

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos**  
**Trópicos**

**MAXWELL RODRIGO DE GOES SILVA**

**POLUIÇÃO DOS OCEANOS POR PLÁSTICO: HISTÓRICO, CIENCIOMETRIA E**  
**PRINCIPAIS LACUNAS NO CONHECIMENTO.**

**MACEIÓ - ALAGOAS**  
**Abril/2019**

**MAXWELL RODRIGO DE GOES SILVA**

**POLUIÇÃO DOS OCEANOS POR PLÁSTICO: HISTÓRICO, CIENCIOMETRIA E PRINCIPAIS LACUNAS NO CONHECIMENTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE TROPICAL.

**Orientadores:** Prof Dr. Robson G. dos Santos  
Dr<sup>a</sup>. Karla Paresque

**MACEIÓ - ALAGOAS**  
**Abril/2019**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

- S586p Silva, Maxwell Rodrigo de Goes.  
Poluição dos oceanos por plástico : histórico, cienciometria e principais lacunas no conhecimento / Maxwell Rodrigo de Goes Silva. – 2019.  
89 f. : il.
- Orientador: Robson Guimarães dos Santos.  
Co-orientadora: Karla Paresque.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação. Maceió, 2019.
- Inclui bibliografias.
1. Microplástico. 2. Poluição marinha - Plásticos. 3. Cientometria.  
I. Título.
- CDU: 504.054(26)-036.5

Folha de aprovação

Maxwell Rodrigo de Goes Silva

**POLUIÇÃO DOS OCEANOS POR PLÁSTICO: HISTÓRICO,  
CIENCIOMETRIA E PRINCIPAIS LACUNAS NO  
CONHECIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS na área da Biodiversidade.

Dissertação aprovada em 02 de abril de 2019.

Prof. Dr. Robson Guimarães dos Santos/UFAL  
Orientador

Prof. Dra. Juliana Ivar do Sul/IOW  
(membro titular)

Prof. Dr. Richard James Ladle/UFAL  
(membro titular)

Prof. Dr. Ryan Carlos de Andrades/UFES  
(membro titular)

*Aos meus pais José da Silva e M<sup>a</sup> das Graças de Goes  
Silva, por todo apoio e incentivo, DEDICO.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Expresso a minha gratidão por todo apoio e dedicação a aqueles que são extremamente importantes em minha caminhada. Com vocês o cansaço e o desânimo deram lugar a força e a coragem para prosseguir.*

*Primeiramente a Deus e aos meus pais, que sempre me apoiaram. Sem eles não haveria nada disso.*

*Aos meus orientadores (Robson Guimarães dos Santos e Karla Paresque), por toda paciência, dedicação, generosidade, amizade, compreensão, incentivo e profissionalismo com que me orientaram nesta pesquisa. Eles me inspiraram e ainda continuam a me inspirar a ser um biólogo e cientista melhor.*

*Aos membros de minha banca de avaliação, os Doutores Richard James Ladle, Juliana Ivar do Sul e Ryan Carlos de Andrades.*

*Ao meu irmão Marcus Raphael de Goes Silva, pelo auxílio na edição de imagens, pelos conselhos e pelo carinho.*

*A minha namorada Neuza Morgana, fruto de um intenso e verdadeiro amor, pelo apoio incondicional, por saber lidar com minha ausência nos momentos em que investia meu tempo na construção desse trabalho.*

*Ao professor Dr Marcos Vinicius Carneiro Vital, pelo grande apoio nas análises estatísticas.*

*A todas as pessoas que passaram por minha vida e de certa forma contribuíram para isso, como: meus ex-colegas de turmas e professores de graduação e mestrado. A todos do Laboratório de Biologia Marinha e Conservação. De modo especial agradeço a Julia de Souza Vieira, sempre prestativa em ajudar.*

***Essa vitória não é só minha, é de todos vocês!***

## RESUMO

Desde quando foi criado no século XX, a produção e o consumo de plásticos sintéticos continuam aumentando. Em 2016, a produção mundial de plástico foi estimada em 335 milhões de toneladas e, de acordo com as tendências atuais, deve chegar a 40 bilhões de toneladas até o final de 2050. Características como flexibilidade, resistência e relativo baixo custo de produção levam a população a um excessivo consumo de materiais plásticos. Essas mesmas características aliadas ao descarte irregular fazem com que esse material fosse considerado uma ameaça global aos ecossistemas. Hoje, pelo menos 80% do lixo que chega aos oceanos é plástico. Devido a sua importância e relevância, na última década o conhecimento científico sobre a poluição por plástico cresceu e tem atraído cada vez mais a atenção da comunidade científica e da população global. Já se sabe que toda a biota marinha, desde a base até o topo da cadeia trófica marinha pode interagir com resíduos plásticos, isso porque esses materiais já foram encontrados em todas as zonas marinhas, do litoral a ilhas remotas. Fica clara a necessidade em entender o estado da arte do conhecimento da poluição dos oceanos por plástico, ou seja, o quanto o conhecimento científico sobre o tema avançou e quais as lacunas existentes. Neste contexto, a cienciometria, ferramenta focada nas métricas de pesquisa, pode esclarecer os avanços do conhecimento científico, ajudando os pesquisadores a avaliar as tendências no conhecimento ao longo do tempo e a identificar caminhos a serem seguidos. A revisão sistematizada da literatura pode aumentar a acessibilidade das melhores informações científicas, gerando uma base mais robusta e acessível que pode atingir os tomadores de decisões e potencialmente minimizar o problema da poluição por plástico. Nessa dissertação um conjunto de dados cienciométricos e uma revisão sistematizada da literatura científica foram empregados para analisar as pesquisas sobre a poluição dos oceanos por plástico. 974 artigos da base de dados do Web Of Science foram utilizados, que representam um total de 2911 autores e 216 periódicos. EUA, Reino Unido, Brasil e Austrália são os países mais produtivos. Foram discutidos ainda os fatores que podem influenciar o interesse científico, a criação de legislação e o interesse público dos países sobre o tema. Além disso, foi pesquisado quais os subtemas, regiões, ecossistemas e táxons menos estudados, obtendo em consequência as lacunas no conhecimento. No geral, poucos estudos sobre a poluição por plástico foram realizados em zonas oceânicas, em ambientes de profundidade ou de importância biológica como recifes de corais e manguezais. Da mesma forma, poucos estudos tentaram compreender quais os impactos ambientais do *Rafting* de espécies em resíduos plásticos e qual a relação entre produtos químicos adquiridos do ambiente ou adicionados em plástico no processo de fabricação com a contaminação do ambiente ou da fauna. Os resultados indicam que o uso dessa abordagem (cienciometria aliada a revisão sistematizada da literatura) se mostrou útil na avaliação e quantificação dos esforços de pesquisas sobre a poluição dos oceanos por plástico. Esse estudo abre caminho para que novas pesquisas partindo das lacunas no conhecimento possam ser realizadas.

**Palavras-Chave:** microplástico, poluição marinha, revisão sistematizada.

## ABSTRACT

Since its creation in the 20<sup>th</sup> century, plastic production and consumption has increased continuously. In 2016, global plastic production was estimated in 335 million tons and, according to current trends, it must reach 40 billion tons by the end of 2050. Features as flexibility, resistance, and relatively low manufacture cost led populations into excessive consumption. These same features combined with irregular discard has turned plastic into a global threat to ecosystems. Nowadays, nearly 80% of waste that reaches the oceans is plastic waste. Due to its importance and relevance, in the last decade, scientific knowledge about plastic pollution has grown and attracted the attention of scientific community and the global population. It is known that all types of marine creatures, from the largest to microscopic organisms, can interact with plastic waste, because these materials have already been found in all marine areas, from the coast to remote islands. There is a need to comprehend the ocean plastic pollution state of art, how much the knowledge on this theme has advanced and which are its gaps. In this context, scientometric, an innovative tool focused on research metrics, may clarify advances in scientific knowledge, help researchers to assess knowledge trends through time, and to identify paths to mitigate plastic pollution problems. Literature systematic review can increase openness to better scientific information, creating a robust and accessible base to decision makers. Therefore, we used a scientometric database and a scientific literature systematic review to evaluate research on ocean plastic pollution. We collected 974 articles from Web of Science database from 2,911 authors published in 216 journals. USA, UK, Brazil and Australia are the countries with more papers published. We also discuss factors that may influence scientific interest, law creation, and public interest in each country about the theme. In addition, we sought to understand which sub-themes, regions, ecosystems and taxa are less studied, resulting in knowledge gaps. Overall, few studies on plastic pollution have been conducted in oceanic areas, in deep environments or of great biological importance such as coral reefs and mangroves. Likewise, few studies have attempted to understand the environmental impacts of species rafting on plastic waste and what is the relationship between chemicals acquired from the environment or added in plastic during the manufacturing process to environmental or wildlife contamination. Our results indicate that the use of this approach (scientometric combined with literature systematic review) has shown to be useful for assessing and quantifying research efforts on ocean plastic pollution. This study gives opportunities to new research rise from knowledge gaps.

**Keywords:** microplastic, marine pollution, systematized review.

## LISTA DE FIGURAS

### SEÇÃO 2

Figura 1-	Comparação da produção mundial de plástico expresso em milhões de toneladas por ano (Mt) e número de artigos científicos publicados por ano sobre a poluição dos oceanos por plástico.....	20
Figura 2-	Rede dos países que mais publicam artigos científicos sobre poluição dos oceanos por plástico de 1972 a 2016.....	22
Figura 3-	Mapa de visualização de rede de palavras-chave dos artigos relacionados à poluição dos oceanos por plástico publicados de 1972-2016.....	22
Figura 4-	Os 15 periódicos que mais publicam artigos sobre a poluição dos oceanos por plástico e a quantidade de publicações por períodos.....	23
Figura 5-	Gráfico comparativo da quantidade por período dos tópicos de pesquisa presentes nas publicações sobre poluição dos oceanos por plástico. ....	24
Figura 6-	Quantidade por período e por táxons das publicações que relataram interação da fauna com detritos plásticos. Os valores do gráfico são relativos pois alguns estudos relataram mais de um táxon interagindo com plástico.....	25
Figura 7-	Evolução por ano da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico do período de 1972 a 1990.....	28
Figura 8-	Evolução por ano da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico do período de 1991 a 2008.. ....	30
Figura 9-	Mapa de visualização de rede de palavras-chave dos artigos relacionados à poluição dos oceanos por plástico publicados de 1991 a 2008.....	31
Figura 10-	Rede dos países que mais publicam artigos científicos sobre poluição dos oceanos por plástico, no período de 1991 a 2008.....	32
Figura 11-	Evolução por ano da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico do período de 2009 a 2016.. ....	33
Figura 12-	Mapa de visualização de rede de palavras-chave dos artigos relacionados à poluição dos oceanos por plástico do período de 2009	

	a 2016.....	34
Figura 13-	Mapa de visualização da rede dos países que mais publicam artigos científicos sobre poluição dos oceanos por plástico, no período de 2009 a 2016. ....	36
Figura 14-	Painel ilustrativo: a) Evolução do interesse científico mundial sobre a temática da poluição dos oceanos por plástico; b) Evolução do interesse científico dos países que mais publicaram sobre a poluição dos oceanos por plástico; c) Distribuição mundial do interesse científico sobre poluição dos oceanos por plástico (1996-2016); d) Distribuição mundial do interesse público sobre poluição dos oceanos por plástico (2016). ....	38
 <b>SEÇÃO 3</b>		
Figura 1-	Rank dos países responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos (Jambeck, et al., 2015); e distribuição mundial da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico (1972-2016). ....	58
Figura 2-	Número de estudos sobre a poluição dos oceanos por plástico por regiões geográficas e oceanos. Além da escala de cores, para os oceanos o tamanho do círculo indica a quantidade de estudos, ou seja, quanto maior o círculo maior a quantidade de estudos. ....	59
Figura 3-	Distribuição das pesquisas sobre poluição dos oceanos por plástico de acordo com a região marinha e ambientes de estudo (1972-2016). ....	60
Figura 4-	Quantidade de estudos por táxons sobre ingestão de macroplástico e microplástico pela fauna marinha. a) Táxons estudados quanto a ingestão de macroplástico; b) Táxons estudados quanto a ingestão de microplástico. ....	61
Figura 5-	Quantidade de estudos por táxons que relataram a letalidade ou efeitos subletais da ingestão de macroplástico. ....	63

## LISTA DE TABELAS

### SEÇÃO 2

Tabela 1 -	Categorias de pesquisas sobre a poluição dos oceanos por plástico.	16
Tabela 2 -	Os dez países que mais publicam sobre poluição por plástico, sua classificação e o que estão pesquisando.....	21

## SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	1
2	SEÇÃO 1: REVISÃO DA LITERATURA.....	2
2.1	Entrada de Plástico nos Oceanos.....	2
2.2	Impactos Ambientais.....	4
2.3	Os Microplásticos e os Nanoplásticos.....	5
2.4	REFERÊNCIAS.....	6
3	SEÇÃO 2: Poluição dos Oceanos por Plástico: cienciometria, evolução e crescimento do interesse científico.....	12
3.1	INTRODUÇÃO.....	13
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.2.1	Revisão Sistematizada.....	16
3.2.2	Análises Cienciométricas.....	17
3.2.3	Interesse Científico, Interesse Público e Legislação.....	17
3.2.4	Evolução da pesquisa sobre poluição por plástico.....	19
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
3.3.1	Panorama geral.....	19
3.3.2	1972-1990: Descobrimo o problema.....	25
3.3.3	1991-2008: Ampliando nossos conhecimentos.....	29
3.3.4	2009-2016: Microplástico e a explosão da produção científica.....	33
3.3.5	Interesse Científico, Interesse Público e Legislação.....	37
3.4	CONCLUSÃO.....	40
3.5	REFERÊNCIAS.....	42
4	SEÇÃO 3: Poluição dos Oceanos por Plástico: Principais Lacunas no Conhecimento.....	52
4.1	INTRODUÇÃO.....	53
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	55
4.2.1	Revisão Sistematizada.....	55
4.3	RESULTADOS.....	57
4.3.1	Distribuição geográfica das pesquisas.....	57

4.3.2	Países.....	57
4.3.3	Regiões e Oceanos.....	58
4.3.4	Ecosistemas.....	59
4.3.5	Interação da fauna com resíduos plásticos.....	60
4.3.6	Ingestão de Plástico por Táxons.....	61
4.3.7	Efeitos Letais e Subletais da Ingestão de Plástico.....	62
4.3.8	Poluentes associados ao Plástico.....	63
4.3.9	Impactos socioeconômicos.....	63
4.4	DISCUSSÃO.....	64
4.4.1	Distribuição geográfica das pesquisas.....	64
4.4.2	Ecosistemas.....	66
4.4.3	Interação da fauna com resíduos plásticos.....	68
4.4.4	Poluentes associados ao Plástico.....	72
4.4.5	Impactos socioeconômicos.....	73
4.5	CONCLUSÃO.....	74
4.6	REFERÊNCIA.....	75
4.7	CONCLUSÕES GERAIS.....	87

## 1. APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é composto por três capítulos, os quais dissertam juntos sobre diversos aspectos relacionados à poluição dos oceanos por plástico. O primeiro refere-se a uma revisão da literatura científica sobre o tema. O segundo e o terceiro capítulo encontram-se em formato de artigo científico segundo o periódico “*Marine Pollution Bulletin*”. A poluição dos oceanos por plástico foi escolhida como foco desse trabalho por ser atualmente um “tema quente”, ou seja, de grande importância e bastante discutido, apesar de relativamente recente.

O capítulo 1, Revisão de Literatura, apresenta informações relacionadas à poluição por plástico, entre elas, quando o plástico foi criado, quando e como se tornou uma ameaça aos ecossistemas, quais as fontes de plástico para os oceanos e quais os impactos ambientais ocasionados pelo descarte irregular de resíduos plásticos.

O capítulo 2, “Poluição dos oceanos por plástico: cienciometria, evolução e crescimento do interesse científico” traz um panorama global da produção científica sobre o tema. Por meio de uma análise cienciométrica aliada a uma revisão sistematizada, a literatura foi analisada quanto a colaboração internacional, distribuição geográfica de publicações, palavras-chave, tópicos mais pesquisados, crescimento do interesse científico e interesse público no tema.

Por fim, no capítulo 3 “Poluição dos oceanos por plástico: principais lacunas no conhecimento”, são identificadas as lacunas de conhecimento existente, dos pontos de vista geográfico (e.g., países e regiões), taxonômico (táxons afetados) e de habitats (e.g., recifes, manguezal e zonas oceânicas). Direcionando assim os futuros trabalhos de pesquisa e facilitando a criação de medidas de mitigação pelos tomadores de decisões.

## 1. REVISÃO DE LITERATURA

Os plásticos são um grupo de diversos polímeros sintéticos criados no início do século XX, mas que só passaram a ser amplamente difundidos e produzidos a partir de 1950, com o desenvolvimento comercial de poliolefinas, polipropileno e polietileno (Geyer et al., 2017; Ribeiro et al., 2019). Desde então, a produção e o consumo deste material cresceu rapidamente, e a estimativa é que continue a aumentar juntamente com os padrões de vida e o crescimento populacional (Cozar et al., 2014). Para ilustrar, a produção global de plástico aumentou aproximadamente 9% ao ano, passando de 5 milhões de toneladas por ano na década de 1960 para 335 milhões de toneladas de plástico em 2016 (PlasticsEurope, 2017). O crescente consumo de material plástico é consequência de sua versatilidade e características como baixa densidade, alta durabilidade e baixo custo de produção (Hammer et al., 2012), que fazem desses materiais ideais para uma ampla gama de aplicações (Andrady and Neal, 2009). No entanto, as propriedades que tornam os plásticos tão úteis também fazem com que ao entrar no ambiente, tornem-se uma ameaça aos ecossistemas (Villarrubia-Gómez et al., 2017).

Os resíduos plásticos atualmente são considerados como um dos tipos mais importantes de tecnofósseis, que provavelmente deixarão marcas permanentes na estrutura da Terra (Zalasiewicz et al., 2016). Dada a sua grande abundância, pesquisas tem apontado o plástico como possível indicador geológico do Antropoceno, atuando como potenciais marcadores estratigráficos de camadas geológicas recentes no planeta (Waters et al., 2016). O termo Antropoceno foi usado pela primeira vez no ano 2000 para se referir ao período de tempo atual em que os impactos humanos são pelo menos tão importantes quanto os processos naturais. Atualmente está sendo considerado como uma época geológica potencial que, caso formalmente aceite, sucederá o Holoceno (Corlett, 2015a).

### 2.1 Entrada de Plástico nos Oceanos

Os primeiros relatos de plástico nos oceanos apareceram na literatura científica no início dos anos 1970 (Carpenter and Smith, 1972; Carpenter et al., 1972). Estes primeiros artigos passaram a alertar o fato de que, além dos problemas estéticos, os resíduos plásticos também poderiam afetar a fauna marinha e transportar produtos tóxicos. Hoje, sabe-se que os itens de plástico estão consistentemente entre os mais abundantes tipos de lixo marinho (Gall and Thompson, 2015a). Estima-se que cerca de 80% do lixo que se acumula no solo, linhas costeiras, superfície do oceano ou fundo do mar é composto por plástico; assim, esse tipo de poluição se tornou um problema global, já que resíduos plásticos podem ser transportados através das bacias oceânicas, alcançando até as ilhas mais remotas (Barnes et al., 2009; Andrades et al., 2018).

Estimativas apontam que somente em 2010 entraram nos oceanos de 4 a 12 milhões de toneladas de plástico, podendo em 2025 essa quantidade aumentar em até uma ordem de grandeza (Jambeck, et al., 2015). Cozar et al. (2014) estimou em cerca de 7.000 a 35.000 toneladas a carga global de plástico na superfície oceânica, quantidade menor do que a esperada em comparação com a quantidade de plástico que entrou nos mares até hoje. A diferença entre a quantidade de plástico encontrada e a esperada foi explicada pela possível ocorrência de quatro processos: nano-fragmentação, que é a quebra de resíduos plásticos em partículas menores muitas vezes não captadas nos métodos convencionais de pesquisa, biofouling, processo de incrustação de organismos marinhos no plástico, muitas vezes acelerando a fragmentação ou levando ao afundamento do mesmo, deposição nos continentes e ilhas, e a ingestão pela biota marinha (Cozar et al., 2014).

Os resíduos plásticos que alcançam os oceanos são oriundos principalmente do continente e lançados por navios (Barnes et al. 2009). Os plásticos advindos da parte continental podem chegar ao mar sob influência do vento, descartados diretamente no mar e nos ambientes costeiros, despejados em sistemas fluviais ou em rios que desembocam no mar. Lebreton et al. (2017) estimou que entram nos oceanos a partir de rios todos os anos entre 1,15 e 2,41 milhões de toneladas de resíduos de plástico.

Jambeck (2015) listou os 20 países costeiros responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos, responsáveis por 83% dos resíduos plásticos despejados no ambiente marinho. Países asiáticos como China, Indonésia e Filipinas, assim como outros países em rápido desenvolvimento e com sistemas deficientes de gestão de resíduos sólidos urbanos, estão no topo da lista. O Brasil foi o único país da América Latina a figurar entre os 20 maiores poluidores, e os EUA fecha a lista em 20ª posição, sendo o único país da lista classificado como desenvolvido.

Além do aporte terrestre, o plástico advindo de embarcações, tanto oriundos de atividades pesqueiras quanto de transporte, são despejados no mar intencionalmente ou perdidos acidentalmente por manipulação, descuido ou mal tempo (Hammer et al., 2012; Tibbetts, 2015). Visando diminuir os impactos ambientais de despejo de lixo no mar a partir de navios, o Anexo V da Convenção Internacional para a Prevenção do Poluição por Navios (MARPOL 73/78, uma combinação da convenção de 1973 e do Protocolo de 1978) estabeleceu que todo o lixo deve ser mantido a bordo para descarte em instalações adequadas em terra (Carman et al., 2015). Outras fontes marítimas de poluição plástica incluem plataformas de petróleo e gás, instalações de aquacultura e navios de carga que perdem acidentalmente contêineres no mar (Tibbetts, 2015).

## **2.2 Impactos Ambientais**

A presença do plástico nos oceanos é considerada um tipo de poluição marinha por provocar impactos diretos à fauna, e conseqüentemente aos ecossistemas, como a ingestão e o emaranhamento (Browne et al., 2015). A ingestão de plástico pode eventualmente causar o bloqueio do trato digestivo, asfixia, sensação de saciedade, resultando em desnutrição, fome e, potencialmente, morte (Kühn et al., 2015). Além disso pode resultar na redução nas taxas de crescimento e diminuição na capacidade reprodutiva das espécies (Zampoukas et al., 2010; Wright et al., 2013; Sussarellu et al., 2016).

No final da década de 1990, Laist (1997) compilou uma lista com pelo menos 250 espécies de animais marinhos afetados diretamente por plástico. Mais

recentemente, Gall and Thompson (2015) estimimaram que mais de 400 espécies marinhas interagiram com plástico. Os relatos de interação com plástico são mais comuns para mamíferos, aves e tartarugas marinhas, tanto pelo emaranhamento quanto pela ingestão, existindo proporcionalmente uma menor quantidade, apesar de crescente, de relatos sobre os impactos em outros organismos (Gall and Thompson, 2015a).

Além dos impactos físicos provocados pela ingestão e emaranhamento, o plástico pode acumular contaminantes tóxicos (Andrady, 2011a), muitos deles classificados como carcinogênicos e disruptores endócrinos (Seachrist et al., 2016; Heindler et al., 2017; IARC, 2018). Esses contaminantes tóxicos podem ter sido adicionados durante a fabricação, como Bisfenóis (por exemplo BPA), Ftalatos e Éteres; ou absorvidos diretamente do ambiente, como metais, DDTs e agrotóxicos (Emma L. Teuten et al., 2009). A ingestão destes contaminantes está ligada a vários efeitos adversos, podendo levar a interrupção e alteração da função do sistema endócrino alterações celulares e tumores hepáticos (Rochman et al., 2013c). No entanto, os efeitos ecológicos em organismos marinhos na natureza são pouco estudados (Taylor et al., 2016).

O plástico flutuante no oceano pode ainda servir como meio de transporte (*rafting*) de espécies exóticas para outras regiões (Masó et al., 2016). Nas últimas décadas, tem se observado um aumento dos relatos de *rafting*, incluindo organismos como algas (West et al., 2016), invertebrados (Reisser et al., 2014) e bactérias (Oberbeckmann et al., 2016). Além disso, estudos mais recentes já apontaram os resíduos plásticos como possíveis facilitadores da disseminação de resistência microbiana (Li et al., 2016; Arias-Andres et al., 2018), e diretamente implicados na disseminação de patógenos que levam ao branqueamento de corais (Lamb et al., 2018).

