

MARIA APARECIDA ALVES LEITE DOS SANTOS ALMEIDA

ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA DE MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DE TORNEIRA  
NA CIDADE DE BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL

BRASÍLIA, 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

MARIA APARECIDA ALVES LEITE DOS SANTOS ALMEIDA

ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA DE MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DE TORNEIRA  
NA CIDADE DE BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL

Tese apresentada como requisito parcial para a  
para obtenção do Título de Doutora em Ciências  
da Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em  
Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

Orientador: Riccardo Pratesi

BRASÍLIA

2021

MARIA APARECIDA ALVES LEITE DOS SANTOS ALMEIDA

ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA DE MICROPLÁSTICOS NA ÁGUA DE TORNEIRA  
NA CIDADE DE BRASÍLIA – DISTRITO FEDERAL

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Doutor em Ciências da Saúde pelo Programa  
de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da  
Universidade de Brasília.

Aprovado em 16 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

---

Riccardo Pratesi

Presidente - Universidade de Brasília

---

Luiz Claudio Gonçalves de Castro

Membro da Banca - Universidade de Brasília

---

Felipe Mendes dos Santos Cardia

Membro da Banca – Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal

---

Fernanda Coutinho de Almeida

Membro da Banca – Centro Universitário Unieuro

---

Lenora Gandolfi

Membro da Banca - Universidade de Brasília

Eterna gratidão:

À Maria Eduarda, minha filha, pela compreensão nos momentos de ausência e por todo amor, que com certeza me dá forças para conquistar o mundo.

Ao meu pai e amigo que ganhei nessa trajetória, Riccardo Pratesi, pelo amor, compreensão e seu exemplo como ser humano, que me ensinou que “ninguém derruba a gente”.

Aos meus pais, Duda e Marizete, por toda educação que abriu meus horizontes e me proporcionou diversas conquistas. Ao meu irmão, Jefferson, e à toda minha família que, apesar da distância física, estão sempre presentes na minha mente e no meu coração.

À estimada prima/irmã Elisangela pelo apoio e amor incondicional que me proporcionaram grande crescimento pessoal.

Enfim, a todos os meus amigos queridos, por todo o apoio e incentivo e, especialmente a Deus, por ter me mostrado o caminho para tornar meu sonho uma realidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Riccardo Pratesi, meu orientador, que me encorajou e me ensinou muito mais que a academia nos ensina, me ensinou a ser um ser humano melhor e se tornou o exemplo que quero seguir.

À Dra. Claudia Pratesi, pela amizade e cooperação na elaboração deste trabalho, e por ser referência no assunto em nosso laboratório.

Às professoras Dra. Mariana, Dra. Nadar, Dra. Lenira e Dra. Luciana, e ao Professor Dr. Luiz Claudio por todo apoio para realização deste trabalho.

Aos todos os amigos do Laboratório Interdisciplinar em Biociências, em especial a Dri, Isabela, Marcelo, Geysa, Nicole, Fernanda, Carol, Laíse e Rosinha, pelos ensinamentos e apoio durante todo o período de realização dessa pesquisa.

À Universidade de Brasília e a todos que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, por viabilizar este sonho.

## RESUMO

A poluição ambiental por resíduos plásticos é uma crise ambiental e de saúde humana que cresce rapidamente, sem sinais de controle. De 2012 a 2020, houve um aumento expressivo do número de estudos mundiais sobre poluição por plástico em todos os continentes. Plásticos de macro a nanodimensionados têm sido documentados nos ecossistemas mais remotos do planeta. Estudos têm demonstrado também preocupante contaminação por microplásticos (MPs) em vários tipos de alimentos consumidos pelo homem, incluindo frutos do mar, mel, açúcar, sal, água da torneira e engarrafada e cerveja. O objetivo deste estudo foi detectar a possível contaminação por MPs em amostras de água potável coletadas nas duas principais áreas residenciais e comerciais de Brasília (DF). Um total de 31 amostras, de 500 mL cada, de água da torneira foram coletadas nessas áreas. As amostras foram processadas e transferidas para uma câmara de contagem de Sedgewick-Rafter. A presença de partículas de MP foi analisada usando-se um microscópio de fluorescência Nikon Eclipse. MPs foram encontrados em 100% das amostras. A média de partículas microplásticas encontradas na área da Asa Sul foi  $97 \pm 78$  por cada 500 mL de água, enquanto o número médio de partículas na área da Asa Norte foi  $219 \pm 161$ . Os MPs encontrados variaram em tamanho de 6–50 microns. Os resultados do estudo revelam uma quantidade preocupante de partículas de MP na água da torneira que abastece a cidade de Brasília, considerando-se ainda que a água encanada não é a única fonte de MPs a que essa população está exposta.

Palavras-chave: microplástico; água de torneira; poluição, Brasília

## ABSTRACT

Plastic pollution is a rapidly growing environmental and human health crisis, with no sign of improvement. From 2012 to 2020, the number of studies on plastic pollution increased, and macro to nano-sized plastics have been documented in the most remote biomes of the planet. Studies have shown contamination by microplastics (MPs) in various types of food consumed by humans, including seafood, honey, sugar, salt, tap and bottled water and beer. This study's objective was to detect the possible contamination by MPs in drinking water samples collected from two main residential and commercial areas of Brasilia. A total of 31 samples (500 mL) of tap water were collected from residential and commercial areas. Samples were processed and transferred to a Sedgewick-Rafter counting cell chamber. The presence of MP particles was analyzed using a Nikon Eclipse fluorescence microscope. MPs were found in 100% of the samples. The mean microplastic particles per 500 mL found in the South Wing area was  $97 \pm 78$ , while the mean number of particles in the North Wing area was  $219 \pm 161$ , and the MPs found ranged in size from 6–50 microns. The study results reveal a disturbing amount of MP particles in Brasilia's tap water. This surprising number of particles in residential and commercial tap water is especially considering that tap water is not the only source of MPs to which people are exposed.

Keywords: microplastic; tap water; plastic pollution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tempo médio estimado de decomposição de vários itens de uso comum, plásticos e não plásticos.....	17
Figura 2. Produção mundial de plásticos, de 1950 a 2020. Estima-se que a produção tenha diminuído cerca de 0,3 por cento entre 2019 e 2020 devido aos impactos do COVID-19 na indústria .....	24
Figura 3. Os grandes giros oceânico, zonas de convergência de detritos plásticos.	26
Figura 4. Vista do giro oceânico do Pacífico Norte, evidenciando o grande acúmulo de detritos, principalmente plásticos .....	28
Figura 5. Locais de coleta de água de torneira em bares e lanchonetes localizados nas Asa Sul e Asa Norte (Brasília – DF). No centro do mapa pode ser visualizada a localização da Estação de tratamento de água da CAESB (ETA Brasília) que fornece água tanto para a Asa Sul como para a Asa Norte. ....	39
Figura 6. Gráfico comparativo exibindo o número de partículas encontradas nas amostras colhidas no comercio local de cada superquadra. Pode-se observar a grande variabilidade no número de MPs detectados em cada local de colheita.. ....	43
Figura 7. Exemplos da visualização dos MPs corados com Vermelho Nilo em amostras do estudo. A presença em várias amostras de detritos dentro da faixa de nano plásticos não permitiu uma contagem exata dessas diminutas partículas.. ....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média, mediana e quantidade máxima e mínima de MPs encontrados em amostras de água de torneira na área residencial em Brasília em estudo. ....	42
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Histórico.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Polímeros plásticos mais frequentes .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Aplicações e degradação do material plástico.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 Compostos químicos adicionados aos plásticos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Colonização dos MPs por bactérias .....</b>	<b>22</b>
<b>1.6 Poluição ambiental por detritos plásticos e MPs .....</b>	<b>22</b>
<b>1.7 Riscos potenciais para a saúde humana .....</b>	<b>29</b>
<b>1.8 Origem e tratamento da água potável .....</b>	<b>31</b>
1.8.1 Coagulação e Floculação .....	33
1.8.2 Filtração.....	33
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>34</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Prevenção de possível contaminação das amostras.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Processamento de amostras.....</b>	<b>38</b>
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Histórico

Os plásticos são polímeros, ou seja, macromoléculas de longa cadeia formadas por elos de repetição ou monômeros. Essas cadeias são resistentes à degradação, leves e duráveis, o que torna os plásticos, paradoxalmente, muito úteis e extremamente problemáticos quando descartados. Os seres humanos vêm se beneficiando do uso de polímeros desde aproximadamente 1600 a.C. quando civilizações pré-colombianas, principalmente os astecas, maias e incas descobriram como processar o látex obtido da árvore nativa *Castilla elastica* misturando com o sumo da planta *Ipomoea alba*, popularmente conhecida como dama da noite. Esse procedimento permitia a coagulação e solidificação da mistura em massa maleável elástica. Este método de obtenção da borracha se antecipou ao processo de vulcanização que somente viria a ser desenvolvido 3.500 anos mais tarde. A borracha assim obtida era utilizada na confecção de bolas sólidas, estatuetas ocas e largas bandas elásticas. Um fato interessante na história social das civilizações nesse aspecto, decorrente da descoberta da fabricação dessa substância, foi o aparecimento do jogo de bola, no qual se utilizava uma bola de borracha sólida, e tornou-se um evento importante nas sociedades mesoamericanas (44).

A partir desses primórdios a humanidade se tornou cada vez mais dependente desse tipo de material maleável, experimentando polímeros naturais, borracha, chifre, ceras e resinas, até o início do século XIX, quando começou o desenvolvimento dos modernos termoplásticos. Os avanços foram rápidos. Em 1839, Goodyear inventou a borracha vulcanizada e Eduard Simon, um farmacêutico alemão, descobriu o poliestireno (PS). O desenvolvimento de polímeros naturais e sintéticos continuou acelerado durante o século XIX, com as produções notáveis, tais como a celuloide para bolas de bilhar, o cloreto de polivinila (PVC), que ainda hoje é usado em uma miríade de aplicações e rayon para as roupas. No entanto foi nos primeiros 50 anos do século XX que os plásticos modernos realmente se expandiram. Durante esse período, pelo menos 15 novas classes de polímeros foram sintetizadas. O sucesso do plástico como material de múltiplas aplicações tem sido substancial. Ele demonstrou ser versátil para uso em grande variedade de funções e formas (5).

O termo “plástico” engloba um número significativo de diferentes polímeros, incluindo polímeros naturais, polímeros naturais modificados, plásticos termoendurecíveis, termoplásticos e, mais recentemente, plásticos biodegradáveis (5).

Os plásticos apresentam propriedades únicas. Eles podem ser usados em uma ampla gama de temperaturas, são resistentes a produtos químicos e à luz e eles são muito fortes e sólidos, mas podem ser facilmente trabalhados e moldados quando derretidos a quente. Adicionalmente, eles são baratos, resistentes à água e corrosão, quimicamente inertes e apresentam boas propriedades isolantes térmicas (5). Os plásticos podem eventualmente conter outras substâncias para melhorar seu desempenho. Uma ampla gama de materiais sintéticos, semissintéticos ou orgânicos podem ser a eles amalgamada, melhorando seu desempenho, facilitando sua modelagem em diferentes formas e tamanhos, aumentando sua flexibilidade, elasticidade e maleabilidade (92). Foi essa grande gama de propriedades associada a seu baixo custo de produção que fez o uso dos plásticos alastrar-se rapidamente nas últimas décadas, cobrindo inúmeros campos, tanto da vida cotidiana como em inúmeros setores industriais. Todo esse processo impulsionou a crescente demanda mundial por plásticos, que chegou, em 2019, a 368 milhões de toneladas fabricadas (6).

## **1.2 Polímeros plásticos mais frequentes**

A grande maioria dos plásticos existentes são produzidos a partir de materiais petroquímicos não renováveis, assim chamados porque são derivados de petróleo fóssil, gás natural e carvão. Embora literalmente centenas de materiais plásticos estejam disponíveis comercialmente, apenas alguns deles são mais frequentemente utilizados. São eles o polietileno de baixa densidade (LDPE), polietileno de alta densidade (HDPE), polipropileno (PP), cloreto de polivinila (PVC), poliestireno (PS) e tereftalato de polietileno (PET). Esses seis tipos de resinas plásticas são responsáveis por aproximadamente 90 por cento da demanda mundial (5).

O polietileno (PE) foi descoberto em 1933 e foi sintetizado pela primeira vez como resina de baixa densidade (LDPE) em 1935. Os processos de fabricação de polietileno tornaram-se progressivamente mais sofisticados e com melhor custo-

benefício. Atualmente, existem cerca de 25 diferentes processos de fabricação dos vários tipos de PEs (5).

