

## CAPÍTULO 9

# Poluição por microplásticos e sua relação com as roupas que lavamos

*Maria Carolina Garcia Peixoto Sacchi  
Wânia Duleba<sup>1</sup>*

### RESUMO

Este capítulo aborda a poluição por microplásticos (MP), com foco nas microfibras liberadas ao se lavarem roupas sintéticas, como poliéster, acrílico e poliamida. O objetivo é analisar a relação entre a liberação de microfibras plásticas durante a lavagem doméstica de roupas e os fatores envolvidos. As microfibras plásticas são liberadas ao se lavarem roupas, poluindo os ecossistemas aquáticos, tornando-se uma crescente preocupação ambiental devido aos impactos potenciais na vida marinha e na saúde humana. A pesquisa usa abordagem bibliométrica, buscando dados em bases como Scopus e Web of Science. Foram analisados 171 artigos sobre microplásticos, microfibras e lavagem doméstica de roupas. Apesar da dificuldade em se compararem os trabalhos entre si, devido à falta de padronização nos métodos utilizados nos artigos, resultados mostram que parâmetros de lavagem, como tipo de detergente, temperatura da água e duração do ciclo, influenciam a liberação de

---

1 Os autores agradecem à Milena Maltese Zuffo pelo auxílio na parte jurídica. O presente trabalho foi realizado com apoio da Capes – Código de Financiamento 001.

microfibras. Características dos artigos têxteis, como tipo de fibra e construção do tecido, também afetam a quantidade liberada. Compreender os fatores que contribuem para a liberação de microfibras é fundamental para se desenvolverem estratégias de mitigação e controle dessa poluição. A revisão ressalta a necessidade de mais pesquisas que padronizem métodos de análise das microfibras, bem como a normalização dos métodos de lavagem dos têxteis. Além disso, o estudo destaca a atenção por parte de formuladores de políticas ambientais e legisladores no sentido de aprovarem normas que exijam a implementação de filtros para se reterem MP nas máquinas de lavar roupas, como já é exigido pela lei aprovada na França. Em conclusão, este estudo contribui para uma visão abrangente da poluição por MP resultante da lavagem de roupas, destacando a importância de práticas sustentáveis na escolha de produtos têxteis e no manejo adequado do descarte de resíduos plásticos.

**Palavras-chave:** poluição por microplásticos; microfibras; máquina de lavar; lavanderia doméstica; impacto ambiental.

#### ABSTRACT

This chapter addresses microplastic (MP) pollution, with a focus on microfibers released when washing synthetic garments, such as polyester, acrylic, and polyamide. The aim is to analyze the relationship between the release of plastic microfibers during domestic laundry and the factors involved. Plastic microfibers are released during clothing washing, polluting aquatic ecosystems, becoming a growing environmental concern due to potential impacts on marine life and human health. The research employs a bibliometric approach, seeking data from databases such as Scopus and Web of Science. We analyzed 171 articles on microplastics, microfibers, and domestic laundry. Despite the difficulty in comparing the studies due to the lack of standardization in the methods used in the articles, the results indicate that washing parameters, such as detergent type, water temperature, and cycle duration, influence the release of microfibers. Characteristics of textile articles, such as fiber type and fabric construction, also affect the quantity released. Understanding the factors contributing to microfiber release is crucial for developing mitigation and control strategies for this pollution. The review emphasizes the need for more research that standardizes methods for analyzing microfibers, as well as the normalization of textile washing methods. Additionally, the study highlights the attention of environmental policy makers and legislators in enacting regulations that require the implementation of filters to capture MP in washing machines, as is already mandated by the law passed in France. In conclusion, this study contributes to a comprehensive understanding

of MP pollution resulting from clothing washing, emphasizing the importance of sustainable practices in textile product selection and proper management of plastic waste disposal.

**Keywords:** microplastics; microfibers; washing machine; household laundry; environmental impact.

## 9.1 INTRODUÇÃO

A poluição por microplásticos (MP) se tornou uma preocupação ambiental crescente, com impactos potencialmente significativos para a vida marinha e de outros ambientes aquáticos, e, por extensão, para a saúde humana (De Falco *et al.*, 2019). Uma fonte relevante e até então subestimada de MP é a lavagem de roupas produzidas com fibras sintéticas, como poliéster, poliamida e acrílico. Durante o processo de lavagem, pequenas partículas de plástico, conhecidas como microfibras, são liberadas do tecido e podem acabar poluindo os ecossistemas aquáticos (Conley *et al.*, 2019). Isso ocorre porque as estações de tratamento de esgoto (ETE) não são capazes de filtrar os MP das águas residuais.

Este capítulo de revisão bibliográfica tem como objetivo realizar uma análise de estudos existentes sobre a poluição por MP resultante da lavagem doméstica de roupas. Especificamente, buscou-se investigar a relação entre a liberação de microfibras plásticas durante o processo de lavagem e os principais fatores envolvidos nesse fenômeno. Não são analisados aqui trabalhos referentes a lavagens industriais e comerciais.

Dentre os fatores a serem abordados nesta revisão estão o tipo de detergente utilizado, a temperatura da água, a duração do ciclo de lavagem e as características dos artigos têxteis, como o tipo de fibra sintética e a estrutura do tecido. A análise desses fatores permitirá uma compreensão mais completa dos mecanismos que contribuem para a liberação de MP no ambiente durante o ciclo de lavagem das roupas, realizadas no dia a dia nas nossas casas.

As perguntas norteadoras deste trabalho emergem como: quais são os principais fatores que influenciam a liberação de microfibras plásticas durante a lavagem de roupas domésticas? e Qual é o estado atual do conhecimento científico sobre o assunto? Com base na revisão da literatura científica disponível, buscamos fornecer uma visão abrangente dos avanços e lacunas no entendimento dessa problemática, destacando áreas que requerem maior investigação e atenção por parte da comunidade científica.

Compreender os fatores que contribuem para a liberação dessas microfibras plásticas durante o processo de lavagem de roupas é um passo fundamental para se desenvolverem estratégias eficazes de mitigação e controle dessa forma de poluição.