### **2.3 Os Microplásticos e os Nanoplásticos**

Em 2004, o impacto ambiental provocado por plástico ganhou nova dimensão com a definitiva inserção das partículas microplásticas como um tópico relacionado a poluição por plástico. Microplástico inicialmente foi definido como plástico menores que 5 mm de diâmetro (Thompson, 2004), podendo ser originados da fragmentação de itens plásticos maiores, ou fabricados intencionalmente para adição em cosméticos como os esfoliantes faciais, que em consequência acabam eliminados em águas residuais (Andrady, 2011a; Chang, 2015). A presença de microplásticos no ambiente marinho é preocupante porque são difíceis de serem visualizados e removidos, sendo potencialmente ingeridos por uma gama muito maior de organismos (Barnes et al., 2009a), quando comparados aos macroplásticos (>5 mm) (Romeo et al., 2015), incluindo: corais (Hall et al., 2015) e organismos zooplanctônicos (Cole et al., 2013). Com a ingestão de microplástico, pode ocorrer acumulação destes nos tecidos do animal e a transferência pela cadeia trófica (Teuten et al., 2009; Cozar et al., 2014; Rochman et al., 2014), atingindo uma quantidade ainda maior de espécies.

Recentemente, a comunidade científica descobriu que os plásticos maiores podem se degradar em partículas menores que o microplástico, originando o nanoplástico. O termo nanoplástico é utilizado para designar plásticos menores que 1 micrômetro de diâmetro (Cole and Galloway, 2015). Além de provenientes da degradação de fragmentos de plástico maiores, o nanoplástico tem sido fabricado e adicionado a cosméticos, tintas, adesivos e eletrônicos (Koelmans et al., 2015). Tais partículas parecem ter um maior impacto nos organismos aquáticos do que micro e macroplásticos, pois podem ultrapassar barreiras celulares e serem transferidos pela cadeia trófica com mais facilidade do que os plásticos maiores (Mattsson et al., 2015; Bouwmeester et al., 2015). No entanto, os dados que descrevem os efeitos das nanopartículas de plástico no ambiente e na fauna aquática ainda são limitados, devido a sua difícil detecção e quantificação nos ambientes (Blair et al., 2017; Alimi et al., 2018).

## **2.4 REFERÊNCIAS**

- Alimi, O.S., Farner Budarz, J., Hernandez, L.M., Tufenkji, N., 2018. Microplastics and Nanoplastics in Aquatic Environments: Aggregation, Deposition, and Enhanced Contaminant Transport. *Environ. Sci. Technol.* 52, 1704–1724. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05559>
- Andrades, R., Santos, R.G., Joyeux, J.-C., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Giarrizzo, T., 2018. Marine debris in Trindade Island, a remote island of the South Atlantic. *Mar. Pollut. Bull.* 137, 180–184. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.003>
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Andrady, A.L., Neal, M.A., 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1977–1984. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>
- Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K., Grossart, H.-P., 2018. Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environ. Pollut.* 237, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058>
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Blair, R.M., Waldron, S., Phoenix, V., Gauchotte-Lindsay, C., 2017. Micro- and Nanoplastic Pollution of Freshwater and Wastewater Treatment Systems. *Springer Sci. Rev.* 5, 19–30. <https://doi.org/10.1007/s40362-017-0044-7>
- Bouwmeester, H., Hollman, P.C.H., Peters, R.J.B., 2015. Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 49, 8932–8947. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>
- Browne, M.A., Chapman, M.G., Thompson, R.C., Amaral Zettler, L.A., Jambeck, J., Mallos, N.J., 2015. Spatial and Temporal Patterns of Stranded Intertidal Marine Debris: Is There a Picture of Global Change? *Environ. Sci. Technol.* 49, 7082–7094. <https://doi.org/10.1021/es5060572>
- Carman, V.G., Natalia, M., Claudio, C., 2015. Legal and institutional tools to mitigate plastic pollution affecting marine species: Argentina as a case study. *Mar. Poll. Bull.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.047>.
- Carpenter, E.J., Anderson, S., Harvey, G., Miklas, H., Peck, B., 1972. Polystyrene spherules in coastal waters. *Polystyr. Spherules Coast. Waters* 178, 749–750. <https://doi.org/10.1126/science.178.4062.749>

- Carpenter, E.J., Smith, K.L., 1972. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science* (New York, N.Y.). 175. 1240-1. [10.1126/science.175.4027.1240](https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240).
- Chang, M., 2015. Reducing microplastics from facial exfoliating cleansers in wastewater through treatment versus consumer product decisions. *Mar. Pollut. Bull.* 101, 330–333. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.074>
- Cole, M., Galloway, T.S., 2015. Ingestion of Nanoplastics and Microplastics by Pacific Oyster Larvae. *Environ. Sci. Technol.* 49, 14625–14632. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04099>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T.S., 2013. Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environ. Sci. Technol.* 47, 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
- Corlett, R.T., 2015. The Anthropocene concept in ecology and conservation. *Trends Ecol. Evol.* 30, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.007>
- Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A.T., Navarro, S., Garcia-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M., 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
- Gall, S.C., Thompson, R.C., 2015. The impact of debris on marine life. *Mar. Pollut. Bull.* 92, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>
- Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782.
- Hall, N.M., Berry, K.L.E., Rintoul, L., Hoogenboom, M.O., 2015. Microplastic ingestion by scleractinian corals. *Mar. Biol.* 162, 725–732. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2619-7>
- Hammer, J., Kraak, M.H.S., Parsons, J.R., 2012. Plastics in the Marine Environment: The Dark Side of a Modern Gift, in: Whitacre, D.M. (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer New York, New York, NY, pp. 1–44. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6_1)
- Heindler, F.M., Alajmi, F., Huerlimann, R., Zeng, C., Newman, S.J., Vamvounis, G., van Herwerden, L., 2017. Toxic effects of polyethylene terephthalate microparticles and Di (2-ethylhexyl) phthalate on the calanoid copepod, *Parvocalanus crassirostris*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 141, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.029>
- International Agency for Research on Cancer (IARC, 2018), n.d. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. World Health

Organization, Lyon, France. Available at:

<[http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest\\_classif.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php)>. Access in: 18 fev. 2018.

- Jambeck, J.R., GEYER, R., Zhang, Y.-G., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 764–768. <https://doi.org/10.1126/science.1260879>
- Koelmans, A.A., Besseling, E., Shim, W.J., 2015. Nanoplastics in the Aquatic Environment. Critical Review, in: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, Cham, pp. 325–340. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_12)
- Kühn, S., Bravo Rebolledo, E.L., van Franeker, J.A., 2015. Deleterious Effects of Litter on Marine Life, in: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, Cham, pp. 75–116. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4)
- Laist, D.W., 1997. Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records, in: *Marine Debris*. Springer, pp. 99–139.
- Lamb, J.B., Willis, B.L., Fiorenza, E.A., Couch, C.S., Howard, R., Rader, D.N., True, J.D., Kelly, L.A., Ahmad, A., Jompa, J., 2018. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science* 359, 460–462.
- Lebreton, L.C.M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.* 8, 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Li, W.C., Tse, H.F., Fok, L., 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Sci. Total Environ.* 566–567, 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Masó, M., Fortuño, J.M., De Juan, S., Demestre, M., 2016. Microfouling communities from pelagic and benthic marine plastic debris sampled across Mediterranean coastal waters. *Sci. Mar.* 80, 117–127. <https://doi.org/10.3989/scimar.04281.10A>
- Mattsson, K., Hansson, L.-A., Cedervall, T., 2015. Nano-plastics in the aquatic environment. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17, 1712–1721. <https://doi.org/10.1039/C5EM00227C>
- Oberbeckmann, S., Osborn, A.M., Duhaime, M.B., 2016. Microbes on a Bottle: Substrate, Season and Geography Influence Community Composition of Microbes Colonizing Marine Plastic Debris. *PLOS ONE* 11, e0159289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159289>

- PlasticsEurope, 2017. *Plastics – the Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data.*  
[https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)
- Reisser, J., Shaw, J., Hallegraeff, G., Proietti, M., Barnes, D.K.A., Thums, M., Wilcox, C., Hardesty, B.D., Pattiaratchi, C., 2014. Millimeter-Sized Marine Plastics: A New Pelagic Habitat for Microorganisms and Invertebrates. *PLoS ONE* 9, e100289.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100289>
- Ribeiro, F., O'Brien, J.W., Galloway, T., Thomas, K.V., 2019. Accumulation and fate of nano- and micro-plastics and associated contaminants in organisms. *TrAC Trends Anal. Chem.* 111, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.010>
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J., 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep.* 3.  
<https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rochman, C.M., Kurobe, T., Flores, I., Teh, S.J., 2014. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Sci. Total Environ.* 493, 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.051>
- Romeo, T., Pietro, B., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F., Fossi, M.C., 2015. First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 95, 358–361.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.048>
- Seachrist, D.D., Bonk, K.W., Ho, S.-M., Prins, G.S., Soto, A.M., Keri, R.A., 2016. A review of the carcinogenic potential of bisphenol A. *Reprod. Toxicol.* 59, 167–182.  
<https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2015.09.006>
- Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M.E.J., Le Goïc, N., Quillien, V., Mingant, C., Epelboin, Y., 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 2430–2435.
- Taylor, M.L., Gwinnett, C., Robinson, L.F., Woodall, L.C., 2016. Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Sci. Rep.* 6. <https://doi.org/10.1038/srep33997>
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhang, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H., 2009. Transport and release of

- chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 2027–2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thompson, R.C., 2004. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* 304, 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Tibbetts, J.H., 2015. Managing Marine Plastic Pollution: Policy Initiatives to Address Wayward Waste. *Environ. Health Perspect.* 123. <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A90>
- Villarrubia-Gómez, P., Cornell, S.E., Fabres, J., 2017. Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. *Mar. Policy.* <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.035>
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Gauszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D. d., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Waple, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N., Wolfe, A.P., 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 351, aad2622–aad2622. <https://doi.org/10.1126/science.aad2622>
- West, J.A., Hansen, G.I., Hanyuda, T., Zuccarello, G.C., 2016. Flora of drift plastics: a new red algal genus, *Tsunami* *transpacifica* (Stylonematophyceae) from Japanese tsunami debris in the northeast Pacific Ocean. *ALGAE* 31, 289–301. <https://doi.org/10.4490/algae.2016.31.10.20>
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ. Pollut.* 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Ivar do Sul, J.A., Corcoran, P.L., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Edgeworth, M., Gauszka, A., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Steffen, W., Summerhayes, C., Waple, M., Williams, M., Wolfe, A.P., Yonan, Y., 2016. The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene* 13, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.01.002>
- Zampoukas, N., Galgani, F., Fleet, D., Van Franeker, J., Katsanevakis, S., Maes, T., Mouat, J., Oosterbaan, L., Poitou, I., Hanke, G., Thompson, R., Amato, E., Birkun, A., Janssen, C., European Commission, Joint Research Centre, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, International Council for the Exploration of the Sea (ICES), 2010. Marine Strategy Framework Directive: task group 10 report: marine litter, April 2010. Publications Office, Luxembourg.

## 2. Poluição dos Oceanos por Plástico: cienciometria, evolução e crescimento do interesse científico

### RESUMO

A poluição dos oceanos por plástico tem crescido e atraído, nos últimos anos, a atenção da comunidade científica, ambientalistas e sociedade em geral, resultando no crescimento do número de pesquisas científicas e tornando-se um tema emergente e global. O objetivo deste estudo foi analisar a evolução do conhecimento científico sobre a poluição dos oceanos por plástico, através de uma análise cienciométrica e revisão sistematizada dos artigos incluídos no banco de dados da Thompson Reuters Web of Science, até o ano de 2016. A cienciometria é um campo de pesquisa que pode ajudar os pesquisadores a perceber o estado da arte do conhecimento sobre a poluição por plástico e a estabelecer possíveis rumos de pesquisa. A literatura foi analisada em periódicos, colaboração internacional, distribuição geográfica de publicações, palavras-chave, tópicos mais pesquisados e crescimento do interesse científico no tema. Nas quase 5 décadas de pesquisa, 64 países, 2911 autores, 1023 organizações e 216 periódicos estiveram envolvidos nas 974 publicações sobre a poluição dos oceanos por plástico. O periódico *Marine Pollution Bulletin* foi o periódico com a maior quantidade de publicações (41,9%). A partir de 2009 houve um grande aumento na quantidade de artigos publicados, com 77,5% dos artigos publicados apenas entre 2009 e 2016. A presença de resíduos plásticos nos diversos ambientes marinhos e a interação da biota marinha com plástico foram temas prevalentes nos estudos avaliados. Levando em consideração a quantidade de estudos sobre ingestão e emaranhamento ao longo do tempo, percebe-se que independente do período os táxons mais estudados foram as aves, os mamíferos e as tartarugas marinhas. As redes de palavras-chave demonstraram que o termo *plastic* foi o mais utilizado em palavras-chave até 2008 e *microplastic* após 2009, o que indica que as tendências de pesquisa mudaram ao longo do tempo, com pesquisas sobre microplástico recebendo maior atenção nos últimos anos. Dentre as variáveis utilizadas para o entendimento dos fatores que poderiam

explicar o interesse científico no tema, apenas porcentagem de população costeiras (efeito positivo) e taxa de lixo gerada (kg/pessoa/dia) (efeito negativo) apresentaram efeitos significativos. Da mesma forma, dentre as variáveis utilizadas para o entendimento dos fatores que poderiam explicar a implementação de legislação, apenas o interesse público e a porcentagem de população costeira apresentaram valor significativo, ambas com efeito positivo.

**Palavras-chave:** bibliometria; produção científica; microplástico

### 3.1 INTRODUÇÃO

O plástico sintético surgiu no início do século XX e passou a ser largamente produzido após a segunda guerra mundial (Geyer et al., 2017). Desde então, este material foi amplamente integrado ao estilo de vida da população, sendo um dos materiais mais utilizados no mundo (Andrady and Neal, 2009). A produção global de plástico passou de 5 milhões de toneladas por ano na década de 1960 para 335 milhões de toneladas em 2016 (PlasticsEurope, 2017). A previsão é que a produção continue aumentando, juntamente com os padrões de vida e crescimento populacional (Cozar et al., 2014), podendo alcançar a métrica de 40 bilhões de toneladas de plástico produzidas até 2050 (Rochman et al., 2013c). Algumas das características que tornaram o uso do plástico tão difundido são sua flexibilidade e durabilidade, além do relativo baixo custo de produção (Thompson et al., 2009; Hammer et al., 2012). Essas mesmas características fazem com que os resíduos plásticos sejam considerados uma importante ameaça aos ecossistemas marinhos (Andrady, 2015). Atualmente, os resíduos plásticos podem ser encontrados em todos os ecossistemas marinhos, desde águas rasas até profundas e chegando até as ilhas mais remotas (Barnes et al., 2009; Galgani et al., 2015; Andrades et al., 2018). Estimativas apontam que apenas em 2010 entraram no ambiente marinho de 4-12 milhões de toneladas (Mt) de resíduos plásticos (Jambeck, et al., 2015), e que 5,25 trilhões de fragmentos de plástico estão flutuando nos oceanos (Cozar et al., 2014).

A presença de resíduos plásticos nos ecossistemas marinhos é motivo de preocupação, pois pode provocar impactos diretos à fauna, como a ingestão e emaranhamento (Browne et al., 2015). Esses impactos podem eventualmente resultar em morte direta ou efeitos deletérios crônicos, como redução nas taxas de crescimento e diminuição na capacidade reprodutiva (Gregory, 2009; Zampoukas et al., 2010; Wright et al., 2013; Sussarellu et al., 2016). Quando ingeridos, os resíduos plásticos podem liberar contaminantes advindos de sua composição ou absorvidos do ambiente, muitos classificados como carcinogênicos (Stewart and Wild, 2014; Seachrist et al., 2016; IARC, 2018) e disruptores endócrinos (Teuten et al., 2009; Andrady, 2011; Rochman et al., 2013). Em adição aos danos decorrentes da ingestão, resíduos plásticos já foram apontados como possíveis veículos de transporte para espécies exóticas, facilitadores da disseminação de resistência microbiana (Li et al., 2016; Arias-Andres et al., 2018), e diretamente implicados na disseminação de patógenos e branqueamento de corais (Lamb et al., 2018).

A onipresença dos resíduos plásticos nos ambientes fez com que este acúmulo fosse indicado como um dos possíveis marcadores do Antropoceno (Waters et al., 2016), que atualmente está sendo considerado como uma época geológica potencial que, se formametele aceitar, sucederá o Holoceno (Corlett, 2015b). O acúmulo de plástico nos ambientes marinhos pode estar alcançando um limiar crítico que poderá levar a efeitos globais em processos vitais da Terra, podendo ser um componente chave do limite planetário associado aos poluentes químicos (Villarrubia-Gómez et al., 2017).

O entendimento da poluição por plástico vem mudando com o passar do tempo, e na última década houve um acúmulo de informações sobre as quantidades e os tipos de plástico em praticamente todos os ecossistemas marinhos, além das consequências ecológicas desta contaminação (Andrady, 2011). Alguns trabalhos científicos estimularam o crescimento do interesse pelo público em geral sobre o tema, como as descobertas de acúmulo de resíduos plásticos nos giros oceânicos (Moore et al., 2001a). O aumento do interesse pelo público e comunidade científica tem levado a uma série de ações locais e/ou globais que visam reduzir a poluição por plástico (e. g.,

proibição de microesferas em produtos cosméticos e sacolas plásticas em estabelecimentos comerciais) (Xanthos and Walker, 2017).

Atualmente ainda existem poucas tentativas de coletar dados cienciométricos sobre a produção científica global relacionada à poluição dos oceanos por plástico, apesar dos recentes esforços como os estudos sobre microplástico realizado por Barboza & Gimenez (2015) e por Ivar do Sul et al., (2018). Trabalhos com esta abordagem podem ajudar os pesquisadores a entender o estado da arte do conhecimento sobre a poluição por plástico e a estabelecer possíveis rumos futuros de pesquisa (Li et al., 2011). A ciencimetria tem sido amplamente aplicada como uma abordagem para estudar as tendências de pesquisa (Fu et al., 2014). Informações mais detalhadas das publicações, incluindo palavras-chave, separadas em diferentes períodos por exemplo, estão sendo utilizadas como estratégia para analisar as variações das tendências de pesquisa de forma mais completa e precisa (Xie et al., 2008; Zhang et al., 2010).

No presente estudo foram utilizados métodos abrangentes de análise cienciométrica e revisão sistematizada com o objetivo de analisar a evolução do conhecimento científico sobre poluição dos ecossistemas marinhos por plástico. Foi avaliado se houve um crescimento do interesse científico sobre o tema e como este possível crescimento se deu geograficamente e temporalmente. Também foram avaliados os fatores que podem estar envolvidos no desenvolvimento do interesse científico sobre poluição por plástico e os fatores que podem explicar o desenvolvimento de legislações referentes ao tema.

### **3.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os dados utilizados nesse estudo foram coletados em outubro de 2017 da plataforma de dados da Thomson Reuters Web of Science (WoS, apps.webofknowledge.com). Como estratégias de busca foi aplicado para título, resumo e palavras-chave a sequência de pesquisa: "*Marine Debris*" OR "*Plastic Pollution*" OR "*Marine Waste*" OR "*Plastic Debris*" OR "*Marine Litter*" OR (*\*Plastic\** AND

*Coast*) OR (*\*Plastic\* AND Sea*) OR (*\*Plastic\* AND Ocean*). Todos os dados de cada artigo referente à poluição por plástico publicados de 1972 (ano do primeiro artigo publicado) a 2016 foram baixados no formato BibTEX e filtrados em duas etapas. Primeiro, registros de livros, materiais de Simpósio e artigos repetidos foram descartados limitando-se apenas aos registros de artigos revisados por pares e em inglês. Posteriormente, os artigos foram baixados e verificados manualmente quanto a pertinência ao tema.

### 3.2.1 Revisão Sistematizada

Os artigos tiveram as seguintes informações coletadas: título, ano de publicação, autores, país do primeiro autor, país onde a pesquisa foi realizada, periódico de publicação e palavras-chave. Os artigos foram classificados de acordo com o tamanho do fragmento plástico: em macrolástico (>5 mm), microplástico (0,1  $\mu\text{m}$  - 5 mm) e nanoplástico (<0,1  $\mu\text{m}$ ) (Galloway et al., 2017). Os artigos foram classificados ainda quanto a temática estudada em sete categorias (tabela 01). Por exemplo, artigos que relataram interação da biota marinha com resíduos plásticos foram classificados quanto ao tipo de interação em ingestão ou emaranhamento, e quanto ao táxon envolvido (aves, mamíferos marinhos, tartarugas marinhas, peixes e invertebrados).

Tabela 1- Categorias de pesquisas sobre a poluição dos oceanos por plástico.

CATEGORIAS	SIGNIFICADO	EXEMPLO
AMBIENTE	Termo usado para designar pesquisas que estudaram o acúmulo de plástico em ambientes marinhos.	Acúmulo de plástico em litoral, zona nerítica ou zona oceânica.
ANIMAL	Termo usado para designar pesquisas que estudaram a interação da biota com resíduos plásticos que resultaram em emalhe ou ingestão.	Ingestão de microplástico por invertebrados marinhos; emaranhamento de mamíferos marinhos.
EXPERIMENTO	Termo usado para designar pesquisas em ambiente controlado.	Indução em laboratório, da ingestão de microplásticos por invertebrados marinhos com o intuito de comprovar a ingestão/transferência de químicos para o animal.

<i>RAFITING</i>	Termo usado para designar pesquisas que estudaram o ancoramento de espécies marinhas em resíduos plásticos.	Transporte de microrganismos, através das correntes oceânicas, fixados em resíduos plásticos flutuantes.
SOCIOECONÔMICO	Termo usado para designar as pesquisas que estudaram os impactos socioeconômicos provocados pela presença de resíduos plásticos em ambientes marinhos.	Impacto negativo no turismo, provocados pela diminuição do valor estético das praias com a presença de plástico.
METODOLÓGICO	Termo usado para designar artigos que descreveram métodos de pesquisa.	Descrição de métodos para quantificação de plástico em sedimentos do litoral, superfície do oceano, zonas oceânicas, etc.
LEG-REG	Termo usado para designar artigos que descreveram ou discutiram a existência e eficácia de legislações sobre o tema.	Descrição de legislações locais que regulamentam o uso de sacolas plásticas, etc.

### 3.2.2 Análises Cienciométricas

O software VOSviewer (versão 1.6.7) foi utilizado para a visualização de mapas de redes bibliométricas de países e palavras-chave baseadas em coocorrência extraídas do WoS (van Eck and Waltman, 2011). Outros dados analisados foram instituições, autores e periódicos associados aos artigos publicados sobre o tema.

No mapa de visualização de rede, os itens são indicados por um círculo e ligados por linhas. O tamanho dos círculos está relacionado aos itens mais frequentes, ou seja, quanto maior o círculo, maior a frequência de ocorrência desse item (palavra-chave ou país). Da mesma forma, quanto mais próximo e mais espessa a linha, mais forte é o relacionamento entre os itens interligados (van Eck and Waltman, 2011; Ozsoy and Demir, 2018).

### 3. 2. 3 Interesse Científico, Interesse Público e Legislação

Para quantificar o denominado “interesse científico” (IC) sobre poluição por plástico, ou seja, a frequência com que artigos sobre poluição por plástico foram publicados em relação ao volume total de publicações foi criada uma equação expressa da seguinte forma:

$$IC = \left( \frac{APP}{AP} \right) \times 10^5$$

onde IC significa interesse científico, APP o total de artigos publicados sobre poluição por plástico e AP o total de artigos publicados. Para melhor visualização gráfica o índice de “interesse científico” foi multiplicado por  $10^5$ . O número de artigos publicados sobre poluição por plástico foi retirado da tabela de dados da WoS e o total de artigos publicados foi extraído da plataforma SCIMAGO (<https://www.scimagojr.com/countryrank.php>). As análises sobre o “interesse científico” foram feitas por país e por ano, com início no ano de 1996, devido à disponibilidade dos dados na plataforma SCIMAGO.

Para avaliar quais variáveis podem influenciar o interesse científico sobre poluição por plástico em cada país foi utilizada uma regressão linear múltipla. Como variáveis explicativas foram utilizados os dados de taxa de lixo gerada (kg/pessoa/dia), taxa de resíduos plásticos geridos de forma inadequada (kg/pessoa/dia), resíduos plásticos geridos de forma inadequada em 2010 (toneladas), e porcentagem de população costeira. Nesta análise foram utilizados apenas os países que apresentavam ao menos uma publicação sobre poluição por plástico, ou seja, “interesse científico” > 0 (N=58). Os valores de cada variável explicativa foram extraídos de Jambeck, et al., (2015). Antes das variáveis serem adicionadas aos modelos, foi feita uma análise de correlação de Speraman onde variáveis com valores de  $r^2 < 0,4$  foram eliminadas do modelo, em seguida o modelo foi simplificado utilizando o método backwise de seleção. O “interesse público” foi obtido através da plataforma *Google Trends*. O assunto de pesquisa utilizado para análise foi “*plastic pollution*” com recorte de buscas dentro da temática “Ciências” e inclusão das regiões com baixo volume de pesquisa. Para calcular o índice de “interesse público” o Google Trends divide o número de pesquisas pelo termo (BT) por total geral de buscas no Google (BG) e depois ranqueia de 1 a 100. Dessa forma a equação é expressa da seguinte forma:

$$IP = \left( \frac{BT}{BG} \right)$$

Para avaliar quais fatores podem influenciar a implementação de legislação que vise a redução da poluição por plástico (ex. restrição ou proibição de uso e produção de descartáveis) foi utilizada uma regressão logística múltipla. As variáveis explicativas utilizadas foram as mesmas incluídas no modelo de “interesse científico”, adicionando a estas o índice de “interesse científico” e o “interesse público”. Como variável resposta na regressão logística múltipla foi utilizado os dados de presença ou ausência de legislação de acordo com Xanthos and Walker (2017). Para ambos os modelos foi avaliada a correlação entre as variáveis através do coeficiente de correlação de Pearson, e todas as variáveis explicativas tiveram o valor de  $r^2 < 0,4$ . O modelo foi simplificado utilizando o método backwise de seleção de variáveis. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R 3.4.3 (R-TEAM, 2011).