O PE é atualmente a segunda classe de resina mais usada globalmente. Existem vários graus diferentes tipos de PE, classificados de acordo com sua densidade média, os mais comuns sendo o PE de baixa densidade (LDPE), PE de densidade média (MDPE) e PE de alta densidade (HDPE). Dos 35 milhões de toneladas dessa resina mundialmente produzidos, cerca da metade é usada para fazer filme plástico. Outras aplicações típicas de PE são recipientes moldados por sopro, como garrafas de detergente ou recipientes para leite ou então recipientes com capacidade de centenas de litros, como os utilizados para envasamento de água ou produtos químicos. Aplicações do filme de PE incluem sacolas, sacolas para sanduíches, invólucros para freezer, e filme plástico fino principalmente usado no acondicionamento de alimentos. Seu uso é extensivo na horticultura e inclui tubos para irrigação e cobertura para as culturas mais delicadas. O polietileno também é amplamente utilizado como um dielétrico isolador em cabos elétricos (5).

O polipropileno (PP) começou a ser usado em 1957, sendo atualmente o termoplástico mais amplamente utilizado em todo o mundo. É um polímero de baixo custo e de múltiplos usos tais como, filmes para embalagens, caixas para transporte e armazenamento, tampas e fechos para recipientes, garrafas, recipientes tais como potes de margarina, copos de iogurte, tabuleiros para alimentos, utilizados na indústria alimentar. É também usado na construção civil, em substituição ao vidro, em caixilhos de janelas e portas e para a fabricação de tubos de água ou esgoto. O PP é também usado em utensílios domésticos, como tigelas, chaleiras, bandejas e em bens pessoais, tais como pentes, secadores de cabelo, filmes envoltórios para roupas (5).

O cloreto de polivinila (PVC), também conhecido como policloreto, foi criado em 1872 e somente comercializado na década de 1920 nos Estados Unidos e nas seguintes décadas também na Europa. O PVC diferencia-se dos outros plásticos por conter cloro em sua fórmula além de carbono e hidrogênio. O PVC não é geralmente utilizado isoladamente, mas é misturado a uma série de diferentes substâncias para uso em uma ampla gama de produtos. Uma das grandes vantagens do PVC é a de que seu alto teor de cloro o torna praticamente não combustível sendo, portanto, largamente usado em edifícios e móveis, incluindo persianas, encanamentos e estofados (5). O PVC é um dos plásticos de uso mais generalizado. O volume total de produção global de PVC em 2018 foi de 44,3 milhões de toneladas métricas. A

previsão é que o tamanho do mercado global de PVC crescerá para cerca de 60 milhões de toneladas em 2025 (86).

O poliestireno (PS) começou a ser produzido em 1930. O PS está disponível em uma versão comum para uso generalizado e outra versão, modificada pela adição de polibutadieno, para uso em condições de alto impacto. Em 1954 surgiu o PS expandido, comumente conhecido como isopor, considerado como um excelente isolante e como material de embalagem. As xícaras e bandejas de PS expandido são comumente usados para consumo e descarte imediato, enquanto o PS usado em embalagens industriais protege bens de alto valor, como eletrônicos, TVs. e similares (5).

Finalmente, o tereftalato de polietileno (PET) surgiu em 1941 e a primeira garrafa PET foi produzida no início da década de 1970. Existem poucos polímeros potencialmente adequados para a produção de garrafas e o PET tem sido amplamente utilizado devido a ser o único plástico com um conjunto de propriedades como transparência (as garrafas apresentam quase 100% de transmissão de luz), brilho, leveza e resistência à permeação de dióxido de carbono. Estas qualidades resultaram na substituição quase completa de recipientes de vidro, com exceção de itens que requerem uma barreira ao oxigênio e resistência aos raios UV para proteger o conteúdo (5).

### **1.3 Aplicações e degradação do material plástico**

As aplicações dos materiais plásticos no mundo moderno são muitas. Eles são amplamente utilizados na construção civil, principalmente em tubulações e fiações elétricas, na fabricação de aparelhos elétricos e eletrônicos e na fabricação de meios de transporte, sejam eles terrestres, aquáticos ou aéreos. São ainda largamente usados na indústria farmacêutica de cosméticos, principalmente como recipientes e como micro esférulas. Eles têm ainda vastas aplicações em medicina e odontologia, sobretudo na fabricação de próteses. Finalmente e lamentavelmente para o meio ambiente, o plástico é o material perfeito para uso em embalagens. Embalagens são responsáveis pelo maior uso de plásticos em todo o mundo e são usadas sob várias formas, incluindo recipientes, garrafas, tambores, bandejas, caixas, copos e embalagens de venda automática, produtos para bebês e embalagens de proteção.

Infelizmente são geralmente imediatamente descartadas após o uso, se constituindo em uma das maiores fontes de poluição em nível mundial (90, 5).

Algumas características do plástico que o tornam tão atraente do ponto de vista da sua produção tornam-se preocupantes quando se trata de seu impacto ambiental. O plástico é de produção relativamente barata. Além disso, é muito leve, durável e resistente à quebra, permitindo que seja facilmente transportado por longas distâncias. Sua natureza sintética o torna resistente ao ataque de microrganismos que não evoluíram para utilizar o plástico como fonte de alimento, impedindo consequentemente sua biodegradação. Sua durabilidade é inerentemente conectada à sua estrutura química, sendo composto em grande parte, se não inteiramente, de cadeias de hidrocarbonetos. A ausência de ligações duplas em sua estrutura química fornece grande estabilidade às suas moléculas. Apesar do plástico se decompor em partículas cada vez menores por mecanismos foto-oxidativos secundários à exposição aos raios ultravioletas, suas estruturas moleculares fundamentais mudam muito pouco ao longo desse processo. O plástico não desaparece, somente torna-se micro e nano-plástico, mas continua basicamente mantendo sua estrutura química inalterada, apenas apresentando um tamanho cada vez menor, permitindo assim que sejam mais facilmente ingeridos por organismos vivos (92, 106).

As qualidades do plástico e suas múltiplas aplicações levaram populações, em todo o mundo, ao seu uso excessivo e descontrolado. O plástico é utilizado na produção de muitos produtos sendo que significativa parcela desses produtos é usada uma única vez. Sendo o plástico muito durável e de degradação extremamente lenta, a maior parte dele acaba se transformando em resíduos que progressivamente vão se acumulando no meio ambiente. O plástico não se decompõe e isso significa que todo plástico que já foi produzido e acabou no meio ambiente ainda está presente de uma forma ou de outra. A única forma de eliminar permanentemente os resíduos de plástico é a sua completa destruição por tratamento térmico, como a combustão ou pirólise (38).

Na figura 1 pode ser visualizado o tempo médio estimado necessário para a decomposição de vários itens de uso comum, tanto plásticos como não plásticos.



Figura 1 - Tempo médio estimado de decomposição de vários itens de uso comum, plásticos e não plásticos. Fonte: Cultura mix: <https://meioambiente.culturamix.com/lixo/tempo-de-decomposicao-do-lixo>

Essa tremenda atração pelo plástico, associada à inegável propensão comportamental das populações a consumir cada vez mais plásticos, em associação com o inevitável crescente descarte, resulta numa poluição que pode ter consequências catastróficas em futuro próximo. Segundo estimativa do Banco Mundial, 1,4 bilhão de toneladas de resíduos serão produzidos globalmente a cada ano, sendo que 10% deles são constituídos por plásticos (53). Em consequência do uso generalizado de produtos plásticos, estima-se que aproximadamente de 4,8 a 12.7 milhões de toneladas de resíduos entram nos oceanos, a partir de terra por ano (46). Portanto, o desperdício de plástico se tornou importante e urgente questão ambiental.

#### 1.4 Compostos químicos adicionados aos plásticos

Outro importante problema ambiental relacionado ao uso dos plásticos é o secundário à presença das várias substâncias químicas a eles adicionadas para melhorar sua qualidade. Polímeros plásticos raramente são usados por si próprios e normalmente as resinas de polímero são misturadas com vários aditivos para melhorar suas qualidades, tais como, cor e transparência, resistência à degradação por ozônio, resistência às variações térmicas, à ação dos raios ultravioleta, ao mofo, à ação das bactérias e à umidade e, adicionalmente, resistência mecânica e elétrica. Vários destes aditivos são usados em quantidades substanciais em ampla gama de produtos (65, 40).

Basicamente dois tipos de produtos químicos podem ser encontrados no plástico: (1) aditivos e matérias-primas poliméricas (por exemplo, monômeros ou oligômeros) inerentes ao próprio plástico e (2) produtos químicos absorvidos do ambiente circundante.

Dentre os produtos químicos que fazem parte da própria estrutura do plástico estão incluídas substâncias inertes para fortalecer e aumentar o volume do plástico, plastificantes, estabilizantes para raios ultravioleta, lubrificantes, corantes e retardadores de chama (40).

Substâncias usadas para fortalecer e aumentar o volume do plástico são materiais que visam modificar a resistência, as propriedades de trabalho e fluxo, e a retração do plástico, enquanto os de fortalecimento ou reforço, também chamados de enchimentos, são definidos como aqueles com algumas propriedades de resistência que são significativamente superiores às da resina base. Dentre essas encontra-se o pó de madeira ou pedra, a argila, o caulim, a grafite, as fibras de vidro, os flocos de algodão, a juta ou linho e a polpa de celulose (40).

Os plastificantes são produtos químicos complexos, insolúveis em líquidos, quimicamente estáveis, que são inseridos entre cadeias moleculares para reduzir suas forças de atração física e aumentar a sua mobilidade, maleabilidade ou distensibilidade, aumentando dessa forma a flexibilidade e a plasticidade da resina e sua resistência ao impacto durante o uso (40).

Substâncias estabilizadoras têm como função prevenir a decomposição térmica durante o processamento, e prevenir a oxidação e conseqüente à quebra das cadeias poliméricas, visto que os plásticos são particularmente sensíveis à ação da luz, da

radiação UV e do calor. Eles são principalmente constituídos por cádmio orgânico ou inorgânico, bário ou sais de chumbo (40).

Os corantes solúveis ou insolúveis são constituídos por substâncias orgânicas ou inorgânicas, sob a forma de pós finos que dão ao polímero a cor desejada. Muitos pigmentos inorgânicos contêm metais pesados, enquanto os pigmentos orgânicos incluem várias famílias cromóforas como pigmentos azo, pigmentos de ftalocianina, cromóforos de antraquinona e vários outros cromóforos (65, 40).

Lubrificantes e anti-adesivos são substâncias que facilitam o processamento do plástico, melhorando suas características de fluxo. Eles consistem em estearatos de cálcio ou magnésio (40).

Os retardadores de chama têm a função de resfriar ou proteger um material em caso de incêndio prevenindo a oxidação de gases inflamáveis ou pela formação de uma camada de cinzas. São produtos que contêm, por exemplo, o cloro e o bromo, que são liberados pela ação das chamas, o fosforo, que favorece a transformação em carvão e o hidróxido de alumínio que, quando a temperatura alcança os 200 °C gera vapor d'água e CO<sub>2</sub> (14).

Os aditivos, em quase todos os casos, não são quimicamente ligados ao polímero plástico. Apenas alguns os retardadores de chama são polimerizados junto com as moléculas de plástico, tornando-se parte da cadeia polimérica. Embora esses aditivos melhorem as propriedades dos produtos poliméricos, muitos deles são tóxicos, e seu potencial de contaminação do solo, ar e água é alto (40).

Conseqüentemente, a combinação de vários tipos de polímeros plásticos, de diferentes tamanhos e formas, encontra-se associados à ação grande quantidade de aditivos. O que resulta em um coquetel de contaminantes que não apenas altera a natureza do plástico, mas também pode contaminar o ar, a água, os alimentos e, potencialmente, os próprios seres humanos, que ficam assim expostos a um conjunto de vários produtos químicos potencialmente nocivos (65).

Muitas substâncias consideradas perigosas, de acordo com regulamentação e classificação da União Europeia, estão presentes em produtos de uso diário como ingredientes regulares (14). A toxicidade de uma substância é sua capacidade de causar efeitos prejudiciais. Esses efeitos podem atingir uma única célula, um grupo de células, um sistema orgânico ou o corpo inteiro. Produtos químicos considerados mais prejudiciais são aqueles que causam câncer, mutações no DNA, têm efeitos reprodutivos tóxicos, são capazes de se acumular na cadeia alimentar ou nos corpos,

e têm outras propriedades prejudiciais, como a de disrupção hormonal. Os órgãos internos mais comumente afetados são o fígado, os rins, o coração, o sistema nervoso (incluindo o cérebro) e o sistema reprodutor. Muitos dentre esses produtos químicos, rotineiramente usados para fazer plásticos, são perigosos (83).

Bisfenol A (BPA), ftalatos, bem como alguns dos retardadores de chama bromados, que são usados para fazer produtos e embalagens de alimentos, provaram ser desreguladores endócrinos que podem causar danos à saúde dos seres humanos se ingeridos ou inalados (14).

Produtos químicos desreguladores endócrinos (*endocrine-disrupting chemicals* - EDCs), são substâncias identificadas como exógenas ao ser humano ou ao organismo animal, com capacidade de estimular uma atividade hormonal que altera a homeostase do sistema endócrino, o que os torna particularmente preocupantes. Esses compostos interferem no desenvolvimento do sistema endócrino e afetam o funcionamento de órgãos que respondem aos sinais hormonais. Variados mecanismos procuram explicar sua ação disruptiva sobre o sistema endócrino e reprodutivo. Sua ação desreguladora pode ser consequente (1) à sua habilidade de mimetizar os hormônios naturais; (2) ou antagonizar a atividade desses hormônios; (3) alterar os padrões de síntese e do metabolismo; (4) modificar a expressão de receptores celulares específicos.

