microplásticos realizados no Brasil, o critério de busca foi a utilização de artigos científicos. Para os demais tópicos aqui abordados, também foram consideradas as mesmas plataformas de busca para a seleção de artigos científicos, além de consultas em sites do governo nacional, empresa e notícias internacionais e de publicações mais recentes.

2. A Indústria do Plástico

A matéria prima principal usada no preparo do material plástico é derivada tanto do petróleo bruto quanto do gás natural.⁵ A indústria do petróleo destina 4 % de sua produção mundial para a indústria de plástico.⁵ O petróleo bruto, mistura complexa de diversos hidrocarbonetos com diferentes temperaturas de ebulição, é submetido ao processo de refino, o qual é realizado em diferentes etapas, e a partir disso podem ser obtidos muitos subprodutos derivados, como por exemplo, a nafta, a principal matéria prima utilizada para a produção do material plástico.^{5,26}

Após o seu refino, a nafta é fornecida para a indústria de primeira geração, onde ocorrem diversos processos que dão origem aos principais monômeros utilizados para a produção do plástico, como por exemplo, o eteno. Em seguida, a indústria de segunda geração é a responsável pela produção de resinas poliméricas, também conhecidas como “pellets”, e por fim, a indústria de terceira geração, também conhecida como Transformadoras de Plásticos é a responsável pela moldagem e confecção dos utensílios de plásticos.¹⁴

O produto final, ainda na Indústria de 3º Geração, tanto pode ser produzido utilizando apenas a resina pura do polímero, quanto pode ter recebido aditivos químicos, o que é

mais frequente, pois as propriedades do material como forma, textura, cor e resistência são aprimoradas com o uso dos aditivos e de acordo com as características desejadas para o produto final que se deseja

confeccionar.¹⁴ Na figura 1 é representada de forma resumida a cadeia produtiva do plástico, desde o refino do óleo bruto de petróleo até a produção dos transformados plásticos.⁵

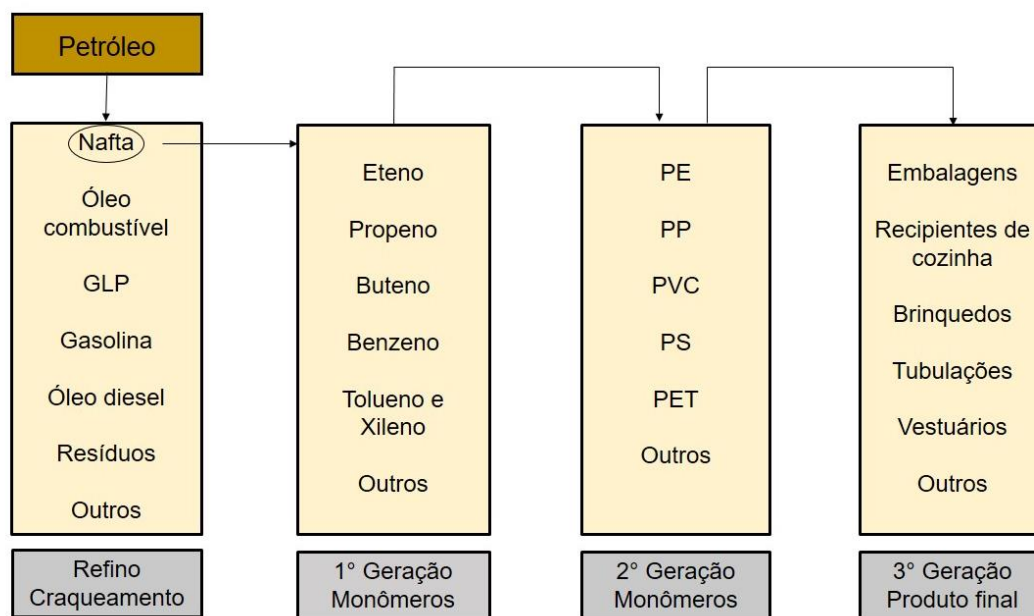


Figura 1. Cadeia produtiva da indústria do plástico. Fonte: Olivatto⁷⁹

Hoje, no mercado, há uma grande variedade de termoplásticos com diferentes características e utilidades. No entanto, apenas seis deles, ou seja, Polietileno de alta densidade (PEAD), Polietileno de baixa densidade (PEBD), Polipropileno (PP), Polietileno tereftalato (PET), Policloreto de vinila (PVC) e Poliestireno (PS) apresentam destaque no consumo mundial.^{5,27} Na Tabela 1 estão indicados tais polímeros, juntamente com seus respectivos códigos de identificação da coleta seletiva, percentual de consumo e principais aplicações.⁵

Atualmente estima-se que a produção de resinas termoplásticas no mundo seja acima de 300 milhões de toneladas.^{7,9} Desse total, 26 % são produzidos pela China que lidera a produção mundial, seguida pela Europa (União Europeia, Noruega e Suíça), com 20 % e o bloco econômico NAFTA (composto por EUA, Canadá e México), com 19 %. O Brasil

representa 2,4 % da produção mundial, sendo as resinas dos polímeros PE, PP, PVC, PET e “materiais de engenharia” os principais materiais produzidos.⁵

Devido às propriedades dos polímeros, o consumo dos transformados plásticos tem se expandido para diversos setores.²³ De acordo com o levantamento da Abiplast (Associação Brasileira da Indústria do Plástico),⁵ em 2013, os transformados foram utilizados principalmente nos setores da construção civil (25,7 %), alimentos (19 %), automóveis e autopeças (12,1%), máquinas e equipamentos (7,3 %), produtos de metal (7,7 %), bebidas (5,8 %), móveis (5,0 %), papel e celulose (3,7 %), perfumaria, higiene e limpeza (3,4 %), agricultura (2,9%), eletrônicos (2,8 %), químico (2,5 %), têxteis e vestuário (1,0 %), farmacêutico (0,8 %), outros transportes (0,6 %) e outros (0,7 %).

Tabela 1. Principais polímeros, percentual de consumo e principais aplicações

Polímero	Identificação e simbologia	Percentual de consumo	Principais aplicações
Poli (tereftalato de etileno)	 PET	6,9	- Embalagens de água e refrigerantes; - Fibras têxteis.
Polietileno de alta densidade	 PEAD	14,6	- Embalagens; - Recipientes; - Contentores.
Policloreto de vinila	 PVC	13	- Embalagens de produtos de higiene; - Tubulações.
Polietileno de baixa densidade	 PEBD	9,5	- Embalagens; - Sacolas; - Brinquedos.
Polipropileno	 PP	19,4	- Embalagens; - Tubulações; - Carpete;
Poliestireno	 PS	5	- Recipientes de uso doméstico. - Embalagens de cosméticos; - Eletrodomésticos.
Outros	 OUTROS (PEDBL, EPS, EVA, Plásticos de engenharia, Plásticos reciclados)	31,6	- Embalagens flexíveis e filmes; - Embalagem de proteção e estofados; - Chinelos de dedo; - Enchimento de elementos estruturais em obras; - Isolante térmico.