### **3.2.4 Evolução da Pesquisa Sobre Poluição por Plástico**

Os dados provenientes dos resultados das análises de revisão sistematizada e cienciométricas foram avaliados temporalmente. Para isso, os resultados foram divididos em três subconjuntos de tempo: 1972-1990, período das primeiras publicações; 1991-2008, período em que o termo “*plastic*” surgiu pela primeira vez em palavras-chave; e, 2009-2016, período em que houve um grande aumento no número de publicações sobre a problemática da poluição dos oceanos por plástico e que o termo “*microplastic*” foi utilizado pela primeira vez em palavras-chave. Estes cortes temporais foram definidos a partir de uma pré-avaliação dos dados, baseada na rede de palavras-chave e no número de publicações por ano.

## **3. 3 Resultados e Discussão**

### **3. 3. 1 Panorama Geral**

A busca no banco de dados WoS recuperou um total de 974 publicações. Nas quase cinco décadas de pesquisa, estiveram envolvidas nas publicações científicas sobre poluição dos oceanos por plástico 2.911 autores e 1.023 organizações,

distribuídas em todas as regiões do mundo. A produção mundial de plástico cresceu em um ritmo mais acelerado e constante do que a produção de artigos científicos sobre poluição marinha por plástico (Figura 01). Até o ano de 2009, o número de artigos publicados por ano foi relativamente baixo, não ultrapassando 32 artigos. Em 2009 houve um rápido aumento na produção científica relacionada ao tema, com 215 artigos publicados somente no ano de 2016. É provável que a atenção à poluição por microplástico, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias de quantificação e caracterização, tenha sido importante no vertiginoso crescimento do número de publicações, já que 41,7% dos artigos publicados entre 2009 e 2016 foram sobre essa categoria de tamanho. Marcos históricos relacionados a poluição dos oceanos por plástico (por ex. Criação da MARPOL e descobertas de acúmulo de plástico nos giros oceânicos) parecem não ter influenciado claramente no crescimento das publicações (Figura 01).

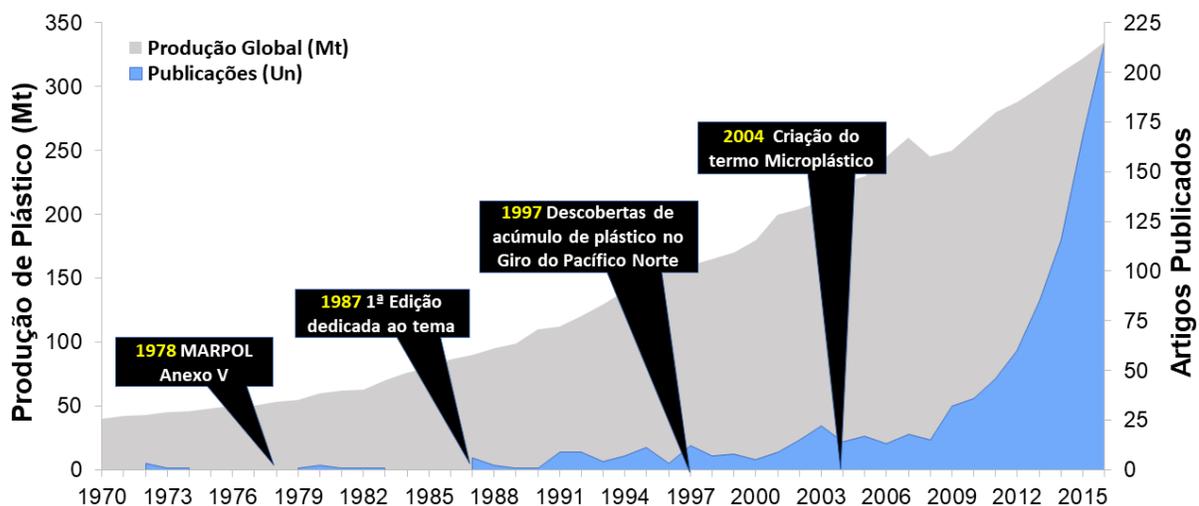


Figura 1- Comparação da produção mundial de plástico expresso em milhões de toneladas por ano (Mt) e número de artigos científicos publicados por ano sobre a poluição dos oceanos por plástico.

Dez países contribuíram para o avanço do conhecimento sobre a poluição dos oceanos por plástico nos primeiros vinte anos de pesquisa (1972 a 1992). Este panorama mudou gradativamente ao longo do tempo, aumentando para sessenta e quatro países envolvidos nas publicações até 2016. Os Estados Unidos da América (EUA) ( $n= 168$ ; 17,1%) foi o que mais publicou sobre o tema, seguido do Reino Unido

(n= 107; 10,9%), Brasil (n= 78; 7,9%) e Austrália (n= 63; 6,4%). Os dez países mais produtivos foram responsáveis por cerca de 67% do total de publicações (n= 654).

De maneira geral, dentre os dez países que mais publicaram, o foco das pesquisas se concentrou em macroplástico, envolvendo principalmente trabalhos que reportavam o acúmulo de plástico nos ambientes (Tabela 2). A exceção para este padrão foi a Alemanha que realizou 62,5% das pesquisas sobre microplástico e 30,9% dos estudos foram experimentais, e o Canadá que concentrou 51% das pesquisas na interação da biota com resíduos plásticos (Tabela 2).

Tabela 2- Os dez países que mais publicam sobre poluição por plástico, sua classificação e o que estão pesquisando

	País	Artigos (n)	CATEGORIAS			TEMÁTICAS DE PESQUISA		
			Macroplástico	Microplástico	Ambiente	Animal	Experimento	Outros
1	EUA	168	71,1%	28,9%	44,3%	28,1%	6,1%	21,3%
2	Reino Unido	107	64,9%	35,1%	35,2%	20,1%	16,8%	27,7%
3	Brasil	78	62,6%	37,5%	44,4%	43,2%	4,9%	7,4%
4	Austrália	63	78,5%	21,4%	31,5%	31,5%	6,5%	30,2%
5	Itália	48	62,3%	37,7%	44,0%	28,0%	12,0%	16,0%
6	Japão	45	68,6%	31,4%	48,9%	10,6%	19,1%	21,2%
7	Canadá	44	66,7%	33,3%	34,0%	51,0%	2,1%	12,7%
8	Alemanha	38	37,5%	62,5%	30,9%	9,5%	30,9%	28,5%
9	Coreia do Sul	32	62,9%	37,1%	56,2%	9,3%	6,2%	28,1%
10	Espanha	31	75,0%	25,0%	54,5%	30,3%	0%	15,1%

O Reino Unido foi o país com a maior rede de colaboração internacional, mantendo relação de publicação com 49 países, seguido pelos EUA com 43 países. Esses dois países possuem forte colaboração entre si e, com a Austrália, Canadá, França, Japão e Holanda. O Brasil, terceiro país em quantidade de publicações, apresentou um número relativamente menor de colaborações (20 países), mantendo uma forte colaboração com a Austrália (Figura 2).

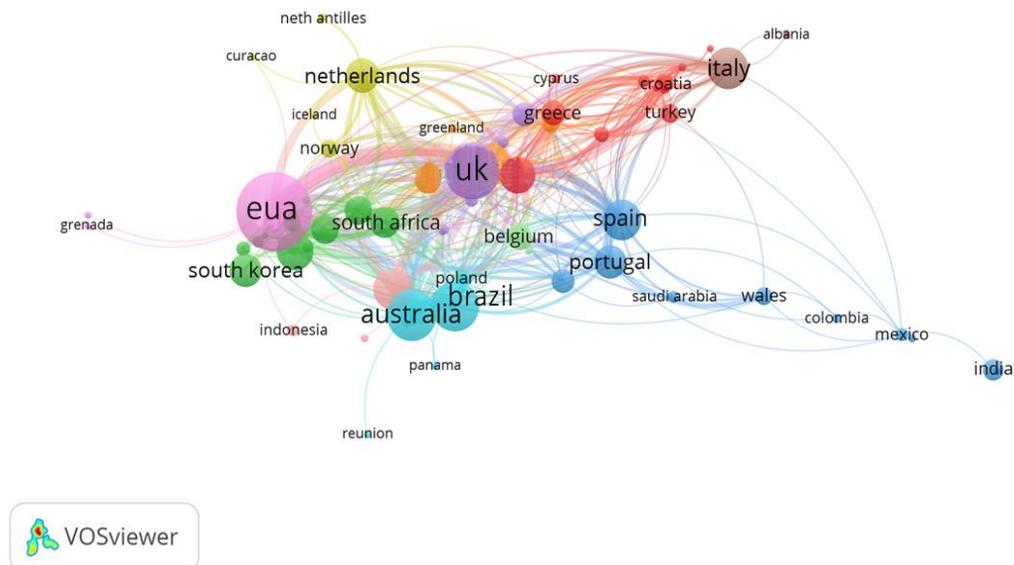


Figura 2- Rede dos países que mais publicam artigos científicos sobre poluição dos oceanos por plástico de 1972 a 2016. Quanto maior o círculo, maior a quantidade de publicações do país. Quanto mais espessa a linha, mais forte é o relacionamento entre os países interligados.

O exame das palavras-chave neste estudo revelou que 2.028 termos foram utilizados de 1972 a 2016. Destes, 110 ocorreram mais de 5 vezes, sendo *marine debris* (n= 198), *microplastic* (n= 143), *plastic* (n= 130), *marine litter* (n= 66) e *pollution* (n= 51) as cinco palavras-chave mais frequentes nos artigos (Figura 3).

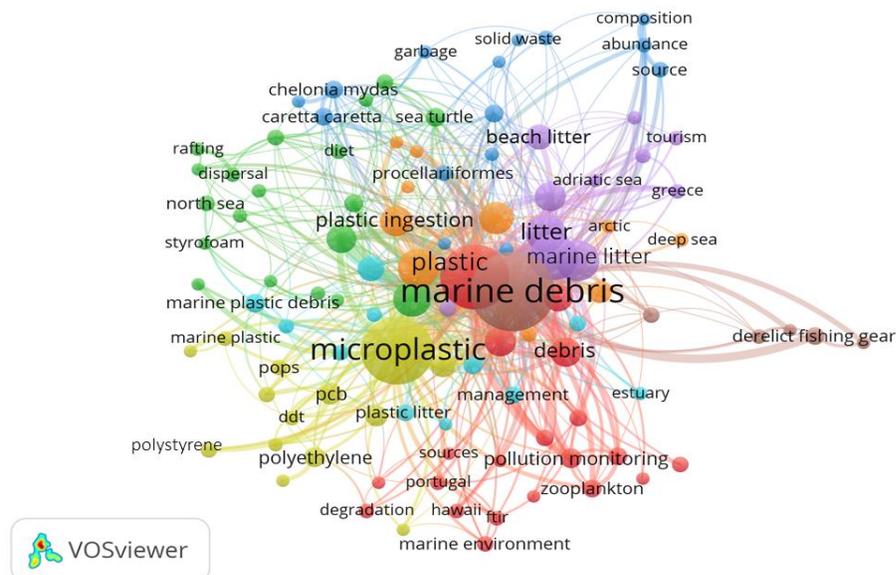


Figura 3- Mapa de visualização de rede de palavras-chave dos artigos relacionados à poluição dos oceanos por plástico publicados de 1972-2016. Palavras-chave que ocorreram mais de cinco vezes nos artigos publicados (n= 110).

Os artigos sobre poluição dos oceanos por plástico foram publicados em 216 periódicos. A revista *Marine Pollution Bulletin* registrou o maior número de artigos publicados (n= 410; 41,9%), seguida por *Environmental Pollution* (n= 46; 4,7%), *Marine Environmental Research* (n= 41; 4,2%) e *Environmental Science & Technology* (n= 34; 3,4%) (Figura 4). Esses quatro periódicos foram responsáveis por mais da metade das produções científicas sobre o tema no mundo. Ao longo do tempo houve uma ampliação na quantidade de revistas que publicaram artigos sobre o assunto, sendo esse aumento na quantidade de revistas, e na diversidade temáticas ou áreas de conhecimento (Figura 4). A maioria das revistas são dedicadas à poluição ambiental, principalmente a poluição marinha. Este é o caso da revista *Marine Pollution Bulletin*, que publica artigos científicos que tratam do uso racional dos recursos marítimos, documentação da poluição marinha e a introdução de novas metodologias. Além das revistas especializadas em poluição ambiental, foi possível observar a presença de periódicos multidisciplinares, como *Science*, *Plos One* e *Chemosphere*. Trabalhos publicados nestas revistas cresceram na última década, o que sugere que o interesse por este tema tem atraído uma diversidade maior de pesquisadores que trabalham em diversas áreas do conhecimento.

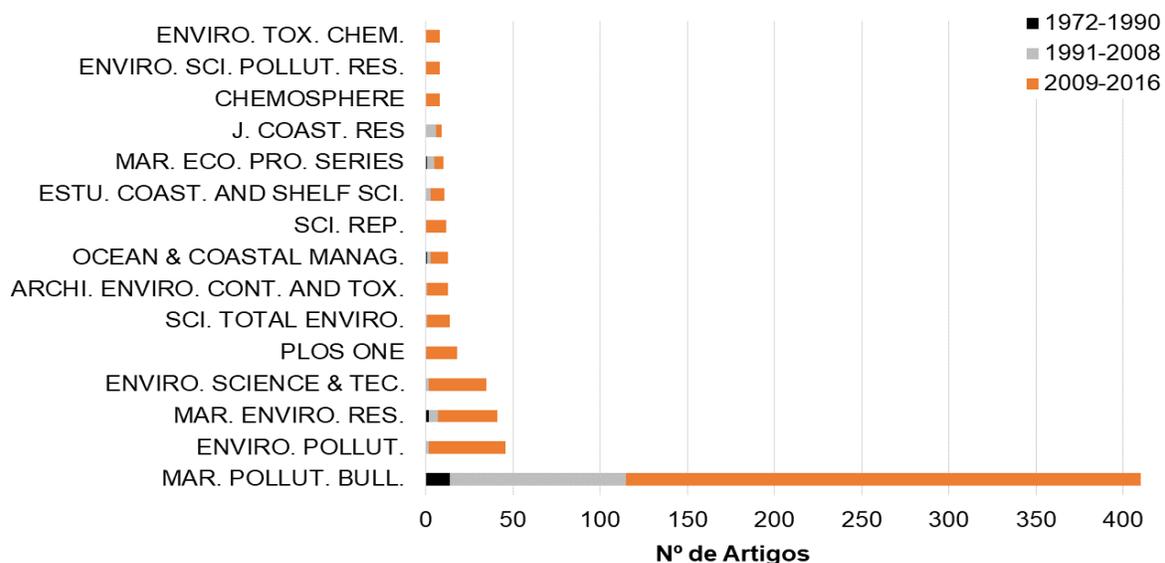


Figura 4- Os 15 periódicos que mais publicam artigos sobre a poluição dos oceanos por plástico e a quantidade de publicações por períodos.

Avaliando os tópicos de pesquisa quanto ao tamanho dos fragmentos plásticos estudados, 64,5% dos artigos trataram de macroplástico, 34,9% foram sobre microplástico e 0,6% sobre nanoplástico. Ao dividir os assuntos por temática, o relato de acúmulo de plástico em ambiente marinho (44,5%), a interação da biota com resíduos plástico (25,4%) e os estudos experimentais (10,7%) foram os principais tópicos pesquisados (Figura 5). Os demais tópicos de pesquisa juntos somaram 19,3% das publicações. Avaliando o padrão de estudo ao longo do tempo percebe-se que houve decréscimo no número relativo de trabalhos destinados a reportar o acúmulo nos ambientes e da interação com a fauna, apesar dos tópicos permanecerem os mais representativos na literatura. Por outro lado, houve um acréscimo relativo no número de artigos tratando de padronização metodológica e usando abordagens experimentais (Figura 5).

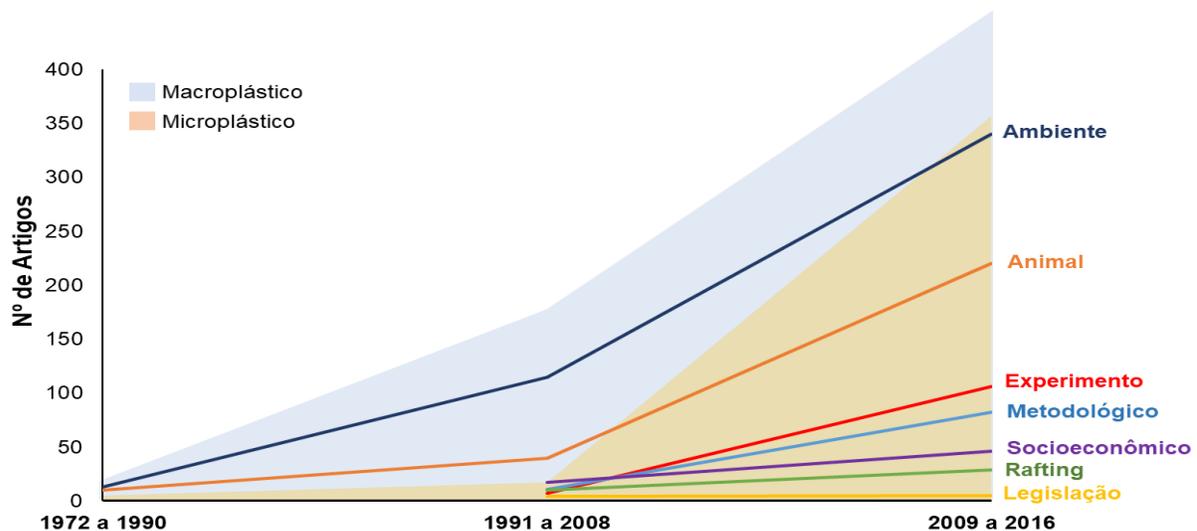


Figura 5- Gráfico comparativo da quantidade por período dos tópicos de pesquisa presentes nas publicações sobre poluição dos oceanos por plástico.

Os relatos de interação da biota com resíduos plásticos (*i.e.*, ingestão e emaranhamento) foram mais comuns para aves (31%), tartarugas (18,6%) e mamíferos marinhos (18,6%). Outros táxons que apresentaram interação com resíduos plásticos foram peixes (17,7%) e invertebrados (14,1%) (Figura 6). Ao longo do tempo, independente do período, os táxons mais estudados foram as aves, os mamíferos e as tartarugas marinhas. No entanto, esse padrão mudou nos últimos sete anos (2008 a

2016), quando a quantidade de estudos que relataram a interação de peixes com resíduos plásticos cresceu igualando-se a quantidade de relatos da interação de plástico com tartarugas marinhas, e pela primeira vez ultrapassando em número os relatos de interação por mamíferos marinhos (Figura 6).

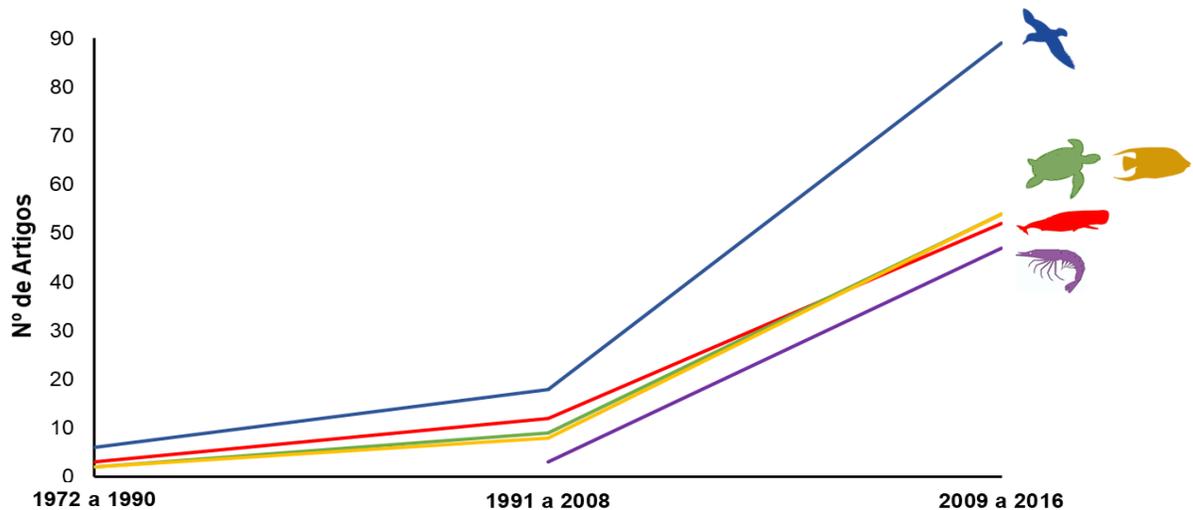


Figura 6- Quantidade por período e por táxons das publicações que relataram interação da fauna com detritos plásticos. Os valores do gráfico são relativos pois alguns estudos relataram mais de um táxon interagindo com plástico.

### 3. 3. 2 1972-1990: *Descobrimo o Problema*

De 1972 a 1990, o volume de publicações por ano sobre a poluição dos oceanos por plástico foi relativamente estável, sem nenhuma clara tendência de crescimento (Figura 7). As primeiras publicações relataram a presença de pellets de plástico na superfície do Oceano Atlântico (Carpenter and Smith, 1972) e a ingestão de pellets de plástico por peixes (Carpenter et al., 1972) e aves marinhas (Rothstein, 1973). Os autores dos primeiros trabalhos, já na década de 1970, sugeriram que a poluição por plástico iria aumentar e que a ingestão de plástico poderia trazer problemas para a fauna, já prevendo graves danos:

*“Increasing production of plastics, combined with present waste-disposal practices, will undoubtedly lead to increases in the concentration of these particles.*

*Plastics could be a source of some of the polychlorinated biphenyls recently observed in oceanic organisms.”*

*Carpenter and Smith (1972)*

*“Of obvious importance is the degree of hazard plastic particles pose to Leach’s Petrels and to other seabirds. Possibly, the consumption of many particles could result in a blockage or an internal injury...”*

*“...consumed particles of plastic could release sufficient amounts of PCB’s to affect seabirds.”*

*Rothstein (1973)*

Nos anos que sucederam a estas primeiras publicações, outros trabalhos continuaram reportando o acúmulo de plástico nos ecossistemas marinhos e a ingestão destes pela fauna, como: Wong et al. (1974) que relataram o acúmulo de plástico nas águas superficiais do Oceano Pacífico; Shiber (1979) que avaliou a presença de pellets de plástico em sedimentos da costa do Líbano e Furness (1985) que relatou a presença de partículas de plástico no estômago de aves amostradas na ilha de Gough, no Atlântico Sul.

Na década de 1980 dois encontros científicos foram importantes para o desenvolvimento das pesquisas sobre a poluição por plástico, o primeiro evento foi o “*Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris*” realizado no Havai/EUA, em 1984. Este evento foi motivado pela crescente preocupação da comunidade científica, tendo em vista os achados relacionados aos impactos das redes de pesca descartadas ou perdidas, e dos outros resíduos plásticos que estavam se acumulando no ambiente e afetando a fauna (Shomura and Yoshida, 1985). O objetivo deste workshop era sumarizar o conhecimento que existia até o momento, assim como fazer recomendações de direções de pesquisa e possíveis ações de mitigação. O segundo encontro de grande importância foi o “*Sixth International Ocean Disposal Symposium*”,

ocorrido em 1986, na Califórnia/EUA. Este simpósio continuou aprofundando as discussões sobre a ocorrência e impacto da poluição por plástico nos ecossistemas marinhos (Wolfe, 1987). Como consequência deste simpósio, em 1987 houve a publicação da primeira edição especial dedicada a poluição por plástico na *Marine Pollution Bulletin* (*Marine Pollution Bulletin*: 1987, Volume 18, 6B). Esta edição representou o primeiro pico de publicações sobre a poluição por plástico (Figura 7).

Ao longo da década de 1980, as pesquisas continuaram reportando o acúmulo de plásticos no ambiente marinho (Bourne and Imber, 1982; Day and Shaw, 1987), e principalmente os impactos provocados pela interação da biota com resíduos plásticos, com o incremento na quantidade de estudos sobre aves marinhas (Furness, 1985; Azzarello and Van Vleet, 1987; Ryan, 1988) e os primeiros trabalhos com tartarugas (Carr, 1987) e mamíferos marinhos (Fowler, 1987). Os trabalhos publicados neste período continuaram alertando que a poluição por plástico tendia a crescer, e que poderia ter importantes consequências para os ecossistemas marinhos (Laist, 1987). Previsões estas que se concretizaram e foram sendo continuamente documentadas nos artigos publicados nos períodos que se sucederam.

Até o ano de 1990 foram publicados 22 artigos sobre a poluição marinha por plástico. Os estudos relacionados a macroplásticos representaram 78,3% dos trabalhos publicados e apesar do termo microplástico ainda não estar difundido neste período, 21,7% dos estudos foram relacionados a itens menores que 5 mm, incluindo os estudos pioneiros na década de 1970 que foram relacionados aos pellets de plástico.