Os EDCs têm sido associados a várias doenças e condições, como às neoplasias (mama, próstata, testículos), a problemas reprodutivos (malformações genitais, infertilidade), a distúrbios metabólicos (diabetes, obesidade), à asma e às alterações do neurodesenvolvimento (distúrbios de aprendizagem, distúrbios do espectro autista). A grande e constante exposição da população através de variadas fontes, a esses produtos químicos está gerando uma crescente preocupação, principalmente em se considerando o gradativo, mas constante, aumento na incidência de muitas dessas doenças, tanto na Europa como no mundo em geral (14).

Dentre os numerosos aditivos presentes nos polímeros plásticos dois se destacam como mais preocupantes, tendo sido foco de numerosos estudos, o BPA e os ftalatos (47, 105, 95, 15, 67).

O BPA é um plastificante largamente na indústria, especialmente no processo de fabricação de plásticos de policarbonato e na produção de embalagem para alimentos. Os plásticos de policarbonato à base de BPA são robustos e estáveis, podendo resistir à exposição a altas temperaturas e aguentar consideráveis pressões

e impactos. Essas características os tornam valiosos como componentes de equipamentos de segurança e embalagens de alimentos, uma vez que resistem ao aquecimento em fornos de micro-ondas. Por ser um componente de resinas epóxi em revestimentos protetores, como o interior de alumínio e latas de metal (bem como fechos de tampa de potes e garrafas de vidro), o BPA ajuda a estender a vida útil dos alimentos e bebidas (15). Apesar de ser um composto relativamente resistente, sua instabilidade no interior de produtos contendo plástico facilita sua lixiviação, podendo ser frequentemente detectado tanto em ambientes aquáticos como em aterros sanitários (95).

A atividade estrogênica do BPA foi reconhecida desde a década de 1930 (14), mas somente recentemente foi confirmado ser ele um composto preocupante do ponto de vista de desregulação hormonal sobre o corpo humano (34). Vários estudos o associaram à obesidade, à doença cardiovascular, à distúrbios reprodutivos e à câncer, principalmente de mama (75).

Os ftalatos são uma classe de compostos produzidos em grandes quantidades, sendo a maior classe de produtos químicos sintéticos quando se considera o volume de produção. Aproximadamente 6.000.000 toneladas/ano de ftalatos são produzidos globalmente e essa produção tem se mantido bastante constante nos últimos 20 anos (14).

Os ftalatos são principalmente usados como plastificantes, sendo adicionados aos polímeros plásticos para conferir qualidades tais como flexibilidade, maleabilidade e elasticidade. São líquidos incolores, inodoros e oleosos com baixa volatilidade e baixa solubilidade em água. Existem muitos tipos de ftalatos, com diferentes efeitos sobre o meio ambiente e a saúde humana e alguns ftalatos são mais preocupantes devido a seus efeitos adversos para os seres humanos e os ecossistemas. Efetivamente, muitos ftalatos são comprovadamente desreguladores endócrinos e podem afetar a reprodução humana e de animais. A maior fonte de exposição aos ftalatos é a dieta, principalmente através do consumo de alimentos e bebidas acondicionadas em diferentes embalagens plásticas (14). Adicionalmente vários estudos sugeriram que certos ftalatos podem estar associados à eclosão de câncer de mama, desde que eles podem se ligar e ativar receptores estrogênicos (100). O problema é agravado pelo fato de que vários ftalatos têm modos de ação semelhantes e diferentes graus de risco. É conseqüentemente necessário considerar que o risco geral causado pelos ftalatos pode aumentar quando pessoas e meio ambiente são

expostos a combinações de diferentes ftalatos e de outros contaminantes químicos (41).

### **1.5 Colonização dos MPs por bactérias**

Outro aspecto importante da poluição ambiental causada pelos MPs decorre da potencial associação com uma microbiota patogênica. Recentes pesquisas têm destacado o papel dos MPs como vetores importantes para microrganismos, que podem vir a desenvolver biofilmes neste substrato artificial. Os MPs podem, portanto, fornecer substratos e nichos microbianos no ambiente aquático, sendo que os biofilmes desenvolvidos podem diferir significativamente na sua composição microbiana quando comparados com populações microbianas naturais, de vida livre, existentes na água circundante (98).

A colonização das partículas plásticas por bactérias e a subsequente formação de biofilmes é um processo relativamente rápido. Após a liberação de um item plástico no ambiente aquático, uma camada de revestimento de substâncias inorgânicas e orgânicas é formado instantaneamente. A formação subsequente de um biofilme em sua superfície é provavelmente a primeira interação com a microbiota circundante, ocorrendo dentro de minutos a horas. Biofilmes são comunidades heterogêneas formadas por bactérias, algas, protozoários e fungos e podem ser coletivamente denominados conjunto microbiano, comunidade de bioincrustação ou perifíton. A vida em um biofilme oferece aos microrganismos uma variedade de vantagens estratégicas de competição e sobrevivência, incluindo possibilidades de formação de consórcios estáveis, troca horizontal de genes, acúmulo de nutrientes e proteção contra substâncias tóxicas e contra a dessecação (81).

A influência da formação de biofilmes sobre o destino e os efeitos potenciais dos MPs ainda não está bem esclarecida. As possíveis consequências ecológicas da formação de biofilmes em MPs, sua provável transferência e seus potenciais efeitos adversos são virtualmente desconhecidos. No entanto, estão paulatinamente se acumulando evidências de que as interações biofilme-plástico têm a capacidade de influenciar o destino e impacto dos MPs sobre o meio ambiente, modificando o aspecto físico e as propriedades das partículas (81).

### **1.6 Poluição ambiental por detritos plásticos e MPs**

Apesar dos esforços fragmentários, tanto do setor privado como de agências governamentais para reduzir o acúmulo de resíduos plásticos, a quantidade desses polímeros sintéticos que flui continuamente para rios, lagos e oceanos está aumentando progressivamente, concomitantemente à aceleração da produção industrial, à globalização do consumo e à diversificação das fontes de poluição, com grande impacto sobre o ambiente e, secundariamente, sobre a saúde humana. Apesar das tímidas medidas que procuram administrar o binômio da crescente produção de plástico e do conseqüente aumento de seus resíduos, apesar do aumento do ativismo ecológico, e do aparecimento de legislaturas proibindo alguns usos do plástico, como sacolas de supermercado e microesférulas em produtos de consumo, ainda assim, a quantidade de plástico que flui para os oceanos está a caminho de dobrar, ao se considerar o período entre 2010 e 2025. Em parte, isso é devido à grande dispersão, durabilidade e a mobilidade dos MPs associada à dificuldade global em se gerenciar o plástico (22).

A dificuldade de governar apropriadamente as conseqüências ambientais da 'indústria de plásticos' cresceu significativamente nas últimas duas décadas, acompanhando as tendências econômicas de mercado e a grande expansão da venda e oferta de produtos. Os lucros para os fabricantes de produtos químicos e plásticos aumentaram rapidamente, concomitantemente com os lucros de produtores de embalagens e de toda a gama de outros produtos, incluindo varejo de alimentos, edificação e construção, transporte, material eletrônico, equipamentos para a agricultura, e produção de têxteis e automóveis, entre outros. Acompanhando o expressivo crescimento da indústria, tanto em volume como em tipos e aplicações dos plásticos, também aumentaram, globalmente, as fontes de poluição. Essa produção aumentada, consumo excessivo e maior volume de detritos se fez sentir mais agudamente em países em desenvolvimento, com padrões ambientais relativamente baixos (22).

À medida que as pressões e complexidades aumentaram, a governança global do plástico - caracterizada por autoridade fragmentada, instituições internacionais fracas, regulamentações desiguais, políticas descoordenadas, e soluções voltadas para negócios – falhou no controle da poluição global pelos resíduos desses polímeros sintéticos (22).

Devido às suas propriedades versáteis, os consumidores tornaram-se dependentes do plástico e a produção mundial de plásticos tem aumentado enormemente durante as últimas décadas. Impulsionada pelo contínuo advento de novas aplicações a produção de plásticos tem tido um aumento anual mundial de cerca de 9%. De 1,5 milhão de toneladas em 1950 chegou, em 2018 a uma produção global de pouco menos de 360 milhões de toneladas. Desse total a Europa foi a responsável pela produção de quase 62 milhões de toneladas. Os principais produtores de materiais plásticos são China, Europa e América do Norte (6). A produção global de plásticos totalizou 368 milhões de toneladas métricas em 2019. Estima-se que a produção em 2020 tenha diminuído cerca de 0,3 por cento devido aos impactos do COVID-19 na indústria (86). Na figura 2 pode ser visualizada a produção mundial de plásticos entre 1950 e 2020, por região.

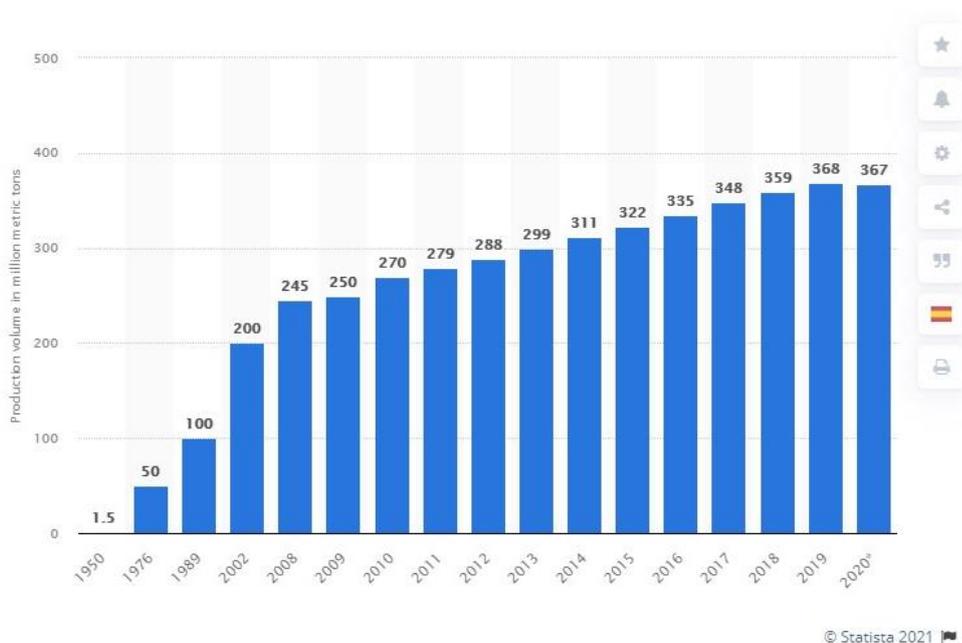


Figura 2 - Produção mundial de plásticos, de 1950 a 2020. Estima-se que a produção tenha diminuído cerca de 0,3 por cento entre 2019 e 2020 devido aos impactos do COVID-19 na indústria. Fonte:

Statista, 2021

Os oceanos são, em grande parte, os desaguadouros naturais do lixo plástico. Os plásticos são atualmente onipresentes em todos os mares e oceanos e estimativas apontam para mais de 5 trilhões de detritos de plástico (mais de 250.000 toneladas) flutuando no ambiente marinho (31). Uma quantidade considerável de tais detritos de plástico vêm de fontes continentais e entra nos oceanos provindo principalmente de

rios. Em âmbito mundial, as avaliações apontam para um total de 1,15 e 2,41 milhões de toneladas de resíduos plásticos entrando nos oceanos todos os anos através dos rios, com mais de 74% das emissões ocorrendo entre maio e outubro. A maior parte dos rios mais poluentes está localizada na Ásia, sendo responsável por 67% do total global (54). Outra importante fonte de poluição é consequente ao descarte direto de insumos provenientes de atividades industriais *offshore* como, por exemplo, extração de petróleo e gás, aquicultura, perda de redes na pesca e lixo liberado durante atividades marítimas, incluindo turismo. Dentre todo esse lixo plástico, os MPs são uma preocupação especial tanto em relação ao meio ambiente como com a saúde animal e humana principalmente devido à suas pequenas dimensões. Ainda falta uma tecnologia adequada para quantificar apropriadamente a presença dos menores MPs e, mais ainda, dos nano plásticos no meio aquático e avaliar seu potencial para causar efeitos adversos na biota marinha e, secundariamente, nos humanos (8).

Os MPs presentes no meio marinho resultam da fragmentação de detritos de plástico maiores ou podem ter sido introduzidos na água e sedimentos já como micro ou nanopartículas. Exemplos de microplásticos são esférulas e componentes de produtos diversos, como fragmentos de apetrechos de pesca, embalagens e garrafas plásticas, têxteis sintéticos, pneus de automóveis, tintas, cosméticos e produtos de cuidado pessoal (por exemplo, descamantes para a pele, géis de banho, pasta de dente) e equipamentos eletrônicos (33, 3). Consequentemente, os microplásticos englobam um conjunto de partículas com estrutura muito heterogênea que variam em tamanho, forma e composição química (42, 4). Um exemplo de poluição por MPs cada vez menores é fornecido pelos descamantes de pele ou limpadores de mãos e face.

