



Artigo de Revisão


e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v14n12020p18-39


Submetido em: 20 fev. 2020

Aceito em: 09 mar. 2020


Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães  <https://orcid.org/0000-0002-4289-2495>

Mestrando em Engenharia Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense- Campus Macaé - Macaé (RJ) – Brasil. E-mail: rafaelgouveaguimaraes@hotmail.com

Jader Lugon Junior  <http://orcid.org/0000-0001-8030-0713>

Doutor em Modelagem Computacional (UERJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense- Campus Macaé - Macaé (RJ) – Brasil. E-mail: jlugonjr@gmail.com.

Antônio José da Silva Neto  <https://orcid.org/0000-0002-9616-6093>

Ph.D. pela North Carolina State University, EUA. Professor Titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro/RJ, Brasil. E-mail: ajs_netto@uol.com.br

O perfil de consumo e a destinação final de produtos que contenham plástico demonstram claramente padrões de consumo de uma economia globalizada pautada no crescimento de produção como alicerce econômico. Ao longo da história, a cultura mundial não agregou aos plásticos metodologias de ciclo de vida e produção circular que vislumbrem reúso, reciclagem e formas de descarte desse material. É imprescindível à sociedade criar sistemas para gerenciar o ciclo de produção, consumo e destinação final adequado de plásticos. A estimativa de crescimento produtivo não se alinha com o crescimento significativo de reciclagem, fator que contribui para o descarte e conseqüentemente aumenta a quantidade de resíduos que serão lançados nos oceanos. Dessa maneira, torna-se importante saber a quantidade de plástico que entra nos rios e é transportada para o mar, como ocorre o transporte no globo, como são os processos de degradação e quais os impactos causados à natureza. A revisão da literatura é um passo fundamental para a pesquisa e a formação do conhecimento científico. Por meio da revisão sistemática, é possível explicitar, planejar, justificar e atualizar questões relevantes do foco da pesquisa. Neste trabalho, é apresentada uma metodologia para busca de artigos científicos e se promove a contribuição bibliográfica sobre do tema do transporte de microplástico do continente para o oceano.

Palavras-chave: Microplástico. Revisão sistemática. Fluxo de material. Poluição oceânica.





Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Systematic review of microplastic transport flow from land to ocean

The consumption profile and the final destination of products that contain plastic clearly demonstrate consumption patterns of a globalized economy based on the growth of production as an economic foundation. Throughout history, world culture has not added to plastics life cycle methodologies and circular production that is focus on reuse, recycling and ways of disposing of this material. It is essential for society to create systems to manage the production, consumption and final destination cycle of plastics. The estimative of productive growth does not align with the significant growth in recycling, a factor that contributes to disposal and consequently increases the amount of waste that will be released into the oceans. In this way, it is important to know the amount of plastic that enter rivers and are transported to the sea, how transport happens on the globe and how the degradation processes are and what impacts are caused to nature. Literature review is a fundamental step for research and formation of scientific knowledge. Through the systematic review, it is possible to explain, plan, justify and update relevant issues of the research focus. This work presents a methodology for searching for scientific articles and promotes the bibliographic contribution on the topic of microplastic transport from the continent to the ocean.

Keywords: Microplastic. Systematic review. Material flow. Ocean pollution.

Revisión sistemática del flujo de microplásticos desde el continente hasta el océano

El perfil de consumo y el destino final de los productos que contienen plástico demuestran claramente los patrones de consumo de una economía globalizada basada en el crecimiento de la producción como base económica. A lo largo de la historia, la cultura mundial no se ha sumado a las metodologías del ciclo de vida de los plásticos y la producción circular que se centra en la reutilización, el reciclaje y las formas de eliminación de este material. Es esencial para la sociedad crear sistemas para gestionar la producción, el consumo y el ciclo de destino final de los plásticos. La estimación del crecimiento productivo no se alinea con el crecimiento significativo en el reciclaje, un factor que contribuye a la eliminación y, en consecuencia, aumenta la cantidad de desechos que se liberarán en los océanos. De esta manera, es importante saber la cantidad de plástico que ingresa a los ríos y se transporta al mar, cómo se realiza el transporte en el mundo y cómo son los procesos de degradación y qué impactos se causan en la naturaleza. La revisión de la literatura es un paso fundamental para la investigación y la formación del conocimiento científico. A través de la revisión sistemática, es posible explicar, planificar, justificar y actualizar temas relevantes del enfoque de investigación. Este trabajo presenta una metodología para la búsqueda de artículos científicos y promueve la contribución bibliográfica sobre el tema del transporte de microplásticos desde el continente hasta el océano.

Palabras clave: Microplástico. Revisión sistemática. Flujo de material. Contaminación del océano.

Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

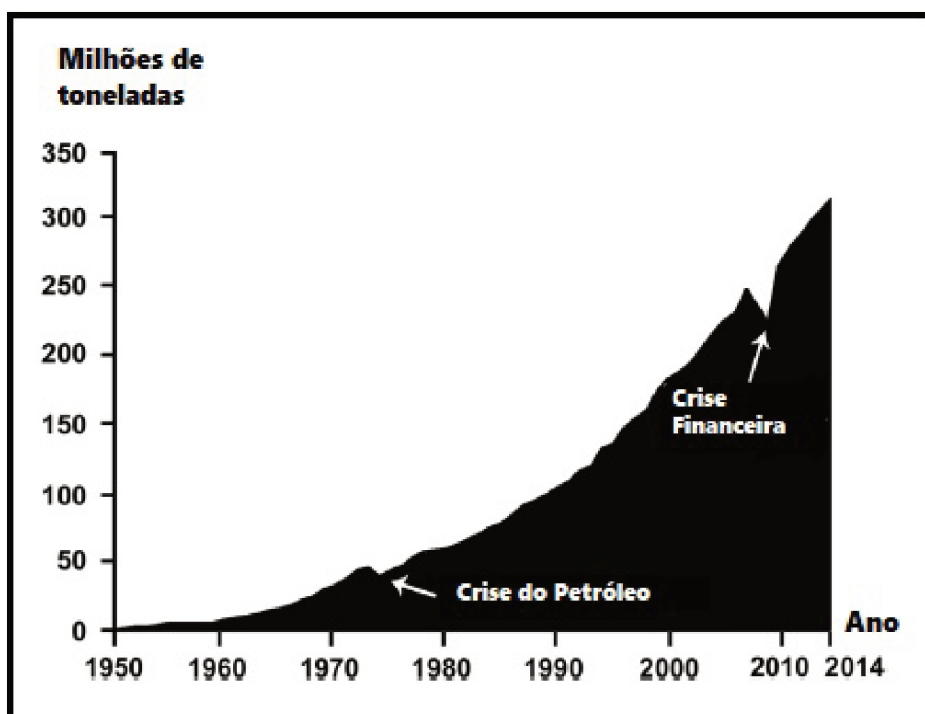
Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

1 Introdução

Os plásticos representam um marco evolutivo na história humana e do planeta, pois o mesmo material que está presente nos grandes avanços tecnológicos da sociedade também promove problemas significativos para o ambiente. Atualmente, os plásticos são considerados o material mais utilizado e versátil da idade moderna, com aumento vertiginoso de produção para atender à demanda do mercado.

O anuário de produção de plástico de 1950 apontou uma produção mundial de 1,5 milhão de toneladas, e apesar de crises, como a do petróleo de 1973 e a financeira de 2007, a marca de produção em 2009 foi de 250 milhões de toneladas. Historicamente, o crescimento de produção gira em torno de 9% ao ano, contudo, em 2014, a taxa de produção atingiu 311 milhões de toneladas. Esse número representou um aumento de 25% na produção em 5 anos, enquanto em 65 anos o crescimento observado foi de 20%. O crescimento exponencial está ilustrado na figura 1, que apresenta a produção global de plástico a partir de 1950 (CRAWFORD; QUINN, 2017).