Fonte: Adaptado de Abiplast⁵

A indústria também tem constantemente ampliado o desenvolvimento de produtos alternativos aos plásticos de origem

petroquímica, fonte não renovável. O plástico verde, fabricado a partir da cana-de-açúcar, já integra o mercado de polímeros, porém o uso

desse material levanta controvérsias. Apesar do produto atender as características físicas semelhantes ao plástico comum, ser de fonte renovável, 100 % reciclável e durante o ciclo de produção de sua matéria prima contribuir com a captura de CO₂, gás contribuinte do efeito estufa na atmosfera; esse produto não é biodegradável, causando assim os mesmos impactos ambientais do plástico comum, apresenta alto custo e a produção de sua matéria prima requer áreas para o plantio, consumo de água e a utilização de insumos agrícolas, ou seja, fatores que não são favoráveis do ponto de vista ambiental e econômico.²⁸

A produção de plásticos 100 % biodegradáveis, degradáveis por meio da ação de microrganismos, seria a alternativa promissora para solucionar os problemas ambientais oriundos do uso dos plásticos convencionais, no entanto a sua produção no mercado ainda é mínima, representando a capacidade de produção global de somente 4 milhões de toneladas, ou seja, cerca de somente 1 % da produção total de plásticos sintéticos. Essa baixa produtividade é justificada pela inviabilidade econômica desse material quando comparado ao plástico de origem petroquímica.²⁹

3. Microplásticos

A presença de pequenos detritos de plásticos foi relatada pela primeira vez na literatura científica no início da década de

1970, no ambiente marinho.³⁰ Os resíduos plásticos maiores quando expostos no meio ambiente vão sofrendo sucessivas fragmentações e geram detritos de plásticos cada vez menores.²⁴ Em 2004, o termo microplásticos foi empregado pela primeira vez por Thompson *et al.*²⁴, para definir as partículas de plásticos de tamanho reduzido e tem sido utilizada até o presente momento pela comunidade científica.^{21,24,31}

Quanto à definição da escala microscópica, há diferentes classificações na literatura. No entanto, a colocação mais aceita é como sendo as partículas de dimensões inferiores a 5 mm, proposta em 2015 no workshop internacional dirigido pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, na sigla em inglês).¹⁹ Na Figura 2 são representadas algumas definições de microplásticos associadas ao tamanho, proposta por diferentes autores, que utilizam também os termos nanoplásticos, mesoplásticos e macropelásticos.

Os microplásticos presentes no meio ambiente recebem dois tipos de classificações de acordo com a origem do material: microplástico primário e microplástico secundário. O microplástico primário é aquele que já foi produzido em tamanho microscópico para compor a formulação de determinados produtos, denominado pela indústria como “pellet” e o microplástico secundário é aquele resultante da fragmentação de artefatos de plásticos maiores descartados no meio ambiente, que tanto pode ocorrer no ambiente aquático ou terrestre.^{16,19,26}

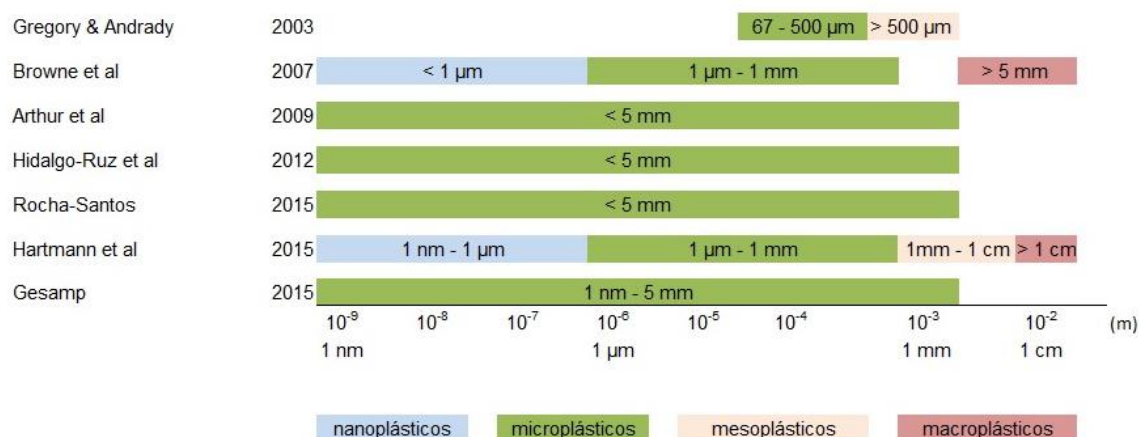


Figura 2. Definição de microplásticos baseada em seu tamanho proposta por diferentes autores. Fonte: Olivatto⁷⁹

3.1. Microplásticos primários

Para a fabricação de materiais plásticos nos mais variados setores a indústria utiliza, como matéria-prima, partículas microscópicas denominadas “*pellets*”. Esse material atinge o meio ambiente por meio do descarte inadequado de etapas de processos industriais e também por meio da perda acidental durante o seu transporte, sendo, portanto, comumente encontrados nas proximidades de portos, complexos industriais e também em alto mar.^{14,32,33}

Esses microplásticos primários também são utilizados nas formulações de produtos cosméticos e de higiene pessoal como, por exemplo, sabonete esfoliante e creme dental para efeitos abrasivos.⁴ Esses produtos, normalmente utilizados em domicílios, são transportados para os cursos hídricos por meio dos efluentes domésticos.^{34,35}

Em contrapartida, o uso de microplásticos na formulação de cosméticos foi proibido por lei no Reino Unido³⁶ e no Brasil, desde 2016, está sendo discutido no plenário a aprovação da Lei federal PL 6528/2016, a qual tem por finalidade proibir a manipulação, fabricação, importação e comercialização, em todo o território nacional, de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumaria que contenham a adição intencional de microesferas plásticas.³⁷

A indústria têxtil também utiliza fibras plásticas microscópicas para a produção de tecidos sintéticos e o procedimento de lavagem de roupas com esses tecidos libera tais fibras plásticas, que atingem também os cursos hídricos (Figura 3).^{38,39} Isso ocorre porque esses materiais não são retidos pela estação de tratamento de água e esgoto devido às adaptações tecnológicas requeridas para separar partículas de dimensões tão reduzidas.^{35,38,39}



Figura 3. Microplásticos fibras coletados em águas superficiais da Baía de Guanabara-RJ.