Já na década de 1990 foi constatado que uma menor fonte de poluição por MPs era consequente a resíduos provenientes de produtos descamantes para limpeza de mãos e face, produto esses raramente usados na época pelo consumidor médio. No entanto, atualmente o consumidor médio provavelmente já usa produtos contendo micropartículas em uma base diária, sendo que os limpadores faciais atualmente contêm micro esférulas de polietileno que não são capturadas por estações de tratamento de esgoto e acabam entrando nos oceanos. A maioria das micro esférulas tem dimensões menores de 100  $\mu\text{m}$  podendo ser imediatamente ingeridas por organismos planctônicos na base da cadeia alimentar (33).

Macro e microplásticos flutuantes constituem uma fracção dos resíduos plásticos coletados no ambiente marinho. Esses resíduos movimentam-se a favor dos

ventos e das correntezas até afundarem. Tendem a se acumular em zonas de convergência denominadas de giros oceânicos que são constituídos por amplos sistemas de correntezas circulares, que provocam o acúmulo de detritos plásticos. Existem cinco maiores giros nos oceanos: os giros subtropicais do Pacífico Norte e Sul, os giros subtropicais do Atlântico Norte e Sul e o giro subtropical do Oceano Índico (Figura 3).

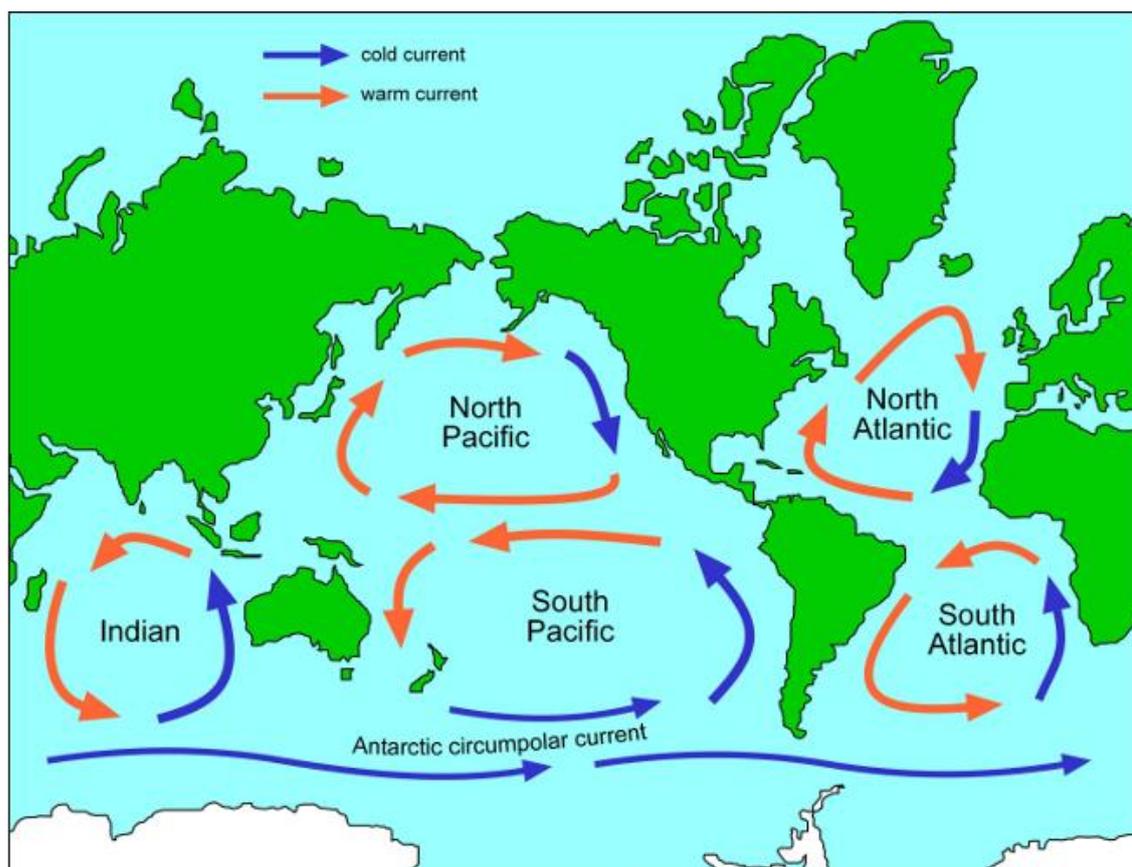


Figura 3 - Os grandes giros oceânicos, zonas de convergência de detritos plásticos. Fonte: Analysis, Disponível em: <https://pacificgyre.wordpress.com/analysis/>, acessado em 26.06.2021.

Os giros oceânicos são regiões com grande impacto antropogênico resultando em ecossistemas altamente poluídos (Figura 3). A concentração de detritos plásticos por área de superfície é relativamente comparável em cada uma das cinco zonas de acúmulo, embora o giro do Pacífico Norte contribua de forma importante à carga global de plástico (entre 33 e 35%), principalmente devido ao seu tamanho. A maior carga de detritos plásticos do giro oceânico do Pacífico Norte pode estar relacionada à alta densidade populacional da costa leste do continente asiático, que é a costa mais densamente povoada do mundo, com um terço da população costeira global (20, 31)



Figura 4 - Vista do giro oceânico do Pacífico Norte, evidenciando o grande acúmulo de detritos, principalmente plásticos. Fonte: Interpress Services. Disponível em: <<http://www.ipsnews.net/2019/06/oceans-ultimate-sump/>>. Acessado em 20.06.2021).

Outras regiões de grande acúmulo de resíduos plásticos, sejam eles macro ou microplásticos, são as regiões bentônicas e o fundo oceânico. Apesar de serem muito difíceis de serem exploradas, devido à sua relativa inacessibilidade, calcula-se que o fundo do mar e regiões bentônicas concentrem mais de 50% de todo o lixo plástico oceânico. Mesmo polímeros de baixa densidade, como é o caso do polietileno e do propileno perdem sua flutuação sob o peso de incrustações. O acúmulo de resíduos nessa região gera maior preocupação desde que a velocidade de degradação do material plástico nessas zonas de baixa luminosidade, baixas temperaturas e baixo teor de oxigênio torna a degradação do material plástico ainda mais lenta (30).

Mas é também preocupante a crescente contaminação de ambientes de água doce por macro e micropartículas plásticas (7). Estudos recentes visando detectar micro detritos plásticos em lagos e rios, têm relatado presença de MPs em maior quantidade do que as detectadas nas grandes manchas de lixo oceânicas (35, 19, 61). Para exemplificar, em pesquisa de dois anos, entre 2010 e 2012 Lechner et al (2014) estimaram que o rio Danúbio, o segundo rio mais longo da Europa, que nasce

na Alemanha e desagua no Mar Negro, era responsável pela entrada de uma massa de detritos plásticos de cerca de 4.2 t por dia, sendo a matéria-prima industrial (pellets, flocos e esférulas) a responsável por grande parte (79,4%) desse lixo plástico.

Os MPs, podem atingir altas concentrações em sistemas de água doce, de água salgada e sedimentos, tendo sido descritas concentrações de até 100.000 itens por metro cúbico em águas superficiais e de até 100.000 itens por metro quadrado em areias litorâneas. Esta alta concentração de MPs interage de várias formas com organismos e meio ambiente, grande número de espécies marinhas sendo afetadas ou mortas por esses detritos, o que os torna importante fator contributivo para a perda de biodiversidade (29). A poluição plástica, tanto a causada por macro detritos plásticos como a secundária à presença de micro ou nano plásticos tem sido documentada nos biomas mais remotos e diversos do planeta (35), estando presente desde os polos até o equador (59, 26), contaminando pesadamente a fauna marinha, recursos hídricos de água doce e todo o ecossistema de forma generalizada. Estudos realizados em vários países têm evidenciado contaminação por MPs da água e de organismos e itens utilizados na alimentação humana. Foram detectados MPs em moluscos (82), crustáceos e peixes (18), em água da torneira (52), em água engarrafada (62), cerveja (52, 57), mel (56), sal de cozinha (52, 48) e açúcar de mesa (56).

Resíduos de materiais plásticos e, principalmente MPs estão sendo cada vez mais detectados em ambientes aquáticos, incluindo oceanos, mares e fontes de água doce. Os MPs são geralmente definidos como partículas menores que 5 milímetros (mm) (3, 29), contudo, um limite inferior não está claramente definido devido à variabilidade dos métodos utilizados em cada estudo, resultando em diferentes amostragens de tamanhos de partículas (29, 63, 87, 24). Os filtros com malha de 333  $\mu\text{m}$ , comumente empregados na maioria dos trabalhos limitam a detecção de partículas menores (3, 29, 2).

Ainda assim, MPs menores (incluindo partículas de 100  $\mu\text{m}$ ) foram encontrados em várias amostras de água (87, 24). As menores partículas plásticas são geralmente denominadas de nano plásticos, apesar da definição variar bastante na literatura. Em alguns estudos a denominação de nano plásticos é atribuída a partículas de 100 nanômetros (nm) (51, 40) enquanto em outros esta denominação é reservada a partículas menores de 1  $\mu\text{m}$  (ou 0.001 mm) (21). Até o presente, partículas de plástico dentro dessa faixa de tamanho têm sido raramente submetidas à investigação e não

foram satisfatoriamente quantificadas em águas provenientes de recursos hídricos naturais (21). No entanto, substanciais quantidades de MPs de mínimo porte, com dimensões variando entre 1 e 5  $\mu\text{m}$  foram detectadas em água engarrafada comercializadas na Alemanha (72).

Os plásticos são também propositadamente produzidos sob a forma de micro esférulas para sua utilização em variados produtos, como esfoliantes em cosméticos e em outros produtos para cuidado pessoal. Cosméticos, tais como esfoliantes faciais, foram identificados como importantes poluentes primários de recursos hídricos.

Outra importante fonte de contaminação por MPs são as fibras provenientes da lavagem de roupa. Experimentos com águas residuais de máquinas de lavar domésticas demonstraram que uma única peça de roupa pode produzir >1900 fibras por lavagem (11). Outro estudo que visou caracterizar e quantificar a presença de MPs em águas efluentes, efetuado no Reino Unido estimou-se que, em média, cerca de 700.000 fibras de poliéster e acrílico podem ser liberadas após um único ciclo de lavagem de máquina de lavar com uma carga média de 6 Kg de tecido semissintético (68).

Embora eficientes estações de tratamento de águas residuais tenham a capacidade de reduzir a concentração de MPs em cerca de 98%, estima-se que 65 milhões de MPs, sob forma de esférulas e fibras, ainda sejam liberados diariamente nas águas efluentes das estações de tratamento (70, 58).

Com o aumento da produção, houve também um aumento no desperdício de plástico e conseqüente aumento de resíduos. Estima-se que mais de 10% do lixo mundial seja composto por plástico (9), com aproximadamente 120 milhões de toneladas de resíduos plásticos pós-consumo (6).

Excluindo as raras exceções de projetos de reuso de água ou dessalinização de água salgada, os mananciais de água doce são a maior fonte de água potável. Em decorrência disso, maior atenção e preocupação tem sido dada, mais recentemente, às conseqüências da crescente e potencial poluição das reservas hídricas por MPs. A presença de MPs em lagos e rios resulta em efeitos ecológicos negativos caracterizados por bioacumulação e biomagnificação tornando-se uma ameaça global para o meio ambiente (6).

## **1.7 Riscos potenciais para a saúde humana**

A natureza onipresente dos microplásticos no meio ambiente e em produtos de consumo leva à inevitável exposição da população humana a essas partículas. No entanto, as consequências desta exposição ainda não são bem compreendidas. O corpo humano é exposto a MPs através da ingestão de alimentos contendo MPs, inalação de microplásticos no ar e pelo contato dérmico dessas partículas, contidas em produtos, têxteis ou na poeira. A ingestão é considerada a principal via de exposição humana aos MPs microplásticos (37). As partículas podem atingir o sistema gastrointestinal através de alimentos contaminados levando à uma resposta inflamatória, com aumento da permeabilidade intestinal e alterações da composição e do metabolismo da microbiota intestinal (74). Existe uma grande preocupação com a possível presença de MPs nos alimentos e bebidas ingeridos. No entanto, a poeira ambiente que assenta no prato durante a alimentação (16) e a contaminação por utensílios e vasilhames de plástico ou do plástico usado acondicionamento dos alimentos (76) pode contribuir tanto ou mais para a contaminação dos alimentos.