## 9.2 MÉTODOS

Para o referencial teórico sobre as características gerais dos MP, foram consultados trabalhos de referências e revisões (Hale *et al.*, 2020; Peng *et al.*, 2020; Andrady, 2017; Frias; Nash, 2019; Cesa *et al.*, 2017, entre outros). Para o tema relacionado à poluição por MP e lavagem doméstica, foi realizada uma revisão bibliográfica não sistemática e não exaustiva de artigos da área de Ciências Ambientais nas bases de dados Scopus

e Web of Science. O recorte temporal considerou apenas os artigos publicados até julho de 2023, momento em que foi realizada a última triagem. Dado que o tema em questão é recente, não foi necessário estabelecer um intervalo de tempo específico. Durante a pesquisa, foram utilizadas palavras-chave combinadas por operadores booleanos, a saber: ((“microplastics” OR “microplastic pollution”) AND (“microfiber”) AND (“washing machine” OR “household laundry”)). Depois de se selecionarem os artigos nos dois bancos de dados, as duplicatas foram removidas.

Posteriormente, foi utilizado o programa VOSviewer versão 1.6.17 para gerar redes de publicações científicas, países (Figura 9.1), termos de coocorrência (Figura 9.2), cocitação de referências (Figura 9.3) etc. Nos gráficos gerados, a distância entre dois nós indica o grau de relacionamento entre eles (Van Eck; Waltman, 2010) e o tamanho dos nós é proporcional ao número de vezes que a palavra-chave aparece.

### 9.3 FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 9.3.1 Definição e características gerais dos microplásticos

A descoberta das micropartículas de plástico no ambiente aquático remonta a 1972, quando grandes quantidades de pequenas partículas foram avistadas flutuando na superfície do Mar dos Sargaços (Crawford; Quinn, 2017; Laglbauer *et al.*, 2014). Inicialmente chamadas “partículas de plástico”, foi apenas com a publicação de Thompson (2004) que o termo moderno “microplástico” foi introduzido. Desde então, a falta de uma definição padronizada para os MP tem sido um desafio para a pesquisa nessa área.

Dentre as divergências, destaca-se a questão do tamanho dos MP, com diferentes estudos adotando limites superiores e inferiores distintos. Enquanto a definição proposta por Arthur *et al.* (2009) é amplamente utilizada, considerando partículas menores que 5 mm, alguns estudos mencionam tamanhos entre 1 e 20  $\mu\text{m}$ , e outros ainda consideram tamanhos acima de 1  $\mu\text{m}$  (Hale *et al.* 2020; Frias; Nash, 2019; Andrady, 2017).

Diante dessa falta de padronização, Frias e Nash (2019) propuseram uma definição abrangente para MP como “quaisquer partículas sólidas sintéticas ou matrizes poliméricas, com forma regular ou irregular e com tamanho variando de 1  $\mu\text{m}$  a 5 mm, de origem primária ou secundária, que são insolúveis em água”. Essa definição, que abarca diversos critérios, como tamanho, forma, densidade, composição química e origem, tem sido utilizada por vários autores (NOAA, 2021; Peng *et al.*, 2020; Rochman *et al.*, 2019).

Quanto à origem, os MP podem ser classificados como primários ou secundários. Fontes primárias incluem *pellets* de plástico usados como matéria-prima na indústria

ou presentes em produtos de higiene e cuidados pessoais, como esfoliantes e cremes (Barboza; Gimenez, 2015; Peng, 2017; Piehl *et al.*, 2019). Já os MP secundários são resultantes da fragmentação de plásticos maiores (como garrafas e sacolas), que se degradam gradualmente em partículas menores devido a processos físicos, biológicos e químicos no ambiente (Da Costa *et al.*, 2016). Outra importante fonte de MP secundários é a abrasão de pneus e a liberação de fibras plásticas durante a lavagem de roupas feitas de materiais sintéticos, como poliéster, acrílico e poliamida (Napper; Thompson 2020).

Os MP são compostos por diversos polímeros e podem conter uma variedade de aditivos. Utilizados em uma infinidade de produtos, esses MP são descritos em pelo menos sete morfologias diferentes e podem ser encontrados em diversas cores. Uma vez no ambiente, têm a capacidade de absorver contaminantes químicos, incluindo metais pesados e poluentes orgânicos persistentes (Rochman *et al.*, 2019).

A ocorrência dos MP é global, abrangendo mares (Suaria *et al.*, 2020), lagos de água doce (Earn *et al.*, 2021), rios (Blair *et al.*, 2019), praias (Piehl *et al.*, 2019), regiões polares (Adams *et al.*, 2021; Lusher *et al.*, 2015), ambientes terrestres internos e externos (Dris *et al.*, 2017). Relatos de contaminação por MP têm sido registrados até mesmo em áreas remotas, como montanhas de alta altitude (Napper *et al.*, 2020) e mar profundo (Reineccius *et al.*, 2020). A contaminação não se limita ao ar que respiramos, alcançando diversos alimentos consumidos pelo ser humano.

A poluição por MP afeta, portanto, a água limpa e o saneamento (ODS 6), o ambiente marinho (ODS 14) e a vida na Terra (ODS 15), tornando-se uma ameaça à saúde ambiental, devido à disseminação de MP transportados pelo ar.

### 9.3.2 Microfibras plásticas

As microfibras são principalmente liberadas a partir dos artigos têxteis (Adams, 2021) e da fragmentação de tecidos maiores que ocorre durante a produção e o uso de têxteis, bem como de artigos têxteis descartados (Vethaak; Martínez-Gómez, 2020). O Programa da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional – NOAA (2021) também classificou o MP na categoria de microfibras, que são oriundas de fibras sintéticas, como poliéster, poliamida ou acrílico, usadas para fazer roupas, móveis e até mesmo redes e linhas de pesca. Com o uso geral, a lavagem e a secagem, as fibras podem se separar de itens maiores, criando MP secundários.

Têxteis e roupas sintéticos são uma grande fonte de poluição por MP (SAPEA, 2019). Segundo Gago *et al.* (2018), as microfibras estão entre os tipos mais prevalentes de resíduos de MP observados no meio ambiente. Nem todas as fibras são sintéticas; elas incluem uma variedade de fibras naturais usadas para roupas e outros têxteis, como algodão, linho, lã e seda, bem como compostos sintéticos, como acrílicos, po-

liéster, poliamida, polipropileno etc. No entanto, a composição dessas fibras é difícil de identificar, e muitos estudos simplesmente assumem que todas as microfibras são MP (Ryan *et al.*, 2020). As microfibras artificiais de celulose, como viscose, modal e *lyocel*, são relativamente persistentes e se acumulam no meio ambiente (Adams *et al.*, 2021).