Neste período, cinco países publicaram ao menos um artigo sobre o tema. Os EUA (n = 9; 40,9%) foi o país com a maior quantidade de artigos publicados, seguido pelo Reino Unido (n = 8; 36,4%), África do Sul (n = 3; 13,6%), Canadá (n = 1; 4,5) e Líbano (n = 1; 4,5). Juntos, os dois países mais prolíferos, EUA e Reino Unido, publicaram cerca de 80% dos artigos deste período.

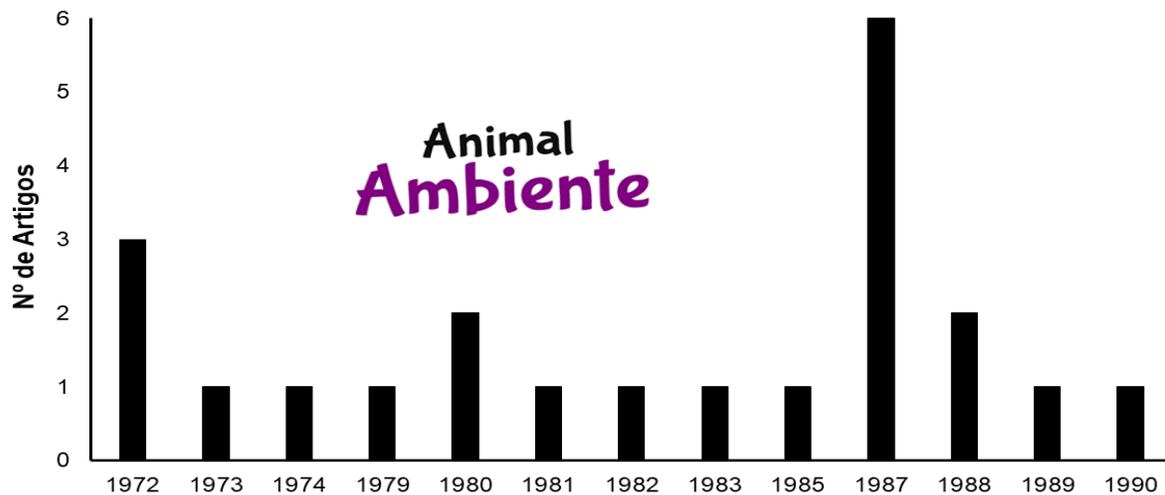


Figura 7 - Evolução por ano da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico do período de 1972 a 1990. Na parte interna do gráfico nuvem de palavras, indicando os focos de pesquisa no período em questão. O tamanho das palavras que compõem a nuvem é proporcional à frequência do foco das pesquisas no período.

Os artigos publicados de 1972 a 1990 trataram de dois temas, acúmulo de plástico nos ambientes marinhos (56,5%) e interação da fauna marinha com resíduos plásticos (43,5%), (Figura 5 e 7). Os artigos que avaliaram a interação da biota marinha com detritos plásticos trataram principalmente de aves que representaram 46,1% dos trabalhos, seguidos por mamíferos (23,1%), tartarugas (15,4%) e peixes (15,4%) (Figura 6). A maior parte dos trabalhos relacionados à interação dos animais com resíduos plásticos foram relacionados à ingestão (61,5%).

Em 1989 houve a segunda edição da conferência dedicada a tratar da poluição dos oceanos por plástico, *Second International Conference on Marine Debris*, evento também realizado no Havaí-EUA. No final deste período (dezembro de 1990), ocorreu a publicação de um compendio dos trabalhos apresentados nesta conferência (Shomura and Godfrey, 1990), e apesar destes trabalhos não entrarem em nossas análises, por não atender aos pré-requisitos estabelecidos em nossa metodologia de busca, eles representaram importantes contribuições para o entendimento do problema da poluição por plástico dos oceanos. Muitos dos autores que inicialmente publicaram seus trabalhos neste compendio, aprofundaram suas pesquisas e contribuíram grandemente para entendimento da problemática no período que se seguiu.

### 3. 3. 3 1991-2008: *Ampliando nossos Conhecimentos*

No período de 1991 a 2008 houve aumento de aproximadamente 10 vezes no número de artigos publicados em relação ao período anterior, com um total de 198 artigos publicados neste período (Figura 8). O aumento no número de publicações pode ter tido como um fator motivador os estudos do capitão Charles Moore, que em 1997 reportou a existência de um grande acúmulo de lixo flutuante no giro subtropical do Pacífico Norte (Moore et al., 2001a). Essa descoberta trouxe à tona a dimensão da problemática da poluição dos oceanos por plástico, fazendo com que cientistas, mídia e grupos de ambientalistas ampliassem suas atenções para o problema (Rochman et al., 2016b).

A temática, neste segundo período, continuou voltada para estudos relacionados ao macroplástico (91,8% dos trabalhos publicados). Os artigos deste período continuaram focando principalmente no acúmulo de plástico em ambientes marinhos (56,4%), e na interação da fauna com resíduos plásticos (19,6%). Porém, novas temáticas foram exploradas, como: os trabalhos que tratavam dos impactos socioeconômicos advindos da presença de plástico no ambiente (8,3%); os trabalhos de viés metodológico (5,4%) que tentaram buscar uma padronização e estabelecer metodologias para as coletas de dados (Rees and Pond, 1995; Velandier and Mocogni, 1999); trabalhos que tratavam de ancoramento e dispersão de espécies marinhas em detritos plásticos (*rafting*) (4,9%); estudos experimentais (3,4%); e trabalhos que avaliaram as legislações e regulamentações implementadas para diminuir a poluição por plástico (2%) (Figuras 5 e 8)

Neste período foram publicados diversos estudos pioneiros sobre o tema da poluição por plástico, como a primeira pesquisa experimental a relatar a alteração no desenvolvimento e na fertilização em invertebrados marinhos provocados pela presença de produtos químicos lixiviados de fragmentos de plástico (Weis et al., 1992). Esta temática da relação da poluição por plástico associada a compostos químicos continuou sendo estudada neste período, mostrando que fragmentos plásticos tem a capacidade de adsorção de poluentes do ambiente (Mato et al., 2001; Endo et al., 2005; Rios et al.,

2007). Barnes (2002) desenvolveu um amplo estudo sobre o potencial de transporte de animais aderidos a fragmentos de plástico (*rafting*), e alertou que fragmentos flutuantes de plástico poderiam dobrar a chance de transporte de biota em ambientes subtropicais e triplicar nas águas em latitudes mais altas. Neste mesmo período, diversos estudos relataram o ancoramento de espécies marinhas em resíduo plástico (Barnes and Fraser, 2003; Aliani and Molcard, 2003; Lewis et al., 2005).

Alguns trabalhos de revisão publicados neste período (1991-2008) foram de suma importância para a divulgação do problema da poluição dos oceanos por macropástico e por isso figuram entre os trabalhos mais citados. Um dos trabalhos de maior destaque foi o de Derraik (2002), artigo mais citado do período (1050 citações), no qual destacou os efeitos deletérios dos resíduos plásticos no ambiente marinho, revisando parte da literatura publicada até o momento sobre o tema. O trabalho de (Moore, 2008) segundo artigo mais citado do período (488 citações), também reuniu informações importantes sobre os impactos estéticos e para a biota do acúmulo de plásticos em ambientes marinhos. Ambos os trabalhos fizeram recomendações importantes para prevenir a poluição marinha, recomendações que incluíam ações relacionadas à educação, criação de plásticos biodegradáveis e implementação de legislações.

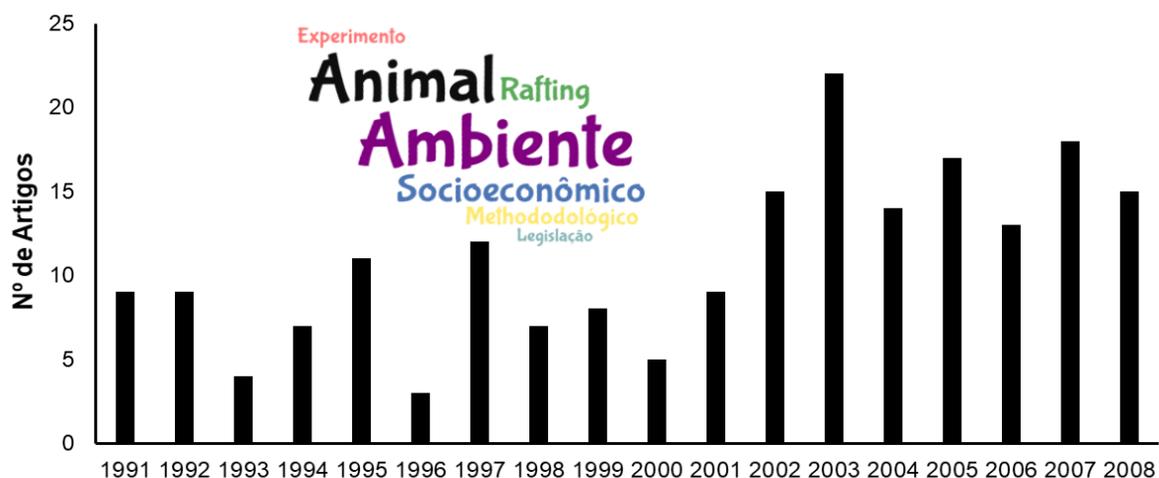


Figura 8- Evolução por ano da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico do período de 1991 a 2008. Na parte interna do gráfico nuvem de palavras, indicando os focos de pesquisa no período em questão. O tamanho das palavras que compõem a nuvem é proporcional à frequência do foco das pesquisas no período.

Os relatos de interação da biota com plástico continuaram aumentando ao longo deste período, sendo as aves (36%) e os mamíferos (24%) os grupos mais estudados, peixe (16%) e tartarugas marinhas (18%) apresentaram números similares de estudos, e os primeiros estudos voltados para ingestão de plástico por invertebrados foram publicados (6%) (Thompson et al., 2004) (Figura 6). A ingestão de plástico foi a consequência mais comum da interação da biota marinha com plástico, somando 68,1% dos relatos de interação.

Em 1997, Laist compilou a primeira lista de espécies atingidas por plástico, reportando aproximadamente 250 espécies afetadas por emaranhamento ou ingestão. Os táxons identificados incluíram: tartarugas marinhas; mamíferos marinhos, aves marinhas e costeiras, peixes e crustáceos (Laist, 1997). Essa primeira lista foi importante não apenas por quantificar o número de espécies impactadas pela poluição por plástico, mas também por indicar medidas que visavam minimizar o problema.

A diversidade de temas de pesquisa neste período também se refletiu na quantidade de palavras-chave utilizadas nos trabalhos. Ao todo foram 386 termos de 1991 a 2008, sendo *marine debris* (n=33), *plastic* (n=22) e *litter* (n=16) os mais frequentes (Figura 9). O termo *plastic* foi utilizado pela primeira vez em palavras-chave em 1991 (Gregory, 1991), desde então passou a ser amplamente difundido como palavras-chave.

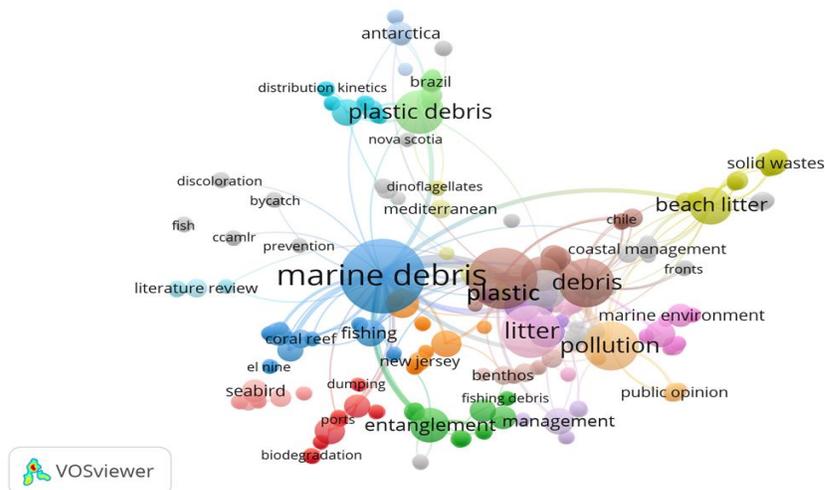


Figura 9- Mapa de visualização de rede de palavras-chave dos artigos relacionados à poluição dos oceanos por plástico publicados de 1991 a 2008 (N= 386).

Apenas cinco países estiveram envolvidos na produção científica sobre poluição marinha por plástico até 1990, mas este número cresceu rapidamente ao longo do segundo período, chegando a 33 países em 2008 (material suplementar). Os EUA (n= 50; 26,3%) e o Reino Unido (n= 29; 15,3%) continuaram como os países com maior número de publicações, seguidos da Austrália (n= 13; 6,8%) e Brasil (n= 12; 6,3%). As colaborações internacionais foram pouco frequentes neste período, com uma interação maior entre EUA e Reino Unido, que apresentaram uma rede de colaboração com sete e seis países respectivamente. O Brasil apesar de ser o terceiro país que mais publicou sobre o tema neste período (1991 a 2008), apresentou uma rede de colaboração apenas com dois países (EUA e Alemanha) (Figura 10).

No final deste período, o impacto ambiental provocado por plásticos ganhou nova dimensão com a investigação dos impactos do microplástico, termo cunhado por Thompson e colaboradores (2004) para descrever partículas de plástico menores que 5 mm. Apesar de ainda representar uma pequena proporção dos trabalhos neste período (8,2%), os estudos sobre o microplástico, seja na avaliação das quantidades presentes nos ecossistemas marinhos (Shaw and Day, 1994; McDermid and McMullen, 2004; Ng and Obbard, 2006), na investigação da possível origem (Eriksson and Burton, 2003) e no impacto sobre a fauna (Spear et al., 1995; Moore, 2008), abriram as portas para os estudos que se seguiram no período seguinte.

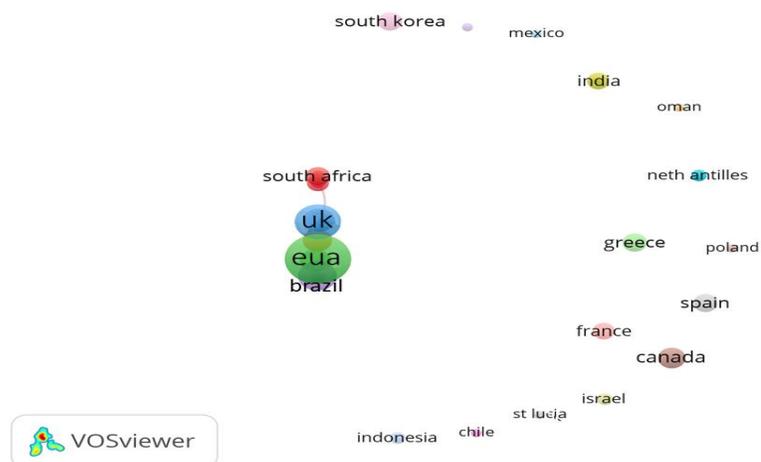


Figura 10- Rede dos países que mais publicam artigos científicos sobre poluição dos oceanos por plástico, no período de 1991 a 2008.

### 3. 3. 4 2009-2016: Microplástico e a Explosão da Produção Científica

A produção de conhecimento científico sobre a poluição dos oceanos por plástico apresentou uma clara tendência de crescimento a partir de 2009. Durante os sete anos de pesquisa deste período (2009-2016) foram publicados 758 artigos, o que equivale a 77,5% de todas as publicações sobre o tema (Figura 11). A produção científica cresceu em um ritmo tão acelerado que houve duplicação do número de publicações a cada três anos. Este período se inicia com a publicação de mais um volume dedicado a discutir à poluição por plástico, dessa vez publicado na *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Os artigos publicados neste volume descreveram as tendências atuais e futuras do uso do plástico e seus diversos benefícios para a sociedade; examinaram as consequências ambientais resultantes do acúmulo de resíduos plásticos nos oceanos, além dos efeitos para a biota marinha e saúde humana; e mais uma vez, fizeram diversas recomendações sobre possíveis formas de mitigação do crescente problema da contaminação dos ambientes marinhos por plástico (Thompson et al., 2009). Esta edição temática é de grande importância pois reuniu artigos publicados que figuram entre os mais citados sobre o tema, entre eles Barnes et al., (2009); Teuten et al., (2009); Gregory, (2009) e Ryan et al., (2009).

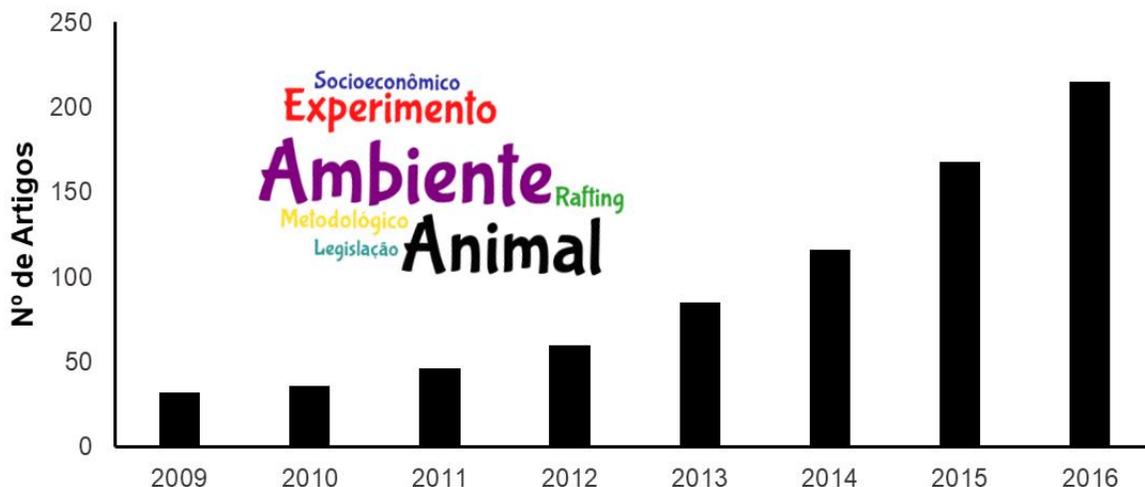


Figura 11- Evolução por ano da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico do período de 2009 a 2016. Na parte interna do gráfico, nuvem de palavras indicando os principais focos de pesquisa no período em questão. O tamanho das palavras que compõem a nuvem é proporcional à frequência do foco das pesquisas no período.



geração e impactos potenciais dos microplásticos no ambiente marinho. Andrady (2011) alertou a comunidade científica de que o processo de fragmentação e intemperismo de plástico poderia originar partículas em nano escala, com grande potencial de serem ingeridas pela fauna marinha. Nos anos que se sucederam, trabalhos publicados destacaram as recentes descobertas sobre fontes, caminhos de degradação e ecotoxicidade das nanopartículas (Mattsson et al., 2015; Gigault et al., 2016), além de trabalhos que demonstraram os impactos destas partículas sobre a fauna marinha (Rossi et al., 2014; Cole and Galloway, 2015) e saúde humana (Bouwmeester et al., 2015).

Os artigos publicados entre 2009 e 2016 mantiveram as temáticas anteriores, tratando principalmente do acúmulo de plástico no ambiente (41,1%) e da interação da fauna com resíduos plásticos (26,6%), (Figuras 5 e 11). Porém, a participação relativa dos outros temas aumentou, chegando a 32,3% do total de trabalhos publicados, com especial destaque para os trabalhos experimentais (12,8%) e metodológicos (9,9%). Os trabalhos de cunho experimental focaram principalmente na ingestão de microplástico (Farrell and Nelson, 2013; Cole et al., 2015; Cole and Galloway, 2015) e na transferência de compostos químicos para a fauna e ambiente marinho (Ogata et al., 2009; Besseling et al., 2013; Rochman et al., 2014).

Quando os trabalhos que trataram da interação da fauna com resíduos plásticos são avaliados, percebe-se uma mudança de padrão quando comparado ao período anterior. Apesar das aves marinhas (30,1%) continuarem como táxon mais estudado, os peixes (18,2%) passaram a ser o segundo grupo mais estudado, a frente inclusive de mamíferos marinhos (17,6%). Como consequência do aumento de trabalhos experimentais houve um grande acréscimo de publicações envolvendo invertebrados (15,9%) (Figura 6). A ingestão de plástico foi o principal alvo de estudo dentre os trabalhos que avaliaram a interação da biota com plástico, somando 87,1% dos relatos de interação. Nesse período (2009-2016) foram publicadas avaliações globais da ingestão de plástico por tartarugas marinhas (Schuyler et al., 2014; Nelms et al., 2016), mamíferos marinhos (Baulch and Perry, 2014) e aves (Wilcox et al., 2015). Além disso, foi publicada uma nova lista de espécies já reportadas interagindo com plástico, com



global da poluição por plástico em águas superficiais, estimando a existência de dezenas de milhares de toneladas de plástico espalhados na superfície do oceano; e Jambeck, et al., (2015) o qual estimou que somente em 2010 entraram nos oceanos de 4,8 a 12,7 milhões de toneladas de plástico.

### **3. 3. 5 Interesse Científico, Interesse Público e Legislação**

O interesse científico sobre a poluição dos oceanos por plástico teve pequenas oscilações de 1996 até 2009, momento em que inicia uma forte tendência de crescimento que se mantém até 2016 (Figura 14a). O interesse científico foi calculado para 58 países (Figura 14c), com países insulares como Palau (IC = 578,03) Seycheles (IC = 183,15) e Reunion (IC = 155,03) apresentando um maior interesse científico na poluição dos oceanos por plástico. Dentre os quatro países que mais publicaram sobre o tema, três apresentaram uma tendência de crescimento do interesse científico acima dos valores encontrados para o mundo, sendo Brasil (IC = 10,38), Austrália (IC = 5,47) e Reino Unido (IC = 3,34) (Figura 14b). Porém, os EUA, país com a maior produção científica, exibiu valores de interesse científico praticamente estáveis e abaixo dos encontrados para o mundo nos últimos anos (Figura 14b).

O interesse público sobre a poluição dos oceanos por plástico no ano de 2016, foi calculado para 79 países (Figura 14d). Trindade e Tobago (IP = 51), China (IP = 49) e a Nova Zelândia (IP = 48) foram os países que apresentaram um maior interesse público no tema. Dos 20 países responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos (Jambeck, et al., 2015), seis deles figuraram entre os 20 países com maior índice de interesse público sobre o tema, são eles: China, Myanmar, Índia, África do Sul, Siri Lanka e EUA. Com exceção dos EUA, nenhum dos países que mais publicou sobre a poluição dos oceanos por plástico figurou entre os com maior interesse público sobre o tema.

Isso sugere que o interesse científico e interesse público parecem não estar fortemente relacionados. Porém, o interesse público parece estar associado ao problema da poluição por plástico, pois os principais responsáveis por maior aporte de

plástico para os oceanos (Jambeck, et al., 2015), apesar de apresentarem um relativo baixo interesse científico, apresentaram um alto interesse público na temática. A China por exemplo, que ocupa a primeira posição em maior aporte de plástico para os oceanos obteve um dos menores valores de interesse científico sobre a poluição por plástico (IC = 0,67) e o segundo maior índice de interesse público no tema (IP = 49).

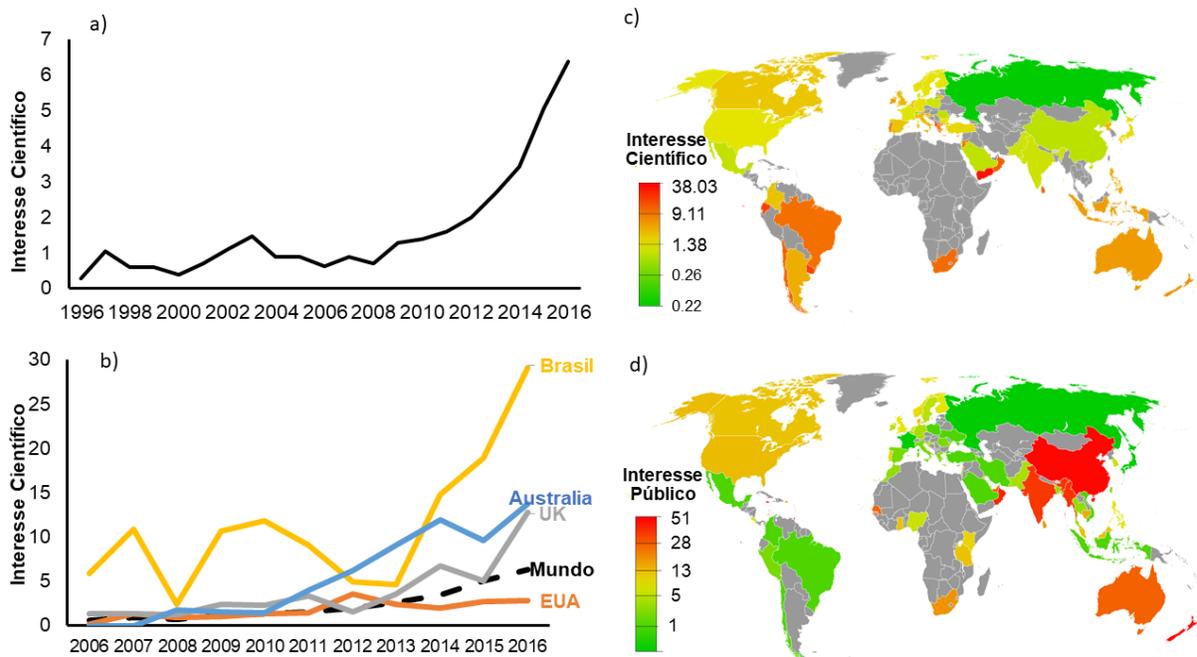


Figura 14- Painel ilustrativo: a) Evolução do interesse científico mundial sobre a temática da poluição dos oceanos por plástico; b) Evolução do interesse científico dos países que mais publicaram sobre a poluição dos oceanos por plástico; c) Distribuição mundial do interesse científico sobre poluição dos oceanos por plástico (1996-2016); d) Distribuição mundial do interesse público sobre poluição dos oceanos por plástico (2016).