Fonte: Olivatto⁷⁹

3.2. Microplásticos secundários

Embora o material plástico apresente longevidade e resistência à degradação, a sua fragmentação no meio ambiente ocorre quando combinada com diversos fatores ambientais, que incluem a radiação UV, presença de oxigênio, mudanças de temperatura, umidade, ação das ondas e contato com contaminantes e microrganismos.²⁷

Os microplásticos secundários são aqueles que resultam da fragmentação do

macroplástico quando expostos às ações das intempéries e assim podem desencadear diferentes mecanismos de degradação, que incluem: biológica, mecânica, foto-oxidativa, térmica, induzida por ozônio e hidrólise, o que dependerá, não somente dos fatores ambientais, como também do tipo de polímero e sua aditivação.^{3,16,25,26,27} Como consequências, o material plástico sofre alteração de suas propriedades físicas e químicas, tornam-se mais frágeis e se fragmentam em partículas progressivamente menores (Figura 4).^{15,20,26,27}



Figura 4. Microplásticos coletados em águas superficiais da Baía de Guanabara-RJ. Fonte: Olivatto⁷⁹

As sacolas de supermercados fabricadas a partir dos plásticos oxo-biodegradáveis, também podem ser materiais em potencial para a geração de microplásticos secundários no meio ambiente. Na síntese desses polímeros são adicionados aditivos químicos degradantes, geralmente compostos de metais de transição, que atuam na catálise da degradação oxidativa do material na presença de luz e calor. No entanto, os fragmentos resultantes desse processo não sofrem uma consequente redução da massa molar na presença de microrganismos, ou seja, a biodegradação a partir dos fragmentos não é acelerada.²⁷ Portanto, o plástico oxo-biodegradável além de contribuir com a geração dos microplásticos, materiais que em comparação aos macroplásticos são mais difíceis de serem retirados do ambiente, devido à maior dificuldade de identificação dessas partículas, ainda contribui com a

lixiviação dos aditivos metálicos para o meio ambiente.⁴⁰

3.3. Onde estão os microplásticos?

Nos últimos anos, a presença de microplásticos tem sido relatada por diversos estudos, em diferentes localizações geográficas, compartimentos ambientais e produtos de consumo humano, como alimentos e bebidas, o que tem gerado crescentes preocupações na comunidade científica.^{22,41,42}

No ambiente natural, os microplásticos foram amplamente estudados nos corpos d'água marinhos, em amostras de água, sedimento e interagindo com a biota.^{14,26} Pesquisas mais recentes têm relatado também a presença desse contaminante em

ecossistemas de água doce e no ar atmosférico.^{9,21,23,25,41,42,43}

No ambiente marinho, sabe-se que a distribuição dos microplásticos é influenciada por diversos fatores, sendo o mais preponderante a proximidade das fontes poluidoras.^{15,16} No entanto, dirigidos por ventos, correntes oceânicas e turbulência causada pelo tráfego de embarcações, esses resíduos, de baixa densidade, podem ser transportados para longas distâncias e atingir até áreas remotas, distantes de possíveis ações antrópicas.⁴⁵ A acumulação de resíduos plásticos em determinadas regiões no oceano é influenciada por "giros" que ocorrem em uma latitude subtropical nas principais aglomerações de correntes ao longo dos oceanos, sendo o giro do Pacífico o mais noticiado na mídia nos últimos anos.⁴⁶

Nos ecossistemas aquáticos, os microplásticos de baixa densidade são predominantemente encontrados na superfície da água devido à sua alta flutuação, enquanto os de alta densidade são mais prováveis nas profundezas. A densidade dessas partículas pode aumentar de acordo com o tempo de residência no ambiente, devido à formação de biofilmes, favorecendo assim a sua sedimentação e acúmulo nesses ambientes. Nessas condições, de baixas temperaturas e ausência de luz UV, os microplásticos depositados em sedimentos aquáticos estão mais resistentes ao mecanismo de degradação foto-oxidativa, principal mecanismo de degradação dos plásticos,²⁷ e são, portanto, mais facilmente preservados. A mesma dinâmica e distribuição também ocorre no ambiente terrestre, quando esse material se deposita nos sedimentos, o que permite considerar as partículas de microplásticos como um indicador geológico potencial no Antropoceno.^{15,16,29,47}

Os detritos de plásticos e microplásticos têm sido observados também na interação com a biota marinha, comumente confundidos por alimentos, esses organismos ingerem esses resíduos que são encontrados nas análises de seus conteúdos estomacais.^{26,43,45,48,49} Dessa forma, alimentos

como frutos do mar e também o sal já foram investigados sobre a contaminação por microplásticos e apresentaram resultados positivos.^{42,50,51,52} O estudo publicado na *Nature* por Iñiguez e colaboradores,⁵⁰ indicou a presença de 50-280 partículas de microplásticos por quilograma de sal analisado, foram analisadas um total de 21 amostras de sal comercializados na Espanha.

Os microplásticos também estão sendo observados em ecossistemas de água doce da América do Norte, Europa e Ásia.⁴³ Considerando que os rios contribuem com o transporte de aproximadamente 80 % dos resíduos sólidos presentes no oceano,¹⁵ é extremamente relevante a investigação de microplásticos diretamente nesses ambientes.⁴¹ Além disso, do ponto de vista da saúde humana, pode-se considerar a contaminação de água doce por microplásticos até mais preocupante, dado a dependência do consumo de água potável pela população.⁵³

Dessa forma, amostras de água de torneira, água mineral comercializada e cerveja também foram investigadas sobre a contaminação por microplásticos, os resultados dos estudos indicaram que, todos esses produtos de consumo humano, apresentam resíduos de microplásticos em sua composição.^{52,54} O estudo dirigido por Schymanski e colaboradores indicaram que a principal fração das partículas de microplásticos,⁵⁴ identificadas na água mineral, é de tamanho muito reduzido, com dimensões abaixo de 20 µm.

Outro compartimento ambiental que também apresentou contaminação por microplásticos foi o ar atmosférico. Recentemente, Dris e colaboradores relataram a presença de microplásticos na precipitação atmosférica.⁴⁴ O estudo foi realizado no período de um ano, na Grande Paris, e identificou que ocorre por dia a precipitação de 2 a 355 partículas/m² de fibras microplásticas. A caracterização morfológica e química pelas técnicas de Microscopia e Micro Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier, permitiu indicar a hipótese de que os tecidos sintéticos das

roupas podem representar a principal fonte dessas fibras nesse ambiente.