Após a ingestão, as partículas podem ser adsorvidas no intestino pelas células M nas placas de Peyer. Esse mecanismo é dependente do grau de aderência das partículas ao muco intestinal, sendo que um maior grau de aderência facilita a eliminação das partículas (104). Outro possível mecanismo de internalização de partículas é a transferência paracelular de partículas através da camada única do epitélio intestinal (94). Por meio desses mecanismos os MPs podem alcançar sua eventual translocação para o sistema circulatório, órgãos e tecidos. Apesar de não existir ainda nenhuma evidência da presença de MPs em órgãos ou tecidos em humano, isso já foi demonstrado in vivo em animais, tanto em peixes (25) como em mamíferos (32, 23). Em recente estudo por Deng et al (2017) camundongos receberam partículas de poliestireno fluorescentes com dimensão de 5 e 20  $\mu\text{m}$ , via oral. Após 28 dias foi possível visualizar as partículas no intestino, fígado e rins. Adicionalmente os autores observaram que nos animais testados tinha havido alterações do metabolismo energético, do metabolismo dos lipídeos e estresse oxidativo.

A exposição humana através da ingestão é muito provável, uma vez que os alimentos e meio ambiente estão altamente contaminados por MPs e partículas plásticas já foram detectadas em fezes humanas. No entanto, o risco inerente à ingestão MPs não é conhecido, uma vez que pouca pesquisa foi conduzida para

estimar a total dimensão da exposição humana e de suas consequências sobre a saúde do indivíduo (84).

A inalação é outra via de exposição aos MPs. Os MPs são liberados para o ar a partir de várias fontes, incluindo têxteis sintéticos, abrasão de materiais (por exemplo, pneus de automóveis, edifícios) e ressuspensão de MPs sedimentados em superfícies. Determinações de MPs efetuadas em ambientes externos constatou concentrações de 0,3 - 1,5 partículas m<sup>3</sup> e concentrações internas de 0,4 - 56,5 partículas por m<sup>3</sup>. Em relação ao tipo, 67% das fibras analisadas em ambientes internos eram compostas por material natural, principalmente celulose, enquanto os 33% restantes continham produtos petroquímicos, sendo o polipropileno predominante. (27). De maneira geral, estima-se que haja uma inalação individual média de 26 a 130 MPs por dia (74). Em outro estudo, Vianello et al (2019) com base em amostragem de ar usando um manequim, concluiu que uma pessoa do sexo masculino com atividade leve inalaria 272 MPs por dia. As diferenças nas estimativas são provavelmente dependentes das metodologias de amostragem, bem como de fatores outros, como cronograma de limpeza, atividades no local, materiais do mobiliário e época do ano.

Análises histopatológicas de biópsias pulmonares efetuadas em trabalhadores na indústria têxtil (náilon, poliéster e acrílico) evidenciou fibrose intersticial e lesões granulomatosas de tipo corpo estranho. Os sintomas clínicos apresentados eram semelhantes à da alveolite alérgica (73). Embora a exposição ocupacional provavelmente ocorra em níveis mais elevados do que aqueles normalmente presentes no meio ambiente, esses achados evidenciam o potencial efeito deletério dos MPs no ar, principalmente levando-se em consideração sua persistência nos mais diversos ambientes e a contínua exposição dos indivíduos, por prolongados períodos (97).

## **1.8 Origem e tratamento da água potável**

Excluindo as raras exceções da execução de projetos de reuso de água ou dessalinização de água salgada, os mananciais de água doce são a maior fonte de água potável. Em decorrência disso, maior atenção e preocupação tem sido dada recentemente às consequências da crescente e potencial poluição das reservas hídricas por MPs. A presença de MPs em lagos e rios resulta em efeitos ecológicos

negativos caracterizados por bioacumulação e biomagnificação tornando-se uma ameaça global para o meio ambiente (63).

Dentre os vários meios através dos quais os MPs podem afetar o ser humano a água afigura-se como um dos principais veículos de poluição. Existem múltiplos meios pelos quais a água pode se tornar contaminada por MPs desde sua nascente até chegar às torneiras. Além daquela diretamente consumida a água entra na composição e preparo dos alimentos, sejam eles industrializados ou caseiros, e nas mais diversas bebidas industrializadas e comercializadas, além de inúmeras outras possíveis vias de contaminação menos evidentes. Praticamente toda a água que se consome, é proveniente de estações de tratamento e, afora as eventuais filtrações complementares posteriores, efetuadas pelo usuário, sua pureza depende da qualidade do tratamento a que ela é submetida nessas estações (63).

A região do Distrito Federal é rica em recursos hídricos, pela sua proximidade com a bacia das Águas Emendadas, ponto de onde flui, para lados opostos, a água que irá formar a grande Bacias do Tocantins-Araguaia e da Bacia Platina. Com o acelerado processo de urbanização do Distrito Federal e de seu entorno muitas de suas nascentes extinguiram-se ou sofreram variáveis graus de poluição o que resultou, em anos recentes, em grave crise de abastecimento de água (13).

O projeto inicial de Brasília é composto por uma área administrativa central e por setores residenciais e comerciais de cada lado da área central denominadas de Asa Sul e Asa Norte. Esses núcleos residenciais/comerciais, que atualmente possuem uma população aproximada de 220.000 habitantes, predominantemente classe socioeconômica média ou média alta (13).

Essas áreas têm o seu suprimento de água fornecido pela mesma estação de tratamento da Companhia de Águas e Esgotos de Brasília (caesb), cujas estações utilizam os mesmos procedimentos de tratamento, descritos abaixo segundo a CAESB (13).

Os procedimentos adotados pela CAESB são:

**Coagulação e floculação:** nestas etapas as impurezas presentes na água são agrupadas pela ação do coagulante, em partículas maiores (flocos) que possam ser removidas pelo processo de decantação. Os reagentes utilizados são denominados de coagulantes, que normalmente são o Sulfato de Alumínio e o Cloreto Férrico. Nesta etapa também poderá ser necessária a utilização de um alcalinizante (cal hidratada ou cal virgem) que fará a necessária correção de pH para uma atuação mais efetiva

do coagulante. Na coagulação ocorre o fenômeno de agrupamento das impurezas presentes na água e na floculação, a produção efetiva de flocos.

**Decantação:** Nesta etapa os flocos formados são separados da água pela ação da gravidade em tanques normalmente de formato retangular.

**Filtração:** a água decantada é encaminhada às unidades filtrantes onde é efetuado o processo de filtração. Um filtro é constituído de um meio poroso granular, normalmente areia, de uma ou mais camadas, instalado sobre um sistema de drenagem, capaz de reter e remover as impurezas ainda presentes na água.

**Desinfecção:** Para efetuar a desinfecção de águas de abastecimento utiliza-se um agente físico ou químico (desinfetante), cuja finalidade é a destruição de microrganismos patogênicos que possam transmitir doenças através das mesmas. Normalmente são utilizados em abastecimento público os seguintes agentes desinfetantes, em ordem de frequência: cloro, ozona, luz ultravioleta e íons de prata. A Caesb utiliza como agente desinfetante o cloro na sua forma gasosa, que é dosado na água através de equipamentos que permitem um controle sistemático de sua aplicação.

### 1.8.1 Coagulação e Floculação

Nestas etapas, as impurezas presentes na água são agrupadas pela ação do coagulante, em partículas maiores (flocos) que possam ser removidas pelo processo de decantação. Os reagentes utilizados são denominados de coagulantes, que normalmente são o Sulfato de Alumínio e o Cloreto Férrico.

### 1.8.2 Filtração

A água decantada é encaminhada às unidades filtrantes onde é efetuado o processo de filtração.

**Fluoretação:** A fluoretação da água de abastecimento público é efetuada através de compostos à base de flúor. A aplicação destes compostos na água de abastecimento público contribui para a redução da incidência de cárie dentária em até 60%, se as crianças ingerirem desde o seu nascimento quantidades adequadas de íon fluoreto. A Caesb utiliza como agentes fluoretantes em suas unidades de tratamento o fluossilicato de sódio e o ácido fluossilícico. A dosagem média utilizada de íon fluoreto é de 0,8 mg/L de acordo com a temperatura local.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Diante da existência de potencial possibilidade de contaminação da água fornecida à cidade de Brasília (DF) por microplásticos, e a inexistência desse tipo de avaliação no DF, viu-se a necessidade de verificar os impactos dos resultados deste estudo para que possa auxiliar a tomada de medidas de saúde pública pelos órgãos competentes.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Geral**

Avaliar semi-quantitativamente a presença de MPs em amostras de água encanada urbana coletadas nas duas principais áreas de Brasília (DF)

#### **3.2 Específicos**

Investigar variáveis que possam estar correlacionadas à quantificação de microplásticos na água de torneira em Brasília (DF).

## 4 MÉTODOS

Amostras de água da torneira ( $n = 31$ ) foram coletadas em vários pontos das duas áreas residenciais/comerciais localizadas em cada lado da área central da cidade, Asa Sul e Asa Norte. Estas duas áreas fazem parte do núcleo inicial da cidade e compreendem 32 superquadras (16 em cada Asa), com uma média de 10 prédios de apartamentos e três a quatro blocos comerciais em cada superquadra.

As superquadras são cercadas por pequenas áreas comerciais (quadras comerciais) composta por lojas, bancos, minimercados, bares, lanchonetes, padarias e restaurantes locais.

Amostras de água foram coletadas aleatoriamente em bares e lanchonetes nessas áreas comerciais no ano de 2018, durante o período compreendido entre a segunda quinzena de abril (Asa Norte) e a primeira quinzena de maio (Asa Sul). Somente foram colhidas amostras dos locais não equipados com sistema de pré-filtragem de água pelos seguintes motivos: (1) o objetivo do trabalho era avaliar a qualidade da água de torneira, tal como chega ao consumidor a partir de sua origem na estação de tratamento de água; (2) os sistemas de pré-filtragem variam em sua capacidade de purificação da água, o que impediria uma comparação efetiva entre a água filtrada e não filtrada; (3) em experimento prévio, utilizando filtros comerciais de carvão ativado foi constatado que praticamente todos os MPs eram eliminados, apesar de não ter sido possível, por falta de recursos laboratoriais, verificar se nanopartículas eram também filtradas.

As amostras foram colhidas em um horário semelhante, entre às 15 e 17 horas. A escolha desses horários foi devida ao fato de ser esse um horário de menor movimentação nesse tipo de estabelecimentos, obtendo-se assim uma maior cooperação de parte dos funcionários. Os locais de coleta podem ser visualizados na Figura 5, marcados por pontos vermelhos.

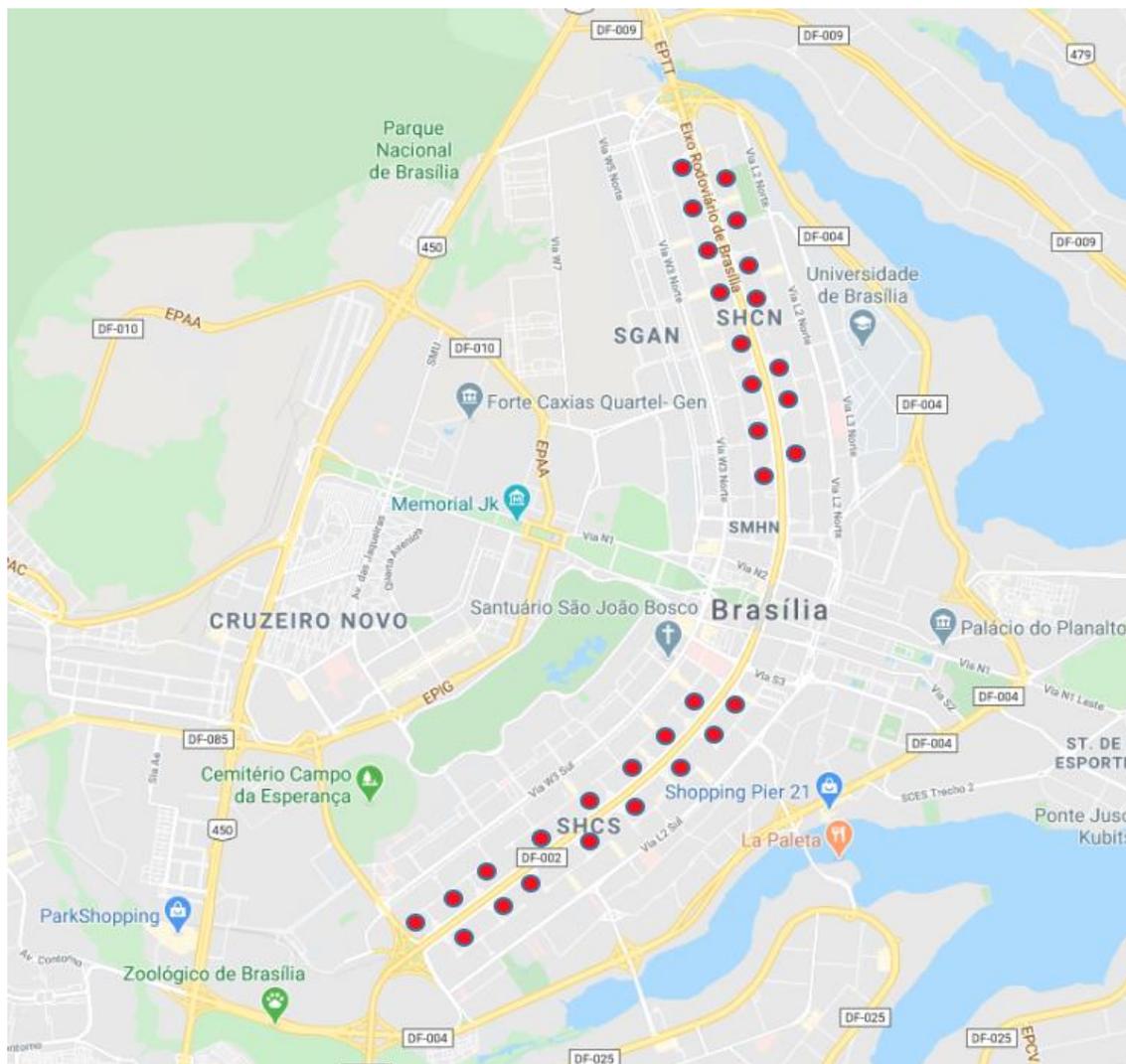


Figura 5 - Locais de coleta de água de torneira em bares e lanchonetes localizados nas Asa Sul e Asa Norte (Brasília – DF). No centro do mapa pode ser visualizada a localização da Estação de tratamento de água da CAESB (ETA Brasília) que fornece água tanto para a Asa Sul como para a Asa Norte. Fonte: Google Maps