Dois variáveis apresentaram efeitos significativos em relação ao interesse científico ( $F = 3,676$ ;  $r^2 = 0,175$ ;  $p = 0,017$ ), porcentagem de população costeira (odds ratio 1,04;  $t = 2,95$ ;  $p < 0,01$ ), com um efeito positivo, e a taxa de lixo gerada (kg/pessoa/dia) (odds ratio 27,81;  $t = -2,11$ ;  $p < 0,05$ ), com um efeito negativo. O efeito positivo da população costeira pode estar relacionado com o maior contato da população geral com o problema, o que despertaria um interesse geral sobre o tema. Uma outra explicação possível seria simplesmente a maior concentração de centros de pesquisa na região costeira, o que favoreceria o desenvolvimento de trabalhos sobre o tema. O efeito negativo da taxa de lixo gerada (kg/pessoa/dia) sobre o interesse

científico precisa ser melhor analisado. Este resultado pode se dever a uma correlação negativa entre taxa de lixo gerada (kg/pessoa/dia) e taxa de resíduos plásticos geridos de forma inadequada (kg/pessoa/dia), desta forma, a produção per capita de lixo não gera necessariamente uma maior visibilidade do impacto, pois muitos dos países com maior produção também são os com melhor gestão. Desta forma, o desenvolvimento dos trabalhos científicos sobre a temática pode ser menor, pois a visualização do problema nestes países também é menor.

Dentre as variáveis utilizadas para o entendimento de que fatores poderiam explicar a implementação da legislação, apenas o interesse público (odds ratio 1,00;  $t = 4,87$ ;  $p < 0,001$ ) e a porcentagem de população costeira (odds ratio 0,998;  $t = -2,10$ ;  $p = 0,03$ ) apresentaram valor significativo, ambas com efeito positivo. O efeito positivo da porcentagem de população costeira talvez possa ser explicado de maneira similar ao proposto em relação ao interesse científico, maior contato com problema pode gerar maior interesse sobre o tema. O interesse científico e consequentemente o número de publicações sobre o tema parece não ser um fator preponderante sobre a implementação de legislação. O interesse público, por sua vez, parece ser uma variável importante na implementação de legislação, o que pode sugerir que desenvolvimento de campanhas públicas sobre a poluição por plástico pode ser determinante. Porém, o efeito positivo também poderia ser explicado de maneira inversa, onde a implementação de legislação pode despertar o interesse público sobre o tema.

A criação de um sistema eficiente de destinação de resíduos plásticos pode ser o primeiro passo na mudança de postura dos países que são responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos. A falta de políticas nacionais de gestão de resíduos sólidos dificulta a gestão adequada dos resíduos para muitos governos locais (Borrelle et al., 2017).

Nos últimos anos alguns governos criaram medidas legais para diminuir o descarte inadequado de plástico, tanto em nível nacional como regional, que podem ser replicadas em outras partes do mundo (Borrelle et al., 2017). Por exemplo, vários países da África e da Ásia baniram completamente o uso de sacolas plásticas (Dikgang et al., 2012). Na China, uma proibição total de sacolas plásticas com espessura menor

do que 0,025 milímetro reduziu entre 60 e 80% o uso de sacos plásticos nos supermercados chineses em 2008, o que equivale a 40 bilhões a menos de sacos usadas (Block, 2013). Além de legislações que banem determinados produtos, também existem diversas experiências com taxaço sobre o uso de itens plásticos, e muitos países africanos, asiáticos e europeus reduziram o consumo/desperdício destes produtos (Poortinga et al., 2013). Na Irlanda, em 2002, uma taxa de 0,15 euros por sacola plástica resultou em uma redução imediata de 90% do uso destas (Xanthos and Walker, 2017). Da mesma forma, após a introdução do imposto de cinco centavos na Inglaterra, o uso de sacolas plásticas em sete grandes supermercados caiu 85% (Smithers, 2016), representando aproximadamente seis bilhões a menos de sacolas emitidas durante o primeiro ano de implementação (United Kingdom Department for Environment Food and Rural Affairs, 2015).

Apesar de esforços pontuais para lidar com o problema em escala regional, a poluição por plástico é um problema que ultrapassa quaisquer fronteiras. Desta forma, assim como o que ocorre com outros problemas globais (e.g., mudanças climáticas e POPs) é necessário a criação de acordos internacionais, que possuam metas reais de redução da poluição por plásticos (Rochman et al., 2016).

### **3. 4 CONCLUSÃO**

O número de publicações científicas e o interesse científico sobre a poluição dos oceanos por plástico cresceu rapidamente principalmente a partir de 2009. Os artigos publicados sobre o tema foram produzidos em diferentes regiões do mundo, incluindo Ásia, Europa, Oriente Médio e América Latina. A presença de resíduos plásticos nos diversos ambientes marinhos e a interação da biota marinha com plástico dominaram o foco das pesquisas sobre o tema. As redes de palavras-chave dos diferentes períodos demonstraram que as tendências de pesquisa mudaram ao longo do tempo, com o termo *plastic* sendo o mais utilizado em palavras-chave até 2008 e *microplastic* após 2009, o que indica que as pesquisas sobre microplástico receberam maior atenção nos últimos anos. O entendimento das consequências da presença de

nanoplástico nos ecossistemas marinhos pode ser a próxima fronteira a ser cruzada, já que até o ano de 2016 foram raros os artigos publicados sobre essa temática. Dos 20 países responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos, apenas EUA e Brasil figuram na lista dos países que mais publicam sobre o tema. Desta forma, ainda é necessária uma ampliação geográfica dos estudos para que se possa compreender melhor o nível de impacto causado pela poluição por plástico, principalmente nas regiões em que ocorre grande entrada destes resíduos no ambiente (e.g., países asiáticos). Além da expansão geográfica dos estudos, é necessário também que os estudos diversifiquem o seu foco, visando compreender todos os tipos de impactos relacionados (e.g., branqueamento de corais (Lamb et al., 2018), poluentes associados (Engler, 2012; Koelmans et al., 2014), impactos em escala ecológica (Sigler, 2014; Browne et al., 2015) e resistência microbiana (Arias-Andres et al., 2018; Li et al., 2016)), e que sejam implementados monitoramentos de longo prazo, para que possam ser criadas medidas de mitigação mais diretas, como prevenção, combate e redução do descarte irregular de resíduos plásticos.

Além da ampliação geográfica e temática dos estudos, é de fundamental importância que os resultados advindos da comunidade científica resultem na implementação de políticas públicas, fomentando legislações efetivas e baseadas em evidências confiáveis. Medidas mais severas em níveis local, nacional e global devem ser criadas, como por exemplo legislações que proíbam e/ou limitem produção e comercialização de determinados produtos (e.g., produtos descartáveis de maneira geral, microesferas plásticas em produtos de higiene pessoal, dentre outros), que classifiquem determinados tipos de plástico (e.g., HDPE, LDPE e PP) como lixo tóxico (Rochman et al., 2013b), e que implementem medidas de logística reversa e responsabilizem todos os envolvidos na produção, venda e uso de produtos plásticos. A divulgação da temática para a sociedade como um todo também é de fundamental importância, visto que o apoio público facilita a implementação de legislação e que uma parte do problema (e.g., uso de plástico em material descartável) também depende de uma mudança de hábito no âmbito individual.

### 3. 5 REFERÊNCIAS

- Aliani, S., Molcard, A., 2003. Hitch-hiking on floating marine debris: macrobenthic species in the Western Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 503, 59–67. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008480.95045.26>
- Andrades, R., Santos, R.G., Joyeux, J.-C., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Giarrizzo, T., 2018. Marine debris in Trindade Island, a remote island of the South Atlantic. *Mar. Pollut. Bull.* 137, 180–184. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.003>
- Andrady, A.L., 2015. Persistence of Plastic Litter in the Oceans, in: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, Cham, pp. 57–72. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_3)
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Andrady, A.L., Neal, M.A., 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1977–1984. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>
- Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K., Grossart, H.-P., 2018. Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environ. Pollut.* 237, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058>
- Azzarello, M.Y., Van Vleet, E.S., 1987. Marine birds and plastic pollution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37, 295–303.
- Barboza, L.G.A., Gimenez, B.C.G., 2015. Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Mar. Pollut. Bull.* 97, 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.008>
- Barnes, D.K., 2002. Biodiversity: invasions by marine life on plastic debris. *Nature* 416, 808–809.
- Barnes, D.K., Fraser, K.P., 2003. Rafting by five phyla on man-made flotsam in the Southern Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 262, 289–291.
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Baulch, S., Perry, C., 2014. Evaluating the impacts of marine debris on cetaceans. *Mar. Pollut. Bull.* 80, 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.050>

- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E.M., van den Heuvel-Greve, M.J., Koelmans, A.A., 2013. Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 47, 593–600. <https://doi.org/10.1021/es302763x>
- Block, B., 2013. China reports 66-percent drop in plastic bag use. Retrieved from. <http://www.worldwatch.org/node/6167>.
- Borrelle, S.B., Rochman, C.M., Liboiron, M., Bond, A.L., Lusher, A., Bradshaw, H., Provencher, J.F., 2017. Opinion: Why we need an international agreement on marine plastic pollution. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 9994–9997. <https://doi.org/10.1073/pnas.1714450114>
- Bourne, W.R.P., Imber, M.J., 1982. Plastic pellets collected by a prion on Gough Island, Central South Atlantic Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 13(1):20-21.
- Bouwmeester, H., Hollman, P.C.H., Peters, R.J.B., 2015. Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 49, 8932–8947. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>
- Browne, Mark Anthony, Chapman, M.G., Thompson, R.C., Amaral Zettler, L.A., Jambeck, J., Mallos, N.J., 2015. Spatial and Temporal Patterns of Stranded Intertidal Marine Debris: Is There a Picture of Global Change? *Environ. Sci. Technol.* 49, 7082–7094. <https://doi.org/10.1021/es5060572>
- Browne, M. A., Underwood, A.J., Chapman, M.G., Williams, R., Thompson, R.C., van Franeker, J.A., 2015. Linking effects of anthropogenic debris to ecological impacts. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 282, 20142929–20142929. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2929>
- Carpenter, E.J., Anderson, S., Harvey, G., Miklas, H., Peck, B., 1972. Polystyrene spherules in coastal waters. *Polystyr. Spherules Coast. Waters* 178, 749–750. <https://doi.org/10.1126 / science.178.4062.749>
- Carpenter, E.J., Smith, K.L., 1972. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science* (New York, N.Y.). 175. 1240-1. [10.1126/science.175.4027.1240](https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240).
- Carr, A., 1987. Impact of Nondegradable Marine Debris on the Ecology and Survival Outlook of Sea Turtles. *Impact Nondegradable Mar. Debris Ecol. Surviv. Outlook Sea Turt.* 18, 352–356.
- Cole, M., Galloway, T.S., 2015. Ingestion of Nanoplastics and Microplastics by Pacific Oyster Larvae. *Environ. Sci. Technol.* 49, 14625–14632. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04099>

- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T.S., 2015. The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ. Sci. Technol.* 49, 1130–1137. <https://doi.org/10.1021/es504525u>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Corlett, R.T., 2015. The Anthropocene concept in ecology and conservation. *Trends Ecol. Evol.* 30, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.007>
- Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A.T., Navarro, S., Garcia-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M., 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
- Day, R.H., Shaw, D.G., 1987. Patterns in the abundance of pelagic plastic and tar in the North Pacific Ocean, 1976–1985. *Mar. Pollut. Bull.* 18, 311–316.
- Derraik, J.G., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852.
- Dikgang, J., Leiman, A., Visser, M., 2012. Analysis of the plastic-bag levy in South Africa. *Resour. Conserv. Recycl.* 66, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.009>
- Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Takada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Ogi, H., Yamashita, R., Date, T., 2005. Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences. *Mar. Pollut. Bull.* 50, 1103–1114. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.030>
- Engler, R.E., 2012. The Complex Interaction between Marine Debris and Toxic Chemicals in the Ocean. *Environ. Sci. Technol.* 46, 12302–12315. <https://doi.org/10.1021/es3027105>
- Eriksson, C., Burton, H., 2003. Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island. *AMBIO J. Hum. Environ.* 32, 380–384. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.380>
- Farrell, P., Nelson, K., 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environ. Pollut.* 177, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>

- Fowler, C.W., 1987. Marine Debris and Northern Fur Seals: a Case Study. *Mar. Debris North. Seals Case Study* 18.
- Fu, H.-Z., Long, X., Ho, Y.-S., 2014. China's research in chemical engineering journals in Science Citation Index Expanded: a bibliometric analysis. *Scientometrics* 98, 119–136. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1047-z>
- Furness, R. w., 1985. Ingestion of plastic particles by seabirds at Gough Island, South Atlantic Ocean. *Ingestion Plast. Part. Seab. Gough Isl. South Atl. Ocean*, A 261–272. [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(85\)90131-x](https://doi.org/10.1016/0143-1471(85)90131-x)
- Galgani, F., Hanke, G., Maes, T., 2015. Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter, in: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, Cham, pp. 29–56. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_2)
- Gall, S.C., Thompson, R.C., 2015. The impact of debris on marine life. *Mar. Pollut. Bull.* 92, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>
- Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782.
- Gigault, J., Pedrono, B., Maxit, B., Ter Halle, A., 2016. Marine plastic litter: the unanalyzed nano-fraction. *Environ. Sci. Nano* 3, 346–350. <https://doi.org/10.1039/C6EN00008H>
- Gregory, M.R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 2013–2025. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>
- Gregory, M.R., 1991. The hazards of persistent marine pollution: drift plastics and conservation islands. *J. R. Soc. N. Z.* 21, 83–100. <https://doi.org/10.1080/03036758.1991.10431398>
- Hammer, J., Kraak, M.H.S., Parsons, J.R., 2012. *Plastics in the Marine Environment: The Dark Side of a Modern Gift*, in: Whitacre, D.M. (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer New York, New York, NY, pp. 1–44. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6_1)
- International Agency for Research on Cancer (IARC, 2018), n.d. *IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans*. World Health Organization, Lyon, France. Available at:

- <[http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest\\_classif.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php)>. Access in: 18 fev. 2018.
- Ivar do Sul, J.A., Tagg, A.S., Labrenz, M., 2018. Exploring the common denominator between microplastics and microbiology: a scientometric approach. *Scientometrics* 117, 2145–2157. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2936-y>
- Jambeck, J.R., GEYER, R., Zhang, Y.-G., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 764–768. <https://doi.org/10.1126/science.1260879>
- Koelmans, A.A., Besseling, E., Foekema, E.M., 2014. Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environ. Pollut.* 187, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.013>
- Laist, D.W., 1997. Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records, in: *Marine Debris*. Springer, pp. 99–139.
- Laist, D.W., 1987. Overview of the Biological Effects of Lost and Discarded Plastic Debris in the Marine Environment. *Overv. Biol. Eff. Lost Discarded Plast. Debris Mar. Environ.* 18, 319–326.
- Lamb, J.B., Willis, B.L., Fiorenza, E.A., Couch, C.S., Howard, R., Rader, D.N., True, J.D., Kelly, L.A., Ahmad, A., Jompa, J., 2018. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science* 359, 460–462.
- Law, K.L., Moret-Ferguson, S., Maximenko, N.A., Proskurowski, G., Peacock, E.E., Hafner, J., Reddy, C.M., 2010. Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. *Science* 329, 1185–1188. <https://doi.org/10.1126/science.1192321>
- Lewis, P.N., Riddle, M.J., Smith, S.D.A., 2005. Assisted passage or passive drift: a comparison of alternative transport mechanisms for non-indigenous coastal species into the Southern Ocean. *Antarct. Sci.* 17, 183–191. <https://doi.org/10.1017/S0954102005002580>
- Li, J., Wang, M.-H., Ho, Y.-S., 2011. Trends in research on global climate change: A Science Citation Index Expanded-based analysis. *Glob. Planet. Change* 77, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.02.005>
- Li, W.C., Tse, H.F., Fok, L., 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Sci. Total Environ.* 566–567, 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>

- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T., 2001. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environ. Sci. Technol.* 35, 318–324.
- Mattsson, K., Hansson, L.-A., Cedervall, T., 2015. Nano-plastics in the aquatic environment. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17, 1712–1721.  
<https://doi.org/10.1039/C5EM00227C>
- McDermid, K.J., McMullen, T.L., 2004. Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago. *Mar. Pollut. Bull.* 48, 790–794.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.10.017>
- Moore, C.J., 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environ. Res.* 108, 131–139.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., Weisberg, S.B., 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 42, 1297–1300.
- Nelms, S.E., Duncan, E.M., Broderick, A.C., Galloway, T.S., Godfrey, M.H., Hamann, M., Lindeque, P.K., Godley, B.J., 2016. Plastic and marine turtles: a review and call for research. *ICES J. Mar. Sci. J. Cons.* 73, 165–181.  
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv165>
- Ng, K.L., Obbard, J.P., 2006. Prevalence of microplastics in Singapore’s coastal marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 52, 761–767.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.11.017>
- Ogata, Y., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Mato, Y., Saha, M., Okuda, K., Nakashima, A., Murakami, M., Zurcher, N., Booyatumanondo, R., Zakaria, M.P., Dung, L.Q., Gordon, M., Miguez, C., Suzuki, S., Moore, C., Karapanagioti, H.K., Weerts, S., McClurg, T., Burres, E., Smith, W., Velkenburg, M.V., Lang, J.S., Lang, R.C., Laursen, D., Danner, B., Stewardson, N., Thompson, R.C., 2009. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1437–1446.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.014>
- Ozsoy, Z., Demir, E., 2018. The Evolution of Bariatric Surgery Publications and Global Productivity: A Bibliometric Analysis. *Obes. Surg.* 28, 1117–1129.  
<https://doi.org/10.1007/s11695-017-2982-1>

- Pettipas, S., Bernier, M., Walker, T.R., 2016. A Canadian policy framework to mitigate plastic marine pollution. *Mar. Policy* 68, 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.02.025>
- PlasticsEurope, 2017. *Plastics – the Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data.* [https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)
- Poortinga, W., Whitmarsh, L., Suffolk, C., 2013. The introduction of a single-use carrier bag charge in Wales: Attitude change and behavioural spillover effects. *J. Environ. Psychol.* 36, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.09.001>
- Rees, G., Pond, K., 1995. Marine litter monitoring programmes—a review of methods with special reference to national surveys. *Mar. Pollut. Bull.* 30, 103–108.
- Rios, L.M., Moore, C., Jones, P.R., 2007. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Mar. Pollut. Bull.* 54, 1230–1237. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.03.022>
- Rochman, C.M., Cook, A.-M., Koelmans, A.A., 2016. Plastic debris and policy: Using current scientific understanding to invoke positive change: Plastic debris and policy. *Environ. Toxicol. Chem.* 35, 1617–1626. <https://doi.org/10.1002/etc.3408>
- Rochman, C.M., Hoh, E., Hentschel, B.T., Kaye, S., 2013a. Long-Term Field Measurement of Sorption of Organic Contaminants to Five Types of Plastic Pellets: Implications for Plastic Marine Debris. *Environ. Sci. Technol.* 130109073312009. <https://doi.org/10.1021/es303700s>
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J., 2013b. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep.* 3. <https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rochman, C.M., Kurobe, T., Flores, I., Teh, S.J., 2014. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Sci. Total Environ.* 493, 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.051>
- Rossi, G., Barnoud, J., Monticelli, L., 2014. Polystyrene Nanoparticles Perturb Lipid Membranes. *J. Phys. Chem. Lett.* 5, 241–246. <https://doi.org/10.1021/jz402234c>
- Rothstein, S.I., 1973. Plastic Particle Pollution of the Surface of the Atlantic Ocean: Evidence from a Seabird. *The Condor* 75, 344–345. <https://doi.org/10.2307/1366176>

- R-TEAM, 2011. R DEVELOPMENT CORE TEAM, R. R: A Language and Environment for Statistical Computing. [s.l: s.n.]. v. 1.
- Ryan, P.G., 1988. The characteristics and distribution of plastic particles at the sea-surface off the southwestern Cape Province, South Africa. *Mar. Environ. Res.* 25, 249–273.
- Ryan, P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A., Moloney, C.L., 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1999–2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- Schuyler, Q., Hardesty, B.D., Wilcox, C., Townsend, K., 2014. Global Analysis of Anthropogenic Debris Ingestion by Sea Turtles: Debris Ingestion by Sea Turtles. *Conserv. Biol.* 28, 129–139. <https://doi.org/10.1111/cobi.12126>
- Seachrist, D.D., Bonk, K.W., Ho, S.-M., Prins, G.S., Soto, A.M., Keri, R.A., 2016. A review of the carcinogenic potential of bisphenol A. *Reprod. Toxicol.* 59, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2015.09.006>
- Shaw, D.G., Day, R.H., 1994. Colour-and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 28, 39–43.
- Shiber, J.G., 1979. Plastic Pellets on the Coast of Lebanon. *Plast. Pellets Coast Leban.* 10, 28–30. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(79\)90321-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(79)90321-7)
- Shomura, R., Yoshida, H., 1985. Proceedings of the Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris 27-29 November 1984, Honolulu, HI. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFC-54. 580p.
- Shomura, R.S., Godfrey, M.L., 1990. Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii, volume 1. NOAA Technical Memorandum, NMFS-SWFSC (154). US Department of Commerce, NOAA: Panama City. XIII, 774 pp.
- Sigler, M., 2014. The Effects of Plastic Pollution on Aquatic Wildlife: Current Situations and Future Solutions. *Water. Air. Soil Pollut.* 225. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2184-6>
- Smithers, R., 2016. England's Plastic Bag Usage Drops 85% since 5p Charge Introduced. Retrieved from. <https://www.theguardian.com/environment/2016/jul/30/englandplastic-bag-usage-drops-85-per-cent-since-5p-charged-introduced>.

- Spear, L.B., Ainley, D.G., Ribic, C.A., 1995. Incidence of plastic in seabirds from the tropical pacific, 1984–1991: relation with distribution of species, sex, age, season, year and body weight. *Mar. Environ. Res.* 40, 123–146.
- Stewart, B.W., Wild, C.P., 2014. World cancer report 2014.
- Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M.E.J., Le Goïc, N., Quillien, V., Mingant, C., Epelboin, Y., 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 2430–2435.
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Bjorn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhang, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H., 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 2027–2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838–838.
- Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., vom Saal, F.S., 2009. Our plastic age. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1973–1976. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>
- United Kingdom Department for Environment Food and Rural Affairs, 2015. Carrier Bags: Why There's a Charge. Department for Environment, Food and Rural Affairs Retrieved from. <https://www.gov.uk/government/publications/single-use-plasticcarrier-bags-why-were-introducing-the-charge/carrier-bags-why-theres-a-5pcharge>.
- Van Eck, N.J., Waltman, L., 2011. VOSviewer manual. Man. VOSviewer Version 1.
- Velander, K., Mocogni, M., 1999. Beach litter sampling strategies: is there a 'best' method? *Mar. Pollut. Bull.* 38, 1134–1140.
- Villarrubia-Gómez, P., Cornell, S.E., Fabres, J., 2017. Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. *Mar. Policy.* <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.035>
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Ga?uszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D. d., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wagreich, M.,

- Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N., Wolfe, A.P., 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 351, aad2622–aad2622.  
<https://doi.org/10.1126/science.aad2622>
- Weis, P., Weis, J.S., Greenberg, A., Nosker, T.J., 1992. Toxicity of construction materials in the marine environment: a comparison of chromated-copper-arsenate-treated wood and recycled plastic. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 22, 99–106.
- Wilcox, C., Van Sebille, E., Hardesty, B.D., 2015. Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 11899–11904.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1502108112>
- Wolfe, D.A., 1987. Persistent Plastics and Debris in the Ocean: an International Problem of Ocean Disposal. *Persistent Plast. Debris Ocean Int. Probl. Ocean Dispos.* 18, 303–305.
- Wong, C., GREEN, D., CRETNEY, W., 1974. Quantitative Tar and Plastic Waste Distributions in the Pacific Ocean 247, 30–32.
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ. Pollut.* 178, 483–492.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Xanthos, D., Walker, T.R., 2017. International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Mar. Pollut. Bull.* 118, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.048>
- Xie, S., Zhang, J., Ho, Y.-S., 2008. Assessment of world aerosol research trends by bibliometric analysis. *Scientometrics* 77, 113–130.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-007-1928-0>
- Zampoukas, N., Galgani, F., Fleet, D., Van Franeker, J., Katsanevakis, S., Maes, T., Mouat, J., Oosterbaan, L., Poitou, I., Hanke, G., Thompson, R., Amato, E., Birkun, A., Janssen, C., European Commission, Joint Research Centre, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, International Council for the Exploration of the Sea (ICES), 2010. Marine Strategy Framework Directive: task group 10 report: marine litter, April 2010. Publications Office, Luxembourg.
- Zhang, G., Xie, S., Ho, Y.-S., 2010. A bibliometric analysis of world volatile organic compounds research trends. *Scientometrics* 83, 477–492.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-009-0065-3>

### 3. Poluição dos Oceanos por Plástico: Principais Lacunas no Conhecimento

#### RESUMO

A compreensão da poluição por plástico tem crescido desde que as primeiras pesquisas sobre a presença de plástico nos ecossistemas marinhos surgiram no início dos anos 70. Hoje sabe-se que esse tipo de poluição representa uma grave ameaça a estes ecossistemas. No entanto, apesar do avanço inegável na compreensão do problema, muitas lacunas no conhecimento ainda persistem, e o acúmulo de novas evidências sugere que o problema da presença de plástico nos ecossistemas pode ser ainda mais grave. Neste contexto, através da avaliação dos trabalhos publicados sobre a poluição marinha por plástico, as lacunas de conhecimento existentes sobre a temática foram identificadas. Conclui-se que existe a necessidade urgente de quantificar e avaliar os efeitos dos nanoplásticos nos oceanos. Também é observado uma clara prevalência dos estudos sobre poluição por plástico na Europa e América do Norte, o que indica a necessidade de ampliar esforços de pesquisa principalmente na Ásia e África, regiões que concentram boa parte dos países responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos. Em relação aos ambientes estudados, a maior parte dos estudos ocorreram em praias e regiões epipelágicas, havendo a necessidade de mais estudos em zonas oceânicas profundas e regiões biodiversas com grande importância econômica, como recifes e manguezais. Existe ainda, a necessidade de ampliação dos estudos de ingestão de plástico para mais espécies, principalmente de peixes e invertebrados. Quanto a ingestão de microplástico existe a necessidade de mais pesquisas de ingestão por aves, tartarugas e mamíferos marinhos. Finalmente recomenda-se que a comunidade científica tente quantificar e avaliar os impactos causados pela ingestão de resíduos plásticos e os efeitos socioeconômicos e dos poluentes químicos associados a estes materiais.