Portanto, esses estudos sugerem que o cenário de exposição aos microplásticos que a sociedade está submetida é extremamente alarmante.

3.4. Impactos ecológicos e para a saúde humana

Embora seja evidente que os microplásticos se tornaram contaminantes onipresentes da sociedade atual, informações conclusivas sobre seus impactos ecológicos e para a saúde humana estão ainda sendo estudadas e debatidas pela comunidade científica.^{55,56}

Sabe-se que o principal problema ambiental relatado pela presença de plásticos e microplásticos no ambiente aquático, por exemplo, é a possibilidade de ingestão. Devido ao seu tamanho reduzido, os microplásticos podem ser facilmente ingeridos por organismos aquáticos desde os níveis tróficos inferiores, o que apresenta riscos físicos já comprovados para esses organismos como à obstrução do trato digestivo, de acordo com a relação do tamanho da partícula e tamanho do animal, o que limita a entrada de alimentos e consequentemente pode levar o animal à desnutrição, além de causar estresse e alterações hormonais que comprometem a sua taxa de reprodução e crescimento.^{49,55}

Os possíveis riscos químicos da ingestão dos microplásticos são novas preocupações que estão sendo investigadas. Sendo essas, o potencial dos microplásticos como vetor de transporte de contaminantes antropogênicos como poluentes orgânicos persistentes e metais, os quais são facilmente adsorvidos em suas superfícies hidrofóbicas e podem ser desorvidos para os lipídeos da biota.^{7,57} Além disso, há os riscos químicos associados à lixiviação dos aditivos químicos dos plásticos, pois esses aditivos são empregados na formulação da matriz polimérica do produto,

não sendo ligados quimicamente aos monômeros, mas sendo apenas adicionados na fase amorfa do polímero para melhorar alguma propriedade específica do material. Com o tempo de exposição e aumento da temperatura esses aditivos podem atingir seu coeficiente de difusão e migrar para a superfície externa do polímero, quando em contato direto com um sistema fluido, sendo assim liberado para o meio ambiente ou organismo, o que pode provocar efeitos tóxicos.^{3,7} Entre os aditivos químicos mais preocupantes, destacam-se os ftalatos que são comumente utilizados pela indústria plástica mesmo tendo comprovados seus efeitos negativos nos sistemas endócrinos.^{3,58,59}

Do ponto de vista da exposição humana, além da possibilidade de ingestão dos microplásticos, tendo em vista que esses estão presentes nos produtos de consumo, há também riscos da exposição por inalação.⁵⁶

Os estudos sobre os impactos biológicos dos microplásticos para a saúde humana ainda são recentes. No entanto, o estudo publicado por Prata,⁵⁶ sugeriu que os microplásticos apresentam riscos para a incidência de doenças após a inalação, como doenças respiratórias e cardiovasculares, considerando baixas concentrações de exposição, e câncer pulmonar para maiores concentrações.

4. Microplásticos em Matrizes Ambientais Brasileiras

A investigação da interação de plásticos com organismos aquáticos tem sido amplamente documentada pela comunidade científica.^{21,23,42,49,51,55,60} No entanto, são poucos os estudos realizados no Brasil.⁶¹⁻⁶⁶ Colabuno et al.⁶¹ pesquisaram a ocorrência de partículas de plásticos no trato digestivo de aves marinhas no sul do país e também relacionaram a presença de poluentes orgânicos persistentes (POPs) nessas partículas com a concentração de POPs no

tecido investigado do animal, sugerindo que os plásticos sejam um possível vetor de transporte de POPs para o animal. Os estudos de Possatto *et al.*⁶² e Vendel *et al.*⁶³ relataram a presença de partículas de plásticos no material estomacal de diferentes espécies de peixes coletados em estuários, localizados no nordeste do país, e todas as espécies investigadas apresentaram resultados relevantes de contaminação por partículas de plásticos. Santana *et al.*⁶⁴ investigaram a ocorrência de microplásticos em amostras biológicas de mexilhões coletados no Estuário de Santos, localizado no Sudeste do país, 75 % das amostras analisadas apresentaram contaminação por microplásticos. Somente Cavalcanti *et al.*⁶⁵ documentaram a presença de microplásticos em organismos de água doce, peixes coletados no Rio Pajeú, Nordeste do Brasil. Pegado *et al.*⁶⁶ reportaram partículas de microplásticos no trato gastrointestinal de peixes coletados no Rio Amazonas, 14 % das espécies analisadas apresentaram contaminação por microplásticos na faixa de tamanho de 0,38 a 4,16 mm.

O estudo sobre microplásticos no Brasil é ainda recente na literatura científica. Pesquisas sobre a ocorrência, distribuição e

análise química dessas partículas em amostras ambientais de sedimento arenoso e água têm ocorrido mais intensamente na região costeira do Nordeste e sudeste do país. No Nordeste, amostras de microplásticos foram caracterizadas e quantificadas em diferentes praias e também no estuário de Goiânia, no Estado de Pernambuco.⁶⁷⁻⁷⁰

No Sudeste, os microplásticos já foram relatados na região costeira do Estado de São Paulo e na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Em São Paulo, as amostras de microplásticos foram coletadas em sedimentos arenosos de diferentes praias e além da análise da distribuição dessas partículas, também foram investigadas as interações de *pellets* com poluentes orgânicos persistentes e metais adsorvidos.⁷¹⁻⁷⁶ Na Baía de Guanabara, os microplásticos foram relatados em amostras de sedimento arenoso coletadas em diferentes praias e em águas superficiais, coletadas com rede de plâncton, em Niterói e Rio de Janeiro.⁷⁷⁻⁸⁰ A ocorrência de microplásticos também foi relatada em áreas remotas do Brasil como a Ilha de Trindade.⁸¹

A metodologia utilizada nesses estudos e seus principais resultados estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Metodologias empregadas no estudos sobre microplásticos em matrizes ambientais brasileiras e seus principais resultados.