Figura 1: Produção global de plástico a partir de 1950



Fonte: Adaptado de Crawford e Quinn (2017)

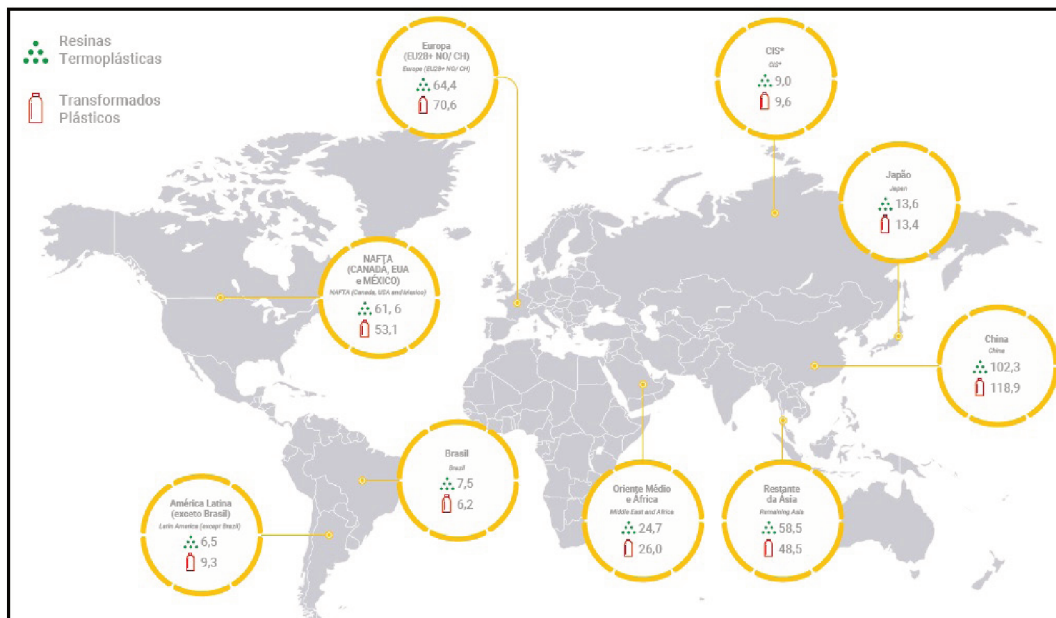
De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico, Abiplast, em 2017 a produção nacional foi de 7,5 milhões de toneladas de resina termoplástica e 6,2 milhões de plásticos transformados. Com uma crescente produção nacional, a projeção é que sejam atingidos valores de 7 milhões de toneladas de produção de transformados de plástico e consumo de 8 milhões de toneladas até 2023. Esses dados podem ser comparados com a produção mundial mostrada na Figura 2 (ABIPLAST, 2018).



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

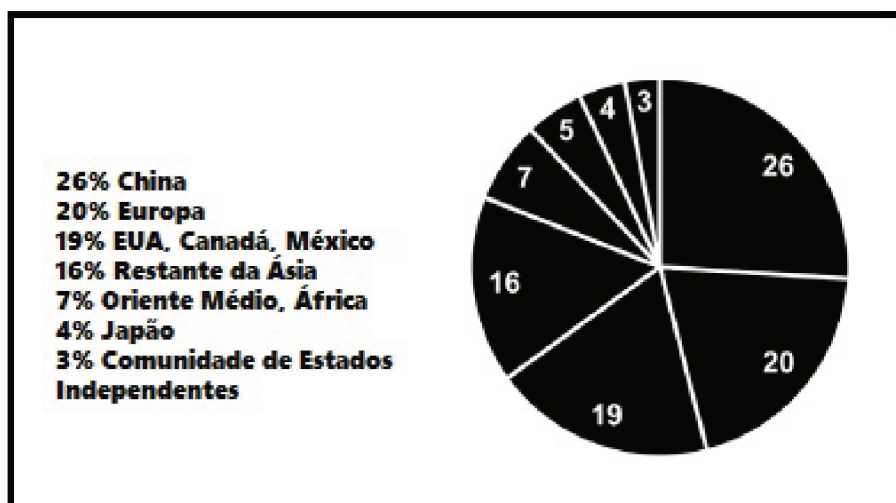
Figura 2: Produção mundial de resinas termoplásticas e de transformados de plástico em 2017



Fonte: Adaptado de Abiplast (2018)

No topo do ranking de produtores globais de plástico encontra-se a China, com 26%, seguida da Europa e os Estados Unidos com 20% e 19% respectivamente. Na Europa, apenas cinco países somam 63,9% da demanda de plástico no continente, sendo a Alemanha com 24,9%, a Itália com 14,3%, a França com 9,6%, o Reino Unido com 7,7% e a Espanha com 7,4% conforme apresentado na Figura 3 (CRAWFORD; QUINN, 2017).

Figura 3: Ranking de produtores globais de plástico em 2017



Fonte: Adaptado de Crawford e Quinn (2017)

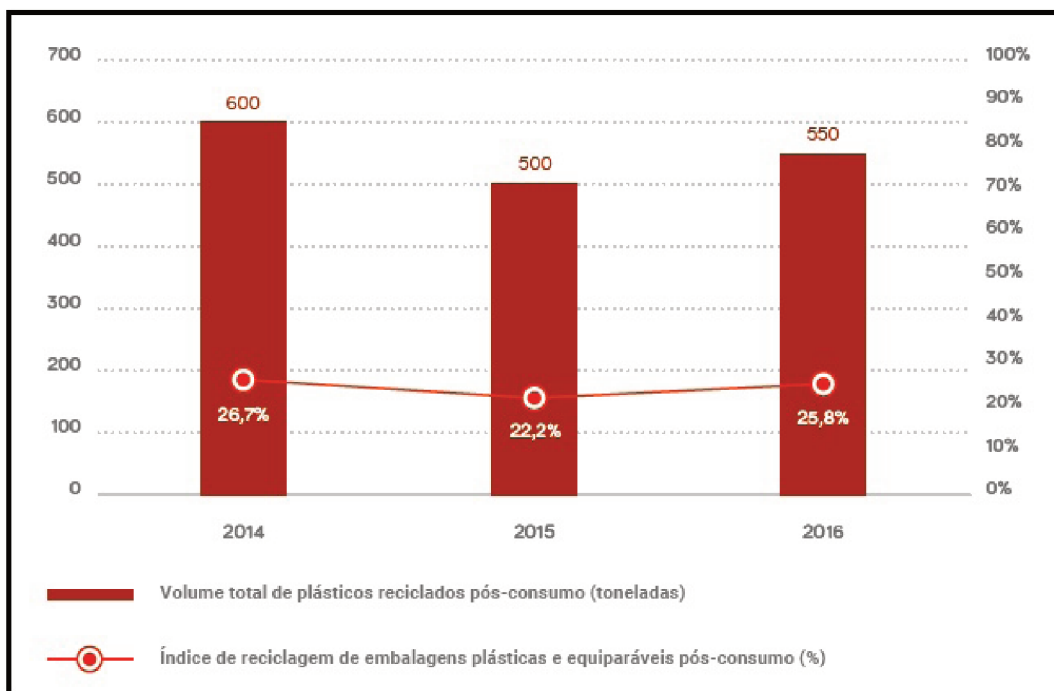


Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Ainda que a produção brasileira não esteja nos mesmos patamares dos padrões mundiais, a quantidade de plástico descartada é bastante expressiva frente à quantidade de plástico reciclado no país, onde o índice de reciclagem mecânica não ultrapassa os 27% da produção, como mostrado na Figura 4.