**Palavras-chave:** microplástico, nanoplástico, poluição marinha.

## 4. 1 INTRODUÇÃO

A poluição dos ecossistemas marinhos por resíduos plásticos atraí a atenção da comunidade científica desde 1970 devido a capacidade destes materiais se acumularem no ambiente (Carpenter and Smith, 1972; Scott, 1972; Shiber, 1979) e impactarem a fauna (Carpenter et al., 1972; Rothstein, 1973). Da década de 1970 até hoje a produção e uso do plástico têm crescido exponencialmente, e atualmente são produzidos por ano mais de 335 milhões de toneladas de plástico (PlasticsEurope, 2017). Aproximadamente cinquenta por cento do plástico produzido destina-se à fabricação de produtos descartáveis (Singh and Sharma, 2016). Os altos índices de produção e difusão do uso de plástico são consequências de seu baixo preço, leveza e durabilidade (Thompson et al., 2009; Hammer et al., 2012). Junto com este aumento de produção veio o aumento do impacto sobre os ecossistemas e dos esforços da comunidade científica em documentar e compreender o problema. Os esforços da comunidade científica ficam claros quando uma busca pelo termo *Plastic AND Ocean* é realizada na plataforma *Web of Science* e apenas em 2018 retornam 278 artigos sobre a temática.

Como consequência do uso desenfreado do plástico em produtos descartáveis ou de vida curta e de estratégias ineficientes de gestão de resíduos (Jambeck, et al., 2015), os itens plásticos são considerados em escala global como tipos mais abundantes de detritos marinhos de origem antropogênica (A STAP, 2011; Galgani et al., 2015). As estimativas indicam que apenas em 2010 entraram nos oceanos de 4-12 milhões de toneladas (Mt) de resíduos plásticos (Jambeck, et al., 2015) e que existem dezenas de milhares de toneladas de plástico flutuando na superfície oceânica (Cozar et al., 2014). Várias pesquisas já comprovaram a presença de plástico em uma ampla variedade de habitats marinhos, incluindo praias (Ryan et al., 2009; Hidalgo-Ruz et al., 2012; Kwon et al., 2015), estuários (Browne et al., 2010; Ivar do Sul and Costa, 2013) e em habitats da zona nerítica (Law et al., 2010; Frias et al., 2016) e da zona oceânica (Cozar et al., 2014); Woodall et al., 2014), incluindo recifes de coral (Lamb et al., 2018), manguezais (Lima et al., 2016) e até mesmo em gelo marinho (Obbard et al., 2014).

As consequências da presença de plástico no ambiente são diversas, vão desde problemas estéticos que resultam em consequências socioeconômicas negativas (Jang et al., 2014), a impactos aos organismos marinhos e saúde humana (Gregory, 2009; Rochman et al., 2013; Vethaak and Leslie, 2016). Até o ano de 2015 mais de 400 espécies marinhas já tinham interagido com plástico (Gall and Thompson, 2015b). Estima-se que todas as sete espécies conhecidas de tartaruga marinha, 54% de todas as espécies de mamíferos marinhos e 56% de todas as espécies de aves marinhas foram afetadas por entrelaçamento ou ingestão de lixo marinho (Gall and Thompson, 2015b). Além disso, os resíduos plásticos tem potencial para aumentar o transporte de contaminantes orgânicos e inorgânicos (Teuten et al., 2009), podendo inclusive contaminar a fauna marinha ao serem ingeridos (Engler, 2012; Koelmans et al., 2016). Podem ainda servir como meio de ancoramento para organismos (Zettler et al., 2013; Masó et al., 2016), o que facilita o transporte de espécies exóticas para outras regiões, podendo eventualmente causar uma mudança na composição de espécies ou mesmo extinção de espécies locais.

Na última década o conjunto de dados e a quantidade de publicações sobre a poluição por plástico cresceu. Hoje existe uma maior compreensão dos impactos provocados pelo acúmulo deste material nos ecossistemas marinhos, e o consenso científico é que a poluição por plástico representa uma grave ameaça a estes ecossistemas (Sharma and Chatterjee, 2017). Apesar dos avanços na compreensão dos impactos causados pelo acúmulo de plástico nos ecossistemas desde a década de 1970, muitas lacunas no conhecimento ainda persistem (Rochman et al., 2016b). Os impactos, apesar de já serem considerados graves (Rochman et al., 2016a), ainda não são bem compreendidos em diversos níveis (Browne et al., 2015). Recentemente a poluição por plástico foi implicada no aumento da chance de branqueamento de corais (Lamb et al., 2018) e como possíveis favorecedores da dispersão da resistência microbiana (Arias-Andres et al., 2018). Além disso, a poluição por plástico em algumas regiões e ambientes ainda permanece pouco estudada (Barnes et al., 2009a). Desta forma, apesar do avanço inegável na compreensão do problema, muitas lacunas no

conhecimento ainda persistem, e o acúmulo de evidências sugere que o problema da presença de plástico nos ecossistemas pode ser ainda mais grave.

Neste contexto de avaliação dos trabalhos publicados sobre a temática da poluição dos ecossistemas marinhos por plástico, o objetivo do presente estudo é, através de uma revisão sistemática da literatura, identificar as lacunas de conhecimento sobre esta temática. Através das análises, foram identificadas tanto as lacunas de conhecimento existente dos pontos de vista geográfico (e.g., países e regiões), taxonômico (táxons afetados) e de habitats (e.g., recifes de coral, manguezal e zonas oceânicas) quanto os subtemas pouco estudados (e.g., contaminantes associados aos resíduos plásticos e efeitos letais e subletais decorrentes da ingestão).

## **4. 2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os dados utilizados nesse estudo foram coletados em outubro de 2017 da plataforma de dados da Thomson Reuters Web of Science (WoS, apps.webofknowledge.com). Como estratégias de busca foi aplicado para título, resumo e palavras-chave a sequência de pesquisa: "*Marine Debris*" OR "*Plastic Pollution*" OR "*Marine Waste*" OR "*Plastic Debris*" OR "*Marine Litter*" OR (*\*Plastic\** AND *Coast*) OR (*\*Plastic\** AND *Sea*) OR (*\*Plastic\** AND *Ocean*). Todos os dados dos artigos referentes à poluição dos oceanos por plástico publicados de 1972 (ano do primeiro artigo publicado) a 2016 foram baixados no formato BibTEX e filtrados em duas etapas. Primeiro, os livros, materiais de simpósio e registros repetidos foram descartados limitando-se apenas aos registros de artigos revisados por pares e em inglês. Posteriormente, os artigos foram baixados e verificados manualmente quanto a pertinência ao tema.

### **4. 2. 1 Revisão Sistematizada**

De cada um dos artigos que passaram nos filtros, foram identificados: título, ano de publicação, autores, país do primeiro autor, país onde a pesquisa foi realizada,

periódico de publicação e palavras-chave. Os artigos foram classificados ainda quanto ao tamanho do fragmento plástico estudado, em macroplástico (>5 mm), microplástico (0,1  $\mu\text{m}$  - 5 mm) e nanoplástico (<0,1  $\mu\text{m}$ ) (Galloway et al., 2017). Quanto ao foco principal do trabalho em acúmulo de plástico no ambiente, interação com a fauna, poluentes associados ao plástico e impacto socioeconômico. Os trabalhos em cada uma dessas amplas categorias foram classificados quanto ao oceano em que foi realizado o estudo (Atlântico Norte, Atlântico Sul, Pacífico Norte, Pacífico Sul, Índico, Antártico ou Ártico) e quanto a região geográfica em que o estudo foi realizado (América do Norte; América do Sul e Central, Europa, África, Ásia ou Oceania). Os trabalhos que relataram o acúmulo de plástico no ambiente marinho foram ainda classificados quanto a zona de acúmulo em: litoral, termo designado como faixa de terra junto a costa marítima; estuário, considerado como ambiente aquático de transição entre um rio e o mar; zona nerítica, região delimitada pela plataforma continental; e zona oceânica termo usado para designar toda a região após a quebra da plataforma continental. Os trabalhos que relataram o acúmulo de plástico no ambiente marinho foram classificados ainda em ambientes mais específicos (praias, mangues, recifes, coluna d'água, substrato ou mar profundo). Os artigos que relataram interação da biota marinha com resíduos plásticos foram classificados quanto ao tipo de interação em *rafting*, ingestão ou emaranhamento; quanto ao táxon envolvido (aves marinhas, mamíferos marinhos, tartarugas marinhas, peixes e invertebrados). Os efeitos desta interação foram classificados ainda quanto a letalidade, de forma que a interação que resultou em morte foi classificada como letal e a interação com plástico que não resultou em morte, mas o estudo relatou algum dano físico ao organismo foi classificado como subletal. Como alguns estudos tratam de temas múltiplos eles podem ter sido classificados em uma ou mais categorias, desta forma, em algumas situações os somatórios da frequência podem ultrapassar 100% (e.g., um mesmo trabalho pode tratar de ingestão de macro e microplástico).

## **4. 3 RESULTADOS**

Um total de 974 artigos foi analisado. Foi possível a classificação de todos os artigos quanto ao tamanho do fragmento plástico estudado. Ao todo, 700 artigos (64,5%) foram sobre a categoria de tamanho macrolástico. Os microplásticos foram alvo de estudo de 34,9% dos trabalhos publicados (n= 379) e menos de um por cento das publicações foram sobre a categoria de tamanho nanoplástico (n= 7).

### **4. 3.1 Distribuição Geográfica das Pesquisas**

#### **4. 3. 2 Países**

Os estudos (n = 737) sobre a poluição dos oceanos por plástico foram realizados em 76 dos 195 países no mundo. Os Estados Unidos da América (EUA) é o país dominante em quantidade de artigos (n = 124), seguidos pelo Brasil (n = 75) e Reino Unido (n = 73), que apresentaram quantidade similares de pesquisas sobre o tema realizadas em seu território (Figura 1). Aproximadamente 32,1% de todas as pesquisas científicas sobre a poluição por plástico foram realizadas nesses três países.

A China, o país responsável por maior aporte de plástico para os oceanos (Jambeck, et al., 2015), figurou em décima segunda colocação entre os países onde foram realizadas a maior quantidade de estudos sobre o tema, com apenas 24 artigos. Ao analisar a lista com os vinte países responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos (Jambeck, et al., 2015), percebe-se que apenas os EUA (20º) e o Brasil (16º) figuram entre os locais com maior quantidades de pesquisa sobre tema (Figura 01).

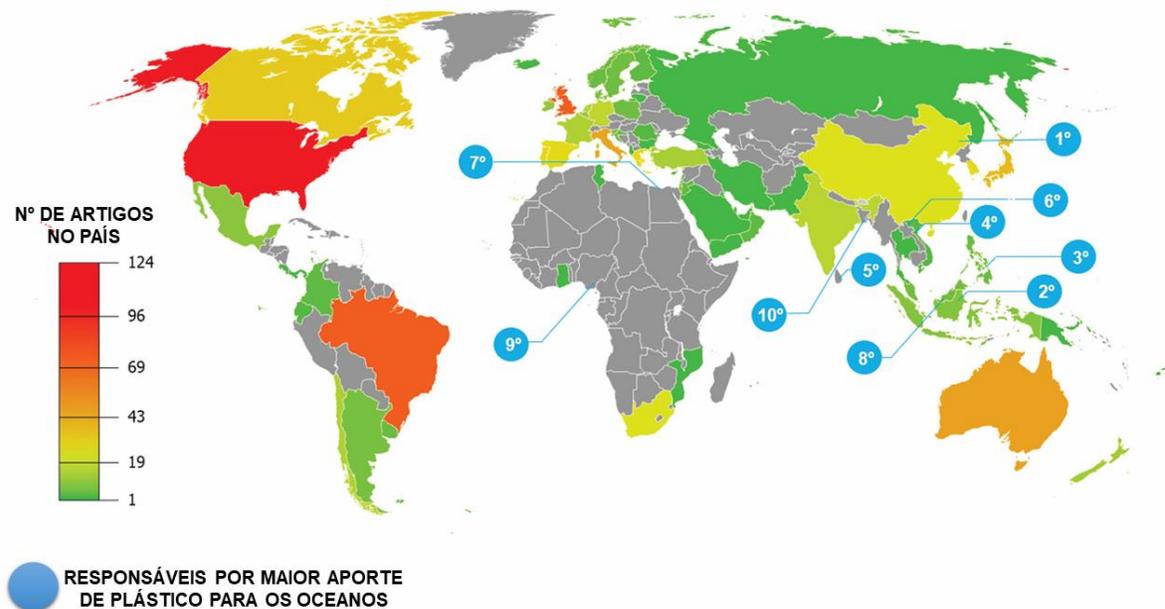


Figura 1 – Rank dos países responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos (Jambeck, et al., 2015); e distribuição mundial da produção científica sobre poluição dos oceanos por plástico (1972-2016).

#### 4. 3. 3 Região e Oceanos

Quando as pesquisas sobre poluição por plástico são classificadas de acordo com a região em que os estudos foram realizados ( $n = 749$ ), a Europa e a América do Norte concentram 55,4% dos estudos, com 240 e 200 trabalhos respectivamente. A Ásia ( $n = 124$ ) e a América do Sul e Central ( $n = 121$ ) apresentaram quantidades similares de estudos com 15,6% e 15,2% dos estudos, respectivamente. A Oceania aparece em seguida com 81 trabalhos, representando 10,2% do total. A África apresenta apenas 2,9% dos artigos sobre a temática desenvolvidos em seu território ( $n = 23$ ), e apenas seis trabalhos foram desenvolvidos na Antártica (Figura 2).

Observando as regiões oceânicas de realização das pesquisas, percebe-se que os oceanos mais estudados foram os oceanos Atlântico Norte ( $n = 336$ ) e Pacífico Norte ( $n = 201$ ), seguidos dos oceanos Atlântico Sul ( $n = 112$ ) e Índico ( $n = 101$ ). Os oceanos Pacífico Sul ( $n = 43$ ), Ártico ( $n = 11$ ) e Antártico ( $n = 6$ ) foram os menos estudados quanto a poluição por plástico.

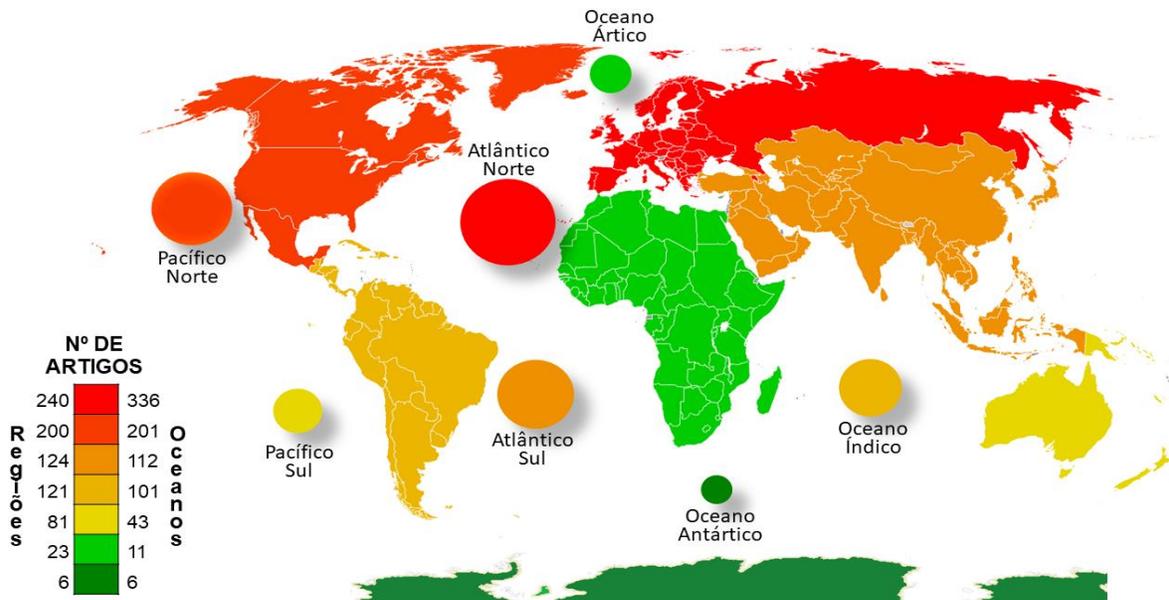


Figura 2 - Número de estudos sobre a poluição dos oceanos por plástico por regiões geográficas e oceanos. Além da escala de cores, para os oceanos o tamanho do círculo indica a quantidade de estudos, ou seja, quanto maior o círculo maior a quantidade de estudos.

#### 4. 3. 4 Ecossistemas

Um total de 471 artigos estudaram o acúmulo de plástico em ambiente marinho, destes 449 relataram o ambiente onde os estudos foram realizados. As pesquisas concentraram-se principalmente em ambientes próximos a costa, como litoral (n = 249; 49,4%) e zona nerítica (n = 141; 27,9%), e em menor nível nas regiões estuarinas (n = 27; 5,4%) (Figura 3). As pesquisas sobre o acúmulo de plástico realizadas em zonas oceânicas representaram 17,3% dos estudos (n = 87) (Figura 3). Os estudos sobre acúmulo de plástico no litoral se concentraram principalmente em praias (n = 243; 98,4%) e apenas quatro pesquisas foram realizadas em manguezais (1,6%), duas delas em ambientes estuarinos. Em zonas neríticas os estudos de acúmulo de plástico se concentraram principalmente na coluna d'água (n = 75; 51,7%) e em substrato (n = 56; 38,6%). Apesar de sua grande importância ecológica as pesquisas de acúmulo de plástico em recifes representam uma parcela relativamente pequena dos estudos (n = 14; 9,7%) (Figura 3). Dos 14 artigos sobre o acúmulo de plástico em recifes de corais

apenas um foi sobre microplástico (Woodall et al., 2014). Dos quatro estudos de acúmulo de plástico em manguezais dois foram sobre microplástico (Lima et al., 2016; Mohamed Nor and Obbard, 2014). As pesquisas realizadas em zonas oceânicas (n= 87) seguiram o mesmo padrão de prevalência de estudos de acúmulo de plástico na coluna d'água (n= 56; 65,1%) e em menor quantidade no substrato em elevadas profundidades (n= 30; 34,9%) (Figura 3).

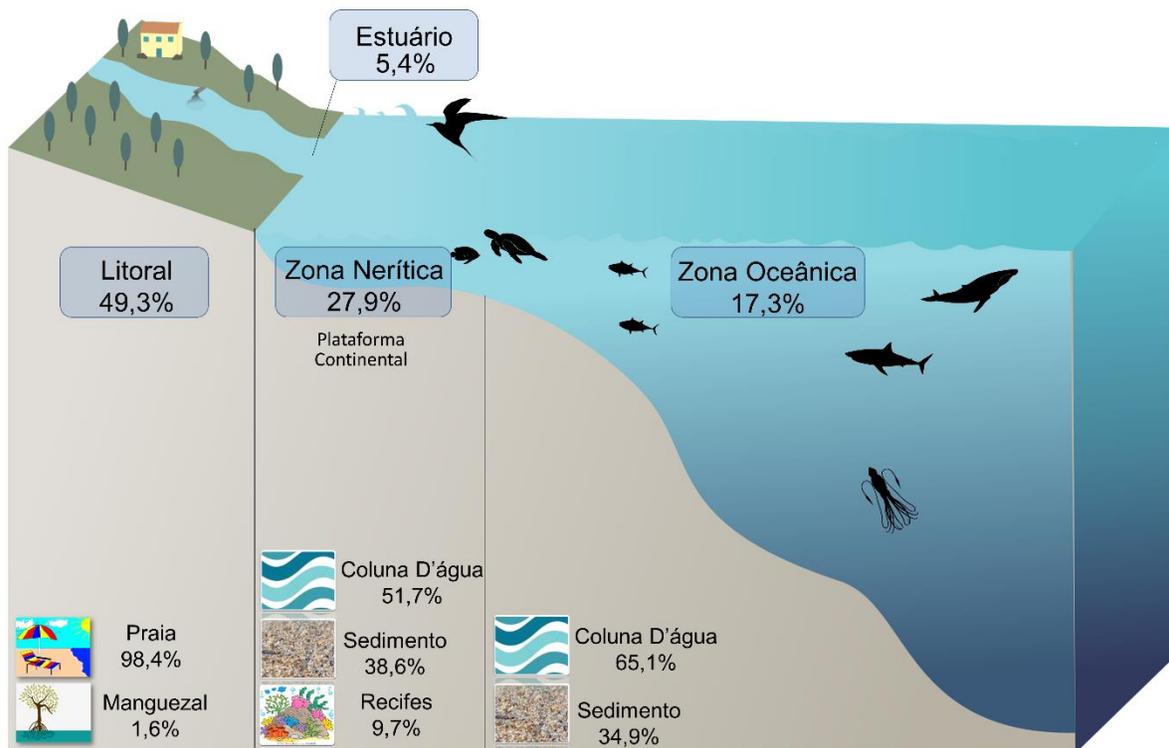


Figura 3 - Distribuição das pesquisas sobre poluição dos oceanos por plástico de acordo com a região marinha e ambientes de estudo (1972-2016).

#### 4. 3. 5 Interação da Fauna com Resíduos Plásticos

A interação da fauna marinha com resíduos plásticos foi abordada por uma alta proporção de publicações (n = 308, que representa 31,6% de todos os estudos), concentradas principalmente na ingestão de plástico com 73,3% dos estudos (n = 242), e no emaranhamento de animais por plástico (n = 49). Dos 242 artigos que estudaram a ingestão de plástico pela fauna marinha mais da metade (n = 167; 61%) reportaram a ingestão de macroplástico (Figura 4a). A ingestão de microplástico foi abordada por

38,3% dos estudos (n = 105) (Figura 4b) e apenas dois artigos relataram a ingestão de nanoplastico pela fauna marinha.

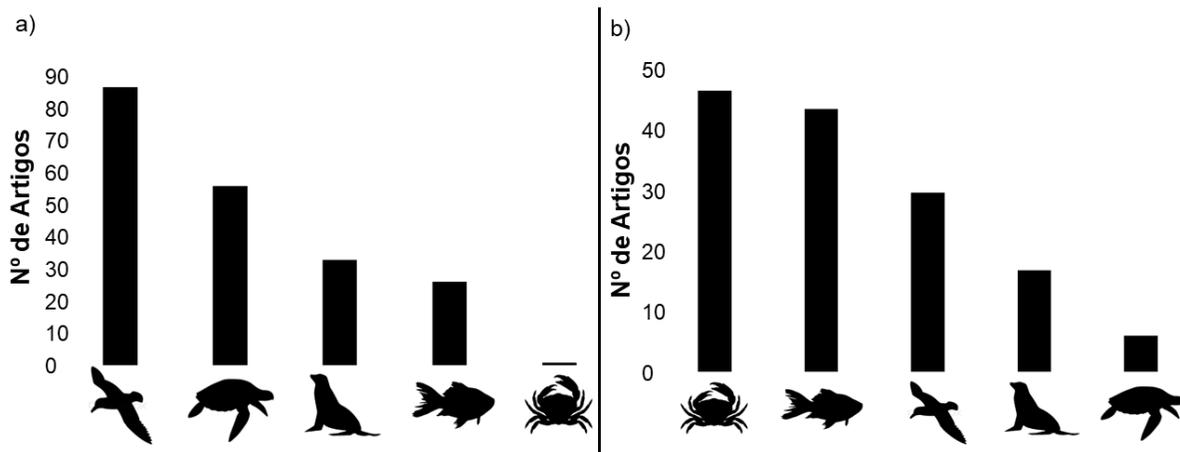


Figura 4 - Quantidade de estudos por táxons sobre ingestão de macroplástico e microplástico pela fauna marinha. a) Táxons estudados quanto a ingestão de macroplástico; b) Táxons estudados quanto a ingestão de microplástico.