A fabricação de têxteis, o desgaste e o aumento do consumo têm levado ao acúmulo dessas fibras no ambiente natural (Suaria *et al.*, 2020). A produção global de fibras quase dobrou nos últimos 20 anos, passando de 58 milhões de toneladas em 2000 para 113 milhões de toneladas em 2021, com previsão de crescimento para 149 milhões em 2030 (Textile Exchange, 2022). As fibras sintéticas dominaram o mercado de fibras desde meados da década de 1990, quando ultrapassaram os volumes de algodão. Somente em 2021, a fibra de poliéster representou 54% do total da produção global de fibras, com cerca de 68 milhões de toneladas produzidas. A produção global de fibras por pessoa aumentou de 8,4 quilos por pessoa em 1975 para 14,3 quilos por pessoa em 2021 (Textile Exchange, 2022).

O baixo custo de produção e a facilidade com que as fibras de poliéster podem ser fabricadas solidificam ainda mais suas vantagens sobre as fibras naturais (Carr, 2017). A previsão de crescimento do mercado de fibra sintética é de 7,4% anualmente entre 2023 e 2030 (GVR, 2023). Como o uso de têxteis sintéticos continua a aumentar e a produção mundial de fibras sintéticas ultrapassa a demanda de fibras naturais, o problema das microfibras liberadas no ambiente pode ser ainda mais grave no futuro (Acharya *et al.*, 2021).

Essas microfibras são liberadas durante o processo de lavagem e podem seguir trajetórias complexas, entrando nos sistemas de tratamento de águas residuais, alcançando os oceanos por meio de efluentes tratados e outras fontes não pontuais. Essa contaminação por microfibras plásticas representa um desafio significativo para a conservação do ambiente aquático, a qualidade da água e a saúde humana.

## 9.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

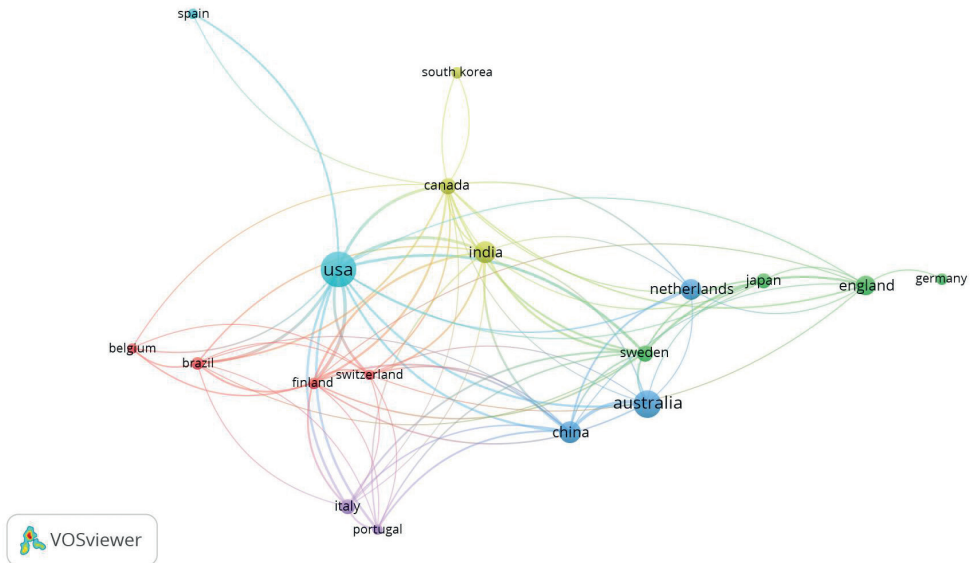
### 9.4.1 Análise bibliométrica

Foram encontrados 187 artigos relacionados a MP, microfibras e lavagem doméstica de roupas na pesquisa realizada nas bases de dados Web of Science (171) e Scopus (16). Os 16 artigos do Scopus foram eliminados para se evitarem redundâncias.

Dentre os 171 artigos selecionados, 153 são originais, 17 são provenientes de conferências, 9 são revisões e 4 estão em acesso antecipado.

As publicações são provenientes de diversos países, com destaque para Estados Unidos (35 publicações), Austrália (21 publicações), Índia e China (13 publicações

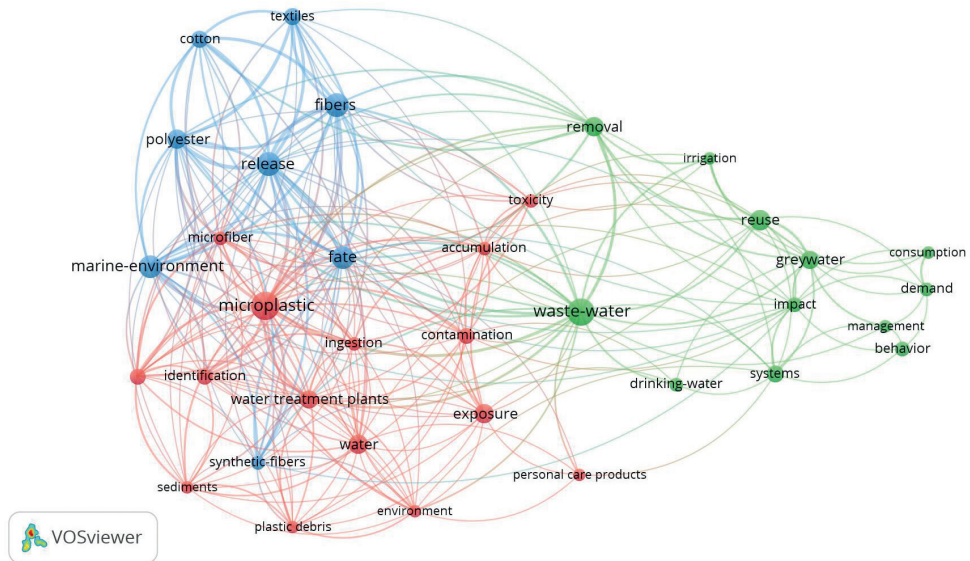
cada) e Países Baixos (12 publicações). Secundariamente, seguem Inglaterra (11 publicações), Canadá (9 publicações), Suécia e Japão (8 publicações cada), Itália (7 publicações), Brasil (4 publicações) e outros países europeus e africanos, como Bélgica, Egito, Burkina Faso, Nigéria e Malawi (Figura 9.1).