Figura 4: Evolução do consumo aparente e índice de reciclagem mecânica de embalagens e equiparáveis do setor plástico



Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2018)

O perfil de consumo e a destinação final de produtos que contenham plástico demonstram claramente padrões de consumo de uma economia globalizada pautada no crescimento de produção como alicerce econômico. Ao longo da história, a cultura mundial não agregou aos plásticos metodologias de ciclo de vida e produção circular que vislumbrem reúso, reciclagem e formas de descarte desse material. É imprescindível à sociedade criar sistemas para gerenciar o ciclo de produção, consumo e destinação final adequado de plásticos. Também é importante conhecer as formas de transporte no globo terrestre e as interações com o ambiente para que soluções sejam propostas adequadamente.

2 Revisão teórica

Plástico é um termo genérico utilizado para descrever substâncias que podem ser moldadas ou conformadas, e que representa uma grande variedade de materiais. De maneira geral, utilizamos esse termo no dia a dia sem nos importarmos com o tipo de plástico a que estamos nos referindo, contudo existem diferentes tipos para diferentes aplicações. Todos os plásticos possuem algo em



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

.....
comum, pois são compostos com grandes cadeias poliméricas, denominadas macromoléculas. Cada molécula da cadeia polimérica é considerada uma unidade singular chamada de monômero. O processo de conexão que mantém os monômeros agrupados é chamado de polimerização e pode ser observado na figura 5 (CRAWFORD; QUINN, 2017).

Possuem sua composição diversificada em função da aplicabilidade nos diferentes setores industriais (construção civil, higiene, vestuário, automóveis etc.). Os principais constituintes, que se destacam em nível mundial, são o polietileno (PE), o polietileno de alta densidade (HDPE), o polietileno de baixa densidade (LDPE), o polipropileno (PP), o polietileno tereftalato (PET), o policloreto de vinila (PVC) e o poliestireno (PP). As propriedades desses compostos, principalmente em relação a sua densidade, influenciam a distribuição e destino final no ambiente aquático (ZHANG, 2017).

Um diagrama simplificado com as possíveis rotas para plásticos comuns é mostrado na figura 5. Qualquer material polimérico apresenta alterações quando exposto ao ambiente. As perdas de propriedades mecânicas como alongamento, resistência a tensão e impacto, que são importantes para as aplicações desse material, ficam seriamente afetadas. A degradação nos plásticos implica a perda de propriedades úteis seguida de alteração química (ANDRADY, 2011).

Uma vez que os plásticos entram nos oceanos, vários fatores começam a ter efeitos na degradação. Como os plásticos são materiais com grandes cadeias de moléculas, a degradação pode ser definida como o processo que resulta na quebra de cadeias longas em cadeias menores, com peso molecular menor que consiste a apenas alguns monômeros (CRAWFORD; QUINN, 2017).

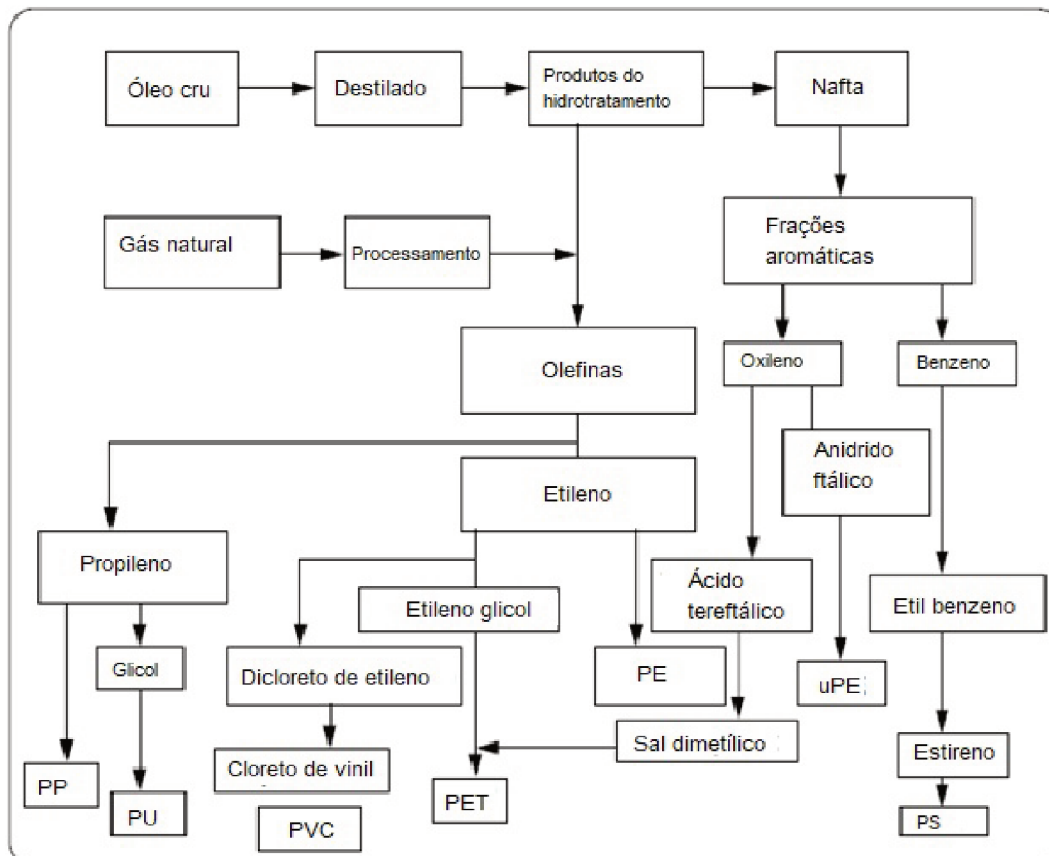
A radiação ultravioleta tem papel fundamental no processo de degradação nos oceanos, visto que pode ser rapidamente absorvida pela água; no entanto, são atribuídos diferentes graus a esses processos, dependendo dos aditivos inseridos nos processos de fabricação, o tipo do polímero e a temperatura do ambiente (BERGMANN *et al.*, 2015).



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Figura 5: Polímeros comuns derivados de óleo cru e gás natural



Fonte: Adaptado de Andradu (2003)

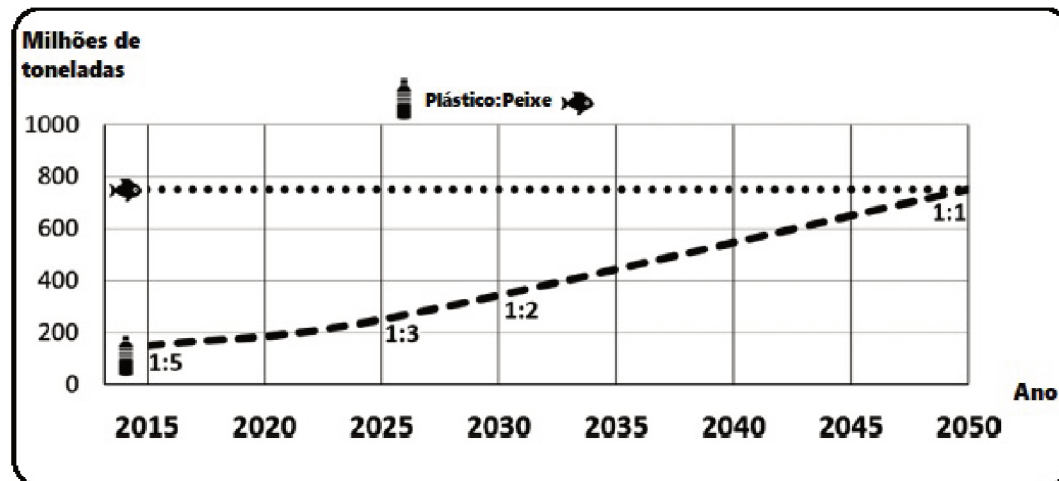
Devido aos altos custos envolvidos, que chegam a cerca de 20% de custos de manufatura, no ano de 2017 foram reciclados em torno de 17% de todo plástico produzido no mundo, enquanto a reciclagem de alumínio e papel representou aproximadamente 69% e 60%, respectivamente. O ciclo de reciclagem desse material gira em torno de três vezes, isso devido ao fato de que os processos de fusão e remodelagem diminuem as propriedades mecânicas do material. Com as propriedades mecânicas reduzidas, os plásticos perdem flexibilidade e se tornam frágeis, também perdem as cores e se tornam translúcidos. Dessa forma, não podem ser reaproveitados nas aplicações originais e precisam ser reutilizados com as novas características ou descartados. Com isso, a demanda desse commodity aumenta ao passo que o incentivo à reciclagem diminui. Também em 2017, estimava-se que já se encontravam nos oceanos cerca de 150 milhões de toneladas de plástico, e que cerca de 8 milhões de toneladas entram a cada ano. Isso é equivalente ao despejo de 15 toneladas de plástico por minuto, e, se nenhuma ação for tomada, estima-se que o incremento previsto para entrar nesses ecossistemas até 2030 seja de 16 milhões de toneladas, chegando a aproximadamente 32 milhões de toneladas até 2050. A figura 6 mostra a comparação estimada da quantidade de peixes e de plásticos nos oceanos, em função da quantidade de peso (CRAWFORD; QUINN, 2017).