O ancoramento e a potencial dispersão de espécies em fragmentos de plástico (*rafting*) foi tratado em 39 trabalhos, 73,2% em macroplástico (n = 30) e 26,8% em microplástico (n = 11). Os organismos estudados nas pesquisas de *rafting* em macroplástico foram principalmente invertebrados marinhos (n = 22; 52,4%) e algas (n = 14; 33,3%), seguidos por bactérias (n = 4; 9,5%), fungos e peixes coralíneos (n = 1; 2,4% cada). Nas pesquisas de *rafting* em microplástico, as bactérias (n = 9; 60%) foram o grupo de organismos com maior quantidade de artigos (n = 9), seguidos por invertebrados (n = 3), algas (n = 2) e fungos (n = 1).

#### 4. 3. 6 Ingestão de Plástico por Táxons

Quando os estudos de ingestão de plástico são classificados por táxons (n = 242), as aves marinhas representam a maior parte dos estudos (n = 104; 32,1%), seguidas de tartarugas e peixes com 18,8% dos estudos, respectivamente (n = 61), mamíferos marinhos (n = 49; 15,1%) e invertebrados (n = 48; 15,1%). Os trabalhos de

ingestão variam quanto ao tamanho do fragmento de plástico avaliado, sendo que nos estudos de macroplástico (n = 165) os táxons mais estudados foram aves marinhas (n = 87; 42,8%), tartarugas marinhas (n = 56; 27,6) e mamíferos marinhos (n = 33; 16,3%), seguidos por peixes (n = 26; 12,8) e, como esperado, em menor quantidade invertebrados (n = 1; 0,5%) (Figura 4a). Nos artigos que relataram ingestão de microplástico (n = 107), os invertebrados (n = 47; 32,6%) e os peixes (n = 43; 29,9%) passam a ser os grupos mais estudados, apresentando quantidade similares de estudos. As aves com 20,8% dos estudos (n = 30), mamíferos marinhos (n = 18; 12,5%) e tartarugas marinhas (n = 6; 4,2%) (Figura 4b) também foram reportados ingerindo microplástico, e muitas vezes estes estudos não são totalmente claros quanto a divisão por categorias de tamanho.

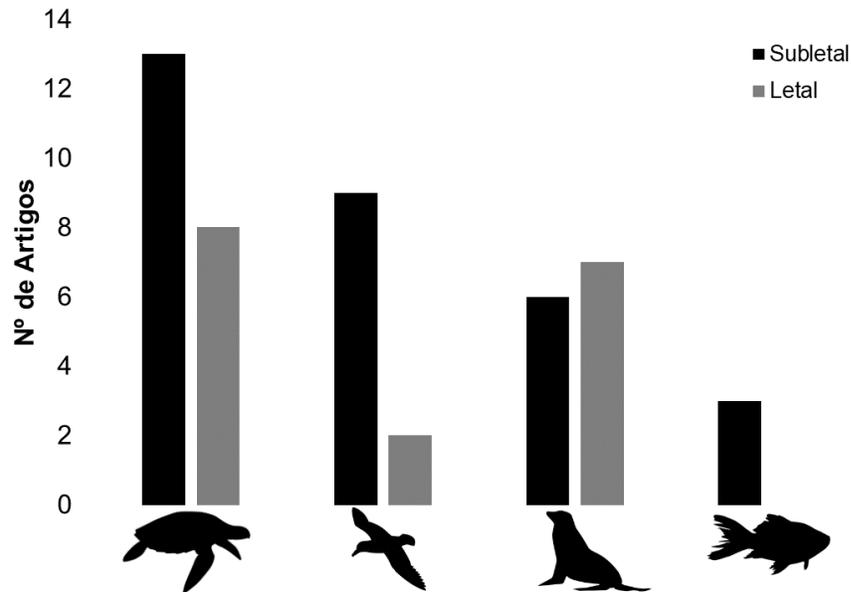
#### **4. 3. 7 Efeitos Letais e Subletais da Ingestão de Plástico**

Apenas 11,4% dos 308 estudos que relataram a ingestão de plástico pela biota marinha informou se a interação resultou em morte ou em danos subletais ao organismo já que este tipo de diagnóstico é bastante difícil quando o animal é encontrado morto em avançado estágio de decomposição. Em 16 estudos as pesquisas relataram que a interação da biota com plástico resultou em morte e em 27 estudos que a interação resultou em dano subletal.

Quando os estudos de ingestão de plástico que relataram o impacto da interação são avaliados quanto a categoria de tamanho dos resíduos plásticos, o macroplástico é a principal classe de tamanho estudada, concentrando 88,9% dos trabalhos. Apenas quatro trabalhos avaliaram os impactos subletais da ingestão de microplástico.

O efeito letal da ingestão de macroplástico foi relatado por 16 estudos, destes 47,1% avaliaram tartarugas marinhas (n = 8), 41,2% mamíferos marinhos (n = 7) e 11,8% aves marinhas (n = 2) (Figura 5). Não houve relatos de morte de peixes por ingestão de macroplástico. Os efeitos subletais da ingestão de macroplástico foram alvo de 24 estudos, destes 41,9% avaliaram tartarugas marinhas (n = 13), 29% aves

marinhas (n = 9), 19,4% mamíferos marinhos (n = 6) e 9,7% peixes (n = 3) (Figura 5). Até 2016 não foram publicados artigos sobre efeito subletal da interação de peixes e tartarugas marinhas com microplástico.



**Figura 5** - Quantidade de estudos por táxons que relataram a letalidade ou efeitos subletais da ingestão de macroplástico.

#### 4. 3. 8 Poluentes Associados ao Plástico

A adsorção e liberação de poluentes por resíduos plásticos foi avaliada em 116 trabalhos, 11,9% do total de artigos avaliados. Destes, 38 foram estudos realizados em ambiente controlado. Ao todo, 65 artigos estudaram a contaminação do ambiente e 44 a contaminação da fauna marinha através da ingestão de plástico. Os estudos sobre os poluentes associados ao plástico foram mais comuns em microplástico (61,9%) do que em macroplástico (38,1%).

#### 4. 3. 9 Impactos Socioeconômicos

Os impactos socioeconômicos da poluição por plástico em ecossistemas marinhos foram avaliados apenas por 63 artigos, o que representa 6,5% dos artigos

avaliados sobre a poluição por plástico (n=974). Destes, apenas 6 artigos relataram algum impacto socioeconômico provocado por microplásticos em ambiente marinho.

## **4. 4 DISCUSSÃO**

### **4. 4. 1 Distribuição Geográfica das Pesquisas**

Apesar da poluição por plástico ser um problema global (Eriksen et al., 2014), os dados revelam que o conhecimento científico desse tipo de poluição não está bem distribuído pelo mundo. Existe uma menor quantidade de pesquisas sobre a poluição por plástico no continente africano, asiático e antártico, o que pode estar levando a uma subavaliação dos impactos da poluição por plástico no mundo.

O estudo da poluição por plástico nos países asiáticos e africanos é de fundamental importância para compreensão da problemática dos impactos da poluição por plástico, tendo em vista que dentre os vinte países responsáveis pelo aporte de plástico apenas Brasil e EUA, não estão situados nestes continentes (Jambeck, et al., 2015). China, Indonésia e Filipinas são responsáveis por cerca de 44% da entrada de plástico nos oceanos (Jambeck et al., 2015). No entanto, existe uma clara discrepância entre a quantidade de estudos nessa região, já que os dados demonstraram que nenhum dos países onde foram realizadas a maioria das pesquisas sobre poluição por plástico se encontra na região asiática, e a África do Sul é o único país africano que concentra um número significativo de trabalhos. O que leva a sugerir que o aumento de pesquisas nessas regiões (Ásia e África) poderia ampliar o entendimento das consequências da poluição por plástico e revelar dados impressionantes de impactos ambientais. A China, por exemplo, possui 7 dos 20 rios mais contaminados do mundo, eles contribuem com cerca de dois terços do plástico liberado para os oceanos (Lebreton et al., 2017). No entanto, não figurou entre os dez países com maiores quantidades de pesquisas, mesmo sendo o segundo país em produção científica total no ano de 2016 de acordo com a plataforma SCImago. Em cenário similar se encontra a Índia, listada entre os 20 países que mais contribuem para o aporte de plástico, o quinto país em produção

científica total em 2016 (SCImago) e apenas com 17 estudos realizados em seu território sobre a poluição por plástico. Portanto, é provável que os danos provenientes do acúmulo de plástico no ambiente estejam subestimados. Desta forma, para uma melhor compreensão do problema da poluição por plástico é importante que estudos sejam executados nestes países responsáveis por grande parte do aporte atual de plástico para os oceanos, tanto para entender melhor o problema, como para que estratégias de mitigação sejam tomadas.

Por outro lado, a maioria das pesquisas tem se concentrado na Europa e América do Norte, o que já era esperado, pois estes continentes possuem países com os maiores investimentos em ciência (World Bank Open Data, 2018). De maneira geral, poucos estudos foram realizados na América Central e do Sul. A exceção a este padrão de baixa quantidade de estudos na América Central e do Sul é o Brasil, que concentrou aproximadamente 70% dos estudos dessa região, figurando em segundo lugar entre os países que apresentaram maior quantidade de estudos sobre poluição por plástico realizados em seu território.

Da mesma forma que as pesquisas são limitadas a certos continentes, os dados mostram que existem poucas pesquisas no oceano Pacífico Sul, Ártico e Antártico, quando comparada aos outros oceanos do mundo (Atlântico Norte, Pacífico Norte, Atlântico Sul e Índico). Em resumo, independente do oceano em que ocorreram as pesquisas, as regiões da África, Ásia e regiões polares foram menos estudadas quanto a poluição por plástico. No entanto, um estudo recente nos mares do Leste Asiático, estabeleceu que a contagem total de partículas de plástico é de 1.720.000 peças km<sup>2</sup>, isto é, 16 vezes maior que no Pacífico Norte e 27 vezes maior que no oceano global (Isobe et al., 2015). No gelo do mar Ártico também já foram encontradas concentrações de microplásticos que são várias ordens de magnitude maiores do que aquelas que foram relatadas em águas superficiais altamente contaminadas, como os do Giro do Pacífico (Obbard et al., 2014). Isso pode indicar que o gelo marinho polar representa um importante sumidouro global de partículas de plástico que podem vir à tona com o derretimento das calotas polares. Isso indica que a

ampliação de pesquisas nessas regiões menos estudadas pode esclarecer e ampliar os dados sobre o impacto do plástico nos oceanos do mundo.

#### **4. 4. 2 Ecossistemas**

Os esforços de pesquisa sobre a poluição dos oceanos por plástico não estão bem distribuídos entre os diferentes ambientes marinhos. Os estudos sobre o acúmulo de plástico focaram, principalmente, nos ambientes mais próximos à costa, como litoral e zona nerítica, que somaram aproximadamente 75% dos estudos. Uma grande parcela dos estudos ainda é limitada a quantificação do lixo encontrado nas praias. O que provavelmente se deve à facilidade de acesso e ao baixo custo de pesquisa nestes ambientes. Essa preferência de realizar estudos em áreas do litoral possivelmente ocorrem em outras áreas das ciências marinhas.

O número de trabalhos na zona oceânica vem crescendo recentemente. Em 2014 Eriksen et al. (2014) publicou um dos artigos mais importantes e mais citados sobre o acúmulo de plástico nos oceanos do mundo (610 citações), estimando em 5,25 trilhões o número total de partículas de plástico flutuantes. No mesmo ano Cozar et al., (2014) estimou em cerca de dezenas de milhares de toneladas a carga global de plástico na superfície do oceano aberto, destacando que o acúmulo era bem menor do que o esperado.

As publicações que estão entre as mais citadas sobre o acúmulo de plástico em zonas oceânicas estimaram a quantidade de plástico em águas superficiais, principalmente de giros oceânicos (Moore et al., 2001; Law et al., 2010; Morét-Ferguson et al., 2010). Isso revela que pesquisas em zonas oceânicas, são majoritariamente relacionadas ao acúmulo de plástico na região epipelágica do que na bentônica. Este fato provavelmente se deve a questões logísticas, pois amostrar plástico na região epipelágica é menos custoso que amostragens feitas no substrato em grandes profundidades. As primeiras amostragens mais completas nas regiões bentônicas profundas ocorreram em 2013, quando Van Cauwenberghe et al. (2013) coletaram microplásticos localizados em quatro locais em diferentes habitats do fundo do mar,

variando em profundidade de 1100 a 5000 m. Um ano depois as pesquisas de Woodall et al., (2014) levantaram a questão de que os substrato do fundo do mar são um provável sumidouro de microplásticos e portanto podem estar acumulando uma parcela do plástico que entram nos oceanos. Tendo em vista, a pequena quantidade de trabalhos que avaliaram o acúmulo de plásticos nas regiões oceânicas profundas, e a hipótese de que estes ambientes funcionam como sumidouro, é importante a ampliação de pesquisas nesses ambientes de profundidade.

Mesmo a zona nerítica sendo a mais estudada, estudos em ambientes recifais são raros. Os recifes de coral são considerados um dos ecossistemas mais produtivos e biodiversos do planeta (Burke, 2011; Lee et al., 2014). O triângulo de corais, por exemplo, abriga 76% das espécies de recifes de corais e 37% das espécies de peixes de recife de corais do globo (Allen, 2008), e apesar de estar rodeado pelos países responsáveis pelo maior aporte de plástico para os oceanos no mundo, ainda são pouco estudados quanto a esta temática. Isso sugere que com os avanços das pesquisas nesses ecossistemas, existe uma grande probabilidade de aumentar a lista de espécies interagindo com plástico e, por consequência, um melhor entendimento das consequências desta interação. Um claro exemplo da melhor compreensão dos impactos ao estudarmos estas regiões é o estudo de Lamb et al. (2018), que demonstrou que a presença de plástico em recifes está relacionada com aumento na probabilidade de ocorrência de branqueamento de corais (Lamb et al., 2018).

Os estudos realizados em manguezais são ainda em menor número, mesmo estes ambientes estando diretamente associados aos rios que são os maiores responsáveis pelo aporte de plástico para os ecossistemas marinhos (Lebreton et al., 2017). Além disso, os estudos em manguezais estão limitados geograficamente, tendo sido realizados principalmente no Brasil (e.g., Cordeiro and Costa, 2010; Ivar do Sul et al., 2014; Lima et al., 2016; Marques and Barreiros, 2016), o que leva a concluir que o acúmulo de plástico em manguezais é um problema largamente negligenciado (Debrot et al., 2013).

Os manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos e biologicamente ricos em todo o mundo, atuando como berçários de diversas espécies por fornecerem

abundância de alimentos, menor pressão de predação por possuir diversos microhabitats de águas rasas, maior turbidez e, conseqüentemente menor visibilidade, quando comparado com outros habitats (Lee et al., 2014; Lima et al., 2016). Essas características fazem desse ecossistema uma fonte de pescados e frutos do mar tanto para o consumo de subsistência quanto para o comércio (Duke et al., 2014). Apesar dos importantes serviços ecossistêmicos fornecidos pelos manguezais, este é um dos ecossistemas mais ameaçados do planeta, com taxas elevadas de perda de biodiversidade, sendo a poluição um importante impacto antrópico (Duke et al., 2014).

Para que haja uma maior compreensão dos impactos e um melhor planejamento de estratégias de mitigação é importante estudar uma diversidade maior de ambientes quanto ao acúmulo de plástico, principalmente ambientes de grande importância socioeconômica e ecológica, como recifes e manguezais. Além disso, é importante desenvolver estudos com uma visão ecossistêmica, não apenas relatando o acúmulo ou focando em táxons específicos, mas sim tentando compreender os efeitos sobre o ambiente como um todo.

#### **4. 4. 3 Interação da Fauna com Resíduos Plásticos**

Uma das principais temáticas abordada pelos estudos sobre a poluição por plástico dos ecossistemas marinhos foi a interação entre a fauna e os resíduos plástico. Na literatura existe uma gama de artigos relatando a ingestão de plástico por animais, seja a ingestão de macropástico (Gregory, 2009; van Franeker et al., 2011; Gall and Thompson, 2015) ou microplástico (Cole et al., 2011; Wright et al., 2013; Li et al., 2016), além de alguns poucos sobre nanoplástico (Cole and Galloway, 2015; Bouwmeester et al., 2015).

Alguns trabalhos já com avaliações globais de ingestão de macropástico foram publicados para tartarugas marinhas (Schuyler et al., 2014; Nelms et al., 2016), mamíferos marinhos (Baulch and Perry, 2014) e aves marinhas (Wilcox et al., 2015), que figuraram entre os mais estudados quanto a ingestão de plástico. No entanto, os grupos mais numerosos em espécies marinhas, peixes e invertebrados, permanecem

pouco estudados. Os poucos trabalhos publicados que trataram da ingestão de plástico por peixes foram restritos a determinadas regiões, como mediterrâneo (Romeo et al., 2015), giros oceânicos (Boerger et al., 2010; Davison and Asch, 2011; Gassel et al., 2013) e algumas regiões costeiras (Di Benedetto and Awabdi, 2014). Avaliando os estudos que trataram da ingestão de microplástico, os invertebrados e peixes figuram como os táxons mais estudados (e.g., Lusher et al., 2013; Frias et al., 2014; Van Cauwenberghe et al., 2015; Miranda and de Carvalho-Souza, 2016). Em contrapartida poucos artigos estudaram a ingestão de microplásticos por mamíferos e tartarugas marinhas. O que já era esperado dado o pequeno tamanho dos microplásticos, de forma que animais da microfauna provavelmente tendem a interagir com maior frequência com plásticos menores.

Apesar de existir poucos estudos sobre a ingestão de nanoplástico, eles indicam que a ingestão pode resultar em impacto crônico sobre as espécies. Essas poucas pesquisas destacaram que a ingestão de nanoplástico pode resultar em desfechos diversos, entre eles a transferência dessas partículas pela cadeia alimentar ou a contaminação por produtos químicos advindos das mesmas (e.g., Bouwmeester et al., 2015; Mattsson et al., 2015). Em 2015 um estudo experimental realizado por Cole and Galloway (2015) indicou a ingestão de nanopartículas de plástico por larvas de ostras do Pacífico (*Crassostrea gigas*). Apesar de sua importância por ser um dos primeiros a comprovar que os nanoplásticos podem ser ingeridos pela biota, esse estudo não encontrou efeitos significativos da ingestão de nanopartículas no desenvolvimento ou na capacidade de alimentação das larvas ao longo da duração do estudo. No mesmo ano, Bouwmeester et al., (2015) destacou que as nanopartículas plásticas tem grande potencial para afetar a saúde humana, podendo penetrar em todos os órgãos e serem transportadas através das membranas celulares. Apesar desses estudos indicarem possíveis consequências da presença de nanopartículas de plástico no ambiente, ainda existe uma falta de informações essenciais sobre os danos decorrentes da ingestão de nanoplástico.

Os poucos relatos de ingestão de plástico por espécies de peixes e invertebrados não indicam necessariamente a falta de interação, mas provavelmente

uma subnotificação, devido a preferência em estudar determinados grupos animais da megafauna marinha. Os estudos de ingestão de plástico por peixes são essenciais devido a sua biomassa, por ocuparem diversas posições nas teias tróficas e por sua importância econômica. Além disso, uma das sugestões para sumidouros de plástico é que fragmentos de plástico milimétricos podem estar sendo ingeridos por peixes e invertebrados, e conseqüentemente permanecem presos dentro das teias tróficas (Cozar et al., 2014). Um levantamento no Canal da Mancha constatou que todas as dez espécies de peixes investigadas ingeriram resíduos plásticos (Lusher et al., 2013). No mesmo ano outro estudo reportou a presença de plástico dentro de cinco peixes de águas profundas no Mar Mediterrâneo (Anastasopoulou et al., 2013).

Apesar de poucos, os estudos sobre ingestão de plástico por peixes têm mostrado que este é um problema que atinge diversas espécies de diferentes níveis tróficos, e que uma grande quantidade de plástico pode estar sendo ingerida por estes animais. A ingestão de plástico por peixes já foi reportada inclusive para espécies de interesse comercial que são comumente consumidas por humanos, como Atum (*Thunnus albacares*), Sardinha (*Dussumieria acuta*), Anchova (*Engraulis mordax*), Safia (*Diplodus vulgaris*), solha-das-pedras (*Platichthys flesus*) e Robalo (*Dicentrarchus labrax*), (Sajikumar et al., 2013; Rochman et al., 2015; Karami et al., 2018; Bessa et al., 2018). A ingestão de plástico por espécies de importância comercial pode ser a porta de entrada destas partículas, e de poluentes associados para a contaminação das populações humanas (Rochman et al., 2015). Desta forma, são necessários mais estudos para que se tenha uma visão mais precisa do impacto da poluição por plástico sobre as espécies de peixes.

Além dos peixes, ainda estar em fase inicial da compreensão da ingestão de plástico por zooplâncton e outros invertebrados. A ingestão de plástico por animais do plâncton na base das teias tróficas tem o potencial de facilitar a circulação do plástico por todos os níveis tróficos superiores, ampliando o problema da contaminação das teias tróficas (Lin, 2016). O que demonstra a importância de novos estudos que englobem a possível transferência de plástico a partir da cadeia alimentar.

Apesar de já se saber que a interação da biota marinha com plástico pode resultar em morte ou danos subletais (Baulch and Perry, 2014; Nelms et al., 2016), até o momento poucos estudos vão além de apenas relatar a ingestão, abordando as consequência da interação com o plástico. Ainda são poucos os estudos que avaliam a morte de animais marinhos devido a interação com plástico fazendo uma análise qualitativa e quantitativa dos fatores que levam a morte por ingestão, sendo estes restritos a tartarugas marinhas (Schuyler et al., 2014), mamíferos marinhos (Baulch and Perry, 2014; Attademo et al., 2015) e aves marinhas (Harrigan, 1991). Em 2015, Gall and Thompson sugeriram que a gravidade do impacto da interação com plástico varia entre as espécies e entre os indivíduos, com alguns capazes de resistir mais do que outros. Além disso, existe uma dificuldade em determinar se a ingestão de detritos causou a morte dos indivíduos, se foi um fator contribuinte ou se não está relacionada (Gall and Thompson, 2015b). No entanto, independente do tamanho do plástico estudado uma estimativa realista da quantidade de animais mortos ou com danos subletais provocados pela interação com plástico é necessária. Estudos com essa finalidade podem fornecer insights sobre o quanto essa interação pode influenciar no declínio de populações marinhas (Browne et al., 2015).

Um outro efeito potencialmente deletério do acúmulo de plástico nos ecossistemas marinhos é que o plástico oferece oportunidades para a dispersão de espécies ao redor do mundo (Kühn et al., 2015). No entanto, poucos artigos focaram em entender o processo de ancoramento e veiculação de espécies em plástico. Em 2002, Derraik publicou um dos artigos de revisão mais citados, abrindo a discussão de que os resíduos plásticos à deriva poderiam servir como possível caminho para a invasão de espécies exóticas. No mesmo ano, Barnes, (2002) publicou um amplo estudo sobre a capacidade de animais aderirem em resíduos plásticos, e conclui que fragmentos flutuantes de plástico podem dobrar a chance de transporte de biota em ambientes subtropicais e triplicar nas águas em latitudes mais altas.

Antes da onipresença dos resíduos plásticos nos ecossistemas marinhos, os organismos tinham viagens limitadas em detritos naturais como: algas marinhas flutuantes, troncos de plantas, vagens ou conchas cheias de gás de cefalópodes

mortos (Barnes and Milner, 2005). Esse transporte era muitas vezes limitado pelo rápido tempo de decomposição desses detritos naturais. No entanto, devido a sua durabilidade e natureza flutuante o plástico contribui para a sobrevivência e transporte de longa distância dos organismos que se associam à sua superfície (Keswani et al., 2016). Atualmente, aproximadamente 400 táxons, incluindo microorganismos, algas marinhas e invertebrados, foram encontrados ancorados em lixo flutuante em todas as principais regiões oceânicas (Kießling et al., 2015). Porém, falta na literatura trabalhos que estudem em detalhe os potenciais impactos da dispersão de espécies aderidas a fragmentos de plástico.