Local	Matriz ambiental	Metodologia	Principais resultados	Referência
Praias do Rio Grande do Sul	Biota	Os microplásticos foram coletados do material biológico de Procellariiforme e submetidos à extração por Soxhlet para a identificação e quantificação por cromatografia gasosa (GC-ECD) de poluentes orgânicos adsorvidos. Após as análises químicas dos POPs os microplásticos foram identificados visualmente e por densidade.	Foram identificados os compostos bifenilos polibromados (PCBs) e organoclorados (OCPs) nos microplásticos identificados como fragmentos e pellets.	Colabuno et al. ⁶¹
Estuário de Goiânia, Pernambuco	Biota	Detritos de plásticos foram coletados do material estomacal de peixes e	Foram analisados o material estomacal de 182 peixes, de 3 diferentes espécies.	Possatto et al. ⁶²

		caracterizados com o auxílio de lupa binocular.	Todas as espécies apresentaram contaminação por microplásticos fibras e fragmentos.	
Estuário de Paraíba e Estuário de Mamanguape	Biota	Microplásticos foram coletados do material estomacal de peixes e caracterizados de acordo com as suas propriedades físicas.	Foram coletados 196 indivíduos de 24 diferentes espécies, 9 % dos indivíduos apresentaram contaminação por microplásticos. Os tipos de microplásticos predominantes foram fibras, fragmentos e filmes.	Vendel et al. ⁶³
Estuário de Santos, São Paulo	Biota	Realizaram a digestão ácida da matéria orgânica contida nos microplásticos coletados do material biológico do mexilhão e a caracterização dos microplásticos foi feita com o uso de microscópio.	75 % das amostras de mexilhões analisadas apresentaram contaminação por microplásticos.	Santana et al. ⁶⁴
Rio Pajeú, Pernambuco	Biota	Microplásticos coletados do material biológico de peixes foram caracterizados de acordo com o tamanho com o uso de microscópio.	83 % dos indivíduos analisados apresentaram contaminação por detritos plásticos.	Silva-Cavalcanti et al. ⁶⁵
Rio Amazonas, Pará	Biota	O conteúdo estomacal e intestinal dos peixes coletados foram retirados para serem examinados. As partículas de microplásticos foram separadas após a digestão em etanol 70 % e identificadas no microscópio com câmera acoplada.	14 % das espécies analisadas apresentaram contaminação por microplásticos na faixa de tamanho de 0,38 a 4,16 mm.	Pegado et al. ⁶⁶
Praia de Boa Viagem, Pernambuco	Sedimento	Amostras de sedimento foram coletadas por 1m raspando os primeiros 2 cm de areia em uma área de 988 cm ² . As partículas foram caracterizadas fisicamente com auxílio de microscópio.	Foram coletados um total de 2775 detritos plásticos, sendo 35,8 % o correspondente a microplásticos de até 1 mm.	Costa et al. ⁶⁷
Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Pernambuco	Água	Amostras de água foram coletadas a partir do arrasto superficial com rede de plâncton e os microplásticos presentes foram filtrados e caracterizados fisicamente com auxílio de microscópio.	Os microplásticos predominantes foram fragmentos, fios e borracha, sugerindo que a principal fonte poluidora seja as correntes oceânicas.	Ivar do Sul et al. ⁶⁸

Estuário de Goiania, Pernambuco	Água	Amostras de água foram coletadas a partir do arrasto superficial com rede de plâncton e os microplásticos presentes foram filtrados e caracterizados fisicamente com auxílio de microscópio.	Foram encontrados microplásticos rígidos, flexíveis e fios nas amostras analisadas. A quantidade de microplásticos coletados correspondeu a metade da quantidade total de larvas de peixes coletadas.	Lima et al. ⁶⁹
Estuário de Goiania, Pernambuco	Água	Amostras de água foram coletadas com rede de plâncton e os microplásticos presentes foram filtrados e caracterizados fisicamente com auxílio de microscópio	As diferentes fases da lua influenciaram na distribuição e abundância de larvas de peixes, zooplâncton e detritos de plásticos.	Lima et al. ⁷⁰
Praia de Santos, São Paulo	Sedimento	Pellets foram coletados em sedimento arenoso. No laboratório, esses microplásticos primários foram submetidos à extração por Soxhlet e em seguida o extrato orgânico foi identificado e quantificado por cromatografia gasosa com espectrometria de massa (GC/MS)	Os resultados indicaram hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) em todas as amostras coletadas.	Fisner et al. ⁷¹
Baía de Santos, São Paulo	Sedimento	Amostras de sedimento foram coletadas em diferentes praias de Santos para investigar a contaminação por microplásticos pellets. Os microplásticos separados foram identificados quimicamente por espectroscopia Raman e microscópio óptico.	A distribuição dos pellets no sedimento arenoso foi mais abundante da superfície para as camadas mais profundas.	Turra et al. ⁷²

Baía de Santos, São Paulo	Sedimento	Esse estudo analisou hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) extraídos dos microplásticos pellets, coletados em sedimento arenoso de praias. O método analítico empregado foi a extração por Soxhlet seguida da identificação e quantificação por cromatografia gasosa acoplada ao espectrometria de massa (GC/MS)	HPA foram identificados em todas as amostras analisadas. Os pellets coletados nas camadas superiores do sedimento apresentaram maiores concentrações de HPA.	Fisner et al. ⁷³
Baixada Santista, São Paulo	Sedimento	Micropásticos pellets foram coletados em 41 praias localizadas em 15 municípios. Poluentes orgânicos persistentes (POPs) de diferentes classificações foram extraídos por Soxlet e identificados e quantificados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa	Todas as amostras de pellets analisadas indicaram contaminação por POPs adsorvidos aos microplásticos pellets. As concentrações foram reportadas em ng.g ⁻¹	Taniguchi et al. ⁷⁴
Estuário de Paranaguá, Paraná	Sedimento	Esse estudo investigou a influência espacial e temporal (ciclos de maré) na abundância e distribuição de microplásticos pellets. Microplásticos pellets foram coletadas em sedimento arenoso e quantificados em diferentes ciclos de maré.	Os resultados indicaram que a distribuição e a abundância de microplásticos são influenciadas pela variação temporal.	Moreira et al. ⁷⁵
Baixada Santista, São Paulo	Sedimento	Microplásticos pellets foram coletados em sedimento arenoso de 19 praias. No laboratório, os pellets foram submetidos à digestão ácida para identificação dos metais Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Sn, Ti e Zn por espectrometria de emissão atômica por fonte de plasma (ICP-OES).	Os metais foram identificados em todas as amostras analisadas, na concentração em mg.Kg ⁻¹ . As concentrações predominantes foram para os metais Fe a Al.	Vedolin et al. ⁷⁶
Baía de Guanabara	Sedimento	Amostras de sedimento arenoso foram coletadas em 17 praias na estação do verão e inverno. Os microplásticos foram separados por densidade com o uso de solução salina e caracterizados fisicamente por microscopia.	A abundância de microplásticos variou de acordo com os fatores espaciais e sazonais. Todas as praias indicaram contaminação por microplásticos, os tipos predominantes foram fibras, fragmentos, pellets e isopor.	Carvalho e Neto ⁷⁷