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Figura 6: Previsão de plástico e peixes nos oceanos em função do peso



Fonte: Adaptado de Crawford e Quinn (2017)

A comunidade acadêmica demonstra uma tendência de interesse crescente sobre o assunto do lixo marinho, com crescimento oscilante a partir dos anos 60. Nas décadas de 70 e 80, foram identificadas tratativas e políticas para atacar o problema de lixo nos oceanos, em que foram coletados dados de distribuição, abundância e impacto ao ambiente. Curiosamente, as pesquisas nessa área diminuíram na década de 90, apesar de haver aumento na quantidade de lixo nos mares. O interesse nessas pesquisas retornou a partir dos anos 2000, principalmente a respeito do lixo plástico, das formas que ele pode assumir e de seu impacto nos ecossistemas, como, por exemplo, no caso dos microplásticos (MP) (BERGMANN *et al.*, 2015).

De fato, as décadas de 70 e 80 trouxeram benefícios, resultados de discussões políticas e recomendações para diminuir o montante de lixo nos oceanos, e, conseqüentemente, o número de plásticos que entram neste ambiente. O controle dos fabricantes de plástico e das perdas de transporte de pelotas industriais nos oceanos, associados a legislações, reduziram a eliminação de resíduos plásticos no mar. Contudo, ficou aparente que a maior parte dos detritos plásticos são oriundos do continente, onde é mais difícil a realização de controle. Assim, ainda que o controle de fabricação e transporte desse material tenha sido efetivo, o crescimento da produção fez com que houvesse uma compensação na quantidade de lixo que chega até os oceanos (BERGMANN *et al.*, 2015).

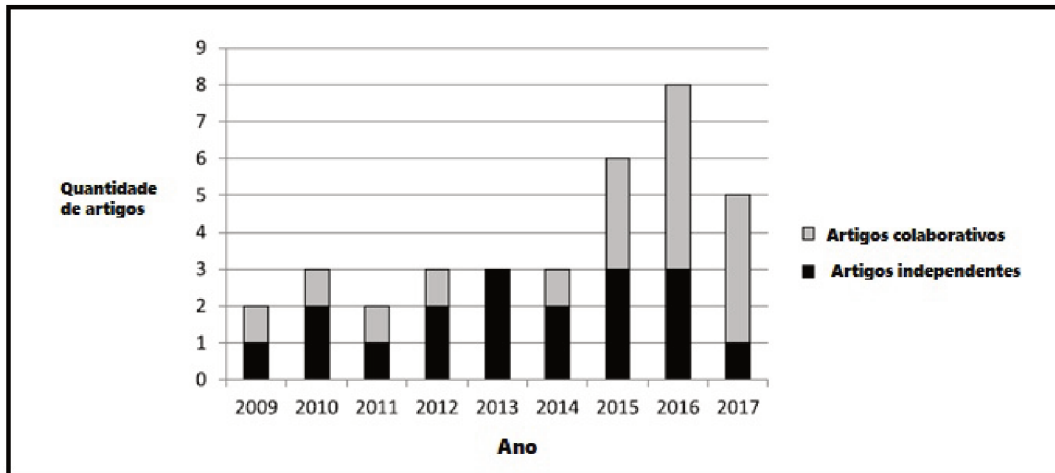
A costa brasileira possui dimensões continentais e também está suscetível ao problema dos MPs. As pesquisas sobre MP no Brasil tiveram início na década de 70 e reportaram presença de pelotas na costa do Rio Grande do Sul que estavam relacionadas à limpeza offshore de navios. Pesquisas no ano de 1997 e de 2014 também reportaram a presença de pelotas de plástico em praias ao longo dos anos. O país tem observado crescimento nas pesquisas relacionadas a esse tema na última década, e o panorama nacional segue a mesma tendência internacional. A Figura 7 apresenta a evolução nacional de artigos publicados sobre MP nos ecossistemas brasileiros (CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2018).



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Figura 7: Artigos publicados sobre microplástico nos ecossistemas brasileiros



Fonte: Adaptado de Castro, Silva e Araújo (2018)

Pesquisas bibliográficas apontam que, dentre os artigos brasileiros publicados internacionalmente sobre MP, 36% são sobre a contaminação da biota, 25% são estudos sobre amostras de plâncton, 22% são estudos sobre MPs em sedimentos e 17% são estudos sobre interações poluentes do MP (CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2018).

Os MPs são classificados conforme o tipo de obtenção; aqueles considerados primários são produzidos nessa dimensão para consumo final. Esse material é encontrado virgem na forma de pequenas pelotas, e é utilizado em cosméticos, como, por exemplo, os esfoliantes, e também em processos industriais como o jateamento a ar, aplicado na remoção de tintas e incrustações.

Outra forma de classificação são aqueles considerados secundários, os quais são oriundos dos macrolásticos, e podem ser encontrados no continente ou no mar. Os MPs secundários podem ser produto de processos mecânicos, que fragmentam o material ao nível micro, como também podem ser produto da degradação natural devido aos longos períodos de exposição às ações do ambiente (COLE *et al.*, 2011).

No meio marinho, a maioria dos MPs interage através de processos físicos e biológicos e modifica as suas propriedades, acabando uma parte por ser incluída nos sedimentos por deposição gravítica e outra parte por ser integrada nos sedimentos através das fezes e das pseudofezes. Uma parte é absorvida pelos animais marinhos e pode acabar por ser integrada na alimentação humana.