**Figura 9.1** Mapa dos países com maior quantidade de artigos sobre microplásticos e lavagem doméstica de roupas sintéticas.

No tocante às palavras-chave encontradas nos artigos selecionados, os termos mais frequentes foram *microplastics*, *microfibers*, *household laundry*, *greywater* e *wastewater*, que apresentaram 23, 22, 22, 17 e 14 ocorrências, respectivamente (Figura 9.2). A Figura 9.2 mostra uma rede, em que o tamanho do nó é proporcional ao número de publicações e a espessura das linhas e as cores indicam a qual *cluster* o item pertence. As informações de *cluster* são particularmente úteis para fornecer uma visão geral da atribuição de itens aos *clusters* e da forma como quais esses grupos de itens estão relacionados entre si.





**Figura 9.2** Rede de termo de coocorrência sobre poluição por microplásticos, microfibras e máquina de lavar doméstica.

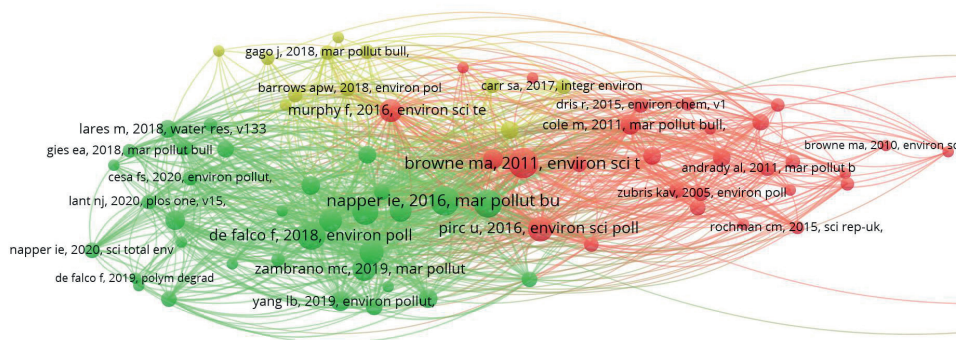
Os primeiros artigos foram publicados na década de 1990. Nos vinte anos seguintes, esses estudos se concentraram na análise das substâncias orgânicas e inorgânicas presentes nos efluentes e nas águas superficiais produzidas nas residências, bem como no estudo de seus impactos no meio ambiente. É importante notar que, nos trabalhos iniciais, não havia menção explícita de que a lavagem de roupas sintéticas poderia gerar microfibras, sendo, portanto, uma fonte de poluição. Somente em 2011, com o estudo de Browne *et al.*, ficou evidenciada a relação entre a lavagem de roupas sintéticas e a poluição por microplásticos. Ressalta-se que este último estudo representa o artigo mais citado, considerando a análise de cocitação de referências (Tabela 9.1). Com as referências citadas com no mínimo de dez citações, há 28 referências citadas. Na Tabela 9.1, a lista com as cinco primeiras referências mais citadas, e na Figura 9.3 a representação da rede bibliométrica entre as referências.

**Tabela 9.1** Cocitação de referências das referências citadas com no mínimo de dez citações

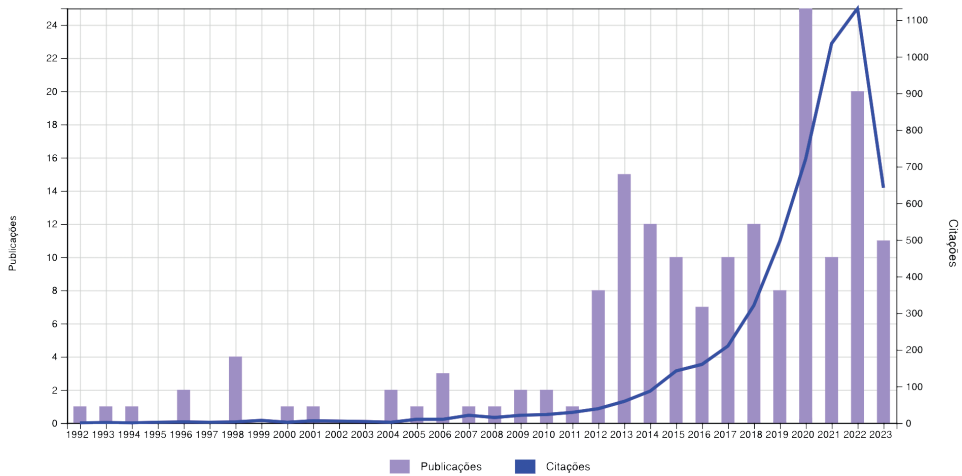
Referências	Citações	força total do link	Título
Browne ma, 2011, environ sci technol, v45, p9175, doi 10.1021/es201811s	30	508	Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks
Napper ie, 2016, mar pollut bull, v112, p39, doi 10.1016/j.marpolbul.2016.09.025	29	534	Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: effects of fabric type and washing conditions
De Falco f, 2018, environ pollut, v236, p916, doi 10.1016/j.envpol.2017.10.057	26	475	Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics

**Tabela 9.1** Cocitação de referências das referências citadas com no mínimo de dez citações

Referências	Citações	força total do link	Título
Hartline nl, 2016, environ sci technol, v50, p11532, doi 10.1021/acs.est.6b03045	26	484	Microfiber masses recovered from conventional machine washing of new or aged garments
Almroth bmc, 2018, environ sci pollut r, v25, p1191, doi 10.1007/s11356-017-0528-7	23	411	Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment

**Figura 9.3** Rede bibliométrica da cocitação de referências.

A partir de 2013, houve um aumento progressivo nas publicações, atingindo-se o pico em 2020, com 25 artigos (Figura 9.4). Esse crescimento reflete o aumento da atenção dada à poluição por microplásticos resultante das atividades de lavagem de roupas.