A água potável de toda a área em estudo é proveniente da mesma estação de tratamento de água – ETA da CAESB (ETA Brasília). A ETA Brasília, além da Asa Sul e Asa Norte, fornece água as seguintes localidades: Cruzeiro, Sudoeste, Octogonal, Lago Norte, Paranoá, Itapoã, Lago Sul e Jardim Botânico. Todas as unidades de tratamento de água da empresa (um total de 10) usam o mesmo sistema de filtragem direta. Este tratamento, como já mencionado, consiste em coagulação e floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (13).

#### 4.1 Prevenção de possível contaminação das amostras

Evitou-se o contato das amostras com materiais plásticos durante a coleta, preparação e análise das amostras. Para coleta das amostras foram usados frascos de vidro de laboratório com tampa também de vidro. Antes da coleta das amostras, todas as garrafas utilizadas na coleta foram lavadas e enxaguadas com água Milli-Q® (Merck Group). Os instrumentos e as superfícies de trabalho foram limpos com álcool a 100%, incluindo as áreas internas das câmaras de fluxo. Jalecos (material de algodão) e luvas de látex foram usados durante o estudo. Todas as garrafas, instrumentos e superfícies foram novamente limpos com água Milli-Q® após a análise de cada amostra. Câmara de fluxo laminar foi utilizada durante o processo de análise (Pachane Biotechnology Pa410, Piracicaba, SP, Brasil). Para garantir não ter havido contaminação plástica adicional durante a coleta, preparação ou análise de amostras, controles de água Milli-Q® foram preparados e analisados usando o mesmo procedimento das amostras de água da torneira, incluindo armazenamento nos frascos de coleta de amostras.

As amostras foram coletadas em duplicata, em frascos de vidro âmbar de laboratório, com capacidade para 500 mL cada. Os frascos foram completados após deixar a água escorrer da torneira por no mínimo um minuto, até o ponto de transbordamento. Com a água ainda correndo, as garrafas foram enchidas e esvaziadas por duas vezes, sendo posteriormente enchidas pela terceira vez e imediatamente tampadas com tampa de vidro esmerilhado.

#### **4.2 Processamento de amostras**

A água coletada em cada frasco foi transferida, dentro de câmara de fluxo laminar, para um balão de fundo plano de 500 mL, ao qual foram adicionados 1,37 g/mL de  $ZnCl_2$  (60). A mistura foi agitada vigorosamente e deixada repousar durante a noite, para permitir a flotação dos MPs. O sobrenadante foi (50 mL) foi transferido para um balão de fundo plano graduado de 50 mL que foi deixado em repouso por mais quatro horas permitindo nova flotação. Uma alíquota de 800  $\mu$ L do sobrenadante foi adicionada à 200  $\mu$ L de uma solução de corante Vermelho Nilo em concentração de 10  $\mu$ g/mL<sup>-1</sup>. O Vermelho Nilo é um corante que é absorvido pela superfície do plástico e a torna fluorescente quando irradiada com luz ultravioleta. Análise da imagem permite que as partículas fluorescentes sejam identificadas e contadas (60).

Após um tempo de incubação de 30 minutos, o resultante volume final de 1 mL foi transferido para uma câmara de células de contagem Sedgewick Rafter. A câmara Sedgewick Rafter, composta por 1000 quadrantes, compreende um volume total de 1 mL ou 1000  $\mu\text{L}$ , com cada quadrante correspondendo a 1  $\mu\text{L}$ . A presença de partículas de MPs foi analisada usando o microscópio de fluorescência Nikon Eclipse Ni-U usando o filtro FITC (comprimento de onda: 475-625 nm). Foram analisados 100 quadrantes aleatórios, o que corresponde a 10% da área total da câmara. Um simples cálculo de proporcionalidade permitiu determinar a quantidade de MPs em 500 ml da água analisada (60).

## 5 RESULTADOS

Trinta e uma amostras de 500 mL de água foram analisadas em relação à presença de MPs. Todas as amostras analisadas foram positivas para a presença de MPs. A quantidade média de MPs encontrada em 500 mL de água coletada na Asa Sul foi de 97 partículas enquanto, na Asa Norte a média foi de 219 (Tabela 1). A soma de todos as micropartículas colhidas nos vários pontos de coleta da Asa Sul resultou em um total de 1.691. Na Asa Norte esse total foi de 3.533 MPs.

Tabela 1. Média, mediana e quantidade máxima e mínima de MPs encontrados em amostras de água de torneira na área residencial em Brasília em estudo.

	Média	Mediana	máximo	mínimo
Asa Sul	97	78	228	24
Asa Norte	219	161	597	48

Na Figura 6 são visualizadas as diferentes quantidades de MPs encontrados nas amostras colhidas no comercio local de cada superquadra, podendo ser observada uma grande variabilidade no número de MPs detectados em cada local de colheita. A variabilidade das quantidades de MPs detectadas, associada à presença de valores discordantes, principalmente na Asa Norte tornam a importância do cálculo da média e da mediana pouco significativo.

Em linha direta a distância aproximada entre a estação de tratamento de água da CAESB e os pontos de coleta variou, na Asa Sul de 20 Km no ponto de coleta mais distante a 12 Km no ponto mais próximo. Na Asa Norte a distância do ponto de coleta mais distante foi de aproximadamente 16 Km e o mais próximo 10 Km. Nenhuma correlação foi possível entre o grau de poluição de cada ponto de coleta e a distância da estação de tratamento de água.

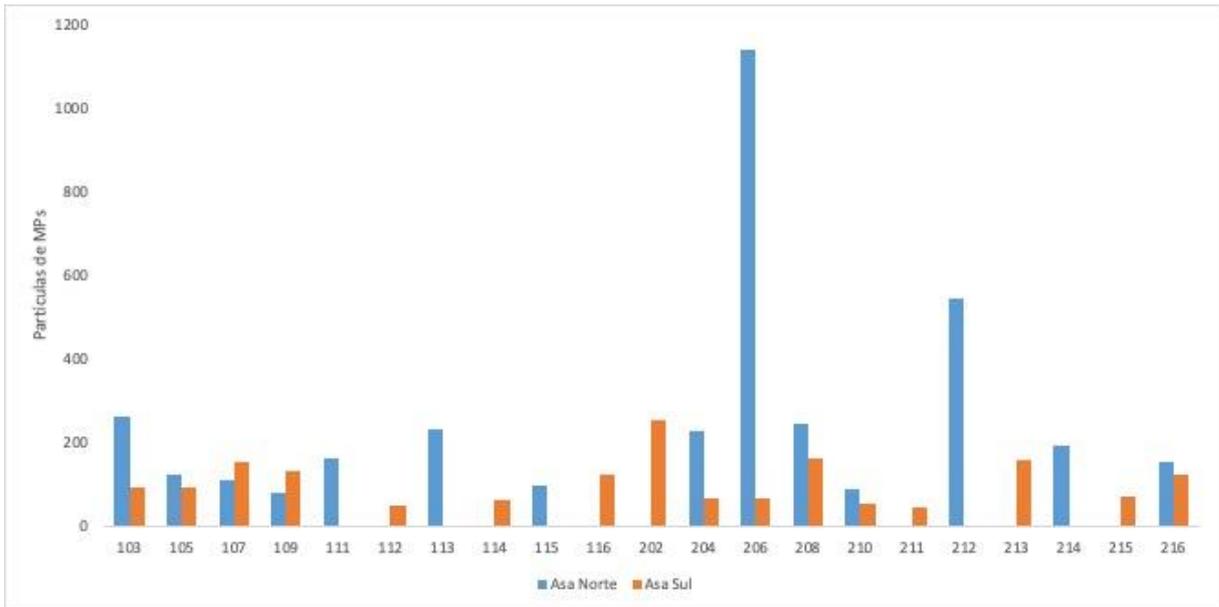


Figura 6 - Gráfico comparativo exibindo o número de partículas encontradas nas amostras colhidas no comercio local de cada superquadra. Pode-se observar a grande variabilidade no número de MPs detectados em cada local de colheita.

As dimensões das micropartículas que puderam ser visualizadas não diferiram em suas dimensões entre as várias amostras analisadas, o seu tamanho variando entre 50 micra a 5 mm. Observou-se também a presença de inúmeras partículas menores que, devido ao seu diminuto tamanho não permitiram contagem, mesmo que aproximada (Figura 7).

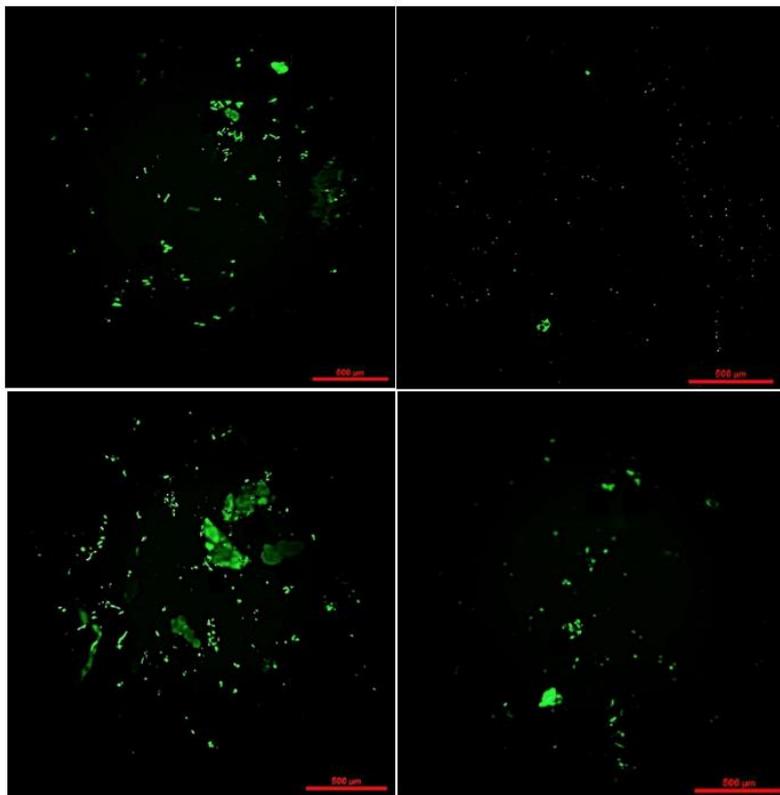


Figura 7- Exemplos da visualização dos MPs corados com Vermelho Nilo em amostras do estudo. A presença em várias amostras de detritos dentro da faixa de nano plásticos não permitiu uma contagem exata dessas diminutas partículas.

## 6 DISCUSSÃO

Embora este não seja o primeiro estudo que analisa a contaminação por MPs tendo em vista que vários estudos anteriores focaram na contaminação tanto de água de torneira como de água engarrafada, este é o primeiro estudo que analisa a qualidade da água com relação à contaminação por MPs, de uma grande área urbana.

Em comparação a estudos anteriores, que analisaram contaminação de sistemas de água doce (29), tanto água de torneira (52, 103) como água engarrafada (63) foi surpreendente a quantidade de partículas de MPs encontradas em cada amostra, principalmente se considerar que muitas partículas eram diminutas demais para permitir uma contagem precisa. Adicionalmente, devido ao método utilizado (flotação em solução de alta densidade) é provável que, na presente pesquisa, partículas mais pesadas não tenham sido capturadas, sendo conseqüentemente possível que o número de partículas tenha sido subestimado (45, 99).