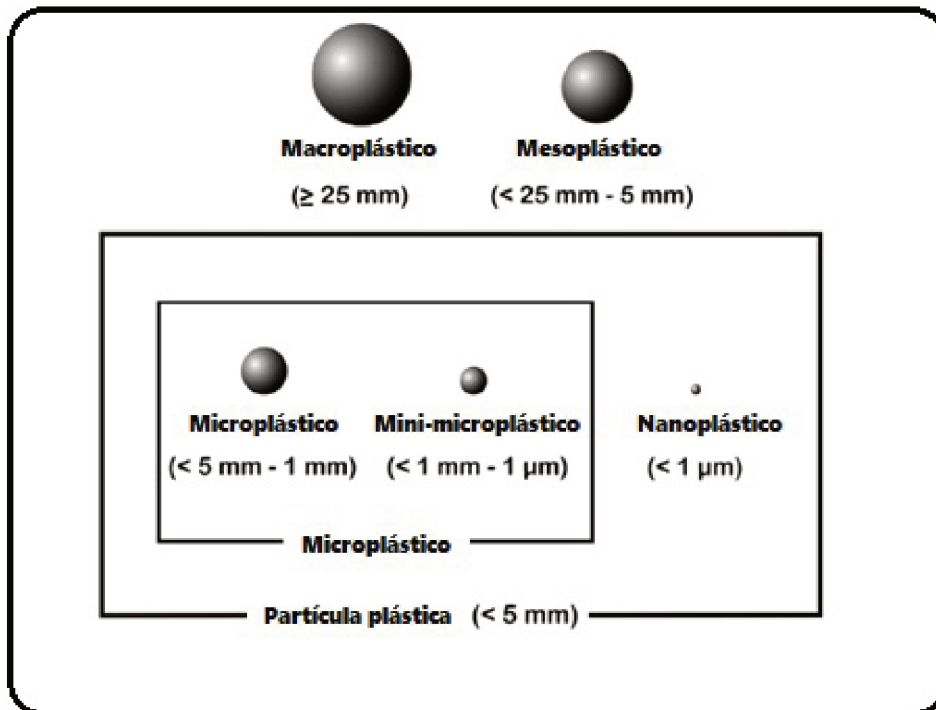
Diversos estudos detectaram a presença de Poluentes Orgânicos Persistentes (POP) em organismos transferidos através de MPs. Têm surgido evidências crescentes no contato de organismos marinhos com MP, induzindo à perda de elementos fundamentais por contaminação (RODRIGUES *et al.*, 2019). Também há evidências de que alguns POPs apresentam sorção preferencial por alguns polímeros em comparação à sorção por sedimentos naturais. (BAKIR; ROWLAND; THOMPSON, 2012).

O termo MPs tem sido atribuído aos plásticos de diversos tamanhos que variam de 5 mm a 1 µm (COLE *et al.*, 2011). Porém, estudos recentes propuseram uma sistemática para os tamanhos de MP (CRAWFORD; QUINN, 2017). A proposta está representada na Figura 8.

Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Figura 8: Padronização de tamanho para MP



Fonte: Adaptado de Crawford e Quinn (2017)

A quantificação dos MPs é essencial na identificação das fontes, no entendimento do transporte e da interação destes com outros poluentes, sedimentos e biota, bem como do grau de contaminação no ambiente. Por se tratar de um conjunto heterogêneo de fragmentos, com grande variabilidade de tamanho, cor, composição, densidade, entre outras características, a definição de critérios para amostragem e análise desse material nas diferentes matrizes ambientais é de elevada relevância. Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) realizaram uma comparação entre metodologias de 68 estudos visando à identificação e à quantificação de MPs no ambiente marinho. A partir de 2015, a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration dos Estados Unidos da América) elaborou um protocolo com os métodos empregados na quantificação desses compostos em águas e sedimentos de regiões marinhas (MAUSRA; FOSTER, 2015).

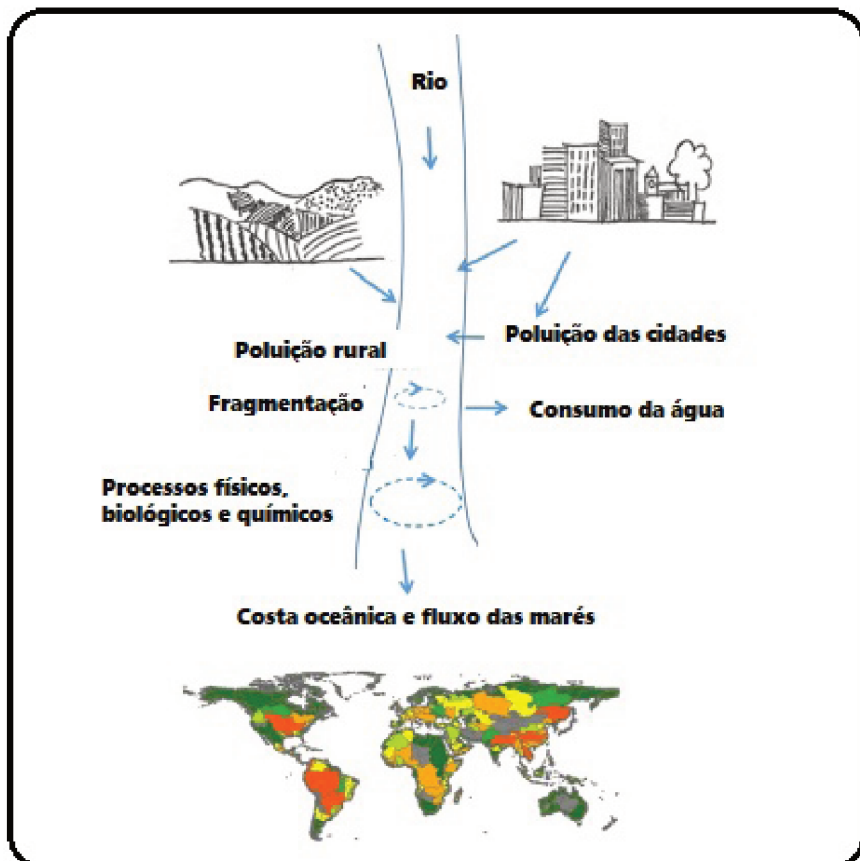
O descarte indiscriminado de resíduos plásticos no ambiente favorece o transporte e acúmulo de material plástico tanto na região costeira como no meio marinho, uma vez que esses resíduos são transportados via escoamento fluvial. Estudos científicos apontam formas para criação de modelos locais para descrever o transporte de plástico do continente para os oceanos (KOOI *et al.*, 2018; SIEGFRIED *et al.*, 2017; VAN WIJNEN; RAGAS; KROEZE, 2019; ZHANG, 2017). Estima-se que aproximadamente 80% dos plásticos encontrados nos oceanos foram transportados do continente, e, dentro desse montante, encontram-se MPs (COLE *et al.*, 2011). A figura 9 apresenta um desenho esquemático do transporte global de plástico do continente ao oceano.



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Figura 9: Modelo representativo do transporte global de plástico do continente ao oceano



Fonte: Adaptado de Van Wijnen, Ragas e Kroeze (2019)

3 Materiais e métodos

Revisões sistemáticas da literatura possuem o papel de agrupar e consolidar os resultados de estudos primários sobre um determinado tema. Por meio de uma análise crítica e metodológica, é possível identificar lacunas para temas de pesquisas e sintetizar informações relevantes de um volume crescente de resultados publicados (GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2012).

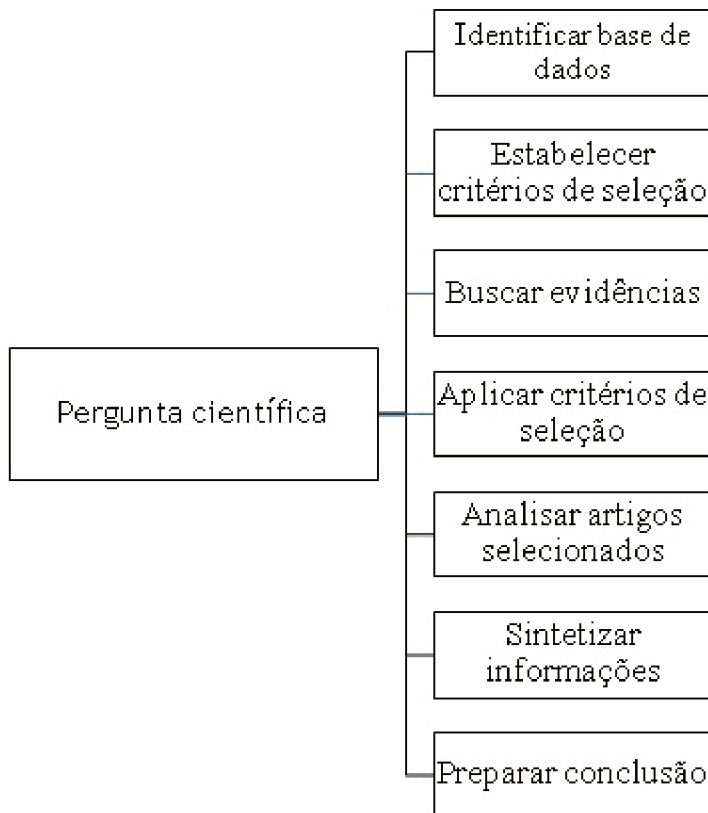
O método utilizado para esta revisão é conhecido como Síntese da Estrutura, uma tradução do termo inglês Framework Synthesis. Esse método permite uma estrutura inicial conceitual durante a síntese, o que torna os revisores mais familiares com a literatura que está sendo revisada. Também permite análises sistemáticas e matriciais, utilizando ferramentas de busca. A revelação dos resultados se dá por avaliações do conteúdo, que agregam dados e reconfiguram as buscas, e são apresentados de acordo com a estrutura das tentativas de busca do tema e conceitos identificados (GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2012).