**Figura 9.4** Número total de publicações sobre microplásticos liberados durante a lavagem de roupas no Web of Science.

Os cinco artigos mais citados nos últimos cinco anos, que abordam a lavagem de roupa como fonte de poluição por microplásticos, em ordem decrescente, são: Cesa *et al.* (2017), Hernandez *et al.* (2017), Siegfried *et al.* (2017), Almroth *et al.* (2018) e Hartline *et al.* (2016) (Tabela 9.2).

**Tabela 9.2** Artigos mais citados sobre microplásticos MP liberados na lavagem doméstica de roupas nos últimos cinco anos

Autores	Título	Journal	Ano	Citações
Cesa <i>et al.</i>	Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings	Science of the Total Environment	2017	388
Hernandez <i>et al.</i>	Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing	Environmental Science & Technology	2017	357
Siegfried <i>et al.</i>	Export of microplastics from land to sea. A modelling approach	Water Research	2017	288
Almroth <i>et al.</i>	Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment	Environmental Science and Pollution Research	2018	253
Hartline <i>et al.</i>	Microfiber masses recovered from conventional machine washing of new or aged garments	Environmental Science & Technology	2016	232

## 9.4.2 Roupas como fonte de microfibras

Em 2011, o estudo de Browne *et al.* correlacionou pela primeira vez a presença de microfibras sintéticas no meio ambiente com a lavagem de roupas, sugerindo que grande parte desses tipos de MP encontrada nos oceanos poderia ser proveniente do efluente doméstico resultante das lavagens (Browne *et al.*, 2011). Desde então,

diversos estudos têm se concentrado em compreender a quantidade de microfibras liberadas por tecidos sintéticos durante a lavagem doméstica.

Por exemplo, De Falco *et al.* (2019) estimaram que a quantidade de microfibras liberadas durante a lavagem de roupas sintéticas variou de 124 a 308 mg por kg de tecido lavado, correspondendo a um número de microfibras que variou de 640 mil a 1,5 milhão.

Napper e Thompson (2016) examinaram a liberação de MP provenientes de roupas lavadas em diferentes condições de lavagem. Eles estimaram que mais de 700 mil fibras poderiam ser liberadas de uma carga média de lavagem de 6 kg de tecido acrílico. As fibras de materiais têxteis são uma subcategoria dos MP e podem ser originadas de lavagens domésticas, pois os sistemas de tratamento de águas residuais não são projetados para retê-las. Um estudo conduzido por Hartline *et al.* (2016) avaliou a liberação de microfibras de tecidos sintéticos durante a lavagem em máquinas convencionais. O experimento indicou que máquinas de carregamento frontal liberam aproximadamente sete vezes mais microfibras em relação às de carregamento superior. Além disso, roupas usadas submetidas a lavagens contínuas por 24 horas liberaram uma quantidade maior de microfibras em comparação a roupas novas. Outro estudo, realizado por Sillanpää e Sainio (2017), quantificou o número e a massa de microfibras de poliéster e algodão liberadas durante a lavagem em máquinas domésticas. Os resultados estimaram a emissão anual de microfibras de poliéster e algodão de máquinas de lavar de residências finlandesas em 154 mil kg e 411 mil kg, respectivamente.

Almroth *et al.* (2018) mediram a quantidade de microfibras liberadas de tecidos sintéticos, como acrílico, poliamida e poliéster, em diferentes tipos de tecido. Os tecidos de poliéster apresentaram a maior liberação de microfibras, com uma média de 7.360 fibras/m<sup>2</sup>/L-1 em uma única lavagem, em comparação com os tecidos de poliéster que liberaram 87 fibras/m<sup>2</sup>/L-1.

As ETE também têm sido foco de estudo quanto à retenção de MP. Conley *et al.* (2019) quantificaram a carga de MP e as eficiências de remoção em ETE com diferentes características e verificaram que a quantidade total de MP era significativa, ou seja, as ETE não eram capazes de removê-los completamente das águas residuais.

Ziajahromi *et al.* (2017) desenvolveram uma abordagem de modelagem para analisar a composição e a quantidade de fluxos de MP de fontes pontuais nos rios europeus para o mar. Eles chegaram à conclusão de que as principais fontes de MP são polímeros sintéticos provenientes do desgaste de pneus e estradas e têxteis à base de plástico. McIlwraith *et al.* (2019) testaram tecnologias comerciais para reduzir a liberação de microfibras durante a lavagem.

Além das métricas obtidas, todos os estudos aqui citados indicam que as fibras sintéticas de tecidos são uma das principais fontes de MP que são liberados nos rios e oceanos por meio de efluentes de águas residuais e diversas fontes não pontuais (Jessieleena *et al.*, 2023; Weis, 2019; Cesa *et al.*, 2017).

#### 9.4.3 Parâmetros de lavagem e o efeito na liberação de microfibras

As microfibras estão entre os tipos mais prevalentes de resíduos MP observados no ambiente aquático. As fibras sintéticas dominam o mercado de fibras desde meados da década de 1990, quando ultrapassaram os volumes de algodão, sendo responsáveis atualmente por 64% da produção global de fibras. A lavagem doméstica é apontada como o principal meio de desprendimento de microfibras plásticas. No futuro, a crescente demanda por roupas de fibras sintéticas aumentará esse problema. As pesquisas demonstram que os parâmetros de lavagem, como tipo de detergente, temperatura e duração do ciclo de lavagem, influenciam na liberação das microfibras durante as lavagens, bem como o tipo de artigo têxtil, incluindo o tipo de fibra e tipo de construção têxtil. Porém, nas publicações já realizadas, não há consenso sobre quais são os principais fatores.