Além do grande número de MPs detectados no estudo também foi surpreendente a disparidade de resultados encontrados. Ao se comparar o total de partículas micro plásticas encontradas na Asa Sul com o número de MPs detectados na Asa Norte, imediatamente nota-se significativa diferença entre as duas (1.691 vs 3.533), apesar das duas receberem a água da mesma estação de tratamento de água (ETA Brasília).

Uma explicação plausível, apesar de ser de difícil comprovação, seria a concernente ao tipo de tubulações mais utilizadas em cada área. As edificações da Asa Sul são em geral mais antigas, boa parte tendo sido construída nas décadas de 60 e 70 quando o uso de tubos de ferro galvanizado prevalecia nas instalações hidráulicas dos prédios. Por outro lado, na Asa Norte houve um grande impulso à construção civil principalmente a partir da década de 80, quando o uso de tubos de PVC em instalações hidráulicas estava se generalizando.

É possível, apesar de, novamente, ser de difícil comprovação, que o progressivo desgaste e erosão dos tubos de PVC libere partículas micro plásticas. Em que pese a ampla pesquisa bibliográfica não foi possível identificar qualquer estudo que comprovasse a liberação de micropartículas plásticas por tubulações de PVC. Possivelmente este fato seja decorrente da dificuldade em determinar se os MPs eram originários das águas efluentes das estações de tratamento de água e distribuídas na rede domiciliar após depuração, ou se provinham de uma possível erosão das tubulações de PVC. É fato reconhecido que os sistemas convencionais de tratamento de água conseguem eliminar da água mais de 90% dos MPs preexistentes. No entanto, esses sistemas ainda são classificados como as principais fontes de liberação de MPs na água (102).

Não obstante a aparente inexistência de estudos focando a liberação de MPs por tubulações de PVC a liberação de micropartículas por desgaste e erosão parece ser possível e existem pesquisas que sugerem que isso seja provável. Liberação de MPs foi comprovada a partir tanto das tampas de plástico como da superfície interna de garrafas PET, principalmente após uso repetitivo (101).

As possíveis diferenças entre os sistemas hidráulicos utilizados nas duas áreas podem, em parte, justificar a maior quantidade de MPs encontrados na Asa Norte, mas não explica as marcantes diferenças entre os vários pontos de coleta. Tentativamente, dois fatores podem ser considerados como possivelmente

responsáveis: chuvas excessivas no período e racionamento de água devido à crise hídrica pela qual a região de Brasília passou nos anos de 2017 e 2018.

A coleta das amostras foi efetuada de forma aleatória e em dias variados, entre a segunda quinzena de abril (Asa Norte) e a primeira quinzena de maio (Asa Sul). Esse período foi caracterizado por intensas chuvas em Brasília (G1-DF, 2018). É sabido que o escoamento de águas pluviais aumenta o número de detritos, inclusive plásticos, nos reservatórios e ocasiona sobrecarga nas estações de tratamento de água, o que pode ocasionar diferenças no acúmulo de MPs, dependendo se a amostra colhida em dias estios ou chuvosos.

Adicionalmente, o fato de as amostras terem sido colhidas durante um período de racionamento de água cria um eventual problema esvaziamento das caixas de água e seu subsequente súbito reenchimento o que poderia originar redemoinhos e resuspensão de partículas sedimentadas no fundo da caixa de água. Infelizmente correlação entre o local de colheita da amostra e sua relação com o dia de racionamento de água do local não foi efetuada na ocasião.

Uma terceira hipótese, também de difícil comprovação porque essa informação raramente estava disponível, é a relacionada à higienização das caixas de água. É possível que as diferentes rotinas de lavagem das caixas de água, tenha influenciado o número de MPs detectados nos diferentes locais, uma caixa de água raramente lavada, recebendo uma súbita carga de água em cima de um apreciável sedimento de detritos pode aumentar muito o número de MOPs detectados.

De forma real, a confiança do público em relação à qualidade da água fornecida para consumo domiciliar no Brasil é geralmente baixa, devido à pouca confiança nos processos de tratamento e poucas pessoas bebem água não filtrada, diretamente da torneira.

Duas pesquisas foram realizadas em Brasília em 2019 enfocando o uso de água potável. A primeira foi efetuada por meio de questionário distribuído *on-line* em redes sociais, englobando 1.250 participantes e a segunda efetuada por meio de entrevista pessoal, entre famílias de baixa renda, em áreas suburbanas da cidade (Pratesi CB, dados não publicados) tiveram os seguintes resultados. A pesquisa *on-line* revelou que 65% das pessoas utilizavam sistemas domésticos de filtragem de água, como filtragem de carvão ativado, 12% usavam filtro de terracota e 19% preferiam comprar água engarrafada. Entretanto, entre as famílias de baixa renda observou-se que pouco mais de 50% bebiam água diretamente da torneira o restante

utilizando filtros de barro ou água de poço. Adicionalmente, a pesquisa *on-line* detectou que a maioria das pessoas, cerca de 80%, não usava água filtrada para lavar frutas e legumes ou cozinhar, já que uma das principais preocupações dos usuários era a possibilidade de transmissão de parasitas pela água, tais como giárdia ou ameba e água fervente (durante o processo de cozimento), eliminaria esses parasitas. No entanto, como demonstrado por Munno et al (2018) a água fervente contaminada por MPs não elimina os MPs. Embora não tenhamos pesquisado restaurantes e não tenha sido perguntado nos bares e lanchonetes, é provável presumir que os alimentos e, possivelmente também sucos e outras bebidas servidas sejam preparados com água da torneira sem filtragem adicional.

Adicionalmente os MPs apresentam um grande potencial tóxico (30). Os grandes detritos de plástico, ao se desintegrarem tornando-se MPs, aumentam sua biodisponibilidade à medida que se tornam menores (39) e passam a apresentar maior probabilidade de adsorver produtos químicos tóxicos. Considera-se que seu papel de carreadores de produtos químicos potencialmente tóxicos pode resultar em lesões teciduais, apesar de ainda não existirem estudos com efetiva avaliação do risco que esses produtos químicos eventualmente adsorvidos podem representar para a saúde humana (91).

O potencial efeito tóxico dos produtos químicos estaria também relacionado à própria composição dos polímeros, que raramente são usados puros. As resinas de polímero são tipicamente misturadas com vários aditivos para melhorar seu desempenho em relação à resistência, rigidez, flexibilidade e impedir o crescimento microbiano. Esses aditivos não são quimicamente ligados à matriz de polímeros plásticos e são suscetíveis à lixiviação para o ambiente externo (97). Existe possibilidade real para a liberação constante desses produtos químicos, pois os plásticos continuam progressivamente a se fragmentar; esses poluentes podem ser liberados após a ingestão ou inalação serem transferidas para os tecidos circundantes. A lixiviação de produtos químicos e outros resíduos hidrofóbicos associados a contaminantes orgânicos nos tecidos pode causar efeitos deletérios à saúde humana e causando distúrbios endócrinos, distúrbios imunológicos, câncer e ou mutagênese (97).

Poliuretanos, cloreto de polivinil (PVC), resinas epóxi e polímeros de estireno foram identificados como plásticos com grande potencial ambiental adverso e efeitos prejudiciais para a saúde humana e animal, sendo classificados como cancerígenos,

mutagênicos ou ambos (90, 97). Substâncias químicas usadas na fabricação de plásticos foram também correlacionadas com efeitos adversos, incluindo anormalidades reprodutivas (89, 88). Os níveis atuais de exposição segura são tipicamente baseados na aplicação de premissas toxicológicas tradicionais relacionadas à efeitos agudos de substâncias tóxicas e podem não ser efetivos na análise de efeitos da exposição diária à produtos químicos por períodos de tempo prolongados. Mais estudos tornam-se necessários para determinar as consequências toxicológicas dessa exposição continuada aos MPs, especialmente em populações suscetíveis, como crianças e mulheres grávidas (89, 88).

Além dos plásticos que passam pelo processo de foto-oxidação sendo progressivamente reduzidos a MPs e nano plásticos, também existem microesferas que são usadas pela indústria cosmética e farmacêutica em produtos como esfoliantes, lavagem facial, protetor solar e creme dental (22). Um número crescente de estudos em todo o mundo demonstrou que as estações de tratamento de águas residuais não são capazes de capturar MPs (63). O resultado é uma descarga diária constante de trilhões de microesferas que vão das estações de tratamento de volta ao ambiente natural e daí, em muitos casos, de volta para ambientes de água doce terrestre e, conseqüentemente, de volta ao uso doméstico (79).

Desde 2012, como resposta à pressão pública, as empresas começaram a eliminar voluntariamente microesferas e governos de todo o mundo também promulgaram proibições (78). Em novembro de 2018, o Comitê da Câmara Brasileira de Desenvolvimento Econômico, Indústria, Comércio e Serviços aprovou o projeto de lei 6528/16 que proibiria a fabricação, importação e venda de produtos de higiene pessoal e cosméticos contendo microesferas de plástico. Se aprovada, a lei prevê um período de transição de 36 meses após a publicação oficial para a indústria adotar as medidas impostas pela nova lei. É um primeiro passo para mitigar os efeitos nocivos provocados pelo acúmulo exponencial de lixo plástico.

### **Limitações do Estudo:**

Este estudo apresentou algumas limitações. Idealmente a coleta deveria ter sido feita no mesmo dia e aproximadamente nas mesmas horas. Isso não foi efetuado porque iria requerer vários pesquisadores simultaneamente para cobrir toda a área pesquisada. A coleta foi efetuada durante vários dias devido a outros encargos inescapáveis de trabalho e estudo da pesquisadora/coletora.

Outra limitação importante foi a questão de disponibilidade de equipamentos e a metodologia utilizada. Não tivemos à disposição equipamentos que possibilitassem uma identificação mais precisa das partículas, tais como a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e a espectroscopia de Raman. De modo geral, a metodologia utilizada para detecção e identificação das partículas tem suas limitações. É provável que o uso do método de flotação das partículas tenha deixado de detectar partículas muito pequenas, especialmente as nanopartículas ou partículas que, por adesão de outros contaminantes, tenham se tornado mais densas do que a água.

A coloração pelo corante Vermelho Nilo identifica indubitavelmente o que é plástico, apesar de não identificar qual o polímero, o que poderia ser efetuado pela aplicação da espectroscopia de Raman ou FTIR. Apesar da coloração pelo Vermelho Nilo identificar satisfatoriamente os MPs, na análise microscópica torna-se difícil visualizar e contar partículas diminutas. Autores tem usado softwares sofisticados, como por exemplo o Galaxy Count Software, que é um sistema capaz de enumerar todas as partículas fluorescentes, por pequenas que sejam, em relação ao fundo preto, não-fluorescente (62).

## **7 CONCLUSÃO**

O estudo demonstrou que existe uma considerável contaminação por MPs na água potável distribuída em Brasília. Comparando nossos resultados com estudos internacionais observa-se uma contaminação significativamente maior em nossa água. Também foi observada considerável variabilidade do nível de contaminação entre as regiões e os vários locais pesquisados, provavelmente decorrentes de aleatórios incidentes no momento da colheita.

## REFERÊNCIAS

1. AMBROGI, Veronica et al. Additives in polymers. In: **Modification of polymer properties**. William Andrew Publishing, 2017. p. 87-108.
2. ANDERSON, Philip J. et al. Microplastic contamination in lake Winnipeg, Canada. **Environmental Pollution**, v. 225, p. 223-231, 2017.
3. ANDRADY, Anthony L. Microplastics in the marine environment. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596-1605, 2011.
4. ANDRADY, Anthony L. The plastic in microplastics: A review. **Marine pollution bulletin**, v. 119, n. 1, p. 12-22, 2017.
5. ANDRADY, Anthony L.; NEAL, Mike A. Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1977-1984, 2009.
6. ASSOCIATION OF PLASTIC MANUFACTURERS. (2016). Plastics – the Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plásticas Europe. Disponível em: [https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf); Acessado em 05.03.2020.
7. BALDWIN, Austin K.; CORSI, Steven R.; MASON, Sherri A. Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: relations to watershed attributes and hydrology. **Environmental science & technology**, v. 50, n. 19, p. 10377-10385, 2016.
8. BARBOZA, Luís Gabriel Antão et al. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. **Marine pollution bulletin**, v. 133, p. 336-348, 2018.

9. BARNES, David KA et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 2009.
10. BLETTLER, Martín CM; WANTZEN, Karl M. Threats underestimated in freshwater plastic pollution: mini-review. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, n. 7, p. 1-11, 2019.
11. BROWNE, Mark Anthony et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 21, p. 9175-9179, 2011.
12. BROWNE, Mark Anthony et al. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. **Current biology**, v. 23, n. 23, p. 2388-2392, 2013.
13. CAESB. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Como a água é tratada. Disponível em <https://www.caesb.df.gov.br/como-a-agua-e-tratada.html>, acessado em 11.03.2020.
14. CAMPANALE, Claudia et al. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 4, p. 1212, 2020.
15. CARIATI, Federica et al. Bisphenol a: an emerging threat to male fertility. **Reproductive Biology and Endocrinology**, v. 17, n. 1, p. 1-8, 2019.
16. CATARINO, Ana I. et al. Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. **Environmental pollution**, v. 237, p. 675-684, 2018.