Baía de Guanabara, Niterói	Água	Análise qualitativa por espectroscopia no infravermelho, quantitativa (contagem manual) e morfológica de microplásticos coletados através do arrasto superficial com rede de plâncton.	Os resultados predominantes foram os polímeros polietileno e polipropileno, microplásticos fragmentos, coloridos e de tamanho inferior a 1 mm.	Castro et al. ⁷⁸
Baía de Guanabara, Rio de Janeiro	Água superficial	Amostras de águas superficiais foram coletadas com rede de plâncton por arrasto horizontal. No laboratório, as amostras foram filtradas e os microplásticos caracterizados quimicamente e morfolologicamente por espectroscopia no infravermelho, análise elementar e microscopia com processamento digital de imagens.	Todas as amostras analisadas indicaram contaminação por microplásticos. Os resultados predominantes foram microplásticos categorizados como fragmentos, de tamanho inferior a 1 mm, coloridos e de identidade química polietileno e polipropileno.	Olivatto et al. ⁷⁹
Baía de Guanabara, Rio de Janeiro	Água	Amostras de água foram coletadas através do arrasto oblíquo com rede de plâncton. Os microplásticos isolados foram analisados quimicamente por espectroscopia no infravermelho e morfolologicamente por microscopia.	Os resultados predominantes foram microplásticos categorizados como fragmentos, de tamanho inferior a 1 mm, coloridos e de identidade química polietileno e polipropileno.	Figueiredo et al. ⁸⁰
Ilha Trindade, área remota	Ninho de passarinho	Fragmentos de microplásticos foram coletados em ninho de passarinho. No laboratório, esses microplásticos foram classificados de acordo com a cor e tamanho.	Distante de possíveis fontes poluidoras, a contaminação nessa área remota indica que as correntes oceânicas são responsáveis pela distribuição desses microplásticos.	De Souza et al. ⁸¹

Fonte: artigos científicos consultados a partir da plataforma do Google Scholar e Periódicos Capes.⁶¹⁻⁸¹

5. Considerações Finais

Os estudos sobre a ocorrência de microplásticos no Brasil têm sido realizados, em grande parte, no ambiente marinho. Sabendo que os rios são apontados como a principal fonte de microplásticos no ambiente marinho (80 %)¹⁵ e são também utilizados para o abastecimento de água da população, é extremamente crucial compreender a composição e dinâmica dos microplásticos nos ecossistemas aquáticos de água doce, estudo ainda escasso no Brasil. Também é extremamente relevante compreender as taxas de poluição atmosférica por microplásticos e nos produtos de consumo humano, tendo em vista os possíveis riscos para a saúde por meio da ingestão e inalação dessas partículas.

Os efeitos causados pela contaminação por microplásticos ainda são objeto de estudos por muitos grupos de pesquisa no mundo, seja pelo efeito físico que pode causar no organismo, seja pela capacidade de se tornar um vetor de transporte de outros contaminantes associados a eles.

Outro aspecto a ser considerado no cenário de contaminação por microplásticos é a necessidade de avaliar e desenvolver métodos analíticos mais eficientes para os procedimentos de coleta e identificação qualitativa desses resíduos. Isso permitirá avaliar mais precisamente o destino e os impactos potenciais dessa contaminação sobre as diferentes matrizes ambientais e também produtos de consumo humano. Nesse contexto em particular, a ocorrência de partículas ainda menores, denominadas nanoplasticos, ainda representa uma nova fronteira de conhecimento.

Independente dos diferentes aspectos abordados nesse artigo sobre a contaminação por microplásticos em ambientes, os sinais já observados apontam para uma urgente revisão dos padrões de consumo pela sociedade moderna de materiais sintéticos. Somente com uma ampla mudança de hábitos

será possível modificar os cenários futuros de contaminação por microplásticos e, assim, garantir a qualidade e a quantidade dos recursos naturais que irão beneficiar a vida das gerações futuras.

Por fim, destaca-se que o atual cenário de consumo e (falta) de gestão de resíduos plásticos, e considerando-se a ampla distribuição, lenta degradação e potencial de acúmulo em ambientes sedimentares, os microplásticos passam a ser considerados como mais um candidato em potencial a ser um marcador estratigráfico da nova época, o Antropoceno. O interesse sobre o assunto tem crescido no Brasil, em consonância com a relevância do tema na área de ciências ambientais no país.

Referências Bibliográficas

- ¹ da Silva Spinacé, M. A.; De Paoli, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova* **2005**, *28*, 65. [CrossRef]
- ² Mano, L. B.; Mendes, L. C.; *Introdução a Polímeros*, 2a ed., Blucher: São Paulo, 1999.
- ³ Rabello, M.; De Paoli, M. A.; *Aditivação de Termoplásticos*, 1a ed., Artliber: São Paulo, 2013.
- ⁴ Rios, L.; Moore, C.; Jones, P. R.; Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* **2007**, *54*, 8. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵ ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2015. [Link]
- ⁶ Derraik, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* **2002**, *44*, 9. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷ Andrady, A. L. The plastic in microplastics: a review. *Marine Pollution Bulletin* **2017**, *119*, 1, 12. [CrossRef] [PubMed]
- ⁸ Hammer, J.; Kraak, M. H. S.; Parson, J. R.; *Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*,