Este artigo utilizou a estratégia de busca mostrada na Figura 10 como método sistemático de revisão para planejar as etapas, fazendo com que os resultados possam ser auditáveis, replicáveis e úteis no suporte a pesquisas relacionadas à problemática dos MPs nos oceanos e corpos hídricos.

Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Figura 10: Estratégia para revisão sistemática



Fonte: Os autores (2019)

3.1 Definição da pergunta científica

Trabalhos de revisão necessitam especificar a questão científica à qual estão tentando responder e a metodologia empregada para tal finalidade (GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2012). Este trabalho buscou o entendimento do fenômeno científico e suas inter-relações com as condições de contorno do ambiente, e com o objetivo de obter um resultado qualitativo, para responder à pergunta: quanto de microplástico é transportado do continente para as águas fluviais e posteriormente para o oceano?

3.2 A busca da evidência científica

A busca utilizou o portal de Periódicos Capes, no sítio <http://www.periodicos.capes.gov.br/> como base indexadora de dados. Os recursos selecionados para análise foram artigos revisados por pares e em idioma inglês. A busca foi feita por assunto, a fim de obter resultados de diversas fontes de informação, como, por exemplo, Scopus e Scielo.

Utilizaram-se termos de busca associados a operadores booleanos, e, quando foi necessário encontrar um número maior de artigos, foram utilizados operadores de proximidade juntamente com os operadores booleanos.



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Os termos de busca utilizados nesta revisão sistemática da literatura foram correlacionados com as seguintes palavras-chave: *microplastics*, *transport of microplastics*, *modelling*, *material flow analysis* e *systematic reviews*.

Para construção dos termos de buscas foi utilizado a sequência mostrado no Quadro 1

Quadro 1: Sequência de termos de busca

Interação	Termos de busca
1	<i>microplastics</i>
2	<i>microplastics AND (marine environment) AND (marine litter) AND (marine debris)</i>
3	<i>microplastics AND POP AND contaminant AND adsorption</i>
4	<i>microplastics AND (column water) AND river AND ocean</i>
5	<i>microplastics AND model* AND (numerical model*) AND (math* model*)</i>
6	<i>microplastics AND model* AND phytoplankton</i>
7	<i>microplastics AND model* AND (column water) AND (global circulation)</i>
8	<i>model* AND (per capita plastic waste) AND (math* model*)</i>
9	<i>microplastics AND math* AND model*</i>
10	<i>microplastics AND fate AND (land to sea)</i>
11	<i>microplastics AND transport AND export AND nutrientes</i>
12	<i>microplastics AND Brazil AND river AND coastal</i>
13	<i>(plastic waste) AND (material flow analysis) AND microplastics</i>
14	<i>microplastics AND prediction AND rout*</i>
15	<i>(systematic review) AND microplastics AND (design science)</i>

3.3 Critério de seleção

De acordo com o método de Síntese da Estrutura, após as buscas iniciais para encontrar evidências científicas, há a etapa de buscas interativas para refinamento dos resultados. Para esse refinamento, adotou-se a seguinte sistemática: i) Termos de busca; ii) Filtros de seleção; iii) Avaliação do título dos artigos; iv) Avaliação do conteúdo dos resumos.

Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

3.3.1 Seleção dos artigos científicos

A fim de construir o alicerce da pesquisa, foram selecionados artigos capazes de responder às perguntas:

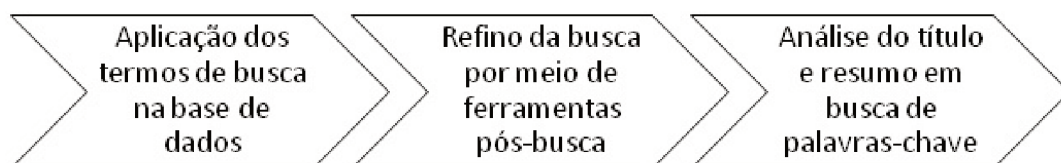
- O que são e como se formam os MPs?
- Qual o impacto à natureza causado pelos MPs?
- Como ocorre o transporte de MP no globo terrestre?

Durante a fase de seleção, utilizaram-se os filtros do Portal Capes como ferramentas pós-busca. Dessa forma, apenas termos específicos diretamente ligados às perguntas de refino foram estabelecidos como critério de seleção.

3.3.2 Análise dos artigos científicos

A partir do resultado dos critérios de seleção, foi feita a análise criteriosa dos artigos. Nessa análise, houve a busca por alguma das palavras-chave, relacionadas à pergunta científica, que estivessem contidas no título ou resumo dos artigos. O material obtido nessa etapa foi analisado na íntegra e fez parte desta pesquisa como referência bibliográfica.

3.3.2 Fluxograma da interação de busca



4 Resultados

A revisão sistemática da literatura obteve resultados a partir da sequência de busca apresentada na tabela 1, o que resultou em 7.417 artigos. Com a aplicação dos critérios de seleção, o resultado obtido foi de 3.343 artigos. Com a análise dos artigos científicos, foi possível selecionar 67 trabalhos ligados ao tema de interesse da pesquisa. Na Tabela 1, é apresentado o planejamento da estrutura de buscas, os resultados alcançados por meio das etapas interativas e a bibliografia selecionada após a aplicação de todos os critérios estabelecidos.

Foi possível capturar artigos com dados que apresentam a teoria das relações químicas de degradação do plástico até o nível micro, termos e definições utilizados pelos pesquisadores do tema, ocorrência de MP nos ecossistemas e ocorrência de MP em ambientes marinhos. Durante a busca pela relevância do tema, bem como pelo potencial da ação poluente desse material, foi



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

.....

possível encontrar artigos que apresentassem o MP como poluente ambiental, o MP como vetor de contaminação e os efeitos ambientais causados pela presença de MP. Ao retornar às buscas ao tema central da pesquisa, por meio de assuntos relacionados ao transporte de MP no globo terrestre, foram encontrados artigos que apresentam modelos globais de transporte de nutrientes e modelos de transporte de MP do continente para o oceano.

A qualidade das revisões sistemáticas pode ser expressa por indicadores de sensibilidade e precisão. A sensibilidade é a habilidade de alocar registros de interesse, e a precisão é a relevância da estratégia de busca para identificar registros de interesse. Esses indicadores não se confrontam, e podem atuar balanceando as pesquisas científicas (GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2012).

O cálculo é realizado por intermédio das expressões abaixo:

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\text{Reter registros relevantes}}{\text{Todos os registros relevantes que existem}} = \frac{67}{3343} = 0,02 \quad (1)$$

$$\text{Precisão} = \frac{\text{Reter registros relevantes}}{\text{Todos os registros retidos na pesquisa}} = \frac{67}{7417} = 0,009 \quad (2)$$

A formação do indicador é livre, e não há na literatura valores comparativos para os resultados de sensibilidade e precisão. Por isso, nesta pesquisa, adotou-se a razão entre os indicadores como critério de avaliação. Dessa forma, quando a razão sensibilidade / precisão resulta em 1, afirma-se que poucos artigos foram perdidos na pesquisa e que os artigos encontrados possuem alta relevância.

Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Tabela 1: Resultados da busca no período de 01 de novembro de 2019 a 20 janeiro 2020

(continua)

Interação	Palavra-chave	Termos de busca	Artigos encontrados	Artigos selecionados	Artigos analisados	Autores
1	microplastic	<i>microplastics</i>	4106	2368	23	ANDOGAN; GUVEN, 2019; ANDRADY, 2003, 2011; BAKIR; ROWLAND; THOMPSON, 2012; BERGMANN <i>et al.</i> , 2015; CARUSO, 2019; CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2018; CHUBARENKO, 2016; CINCINELLI <i>et al.</i> , 2019; COCCA <i>et al.</i> , 2018; COLE <i>et al.</i> , 2011; CRAWFORD; QUINN, 2017; HIDALGO-RUZ <i>et al.</i> , 2012; LAMBERT; WAGNER, 2018; LI; LIU; PAUL CHEN, 2018; LUSHER, 2015; MAUSRA; FOSTER, 2015; RIBEIRO <i>et al.</i> , 2019; RODRIGUES <i>et al.</i> , 2019; RODRIGUES; R. ALMEIDA; RAMOS, 2019; WAGNER, 2017; WORM <i>et al.</i> , 2017; WU <i>et al.</i> , 2019
2		<i>microplastics AND (marine environment) AND (marine litter) AND (marine debris)</i>	930	271		
3		<i>microplastics AND POP AND contaminant AND adsorption</i>	22	6		
4		<i>microplastics AND (column water) AND river AND ocean</i>	389	158		
5	modelling	<i>microplastics AND model* AND (numerical model*) AND (math* model*)</i>	58	42	16	(CALKIN, 1996; CINCINELLI <i>et al.</i> , 2019; COLLINS; HERMES, 2019; ENDERS <i>et al.</i> , 2015; EVERAERT, [s.d.]; GOUIN <i>et al.</i> , 2011; HARDESTY <i>et al.</i> , 2017; ISOBE <i>et al.</i> , 2019; KROEZE, [s.d.]; LEBRETON; GREER; BORRERO, 2012; MUSY, [s.d.]; NORDAM <i>et al.</i> , 2019; SHERMAN; VAN SEBILLE, 2016; SONAM <i>et al.</i> , 2019; VAN WIJNEN; RAGAS; KROEZE, 2019)
6		<i>microplastics AND model* AND phytoplankton</i>	268	137		
7		<i>microplastics AND model* AND (column water) AND (global circulation)</i>	168	28		
8		<i>model* AND (per capita plastic waste) AND (math* model*)</i>	1	0		
9		<i>microplastics AND math* AND model*</i>	263	84		

Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

Tabela 1: Resultados da busca no período de 01 de novembro de 2019 a 20 janeiro 2020

(conclusão)

Interação	Palavra-chave	Termos de busca	Artigos encontrados	Artigos selecionados	Artigos analisados	Autores
10	transport of microplastics	microplastics AND fate AND (land to sea)	401	77	10	(AUTA; EMENKE; FAUZIAH, 2017; BAKIR; ROWLAND; THOMPSON, 2014; BALLENT <i>et al.</i> , 2013; JAMBECK <i>et al.</i> , 2015; KOOI <i>et al.</i> , 2018; KROEZE; BOUWMAN; SEITZINGER, 2012; LONG <i>et al.</i> , 2015; MAYORGA <i>et al.</i> , 2010; SIEGFRIED <i>et al.</i> , 2017; ZHANG, 2017)
11		microplastics AND transport AND export AND nutrients	46	25		
12		microplastics AND Brazil AND river AND coastal	166	22		
13	material flow analysis	(plastic waste) AND (material flow analysis) AND microplastics	410	80	14	(BAI <i>et al.</i> , 2018; BASSLER; PACZUSKI; ALTSHULER, 2001; BRUNNER; RECHBERGER, 2004, 2017; SILVA <i>et al.</i> , 2019; GORAN <i>et al.</i> , 2010; HE <i>et al.</i> , 2018; LEBRETON <i>et al.</i> , 2017; PATRÍCIO <i>et al.</i> , 2015; TRAMOY <i>et al.</i> , 2019; WANG; MA, 2018, 2018)
14		microplastics AND prediction AND rout*	96	21		
15	systematic review	(systematic review) AND microplastics AND (design science)	91	24	4	(COOPER; HEDGES; VALENTINE, 2009; Design science and design science research, 2014; GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2012; SAMPAIO; MANCINI, 2007)

5 Considerações finais

Nota-se que há uma diferença considerável entre os indicadores, visto que está apresentado um valor de sensibilidade maior do que o valor de precisão. Uma alta sensibilidade significa que poucos registros foram perdidos na pesquisa, e uma baixa precisão significa que a pesquisa identificou muitos registros que não foram relevantes para a revisão.

Assim, é possível concluir que a pesquisa gerou um alto índice de artigos referentes ao tema de MP no ambiente; no entanto, não foi possível aproveitar grande número de resultados para o tema do transporte de microplástico e da resposta pergunta científica proposta.



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

O resultado desta pesquisa está plenamente alinhado com outras pesquisas recentes que também apontam a necessidade de crescimento de trabalhos que reforçam a necessidade da construção de modelos e simulações numéricas (HARDESTY *et al.*, 2017), dado que os MPs podem ser um poluente de alto potencial (RODRIGUES *et al.*, 2019) e estão com crescimento exponencial nos oceanos e corpos hídricos (AUTA; EMENIKE; FAUZIAH, 2017; CRAWFORD; QUINN, 2017), além de estarem presentes nas bacias hidrográficas e na costa brasileira (CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2018).

Referências

- ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria de Plástico. Perfil 2018. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 22 nov. 2019.
- AKDOGAN, Z.; GUVEN, B. Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environmental Pollution*, v. 254, p. 113011, nov. 2019.
- ANDRADY, A. L. (ed.). *Plastics and the environment*. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2003.
- ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 8, p. 1596–1605, Aug. 2011.
- AUTA, H. S.; EMENIKE, C. U.; FAUZIAH, S. H. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, v. 102, p. 165–176, May 2017.
- BAI, M. *et al.* Estimation and prediction of plastic waste annual input into the sea from China. *Acta Oceanologica Sinica*, v. 37, n. 11, p. 26–39, Nov. 2018.
- BAKIR, A.; ROWLAND, S. J.; THOMPSON, R. C. Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, n. 12, p. 2782–2789, Dec. 2012.
- BAKIR, A.; ROWLAND, S. J.; THOMPSON, R. C. Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 140, p. 14–21, Mar. 2014.
- BALLENT, A. *et al.* Modelled transport of benthic marine microplastic pollution in the Nazaré Canyon. *Biogeosciences*, v. 10, n. 12, p. 7957–7970, 6 Dec. 2013.
- BASSLER, K. E.; PACZUSKI, M.; ALTSHULER, E. Simple model for plastic dynamics of a disordered flux-line lattice. *Physical Review B*, v. 64, n. 22, p. 224517, 21 Nov. 2001.
- BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. *Marine anthropogenic litter*. New York: Springer, 2015.
- BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. *Practical handbook of material flow analysis*. Boca Raton, FL: CRC, Lewis, 2004.



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. *Handbook of material flow analysis: for environmental, resource, and waste engineers*. 2th ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.

CALKIN, M. G. *Lagrangian and Hamiltonian mechanics*. Singapore ; River Edge, NJ: World Scientific, 1996.