17. CHANG, Xiaoru et al. Potential health impact of environmental micro-and nanoplastics pollution. **Journal of Applied Toxicology**, v. 40, n. 1, p. 4-15, 2020.
18. COLE, Matthew et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2588-2597, 2011.
19. CORCORAN, Patricia L. et al. Hidden plastics of Lake Ontario, Canada and their potential preservation in the sediment record. **Environmental Pollution**, v. 204, p. 17-25, 2015.
20. CÓZAR, Andrés et al. Plastic debris in the open ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 28, p. 10239-10244, 2014.
21. DA COSTA, Joao Pinto et al. (Nano) plastics in the environment—sources, fates and effects. **Science of the Total Environment**, v. 566, p. 15-26, 2016.
22. DAUVERGNE, Peter. Why is the global governance of plastic failing the oceans?. **Global Environmental Change**, v. 51, p. 22-31, 2018.
23. DENG, Yongfeng et al. Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2017.
24. DI, Mingxiao; WANG, Jun. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 1620-1627, 2018.
25. DING, Jiannan et al. Accumulation, tissue distribution, and biochemical effects of polystyrene microplastics in the freshwater fish red tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Environmental pollution**, v. 238, p. 1-9, 2018.

26. DO SUL, Juliana A. Ivar et al. Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic. **Marine pollution bulletin**, v. 75, n. 1-2, p. 305-309, 2013.
27. DRIS, Rachid et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. **Environmental pollution**, v. 221, p. 453-458, 2017.
28. DRIS, Rachid et al. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?. **Marine pollution bulletin**, v. 104, n. 1-2, p. 290-293, 2016.
29. EERKES-MEDRANO, Dafne; THOMPSON, Richard C.; ALDRIDGE, David C. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. **Water research**, v. 75, p. 63-82, 2015.
30. ENGLER, Richard E. The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 22, p. 12302-12315, 2012.
31. ERIKSEN, Marcus et al. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. **PloS one**, v. 9, n. 12, p. e111913, 2014.
32. EYLES, J. et al. The transfer of polystyrene microspheres from the gastrointestinal tract to the circulation after oral administration in the rat. **Journal of pharmacy and pharmacology**, v. 47, n. 7, p. 561-565, 1995.
33. FENDALL, Lisa S.; SEWELL, Mary A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. **Marine pollution bulletin**, v. 58, n. 8, p. 1225-1228, 2009.

34. FENICHEL, Patrick; CHEVALIER, Nicolas; BRUCKER-DAVIS, Françoise. Bisphenol A: an endocrine and metabolic disruptor. In: **Annales d'endocrinologie**. Elsevier Masson, 2013. p. 211-220.
35. FREE, Christopher M. et al. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. **Marine pollution bulletin**, v. 85, n. 1, p. 156-163, 2014.
36. GALGANI, François; HANKE, Georg; MAES, Thomas. Global distribution, composition and abundance of marine litter. In: **Marine anthropogenic litter**. Springer, Cham, 2015. p. 29-56.
37. GALLOWAY, Tamara S. Micro-and nano-plastics and human health. In: **Marine anthropogenic litter**. Springer, Cham, 2015. p. 343-366.
38. GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science advances**, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017.
39. GREGORY, Murray R. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2013-2025, 2009.
40. HAHLADAKIS, John N. et al. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. **Journal of hazardous materials**, v. 344, p. 179-199, 2018.
41. HAUSER, Russ; CALAFAT, A. M. Phthalates and human health. **Occupational and environmental medicine**, v. 62, n. 11, p. 806-818, 2005.

42. HIDALGO-RUZ V, GUTOW L, Thompson RC, Thiel M. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ. Sci. Technol.* 2012; 46: 3060–3075.
43. HOLMES, L. A.; Turner, A.; Thompson, R. C. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environ. Pollut.* 2012, 160 (1), 42–48.
44. HOSLER, Dorothy; BURKETT, Sandra L.; TARKANIAN, Michael J. Prehistoric polymers: rubber processing in ancient Mesoamerica. **Science**, v. 284, n. 5422, p. 1988-1991, 1999.
45. IMHOF, Hannes K. et al. A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. **Limnology and oceanography: methods**, v. 10, n. 7, p. 524-537, 2012.
46. JAMBECK, Jenna R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015.
47. JOBLING, Susan et al. A variety of environmentally persistent chemicals, including some phthalate plasticizers, are weakly estrogenic. **Environmental health perspectives**, v. 103, n. 6, p. 582-587, 1995.
48. KARAMI, Ali et al. The presence of microplastics in commercial salts from different countries. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2017.
49. KHAN, Farhan R. et al. Influence of polyethylene microplastic beads on the uptake and localization of silver in zebrafish (*Danio rerio*). **Environmental pollution**, v. 206, p. 73-79, 2015.
50. KOCH, Holger M.; CALAFAT, Antonia M. Human body burdens of chemicals used in plastic manufacture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2063-2078, 2009.

51. KOELMANS, Albert A.; BESSELING, Ellen; SHIM, Won J. Nanoplastics in the aquatic environment. Critical review. **Marine anthropogenic litter**, p. 325-340, 2015.
52. KOSUTH, Mary; MASON, Sherri A.; WATTENBERG, Elizabeth V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. **PloS one**, v. 13, n. 4, p. e0194970, 2018.
53. KUMAR, Atul; SAMADDER, Sukha Ranjan. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 69, p. 407-422, 2017.
54. LEBRETON, L. C. M. et al. River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.* 8, 15611. 2017.
55. LECHNER, Aaron et al. The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. **Environmental pollution**, v. 188, p. 177-181, 2014.
56. LIEBEZEIT, Gerd; LIEBEZEIT, Elisabeth. Non-pollen particulates in honey and sugar. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 30, n. 12, p. 2136-2140, 2013.
57. LIEBEZEIT, Gerd; LIEBEZEIT, Elisabeth. Synthetic particles as contaminants in German beers. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 31, n. 9, p. 1574-1578, 2014.
58. LIU, Weiyi et al. A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms. **Environment International**, v. 146, p. 106277, 2021.
59. LUSHER, Amy L. et al. Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. **Scientific reports**, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2015.

60. MAES, Thomas et al. A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2017.
61. MANI, Thomas et al. Microplastics profile along the Rhine River. *Sci Rep* 5: 17988. 2015.
62. MASON, S. A.; WELCH, V. G.; NERATKO, J. Synthetic polymer contamination in bottled water. *Front Chem* 6: 407. 2018.
63. MASON, Sherri A. et al. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. **Environmental pollution**, v. 218, p. 1045-1054, 2016.
64. MATO, Yukie et al. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. **Environmental science & technology**, v. 35, n. 2, p. 318-324, 2001.
65. MEEKER, John D.; SATHYANARAYANA, Sheela; SWAN, Shanna H. Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2097-2113, 2009.
66. MUNNO, Keenan et al. Impacts of temperature and selected chemical digestion methods on microplastic particles. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2018.
67. MUSTIELES, Vicente et al. Bisphenol A and its analogues: A comprehensive review to identify and prioritize effect biomarkers for human biomonitoring. **Environment international**, v. 144, p. 105811, 2020.
68. NAPPER, Imogen E. et al. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. **Marine pollution bulletin**, v. 99, n. 1-2, p. 178-185, 2015.

69. NEL, Andre et al. Toxic potential of materials at the nanolevel. **science**, v. 311, n. 5761, p. 622-627, 2006.
70. NGO, Phuong Linh et al. Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants. **Environmental Pollution**, v. 255, p. 113326, 2019.
71. OEHLMANN, Jörg et al. A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2047-2062, 2009.
72. OßMANN, Barbara E. et al. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. **Water research**, v. 141, p. 307-316, 2018.
73. PIMENTEL, J. Cortez; AVILA, R.; LOURENÇO, A. Galvão. Respiratory disease caused by synthetic fibres: a new occupational disease. **Thorax**, v. 30, n. 2, p. 204-219, 1975.
74. PRATA, Joana Correia. Airborne microplastics: consequences to human health?. **Environmental pollution**, v. 234, p. 115-126, 2018.
75. REZG, Raja et al. Bisphenol A and human chronic diseases: current evidences, possible mechanisms, and future perspectives. **Environment international**, v. 64, p. 83-90, 2014.
76. RIST, Sinja et al. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 720-726, 2018.
77. ROCHMAN, Chelsea M. et al. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. **Scientific reports**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2013.
78. ROCHMAN, Chelsea M. et al. Scientific evidence supports a ban on microbeads. 2015.

79. ROCHMAN, Chelsea M. Microplastics research—from sink to source. **Science**, v. 360, n. 6384, p. 28-29, 2018.
80. ROCHMAN, Chelsea M.; HENTSCHEL, Brian T.; TEH, Swee J. Long-term sorption of metals is similar among plastic types: implications for plastic debris in aquatic environments. **PLOS one**, v. 9, n. 1, p. e85433, 2014.
81. RUMMEL, Christoph D. et al. Impacts of biofilm formation on the fate and potential effects of microplastic in the aquatic environment. **Environmental science & technology letters**, v. 4, n. 7, p. 258-267, 2017.
82. SANTANA, M. F. M. et al. Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: rapid evaluation through bioassessment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 106, n. 1-2, p. 183-189, 2016.
83. SCHUBERT, Jack. A program to abolish harmful chemicals. **Ambio**, p. 79-89, 1972.
84. SCHWABL, Philipp et al. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. **Annals of internal medicine**, v. 171, n. 7, p. 453-457, 2019.
85. STAPLES, Charles A. et al. A review of the environmental fate, effects, and exposures of bisphenol A. **Chemosphere**, v. 36, n. 10, p. 2149-2173, 1998.
86. STATISTA. Disponível em:  
<https://www.statista.com/statistics/720296/global-polyvinyl-chloride-market-size-in-tons/>. Acessado em 25.06.2021
87. SU, Lei et al. Microplastics in taihu lake, China. **Environmental Pollution**, v. 216, p. 711-719, 2016.

88. SWAN, Shanna H. Environmental phthalate exposure in relation to reproductive outcomes and other health endpoints in humans. **Environmental research**, v. 108, n. 2, p. 177-184, 2008.
89. SWAN, Shanna H. et al. Study for Future Families Research Team: Decrease in anogenital distance among male infants with prenatal phthalate exposure. **Environ Health Perspect**, v. 113, n. 8, p. 1056-1061, 2005.
90. THOMPSON, Richard C. et al. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2153-2166, 2009.
91. TOUSSAINT, Brigitte et al. Review of micro-and nanoplastic contamination in the food chain. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 36, n. 5, p. 639-673, 2019.
92. VERT, Michel et al. Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012). **Pure and Applied Chemistry**, v. 84, n. 2, p. 377-410, 2012.
93. VOLKHEIMER, Gerhard. Hematogenous dissemination of ingested polyvinyl chloride particles. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 246, p. 164-171, 1975.
94. VOLKHEIMER, Gerhard. Hematogenous dissemination of ingested polyvinyl chloride particles. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 246, p. 164-171, 1975.
95. VOM SAAL, Frederick S.; MYERS, John Peterson. Bisphenol A and risk of metabolic disorders. **Jama**, v. 300, n. 11, p. 1353-1355, 2008.
96. WAGNER, Martin; OEHLMANN, Jörg. Endocrine disruptors in bottled mineral water: total estrogenic burden and migration from plastic

- bottles. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 16, n. 3, p. 278-286, 2009.
97. WRIGHT, Stephanie L.; KELLY, Frank J. Plastic and human health: a micro issue?. **Environmental science & technology**, v. 51, n. 12, p. 6634-6647, 2017.
98. YANG, Yuyi et al. Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 104, p. 6501-6511, 2020.
99. ZHAO, Shiye et al. Limitations for microplastic quantification in the ocean and recommendations for improvement and standardization. In: **Microplastic contamination in aquatic environments**. Elsevier, 2018. p. 27-49.
100. ZUCCARELLO, Pietro et al. Implication of dietary phthalates in breast cancer. A systematic review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 118, p. 667-674, 2018.
101. WINKLER A, Santo N, Ortenzi MA, Bolzoni E, Bacchetta R, Tremolada P. Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles?. **Water Res.** 2019.
102. BRETAS Alvim C, Mendoza-Roca JA, Bes-Piá A. Wastewater treatment plant as microplastics release source - Quantification and identification techniques. **J Environ Manage.** 2020.
103. PIVOKONSKY M, Cermakova L, Novotna K, Peer P, Cajthaml T, Janda V. Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. **Sci Total Environ.** 2018.
104. ENSIGN, L.M., Schneider, C., Suk, J.S., Cone, R. and Hanes, J. Mucus Penetrating Nanoparticles: Biophysical Tool and Method of Drug and Gene Delivery. **Adv. Mater.** 2012.

105. STAPLES CA, Dorn PB, Klecka GM, O'Block ST, Harris LR. A review of the environmental fate, effects, and exposures of bisphenol A. **Chemosphere**. 1998.
106. SHARMA S, Chatterjee S. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. **Environ Sci Pollut Res Int**. 2017.