Zambrano *et al.* (2019) mostraram que o uso do detergente aumenta a geração de microfibras, ao comparar quatro tecidos de malha *interlock* com fios fiados (fibras descontínuas) contendo 100% algodão, 100% viscose, 100% poliéster e 50/50% poliéster/algodão. Segundo os autores, o surfactante promove o processo de mobilização das fibras do tecido para a solução de lavagem. Yang *et al.* (2019) também encontraram maior liberação de microfibras ao se lavarem tecidos com detergente em vez de apenas água, comparando tecidos 100% poliéster, 100% poliamida e 100% acetato. De Falco *et al.* (2019) constataram que o uso de detergentes, tanto na forma líquida quanto em pó, induz a um aumento na liberação de microfibras. Em particular, o produto em pó favorece o desprendimento de microfibras mais do que o líquido. Uma tendência semelhante foi obtida em todas as fibras analisadas (tecido liso 100% poliéster, tecido 100% poliéster e tecido liso 100% polipropileno). Napper e Thompson (2016) também constataram que a ausência de detergente em um ciclo de lavagem ocasionalmente resultava na liberação de menos fibras. Eles estudaram três tipos diferentes de fibras (65/35% poliéster/algodão, 100% acrílico e 100% poliéster) em tecidos de malha; porém, concluíram que os efeitos do detergente e do amaciante foram menos consistentes e em certo ponto divergentes.

Em contraste, Cesa *et al.* (2020) investigaram os efeitos dos parâmetros de lavagem na emissão de fibras em têxteis com diferentes características de construção (sendo todos em malharia circular) e fibras (100% algodão, 100% acrílico, 100% poliéster e 100% poliamida). Os resultados mostraram que o uso do detergente, sendo o de-

tergente líquido, reduziu significativamente a massa de microfibras emitidas pelas roupas sintéticas, mas não pelo algodão, que, em termos relativos, foi responsável pelas maiores emissões em comparação ao uso apenas de água.

Hernandez *et al.* (2017) mostraram que o uso de detergente parece afetar mais a massa total de fibras liberadas, porém, a composição do detergente (líquido ou em pó) ou a sobredosagem de detergente não influenciaram significativamente a liberação de microfibras. O estudo analisou dois tipos de tecidos com fio fiado de poliéster (malha *interlock* 100% poliéster e meia-malha 98/2% poliéster/elastano). Lant *et al.* (2020) avaliaram roupas de lã 100% poliéster, e os resultados mostraram que o uso de detergente ou amaciante não tem impacto significativo na liberação de microfibras, consistente com resultados publicados por Pirc *et al.* (2016), que realizaram um estudo com mantas de lã, no qual os autores não encontraram efeito do detergente e amaciante na liberação das microfibras e concluíram que o estresse mecânico é o principal fator que rege a liberação da fibra.

#### 9.4.4 Parâmetros têxteis e o efeito na liberação de microfibras

Zambrano *et al.* (2019) estudaram quatro diferentes malhas *interlock* sem acabamento construídas com fios fiados de 100% algodão, 100% viscose, 100% poliéster e 50/50% poliéster/algodão. Eles concluíram que todos os tipos de fibras liberaram quantidades significativas de microfibras durante a lavagem. No entanto, os tecidos à base de celulose liberaram mais microfibras do que o poliéster com as mesmas estruturas de tecido.

De acordo com Hernandez *et al.* (2017), a quantidade de microfibras que o tecido desprenderá depende de uma série de variáveis, incluindo o tipo de tecido (tecido, malha ou não tecido), a textura (mais aberto ou mais denso), o tipo de fio (fio fiado, fio de filamento contínuo, liso ou texturizado) e a natureza e número dos diferentes tipos de fibra envolvidos. Tecidos com uma estrutura compacta, como tecido plano, usando-se fios altamente torcidos feitos de filamentos contínuos, podem ser preferíveis para reduzir a liberação de microfibras em comparação com uma estrutura mais solta, incluindo malha, com fios feitos de fibras curtas e baixa torção (De Falco *et al.* 2020). Segundo Cesa *et al.* (2020), características têxteis, como disponibilidade de massa e coesão da fibra, influenciaram os resultados, em que fibras irregulares mais curtas e tenacidades mais baixas resultaram em liberações maiores de microfibras.

Yang *et al.* (2019) mostraram que a liberação de microfibras foi dependente de vários fatores e pode estar relacionada à gramatura dos tecidos, que depende de diâmetro do fio, espessura do tecido e densidade linear. Ou seja, o número de microfibras aumentará com o aumento do título do fio devido à maior quantidade de fibras por seção transversal. Em contraste, um maior número de fios por unidade de comprimento

resultará em uma estrutura mais compacta com menor probabilidade de liberação de microfibras. Portanto, segundo o autor, as estruturas compactas liberaram menos fibras do que as mais volumosas.

Apesar de o estudo não ter o objetivo de avaliar o desprendimento de fibra de acordo com o tipo de fio, Cesa *et al.* (2020) avaliaram quatro composições têxteis distintas em fibra e tipo de fio, todas com estruturas de tecido de malha circular. A poliamida era a única fibra com fio de filamento contínuo, e essa fibra possui uma diferença estatística na liberação de fibras fragmentadas com todas as outras fibras de algodão e acrílico (fio fiado a anel), com exceção do poliéster. Comparativamente, na lavagem com detergente durante 20 minutos, em todos os dez ciclos de lavagem, a maior emissão é do algodão, seguida do acrílico, da poliamida e do poliéster, sendo os dois últimos sem significância estatística.

Özkan e Gündoğdu (2020) estudaram a liberação de fibras dos tecidos de malha produzidos a partir de fios de filamento e fio fiado de poliéster reciclado e poliéster virgem. Em geral, verificaram que os tecidos com fios fiados liberam mais fibras durante os dois primeiros ciclos de lavagem. No terceiro ciclo de lavagem, a quantidade de fibra estava próxima uma da outra para as amostras de fio de fibra e filamentos. Os autores também verificaram que existe uma correlação positiva entre o número de fibras liberadas e pilosidade maior que 4mm. Embora tenha havido uma tendência fraca, o comprimento da fibra liberada diminuiu com o aumento da pilosidade. Os autores afirmam que esse resultado pode ser explicado com maior quantidade de fibras curtas do que longas na pilosidade total.

## 9.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A poluição por MP representa um sério problema ambiental, e as microfibras representam uma das formas mais abundantes de MP encontrados no meio ambiente. A sua presença é principalmente atribuída ao seu desprendimento durante as lavagens de roupas. Com o aumento das demandas e do consumo per capita de têxteis sintéticos, é esperado um aumento na liberação de microfibras no meio ambiente.