CARUSO, G. Microplastics as vectors of contaminants. *Marine Pollution Bulletin*, v. 146, p. 921–924, Sept. 2019.

CASTRO, R. O.; SILVA, M. L. DA; ARAÚJO, F. V. DE. Review on microplastic studies in Brazilian aquatic ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, v. 165, p. 385–400, Nov. 2018.

CHUBARENKO, I. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Mar Pollut Bull.*, v. 108, n. 1-2, p. 105-12, May 13 2016.

CINCINELLI, A. *et al.* A potpourri of microplastics in the sea surface and water column of the Mediterranean Sea. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 110, p. 321–326, Jan. 2019a.

COCCA, M. *et al.* *Proceedings of the International Conference on Microplastic Pollution in the Mediterranean Sea*. Cham: Springer International Publishing, 2018.

COLE, M. *et al.* Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 12, p. 2588–2597, Dec. 2011.

COLLINS, C.; HERMES, J. C. Modelling the accumulation and transport of floating marine microplastics around South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, v. 139, p. 46–58, Feb. 2019.

COOPER, H. M.; HEDGES, L. V.; VALENTINE, J. C. (eds.). *The handbook of research synthesis and meta-analysis*. 2nd ed. New York: Russell Sage Foundation, 2009.

CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. *Microplastic pollutants*. Amsterdam: Elsevier, 2017.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. *Design science and design science research*. New York: Springer, 2014.

ENDERS, K. *et al.* Abundance, size and polymer composition of marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution. *Marine Pollution Bulletin*, v. 100, n. 1, p. 70–81, Nov. 2015.

EVERAERT, G. Risk assessment of microplastics in the ocean: Modelling approach and first conclusions. *Environmental Pollution*, v. 242, part B, p. 1930-1938, Nov. 2018.

GORAN, V. V. *et al.* Assessment of plastic flows and stocks in Serbia using material flow analysis. *Thermal Science*, v. 14, n. suppl., p. 89–95, 2010.

GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. (eds.). *An introduction to systematic reviews*. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE, 2012.

GOUIN, T. *et al.* Thermodynamic Approach for Assessing the Environmental Exposure of Chemicals Absorbed to Microplastic. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 4, p. 1466–1472, 15 Feb. 2011.



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

HARDESTY, B. D. *et al.* Using Numerical Model Simulations to Improve the Understanding of Micro-plastic Distribution and Pathways in the Marine Environment. *Frontiers in Marine Science*, v. 4, 31 Mar. 2017.

HE, K.; TAN, Q.; ZHENG, L.; LI, J. Adapting to new policy environment – past pattern and future trend in us-sino waste plastic trade flow. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 25, n. 8, p. 703–712, 17 Nov. 2018.

HIDALGO-RUZ, V. *et al.* Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, v. 46, n. 6, p. 3060–3075, 20 Mar. 2012.

ISOBE, A. *et al.* Abundance of non-conservative microplastics in the upper ocean from 1957 to 2066. *Nature Communications*, v. 10, n. 1, p. 417, Dec. 2019.

JAMBECK, J. R. *et al.* Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 768–771, 13 Feb. 2015.

KOOI, M. *et al.* Modeling the Fate and Transport of Plastic Debris in Freshwaters: Review and Guidance. In: WAGNER, M.; LAMBERT, S. (eds.). *Freshwater Microplastics*. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 58. p. 125–152.

KROEZE, C. *et al.* Global modelling of surface water quality: a multi-pollutant approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 23, p. 35-45, Dec. 2016.

KROEZE, C.; BOUWMAN, L.; SEITZINGER, S. Modeling global nutrient export from watersheds. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 4, n. 2, p. 195–202, May 2012.

LAMBERT, S.; WAGNER, M. Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. In: WAGNER, M.; LAMBERT, S. (eds.). *Freshwater Microplastics*. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 58. p. 1–23.

LEBRETON, L. C. M. *et al.* River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, v. 8, n. 1, p. 15611, Aug. 2017.

LEBRETON, L. C.-M.; GREER, S. D.; BORRERO, J. C. Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, n. 3, p. 653–661, Mar. 2012.

LI, J.; LIU, H.; PAUL CHEN, J. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, v. 137, p. 362–374, Jun. 2018.

LONG, M. *et al.* Interactions between microplastics and phytoplankton aggregates: Impact on their respective fates. *Marine Chemistry*, v. 175, p. 39–46, Oct. 2015.

LUSHER, A. Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. In: BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. (eds.). *Marine Anthropogenic Litter*. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 245–307.

MAUSRA, B. *et al.* (eds.). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment*. Silver Spring, MD: NOAA Marine Debris Division, 2015.



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

MAYORGA, E. *et al.* Global Nutrient Export from WaterSheds 2 (NEWS 2): Model development and implementation. *Environmental Modelling & Software*, v. 25, n. 7, p. 837–853, Jul. 2010.

MUSY, A.; HINGRAY, B.; PICOUET, C. *Hydrology: A Science for Engineers*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2015.

NORDAM, T. *et al.* Numerical analysis of boundary conditions in a Lagrangian particle model for vertical mixing, transport and surfacing of buoyant particles in the water column. *Ocean Modelling*, v. 136, p. 107–119, Apr. 2019.

PATRÍCIO, J. *et al.* Uncertainty in Material Flow Analysis Indicators at Different Spatial Levels: Uncertainty in Material Flow Analysis Indicators at Different Spatial Levels. *Journal of Industrial Ecology*, v. 19, n. 5, p. 837–852, Oct. 2015.

RIBEIRO, F. *et al.* Accumulation and fate of nano- and micro-plastics and associated contaminants in organisms. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 111, p. 139–147, Feb. 2019.

RODRIGUES, J. P. *et al.* Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: A critical overview. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 111, p. 252–260, Feb. 2019.

RODRIGUES, S. M.; R. ALMEIDA, C. M.; RAMOS, S. Adaptation of a laboratory protocol to quantify microplastics contamination in estuarine waters. *MethodsX*, v. 6, p. 740–749, 2019.

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 11, n. 1, p. 83–89, fev. 2007.

SHERMAN, P.; VAN SEBILLE, E. Modeling marine surface microplastic transport to assess optimal removal locations. *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 1, p. 014006, 1 jan. 2016.

SIEGFRIED, M. *et al.* Export of microplastics from land to sea. A modelling approach. *Water Research*, v. 127, p. 249–257, Dec. 2017.

SILVA, L. F. *et al.* Evolution toward environment sustainable behavior: search for survival in the plastic industry in Brazil. *Environment, Development and Sustainability*, v. 21, n. 3, p. 1291–1320, Jun. 2019.

SONAM, C. *et al.* Mathematical modelling and analysis of plastic waste pollution and its impact on the ocean surface. *Journal of Ocean Engineering and Science*, p. S2468013319301676, Sep. 2019.

TRAMOY, R. *et al.* Assessment of the Plastic Inputs From the Seine Basin to the Sea Using Statistical and Field Approaches. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, p. 151, 10 Apr. 2019.

VAN WIJNEN, J.; RAGAS, A. M. J.; KROEZE, C. Modelling global river export of microplastics to the marine environment: Sources and future trends. *Science of The Total Environment*, v. 673, p. 392–401, Jul. 2019.

WAGNER, M. *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?* New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017.

WANG, Y.; MA, H. Analysis of uncertainty in material flow analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 170, p. 1017–1028, Jan. 2018.



Revisão sistemática do transporte de microplástico do continente para o oceano

Rafael Gouvêa Guimarães, Jader Lugon Junior, Antônio José da Silva Neto

.....

WORM, B. *et al.* Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 42, n. 1, p. 1–26, 17 Oct. 2017.

WU, P. *et al.* Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 184, p. 109612, Nov. 2019.

ZHANG, H. Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 199, p. 74–86, Dec. 2017.