- Springer: New York, 2012. [CrossRef] [PubMed]
- ⁹ Horton, A. A.; Svendsen, C.; Williams, R. J.; Spurgeon, D. J. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK—Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Pollution Bulletin* **2017**, *114*, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁰ Hoornweg, D.; Bhada-Tata, P.; Kennedy, C.; Environment: Waste production must peak this century, *Nature News* **2013**, *502*, 615. [CrossRef] [PubMed]
- ¹¹ Jambeck, J. R.; Geyer, R.; Wilcox, C.; Siegler, T. R.; Perryman, M.; Andrady, A.; Law, K. L. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* **2015**, *347*, 6223. [CrossRef] [PubMed]
- ¹² Rocha, G. C.; Macedo, J. A. B; Contaminação de solos características e impactos. 1a ed., Juiz de UFJF: Juiz de Fora, 2014.
- ¹³ Brasil Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2/007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 07 novembro 2018.
- ¹⁴ Pereira, F. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2014. [CrossRef]
- ¹⁵ Andrady, A. L.; Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* **2011**, *62*, 8. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁶ Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T. S. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin* **2011**, *62*, 12. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁷ Moore, C. J.; Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* **2008**, *108*, 2. [CrossRef]
- ¹⁸ Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/governo-brasileiro-adere-a-campanha-mares-limpos-da-onu-meioambiente/?fbclid=IwAR1o5Qcqi4VuZYfUZBBsCnWrRNOv1DyauOTODQduWqrvi5luwRxmWMSVS8>>. Acesso em 09 novembro 2018.
- ¹⁹ Arthur, C.; Baker, J. E.; Bamford, H. A.; Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris 2008, September 9-11, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA. [Link]
- ²⁰ Rocha-Santos, T.; Duarte, A. C.; A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **2015**, *65*, 47. [CrossRef]
- ²¹ Hartmann, N. B.; Rist, S.; Bodin, J.; Jensen, L. H.; Schmidt, S. N.; Mayer, P.; Baun, A.; Microplastics as vectors for environmental contaminants: Exploring sorption, desorption, and transfer to biota. *Integrated Environmental Assessment and Management* **2017**, *13*, 3. [CrossRef] [PubMed]
- ²² Hidalgo-Ruz, V.; Gutow, L.; Thompson, R. C.; Thiel, M.; Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology* **2012**, *46*, 6. [CrossRef] [PubMed]
- ²³ Collignon, A.; Hecq, J. H.; Glagani, F.; Voisin, P.; Collard, F.; Goffart, A.; Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* **2012**, *64*, 4. [CrossRef] [PubMed]
- ²⁴ Thompson, R. C.; Olsen, Y.; Mitchell, R. P.; Davis, A.; Rowland, S. J.; John, A. W.; Russell, A. E.; Lost at sea: where is all the plastic? *Science* **2004**, *304*, 5672. [CrossRef]
- ²⁵ Barnes, D. K.; Galgani, F.; Thompson, R. C.; Barlaz, M.; Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **2009**, *364*, 1526. [CrossRef]
- ²⁶ Kershaw, P. J., ed “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment” GESAMP 2015, 90, 96. [Link]
- ²⁷ De Paoli, M. A.; *Degradação e Estabilização de Polímeros*, 2a ed., Chemkeys: São Paulo, 2008. [Link]

- ²⁸ eCycle. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/37-tecnologia-a-favor/695-afinal-o-que-e-plastico-verde.html?fbclid=IwAR17-k0bCyHRbDQYCnziYQVrw5TxZ_GukSy8k-y0y8nrlgGlgNI6QYDAYG0>. Acesso em: 9 novembro 2018. Geyer, R., Jambeck, J. R., Law, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* **2017**, 3, e1700782. [CrossRef] [PubMed]
- ²⁹ Carpenter, E. J.; Smith, K. L. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science* **1972**, 175, 4027. [PubMed]
- ³⁰ Barboza, L. G. A.; Gimenez, B. C. G. Microplastics in the marine environment: current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin* **2015**, 97, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ³¹ Ogata, Y.; Takada, H.; Mizukawa, K.; Hirai, H.; Iwasa, S.; Endo, S.; Murakami, M. International pellet watch: global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin* **2009**, 58, 10. [CrossRef] [PubMed]
- ³² Mato, Y.; Isobe, T.; Takada, H.; Kanehiro, H.; Ohtake, C.; Kaminuma, T. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science & Technology* **2001**, 35, 2. [PubMed]
- ³³ Napper, I. E.; Bakir, A.; Rowland, S. J.; Thompson, R. C. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin* **2015**, 99, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ³⁴ Fendall, L. S.; Sewell, M. A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin* **2009**, 58, 8. [CrossRef] [PubMed]
- ³⁵ The Guardian. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2018/jan/09/plastic-microbeads-ban-enters-force-in-uk?fbclid=IwAR3W4Oz1jZLC3Q-ORzWzsjApMpqR6Q5ZR3ZHNSGVLwKQrZb0jODHMoS2bg>>. Acesso em: 07 novembro 2018.
- ³⁶ Câmara dos Deputados. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2117806>>. Acesso em: 07 novembro de 2018.
- ³⁷ Browne, M. A.; Galloway, T.; Thompson, R. Microplastic—an emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management* **2007**, 3, 4. [PubMed]
- ³⁸ 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* **2011**, 45, 21. [CrossRef]
- ³⁹ Ammala, A.; Bateman, S.; Dean, K.; Petinakis, E.; Sangwan, P.; Wong, S.; Leong, K. H. An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Progress in Polymer Science* **2011**, 36, 1015. [CrossRef]
- ⁴⁰ Alimi, O. S.; Farner Budarz, J.; Hernandez, L. M.; Tufenkji, N. Microplastics and nanoplastics in aquatic environments: aggregation, deposition, and enhanced contaminant transport. *Environmental Science & Technology* **2018**, 52, 4. [CrossRef]
- ⁴¹ Van Cauwenberghe, L.; Janssen, C. R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution* **2014**, 193, 65. [CrossRef]
- ⁴² Boerger, C. M.; Lattin, G. L.; Moore, S. L.; Moore, C. J. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* **2010**, 60, 2275. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴³ Dris, R.; Gasperi, J.; Saad, M.; Mirande, C.; Tassin, B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin* **2016**, 104, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴⁴ Do Sul, J. A. I.; Costa, M. F.; Fillmann, G.; Microplastics in the pelagic environment around oceanic islands of the Western Tropical Atlantic Ocean. *Water, Air, & Soil Pollution* **2014**, 225, 7. [CrossRef]
- ⁴⁵ Kaiser, J. The dirt on ocean garbage patches. *Science* **2010**, 328, 1506. [CrossRef] [PubMed]
- ⁴⁶ Zalasiewicz, J.; Waters, C. N.; do Sul, J. I.; Corcoran, P. L.; Barnosky, A. D.; Cearreta, A.; McNeill, J. R. The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the