As pesquisas revisadas neste capítulo indicam que os parâmetros de lavagem e as características dos artigos têxteis influenciam na liberação de microfibras durante a lavagem de roupas. Contudo, o desprendimento das microfibras plásticas durante a lavagem de roupas é um problema complexo influenciado por uma variedade de fatores, incluindo o tipo de tecido, a estrutura do tecido, o uso de detergentes, a temperatura da água, o tipo de máquina de lavar etc. Essas considerações são importantes para se entender e mitigar a liberação de fragmentos de fibras no meio ambiente. No entanto, ainda há uma divergência, ou falta de consenso, entre os estudos sobre quais são os principais parâmetros responsáveis por uma maior liberação de fibras



fragmentadas ou quais características têxteis mais influenciam no desprendimento. Além disso, apesar de a utilização de detergentes ser um fator relevante na liberação de microfibras, alguns estudos optaram por não utilizar nenhum tipo de detergente para avaliar o desprendimento.

Portanto, existem algumas lacunas importantes relacionadas à influência dos principais parâmetros relacionados com o desprendimento dos MP durante a lavagem doméstica de roupas: os parâmetros operacionais dos ciclos de lavagem (temperatura, centrifugação, tipo de máquina, tempo do ciclo, uso de produtos de lavagem etc.) e as propriedades físicas relacionadas com a fabricação das peças de vestuário (tipo de tecido, torção etc.).

Um desafio enfrentado na análise de amostras têxteis para a liberação de microfibras é a variabilidade inerente entre as amostras de tecido, relacionada aos tipos de fibra, de fio, de construção têxtil e de acabamentos. Essa variabilidade torna a comparação entre diferentes estudos difícil e inconclusiva. Nesse sentido, para uma melhor compreensão da liberação de fibras fragmentadas durante a lavagem de roupas, pesquisas futuras nessa área devem considerar o seguinte ponto: (i) fornecer características têxteis detalhadas que permitam comparar estudos com artigos têxteis semelhantes, incluindo a descrição de características como (1) tipo do fio, como fio fiado (método de fiação, nível de torção, comprimento da fibra) ou fio de filamento (liso ou texturizado, número de filamentos); (2) tipo do tecido (malha circular, malha de urdume, tecido plano, ligamento, densidade de fios, gramatura, espessura); e (3) se é um artigo final (modelo da roupa, se possui costuras e qual extensão).

Além disso, ainda é necessário aprofundar a compreensão dos impactos e desenvolver medidas mitigatórias eficazes sobre a liberação de microfibras durante as lavagens. Para enfrentar esse desafio, é essencial agir em várias frentes. Uma das abordagens é promover o consumo consciente e incentivar a compra de roupas provenientes de fontes sustentáveis. Outra abordagem bem eficiente é exigir a implementação de filtros para reter MP nas máquinas de lavar roupa, como já é exigido pela lei aprovada na França, que prevê filtros obrigatórios em todas as novas máquinas de lavar até 2025 (LOI n° 2020-105 du 10 février 2020). Na Austrália, o Plano Nacional de Plásticos 2021 anunciou que o governo australiano trabalhará com a indústria para implementar filtros de microfibras em todas as novas máquinas de lavar residenciais e comerciais até 2030 (Dawe, 2021). No Reino Unido, há um projeto em votação no Parlamento que prevê exigir que os fabricantes instalem filtros de retenção de microplásticos em novas máquinas de lavar domésticas e comerciais (UK Parliament, 2021).

Com a compreensão mais aprofundada de como as características dos têxteis e os parâmetros de lavagem influenciam no desprendimento de microfibras plásticas além de regulamentação global para abordar o problema da poluição por microplásticos



originados de lavagem de roupas, estratégias de mitigação poderão ser desenvolvidas para reduzir o impacto das microfibras no meio ambiente, visando à preservação dos ecossistemas aquáticos.

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, S. *et al.* Microfibers from synthetic textiles as a major source of microplastics in the environment: a review. *Textile Research Journal*, v. 91, n. 17-18, p. 2136-56, 2021.
- ADAMS, J. *et al.* Anthropogenic particles (including microfibers and microplastics) in marine sediments of the Canadian Arctic. *Science of The Total Environment*, v. 784, p. 147155, 2021.
- ANDRADY, A. L. The plastic in microplastics: a review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 119, n. 1, p. 12-22, 2017.
- BARBOZA, L. G. A.; GIMENEZ, B. C. G. Microplastics in the marine environment: current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, v. 97, n. 1-2, p. 5-12, 2015.
- BERGMANN, M. *et al.* White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances*, [s. l.], v. 5, n. 8, p. eaax1157, 2019.
- BLAIR, R. M. *et al.* Microscopy and elemental analysis characterisation of microplastics in sediment of a freshwater urban river in Scotland, UK. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, n. 12, p. 12491–12504, 2019.
- BROWNE, M. A. *et al.* Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 21, p. 9175-9, 2011.
- CARNEY ALMROTH, B. M. *et al.* Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 2, p. 1191-9, 2018.
- CESA, F. S. *et al.* Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: a review from textile perspective with a focus on domestic washings. *Science of The Total Environment*, v. 598, p. 1116–1129, 2017.
- CESA, F. S.; TURRA, A.; BARUQUE-RAMOS, J. Laundering and textile parameters influence fibers release in household washings. *Environmental Pollution*, v. 257, p. 113553, 2020.
- CONLEY, K. *et al.* Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: removal efficiencies and loading per capita over one year. *Water Research X*, v. 3, p. 100030, 2019.
- CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. Plastic production, waste and legislation. In: CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. *Microplastic Pollutants*. [S. l.]. Elsevier, 2017a. p. 39-56. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128094068000037>. Acesso em: 19 fev. 2024.

- CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. The emergence of plastics. In: CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. *Microplastic Pollutants*. [S. l.]. Elsevier, 2017b. p. 1-17. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128094068000013>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- DA COSTA, J. P.; DUARTE, A. C.; ROCHA-SANTOS, T. A. P. Microplastics – occurrence, fate and behaviour in the environment. In: ROCHA-SANTOS, T. A.P; DUARTE, A. C. (Ed.) *Comprehensive Analytical Chemistry*. [S. l.]. Elsevier, 2017. v. 75, p. 1-24. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166526X16301532>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- DAWE. National Plastics Plan 2021, Department of Agriculture, Water and the Environment. Canberra, dec. CC BY 4.0. 2021.
- DE FALCO, F. *et al.* Microfiber release to water, via laundering, and to air, via everyday use: a comparison between polyester clothing with differing textile parameters. *Environmental Science & Technology*, v. 54, n. 6, p. 3288-96, 2020.
- DE FALCO, F. *et al.* The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 6633, 2019.
- EARN, A.; BUCCI, K.; ROCHMAN, C. M. A systematic review of the literature on plastic pollution in the Laurentian Great Lakes and its effects on freshwater biota. *Journal of Great Lakes Research*, v. 47, n. 1, p. 120-33, 2021.
- GAGO, J. *et al.* Synthetic microfibers in the marine environment: a review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, v. 127, p. 365-76, 2018.
- GRAND VIEW RESEARCH (GVR). Synthetic Fibers Market Size. *Share & Trends Analysis Report*, 2023. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/synthetic-fibers-market>.
- HALE, R. C. *et al.* A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 125, n. 1, p. e2018JC014719, 2020.
- HERNANDEZ, E.; NOWACK, B.; MITRANO, D. M. Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing. *Environmental Science & Technology*, v. 51, n. 12, p. 7036-46, 2017.
- JESSIELEENA, A. *et al.* Residential houses – a major point source of microplastic pollution: insights on the various sources, their transport, transformation, and toxicity behaviour. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 26, p. 67919-40, 2023.
- LAGLBAUER, B. J. L. *et al.* Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia. *Marine Pollution Bulletin*, v. 89, n. 1-2, p. 356-66, 2014.
- LANT, N. J. *et al.* Microfiber release from real soiled consumer laundry and the impact of fabric care products and washing conditions. *PLOS ONE*, v. 15, n. 6, p. e0233332, 2020.
- LUSHER, A. 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. 14947, 2015.

- NAPPER, I. E. *et al.* Reaching new heights in plastic pollution – preliminary Findings of microplastics on Mount Everest. *One Earth*, v. 3, n. 5, p. 621-30, 2020.
- NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Plastic debris in the marine environment: history and future challenges. *Global Challenges*, v. 4, n. 6, p. 1900081, 2020.
- NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, v. 112, n. 1-2, p. 39-45, 2016.
- NOAA. *Microplastic Marine Debris*. Disponível em: <https://marinedebris.noaa.gov/fact-sheets/microplastic-marine-debris-fact-sheet>.
- NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONU BR). *A Agenda 2030*. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>.
- ÖZKAN, İ.; GÜNDOĞDU, S. Investigation on the microfiber release under controlled washings from the knitted fabrics produced by recycled and virgin polyester yarns. *The Journal of the Textile Institute*, v. 112, n. 2, p. 264-72, 2021.
- PENG, L. *et al.* Micro- and nano-plastics in marine environment: source, distribution and threats – A review. *Science of the Total Environment*, v. 698, p. 134254, 2020.
- PENG, J.; WANG, J.; CAI, L. Current understanding of microplastics in the environment: occurrence, fate, risks, and what we should do. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 13, n. 3, p. 476-82, 2017.
- PIEHL, S. *et al.* Abundance and distribution of large microplastics (1-5 mm) within beach sediments at the Po River Delta, northeast Italy. *Marine Pollution Bulletin*, v. 149, p. 110515, 2019.
- PIRC, U. *et al.* Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 23, n. 21, p. 22206-11, 2016.
- REINECCIUS, J. *et al.* Abundance and characteristics of microfibers detected in sediment trap material from the deep subtropical North Atlantic Ocean. *Science of The Total Environment*, v. 738, p. 140354, 2020.
- ROCHMAN, C. M. *et al.* Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 38, n. 4, p. 703–711, 2019.
- RYAN, P. G. *et al.* Sampling microfibrils at the sea surface: The effects of mesh size, sample volume and water depth. *Environmental Pollution*, v. 258, p. 113413, 2020.
- SCIENCE ADVICE FOR POLICY BY EUROPEAN ACADEMIES (SAPEA). *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society*. Berlim: Sapea, 2019.
- SIEGFRIED, M. *et al.* Export of microplastics from land to sea. A modelling approach. *Water Research*, v. 127, p. 249-57, 2017.
- SILLANPÄÄ, M.; SAINIO, P. Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 23, p. 19313-21, 2017.

- SUARIA, G. *et al.* Microfibers in oceanic surface waters: a global characterization. *Science Advances*, v. 6, n. 23, p. eaay8493, 2020.
- TEXTILE EXCHANGE. *Preferred Fiber and Materials Market Report 2021*. 2022. Disponível em: [https://textileexchange.org/app/uploads/2022/10/Textile-Exchange\\_PFMR\\_2022.pdf](https://textileexchange.org/app/uploads/2022/10/Textile-Exchange_PFMR_2022.pdf). Acesso em: 23 mar. 2024.
- THOMPSON, R. C. *et al.* Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, v. 304, n. 5672, p. 838, 2004.
- THOMPSON, R. 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. 2153-66, 2009.
- UK PARLIAMENT. *Bill 205 2021-22: Microplastic Filters (Washing Machines) Bill*. 2021.
- VAN ECK, N. J. *et al.* A comparison of two techniques for bibliometric mapping: multidimensional scaling and VOS. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 61, n. 12, p. 2405-16, 2010.
- WAGTERVELD, R. M. *et al.* (Ed.). *Synthetic Nano- and Microfibers*, [S. l.]. Glasstree, 2020. Disponível em: <https://glasstree.com/shop/catalog/gt-hlTV5b1kTt2tmIHt40mjQw>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- WEIS, J. S. Improving microplastic research. *AIMS Environmental Science*, v. 6, n. 5, p. 326-40, 2019.
- YANG, L. *et al.* Microfiber release from different fabrics during washing. *Environmental Pollution*, v. 249, p. 136-43, 2019.
- ZAMBRANO, M. C. *et al.* Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation. *Marine Pollution Bulletin*, v. 142, p. 394-407, 2019.
- ZIAJAHROMI, S. *et al.* Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*, v. 112, p. 93-99, 2017.