- Anthropocene. *Anthropocene* **2016**, 13, 4. [CrossRef]
- ⁴⁷ do Sul, J. A. I.; Costa, M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution* **2014**, 185, 352. [CrossRef]
- ⁴⁸ Browne, M. A.; Niven, S. J.; Galloway, T. S.; Rowland, S. J.; Thompson, R. C. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current Biology* **2013**, 23, 23. [CrossRef]
- ⁴⁹ Iñiguez, M. E.; Conesa, J. A.; Fullana, A. Microplastics in spanish table salt. *Scientific Reports* **2017**, 7, 1. [CrossRef]
- ⁵⁰ Bouwmeester, H.; Hollman, P. C.; Peters, R. J. Potential health impact of environmentally released micro-and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environmental Science & Technology* **2015**, 49, 15. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵¹ Kosuth, M.; Mason, S. A.; Wattenberg, E. V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS One* **2018**, 13, 4. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵² Eerkes-Medrano, D.; Thompson, R. C.; Aldridge, D. C. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritization of research needs. *Water Research* **2015**, 75, 63. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵³ Schymanski, D.; Goldbeck, C.; Humpf, H. U.; Fürst, P. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research* **2018**, 129, 154. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁴ Wright, S. L.; Thompson, R. C.; Galloway, T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution* **2013**, 178, 483. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁵ Prata, J. C. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution* **2018**, 234, 115. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁶ Sleight, V. A.; Bakir, A.; Thompson, R. C.; Henry, T. B. Assessment of microplastic-sorbed contaminant bioavailability through analysis of biomarker gene expression in larval zebrafish. *Marine Pollution Bulletin* **2017**, 116, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁷ Teuten, E. L.; Saquing, J. M.; Knappe, D. R.; Barlaz, M. A.; Jonsson, S.; Björn, A.; Ochi, D. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **2009**, 364, 1526. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁸ Talsness, C. E.; Andrade, A. J.; Kuriyama, S. N.; Taylor, J. A.; Vom Saal, F. S. Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **2009**, 364, 1526. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁹ Besseling, E.; Wang, B.; Lüring, M., & Koelmans, A. A. Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environmental Science & Technology* **2014**, 48, 12336. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶⁰ Colabuono, F. I.; Taniguchi, S.; Montone, R. C. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in plastics ingested by seabirds. *Marine Pollution Bulletin* **2010**, 60, 4. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶¹ Possatto, F. E.; Barletta, M.; Costa, M. F.; do Sul, J. A. I.; Dantas, D. V. Plastic debris ingestion by marine catfish: an unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin* **2011**, 62, 5. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶² Vendel, A. L.; Bessa, F.; Alves, V. E. N.; Amorim, A. L. A.; Patrício, J.; Palma, A. R. T. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Marine Pollution Bulletin* **2017**, 117, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶³ Santana, M. F. M.; Ascer, L. G.; Custódio, M. R.; Moreira, F. T.; Turra, A. Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: Rapid evaluation through bioassessment. *Marine Pollution Bulletin* **2016**, 106, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶⁴ Silva-Cavalcanti, J. S.; Silva, J. D. B.; de França, E. J.; de Araújo, M. C. B.; Gusmão, F. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental Pollution* **2017**, 221, 218. [CrossRef] [PubMed]

- ⁶⁵ Pegado, T. S. S., Schmid, K., Winemiller, K. O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L., Giarrizzo, T. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine Pollution Bulletin* **2018**, 133, 814. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶⁶ Costa, M. F.; Do Sul, J. A. I.; Silva-Cavalcanti, J. S.; Araújo, M. C. B.; Spengler, Â.; Tourinho, P. S. On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. *Environmental Monitoring and Assessment* **2010**, 168, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶⁷ do Sul, J. A. I.; Costa, M. F.; Barletta, M.; Cysneiros, F. J. A. Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* **2013**, 75, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶⁸ Lima, A. R. A.; Costa, M. F.; Barletta, M. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environmental Research* **2014**, 132, 146. [CrossRef] [PubMed]
- ⁶⁹ Lima, A. R. A., Barletta, M., Costa, M. F., Ramos, J. A. A., Dantas, D. V., Melo, P. A. M. C., Ferreira, G. V. B. Changes in the composition of ichthyoplankton assemblage and plastic debris in mangrove creeks relative to moon phases. *Journal of Fish biology* **2016**, 89, 619. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷⁰ Fisner, M.; Taniguchi, S.; Majer, A. P.; Bícigo, M. C.; Turra, A. Concentration and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plastic pellets: implications for small-scale diagnostic and environmental monitoring. *Marine Pollution Bulletin* **2013**, 76, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷¹ Turra, A., Manzano, A. B., Dias, R. J. S., Mahiques, M. M., Barbosa, L., Balthazar-Silva, D., Moreira, F. T. Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms. *Scientific Reports* **2014**, 4, 4435. [CrossRef]
- ⁷² Fisner, M.; Taniguchi, S.; Moreira, F.; Bícigo, M. C.; Turra, A. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plastic pellets: Variability in the concentration and composition at different sediment depths in a sandy beach. *Marine Pollution Bulletin* **2013**, 70, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷³ Taniguchi, S.; Colabuono, F. I.; Dias, P. S.; Oliveira, R.; Fisner, M.; Turra, A.; Yamashita, R. Spatial variability in persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons found in beach-stranded pellets along the coast of the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* **2016**, 106, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷⁴ Moreira, F. T., Prantoni, A. L., Martini, B., de Abreu, M. A., Stoiev, S. B., Turra, A. Small-scale temporal and spatial variability in the abundance of plastic pellets on sandy beaches: methodological considerations for estimating the input of microplastics. *Marine Pollution Bulletin* **2016**, 102, 1, 114. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷⁵ Vedolin, M. C., Teophilo, C. Y. S.; Turra, A.; Figueira, R. C. L. Spatial variability in the concentrations of metals in beached microplastics. *Marine Pollution Bulletin* **2018**, 129, 2. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷⁶ de Carvalho, D. G.; Neto, J. A. B.; Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management* **2016**, 128, 10. [CrossRef]
- ⁷⁷ Castro, R. O.; Silva, M. L.; Marques, M. R. C.; de Araújo, F. V. Evaluation of microplastics in Jurujuba Cove, Niterói, RJ, Brazil, an area of mussels farming. *Marine Pollution Bulletin* **2016**, 110, 1. [CrossRef] [PubMed]
- ⁷⁸ Olivatto, G. P.; *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, 2017. [CrossRef]
- ⁷⁹ Figueiredo, G. M., Vianna, T. M. P. Suspended microplastics in a highly polluted bay: Abundance, size, and availability for mesozooplankton. *Marine Pollution Bulletin* **2018**, 135, 256. [CrossRef]
- ⁸⁰ de Souza Petersen, E.; Krüger, L.; Dezeveski, A.; Petry, M.; Montone, R. C. Incidence of plastic debris in Sooty Tern nests: A preliminary study on Trindade Island, a remote area of Brazil. *Marine Pollution Bulletin* **2016**, 105, 1. [CrossRef] [PubMed]

Microplastics: Contaminants of global concern in the Anthropocene

Olivatto, Glaucia P.; Carreira, Renato; Tornisielo, Valdemar Luiz;
Montagner, Cassiana C.