#### **4. 4. 4 Poluentes Associados ao Plástico**

Os resíduos de plástico no ambiente marinho, incluindo pellets de resina (Heskett et al., 2012), fragmentos maiores (Kwon et al., 2015) e fragmentos microscópicos de plástico (Koelmans et al., 2016), possuem poluentes que fazem parte de sua composição ou que podem ter sido absorvidos do ambiente (Teuten et al., 2009; Rochman, 2015). Entre esses poluentes estão os polímeros, monômeros residuais, aditivos e poluentes adsorvidos como POPs (poluentes orgânicos persistentes) e metais pesados (Galloway et al., 2017). Alguns aditivos já foram indicados como causadores de efeitos epigenéticos transgeracionais, alterando o fenótipo expresso nas gerações seguintes (Skinner et al., 2011). Copepodas (*Pavocalans crassirostris*) ao serem expostos a DEHP, um dos aditivos (plasticizers) mais comuns no mercado e com maior concentração nos ambientes aquáticos, demonstraram diminuição na quantidade de ovos, da sobrevivência das larvas e inibição no seu desenvolvimento (Heindler et al., 2017). Em outro estudo, partículas de PS e HDPE mostraram ter efeitos tóxicos na fertilização e no desenvolvimento larval de ouriços-do-mar (Martínez-Gómez et al., 2017). Em geral, muitos desses poluentes químicos presentes no plástico podem ter efeitos carcinogênicos (Seachrist et al., 2016; IARC, 2018) e atuarem como disruptores endócrinos (Andrady, 2011; Rochman et al., 2013).

Apesar de existir aproximadamente 116 artigos publicados sobre os efeitos dos poluentes químicos presentes em resíduos plásticos nos ecossistemas marinhos, estes estudos ainda representam menos de 12% dos trabalhos. As pesquisas sobre essa temática realizadas em ambiente controlado tem ajudado a elucidar algumas lacunas que são mais difíceis de observar em ambiente natural, como a passagem de poluentes do ambiente para o animal ou diretamente do plástico ingerido para o animal (e.g., Rochman et al., 2013c; Rochman et al., 2014; Li et al., 2016).

A compreensão da capacidade de absorção de poluentes químicos pelo plástico, de sua posterior liberação ao entrar em contato com a biota marinha são pontos essenciais para compreensão dos impactos decorrentes da poluição por plástico nos ecossistemas marinhos. Os estudos sobre esta temática que foram publicados até o momento (Rochman et al., 2013<sup>a</sup>; Browne et al., 2015; Herzke et al., 2016) já indicam que o problema relacionado à poluição por plástico pode ser ainda mais grave do que já constatado. Desta forma, o estudo dos poluentes associados ao plástico e seus efeitos sobre os indivíduos, populações e ecossistemas deve ser vista como uma das prioridades de pesquisa para os próximos anos.

#### **4. 4. 5 Impactos Socioeconômicos**

Os resíduos plásticos que chegam aos oceanos podem resultar em severos impactos socioeconômicos, interferindo na pesca, e representando uma ameaça significativa ao turismo e a economia (McIlgorm et al., 2011; Quintela et al., 2012; Jang et al., 2014). Em 2011 McIlgorm et al. estimou que para as 21 economias da Ásia-Pacífico, os danos causados por lixo nos oceanos às indústrias marítimas custaram aproximadamente US\$ 1,26 bilhão por ano. Em 2014 Jang et al, estimou que após um período de fortes chuvas em julho de 2011, uma grande quantidade de lixo, incluindo plástico, foi arrastada para as praias da Ilha de Geoje, na Coreia do Sul, diminuindo em 63% a quantidade de visitas a ilha, o que resultou na perda de US\$ 29-37 milhões. Apesar dos claros efeitos, poucas pesquisas focaram em entender os impactos socioeconômicos da presença de plástico em ecossistemas marinhos, a maioria

realizada na costa, a partir da aplicação de questionário para frequentadores de praia, como turistas e pescadores (Eastman et al., 2013; Campbell et al., 2014), o que provavelmente gera informações limitadas e muito restritas a comunidades locais. O conhecimento dos impactos socioeconômicos dos plásticos em ambiente marinho é muito importante e pode servir como um valioso apoio ao estabelecimento de medidas de mitigação adequadas para evitar o problema. Além de que pode contribuir para a conscientização pública sobre a gravidade da poluição por plástico.

#### **4. 5 CONCLUSÃO**

A quantificação da presença e avaliação dos efeitos do nanoplástico nos ambientes costeiros devem ser uma das fronteiras do conhecimento a ser cruzada pelos estudos nos próximos anos, podendo inclusive se tornar uma nova e independente linha de pesquisa.

A maioria dos estudos sobre a poluição dos oceanos por plástico foram realizados na Europa e América do Norte. No entanto, é necessário ampliar os esforços de pesquisa na Ásia e África, regiões onde estão localizados grande parte dos países responsáveis pelo maior aporte de plástico para os oceanos. Além disso, os estudos nas águas árticas e antárticas devem ser ampliados.

Em relação aos ambientes estudados, a maior parte dos estudos tem avaliado deposição do plástico nas praias e quantificado os fragmentos na região epipelágica. Para que se compreenda melhor os impactos e haja um melhor planejamento de estratégias de mitigação é importante estudar uma diversidade maior de ambientes quanto ao acúmulo de plástico, principalmente em regiões oceânicas profundas que podem estar funcionando como sumidouros e regiões com grande importância socioeconômica e ecológica, como recifes e manguezais.

Os estudos da ingestão de plástico devem ser ampliados para mais espécies de peixes e invertebrados. Em contrapartida, existe a necessidade de pesquisas sobre a ingestão de microplástico em aves, tartarugas marinhas e mamíferos marinhos. Também, um aumento de estudo sobre a ingestão de plástico por espécies

comercialmente importantes. Além disso, mais estudos devem tentar quantificar e avaliar os impactos causados pela ingestão de plástico.

Apesar dos claros efeitos deletérios que a poluição por plástico exerce sobre todos os ecossistemas marinhos, o estudo dos impactos socioeconômicos e dos poluentes químicos associados ao plástico podem funcionar como mais uma ferramenta que ajudará a prover mais elementos que favoreceram a implementação de políticas públicas que visem a mitigação do problema.

Hoje existe consenso científico de que a poluição por plástico representa uma grande ameaça aos ecossistemas marinhos. Os impactos conhecidos já são considerados graves, no entanto a obtenção de mais conhecimento sobre as lacunas aqui postas, pode dar uma dimensão mais clara do tamanho do problema, e os dados atuais já sugerem que a poluição por plástico dos ecossistemas marinhos pode ser ainda mais grave. No contexto dos desafios globais de mitigar os problemas decorrentes da poluição por plástico, dirimir essas lacunas significa facilitar o trabalho dos tomadores de decisões, aumentando a eficácia nos esforços de mitigação.

#### **4. 6 REFERÊNCIAS**

A STAP, 2011. Marine Debris as a Global Environmental Problem Introducing a solutions based framework focused on plastic. *Mar. Debris Glob. Environ. Probl. Introd. Solut. Based Framew. Focus. Plast.*

Allen, G.R., 2008. Conservation hotspots of biodiversity and endemism for Indo-Pacific coral reef fishes: CONSERVATION HOTSPOTS FOR INDO-PACIFIC CORAL REEF FISHES. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 18, 541–556. <https://doi.org/10.1002/aqc.880>

Anastasopoulou, A., Mytilineou, C., Smith, C.J., Papadopoulou, K.N., 2013. Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (Eastern Mediterranean). *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* 74, 11–13. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.12.008>

Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

- Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K., Grossart, H.-P., 2018. Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environ. Pollut.* 237, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058>
- Attademo, F.L.N., Balensiefer, D.C., Freire, A.C. da B., de Sousa, G.P., da Cunha, F.A.G.C., Luna, F. de O., 2015. Debris ingestion by the Antillean Manatee (*Trichechus manatus manatus*). *Mar. Pollut. Bull.* 101, 284–287. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.040>
- Barnes, D.K., 2002. Biodiversity: invasions by marine life on plastic debris. *Nature* 416, 808–809.
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Barnes, D.K.A., Milner, P., 2005. Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean. *Mar. Biol.* 146, 815–825. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1474-8>
- Baulch, S., Perry, C., 2014. Evaluating the impacts of marine debris on cetaceans. *Mar. Pollut. Bull.* 80, 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.050>
- Bessa, F., Barría, P., Neto, J.M., Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P., Marques, J.C., 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 128, 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.044>
- Boerger, C.M., Lattin, G.L., Moore, S.L., Moore, C.J., 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 2275–2278. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.007>
- Bouwmeester, H., Hollman, P.C.H., Peters, R.J.B., 2015. Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 49, 8932–8947. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>
- Browne, M.A., Galloway, T.S., Thompson, R.C., 2010. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environ. Sci. Technol.* 44, 3404–3409. <https://doi.org/10.1021/es903784e>
- Browne, M.A., Underwood, A.J., Chapman, M.G., Williams, R., Thompson, R.C., van Franeker, J.A., 2015. Linking effects of anthropogenic debris to ecological impacts. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 282, 20142929–20142929. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2929>

- Burke, L., 2011. Reefs at risk revisited. World Resources Institute, Washington, DC.
- Campbell, M.L., Paterson de Heer, C., Kinslow, A., 2014. Littering dynamics in a coastal industrial setting: The influence of non-resident populations. *Mar. Pollut. Bull.* 80, 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.015>
- Carpenter, E.J., Anderson, S., Harvey, G., Miklas, H., Peck, B., 1972. Polystyrene spherules in coastal waters. *Polystyr. Spherules Coast. Waters* 178, 749–750. <https://doi.org/10.1126 / science.178.4062.749>
- Carpenter, E.J., Smith, K.L., 1972. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science (New York, N.Y.)*. 175. 1240-1. [10.1126/science.175.4027.1240](https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240).
- Cole, M., Galloway, T.S., 2015. Ingestion of Nanoplastics and Microplastics by Pacific Oyster Larvae. *Environ. Sci. Technol.* 49, 14625–14632. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04099>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cordeiro, C.A.M.M., Costa, T.M., 2010. Evaluation of solid residues removed from a mangrove swamp in the São Vicente Estuary, SP, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 1762–1767. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.06.010>
- Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A.T., Navarro, S., Garcia-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M., 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
- Davison, P., Asch, R., 2011. Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 432, 173–180. <https://doi.org/10.3354/meps09142>
- Debrot, A.O., Meesters, H.W.G., Bron, P.S., de León, R., 2013. Marine debris in mangroves and on the seabed: Largely-neglected litter problems. *Mar. Pollut. Bull.* 72, 1. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.023>
- Derraik, J.G., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852.
- Di Benedetto, A.P.M., Awabdi, D.R., 2014. How marine debris ingestion differs among megafauna species in a tropical coastal area. *Mar. Pollut. Bull.* 88, 86–90. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.020>

- Duke, N.C., Bochove, J.-W. van, United Nations Environment Programme, 2014. The importance of mangroves to people: a call to action.
- Eastman, L.B., Núñez, P., Crettier, B., Thiel, M., 2013. Identification of self-reported user behavior, education level, and preferences to reduce littering on beaches – A survey from the SE Pacific. *Ocean Coast. Manag.* 78, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.014>
- Engler, R.E., 2012. The Complex Interaction between Marine Debris and Toxic Chemicals in the Ocean. *Environ. Sci. Technol.* 46, 12302–12315. <https://doi.org/10.1021/es3027105>
- Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borroero, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G., Reisser, J., 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9, e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Frias, J.P.G.L., Gago, J., Otero, V., Sobral, P., 2016. Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Mar. Environ. Res.* 114, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.006>
- Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P., 2014. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Mar. Environ. Res.* 95, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.01.001>
- Galgani, F., Hanke, G., Maes, T., 2015. Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter, in: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, Cham, pp. 29–56. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_2)
- Gall, S.C., Thompson, R.C., 2015. The impact of debris on marine life. *Mar. Pollut. Bull.* 92, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>
- Galloway, T.S., Cole, M., Lewis, C., 2017. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nat. Ecol. Evol.* 1. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116>
- Gassel, M., Harwani, S., Park, J.-S., Jahn, A., 2013. Detection of nonylphenol and persistent organic pollutants in fish from the North Pacific Central Gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 73, 231–242. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.014>
- Gregory, M.R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 2013–2025. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>

- Hammer, J., Kraak, M.H.S., Parsons, J.R., 2012. Plastics in the Marine Environment: The Dark Side of a Modern Gift, in: Whitacre, D.M. (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer New York, New York, NY, pp. 1–44. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6_1)
- Harrigan, K.E., 1991. Causes of Mortality of Little Penguins *Eudyptula minor* in Victoria. *Emu - Austral Ornithol.* 91, 273–277. <https://doi.org/10.1071/MU9910273>
- Heindler, F.M., Alajmi, F., Huerlimann, R., Zeng, C., Newman, S.J., Vamvounis, G., van Herwerden, L., 2017. Toxic effects of polyethylene terephthalate microparticles and Di(2-ethylhexyl)phthalate on the calanoid copepod, *Parvocalanus crassirostris*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 141, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.029>
- Herzke, D., Anker-Nilssen, T., Nøst, T.H., Götsch, A., Christensen-Dalsgaard, S., Langset, M., Fangel, K., Koelmans, A.A., 2016. Negligible Impact of Ingested Microplastics on Tissue Concentrations of Persistent Organic Pollutants in Northern Fulmars off Coastal Norway. *Environ. Sci. Technol.* 50, 1924–1933. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04663>
- Heskett, M., Takada, H., Yamashita, R., Yuyama, M., Ito, M., Geok, Y.B., Ogata, Y., Kwan, C., Heckhausen, A., Taylor, H., Powell, T., Morishige, C., Young, D., Patterson, H., Robertson, B., Bailey, E., Mermoz, J., 2012. Measurement of persistent organic pollutants (POPs) in plastic resin pellets from remote islands: Toward establishment of background concentrations for International Pellet Watch. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 445–448. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.11.004>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M., 2012. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- International Agency for Research on Cancer (IARC, 2018), n.d. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. World Health Organization, Lyon, France. Available at: [http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest\\_classif.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php). Access in: 18 fev. 2018.
- Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T., Iwasaki, S., 2015. East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics. *Mar. Pollut. Bull.* 101, 618–623. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.042>

- Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F., 2013. Plastic pollution risks in an estuarine conservation unit. *J. Coast. Res.* 65, 48–53. <https://doi.org/10.2112/SI65-009.1>
- Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F., Silva-Cavalcanti, J.S., Araújo, M.C.B., 2014. Plastic debris retention and exportation by a mangrove forest patch. *Mar. Pollut. Bull.* 78, 252–257. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.011>
- Jambeck, J.R., GEYER, R., Zhang, Y.-G., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 764–768. <https://doi.org/10.1126/science.1260879>
- Jang, Y.C., Hong, S., Lee, J., Lee, M.J., Shim, W.J., 2014. Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 81, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.021>
- K K Sajikumar, N Ragesh, R Remya, K.S.Mohamed, 2013. Occurrence of plastic debris in the stomach of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the Arabian Sea: A cause for concern. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.5181.2000>
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C.K., Larat, V., Karbalaei, S., Salamatinia, B., 2018. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Sci. Total Environ.* 612, 1380–1386. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.005>
- Keswani, A., Oliver, D.M., Gutierrez, T., Quilliam, R.S., 2016. Microbial hitchhikers on marine plastic debris: Human exposure risks at bathing waters and beach environments. *Mar. Environ. Res.* 118, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.04.006>
- Kiessling, T., Gutow, L., Thiel, M., 2015. Marine Litter as Habitat and Dispersal Vector. *Marine Anthropogenic Litter.* 141-181. [10.1007/978-3-319-16510-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_6).
- Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A., Janssen, C.R., 2016. Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. *Environ. Sci. Technol.* 50, 3315–3326. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06069>
- Kühn, S., Bravo Rebolledo, E.L., van Franeker, J.A., 2015. Deleterious Effects of Litter on Marine Life, in: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter.* Springer International Publishing, Cham, pp. 75–116. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4)
- Kwon, B.G., Koizumi, K., Chung, S.-Y., Kodera, Y., Kim, J.-O., Saido, K., 2015. Global styrene oligomers monitoring as new chemical contamination from polystyrene

- plastic marine pollution. *J. Hazard. Mater.* 300, 359–367. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.039>
- Lamb, J.B., Willis, B.L., Fiorenza, E.A., Couch, C.S., Howard, R., Rader, D.N., True, J.D., Kelly, L.A., Ahmad, A., Jompa, J., 2018. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science* 359, 460–462.
- Law, K.L., Moret-Ferguson, S., Maximenko, N.A., Proskurowski, G., Peacock, E.E., Hafner, J., Reddy, C.M., 2010. Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. *Science* 329, 1185–1188. <https://doi.org/10.1126/science.1192321>
- Lebreton, L.C.M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.* 8, 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lee, S.Y., Primavera, J.H., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J.O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., Record, S., 2014. Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment: Reassessment of mangrove ecosystem services. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 23, 726–743. <https://doi.org/10.1111/geb.12155>
- Li, H.-X., Getzinger, G.J., Ferguson, P.L., Orihuela, B., Zhu, M., Rittschof, D., 2016. Effects of Toxic Leachate from Commercial Plastics on Larval Survival and Settlement of the Barnacle *Amphibalanus amphitrite*. *Environ. Sci. Technol.* 50, 924–931. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02781>
- Li, W.C., Tse, H.F., Fok, L., 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Sci. Total Environ.* 566–567, 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Lima, A.R.A., Barletta, M., Costa, M.F., Ramos, J.A.A., Dantas, D.V., Melo, P.A.M.C., Justino, A.K.S., Ferreira, G.V.B., 2016. Changes in the composition of ichthyoplankton assemblage and plastic debris in mangrove creeks relative to moon phases: ICHTHYOPLANKTON AND PLASTIC DEBRIS IN MANGROVES. *J. Fish Biol.* 89, 619–640. <https://doi.org/10.1111/jfb.12838>
- Lin, V.S., 2016. Research highlights: impacts of microplastics on plankton. *Environ. Sci. Process. Impacts* 18, 160–163. <https://doi.org/10.1039/C6EM90004F>
- Lusher, A.L., McHugh, M., Thompson, R.C., 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 67, 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>

- Marques, S., Barreiros, J.P., 2016. Camouflage of the seahorse *Hippocampus reidi* with plastic debris: an unusual type of protective resemblance. *Mar. Biodivers.* 46, 319–320. <https://doi.org/10.1007/s12526-015-0372-2>
- Martínez-Gómez, C., León, V.M., Calles, S., Gomáriz-Olcina, M., Vethaak, A.D., 2017. The adverse effects of virgin microplastics on the fertilization and larval development of sea urchins. *Mar. Environ. Res.* 130, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.06.016>
- Masó, M., Fortuño, J.M., De Juan, S., Demestre, M., 2016. Microfouling communities from pelagic and benthic marine plastic debris sampled across Mediterranean coastal waters. *Sci. Mar.* 80, 117–127. <https://doi.org/10.3989/scimar.04281.10a>
- Mattsson, K., Hansson, L.-A., Cedervall, T., 2015. Nano-plastics in the aquatic environment. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17, 1712–1721. <https://doi.org/10.1039/C5EM00227C>
- McIlgorm, A., Campbell, H.F., Rule, M.J., 2011. The economic cost and control of marine debris damage in the Asia-Pacific region. *Ocean Coast. Manag.* 54, 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.05.007>
- Miranda, D. de A., de Carvalho-Souza, G.F., 2016. Are we eating plastic-ingesting fish? *Mar. Pollut. Bull.* 103, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.035>
- Mohamed Nor, N.H., Obbard, J.P., 2014. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Mar. Pollut. Bull.* 79, 278–283. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.025>
- Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., Weisberg, S.B., 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 42, 1297–1300.
- Morét-Ferguson, S., Law, K.L., Proskurowski, G., Murphy, E.K., Peacock, E.E., Reddy, C.M., 2010. The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 1873–1878. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.020>
- Nelms, S.E., Duncan, E.M., Broderick, A.C., Galloway, T.S., Godfrey, M.H., Hamann, M., Lindeque, P.K., Godley, B.J., 2016. Plastic and marine turtles: a review and call for research. *ICES J. Mar. Sci. J. Cons.* 73, 165–181. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv165>
- Obbard, R.W., Sadri, S., Wong, Y.Q., Khitun, A.A., Baker, I., Thompson, R.C., 2014. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice: OBBARD ET AL. *Earths Future* 2, 315–320. <https://doi.org/10.1002/2014EF000240>

- Pettipas, S., Bernier, M., Walker, T.R., 2016. A Canadian policy framework to mitigate plastic marine pollution. *Mar. Policy* 68, 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.02.025>
- PlasticsEurope, 2017. *Plastics – the Facts 2017 An analysis of European plastics production, demand and waste data.* [https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)
- Quintela, A., Silva, C.P., Calado, H., Williams, A., 2012. The relation of litter with bathing areas typologies, number of users and scenic value. The case study of São Miguel (Azores). *J. Coast. Conserv.* 16, 575–584. <https://doi.org/10.1007/s11852-012-0197-0>
- Rochman, C.M., 2015. The Complex Mixture, Fate and Toxicity of Chemicals Associated with Plastic Debris in the Marine Environment. *Marine Anthropogenic Litter*. 117–140. [10.1007/978-3-319-16510-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_5).
- Rochman, C.M., Browne, M.A., Halpern, B.S., HENTSCHEL, B.T., Hoh, E., Karapanagioti, Takada, H., Teh, S.J., THOMPSON, R.C., 2013a. Policy Classify plastic waste as hazardous. *Nature* 169–171.
- Rochman, C.M., Browne, M.A., Underwood, A.J., Franeker, J.A., Thompson, R.C., Amaral-Zettler, L.A., 2016a. The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived. *Ecology* 97, 302–312.
- Rochman, C.M., Cook, A.-M., Koelmans, A.A., 2016b. Plastic debris and policy: Using current scientific understanding to invoke positive change: Plastic debris and policy. *Environ. Toxicol. Chem.* 35, 1617–1626. <https://doi.org/10.1002/etc.3408>
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J., 2013b. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep.* 3. <https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rochman, C.M., Kurobe, T., Flores, I., Teh, S.J., 2014. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Sci. Total Environ.* 493, 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.051>
- Rochman, C.M., Manzano, C., Hentschel, B.T., Simonich, S.L.M., Hoh, E., 2013c. Polystyrene Plastic: A Source and Sink for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment. *Environ. Sci. Technol.* 47, 13976–13984. <https://doi.org/10.1021/es403605f>

- Rochman, C.M., Tahir, A., Williams, S.L., Baxa, D.V., Lam, R., Miller, J.T., Teh, F.-C., Werorilangi, S., Teh, S.J., 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Rep.* 5. <https://doi.org/10.1038/srep14340>
- Romeo, T., Pietro, B., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F., Fossi, M.C., 2015. First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 95, 358–361. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.048>
- Rothstein, S.I., 1973. Plastic Particle Pollution of the Surface of the Atlantic Ocean: Evidence from a Seabird. *The Condor* 75, 344–345. <https://doi.org/10.2307/1366176>
- Ryan, P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A., Moloney, C.L., 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1999–2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- Schuyler, Q., Hardesty, B.D., Wilcox, C., Townsend, K., 2014. Global Analysis of Anthropogenic Debris Ingestion by Sea Turtles: Debris Ingestion by Sea Turtles. *Conserv. Biol.* 28, 129–139. <https://doi.org/10.1111/cobi.12126>
- SCImago. SJR — SCImago Journal & Country Rank [Portal]. 05/02/19, from <http://www.scimagojr.com>, n.d.
- Scott, P.G., 1972. Plastics packaging and coastal pollution. *Int. J. Environ. Stud.* 3, 35–36. <https://doi.org/10.1080/00207237208709489>
- Seachrist, D.D., Bonk, K.W., Ho, S.-M., Prins, G.S., Soto, A.M., Keri, R.A., 2016. A review of the carcinogenic potential of bisphenol A. *Reprod. Toxicol.* 59, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2015.09.006>
- Sharma, S., Chatterjee, S., 2017. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 21530–21547. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9910-8>
- Shiber, J.G., 1979. Plastic Pellets on the Coast of Lebanon. *Plast. Pellets Coast Leban.* 10, 28–30. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(79\)90321-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(79)90321-7)
- Singh, P., Sharma, V.P., 2016. Integrated Plastic Waste Management: Environmental and Improved Health Approaches. *Procedia Environ. Sci.* 35, 692–700. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.068>

- Skinner, M.K., Manikkam, M., Guerrero-Bosagna, C., 2011. Epigenetic transgenerational actions of endocrine disruptors. *Reprod. Toxicol.* 31, 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2010.10.012>
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H., 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 2027–2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thompson, R.C., 2004. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* 304, 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., vom Saal, F.S., 2009. Our plastic age. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1973–1976. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>
- Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M.B., Janssen, C.R., 2015. Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environ. Pollut.* 199, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.008>
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C.R., 2013. Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environ. Pollut.* 182, 495–499. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.013>
- Van Franeker, J.A., Blaize, C., Danielsen, J., Fairclough, K., Gollan, J., Guse, N., Hansen, P.-L., Heubeck, M., Jensen, J.-K., Le Guillou, G., Olsen, B., Olsen, K.-O., Pedersen, J., Stienen, E.W.M., Turner, D.M., 2011. Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. *Environ. Pollut.* 159, 2609–2615. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.008>
- Vethaak, A.D., Leslie, H.A., 2016. Plastic Debris Is a Human Health Issue. *Environ. Sci. Technol.* 50, 6825–6826. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02569>
- Wilcox, C., Van Sebille, E., Hardesty, B.D., 2015. Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 11899–11904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502108112>
- Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L.J., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A.D., Narayanaswamy, B.E., Thompson, R.C., 2014. The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R. Soc. Open Sci.* 1, 140317–140317. <https://doi.org/10.1098/rsos.140317>

- World Bank Open Data, 2018. GDP Growth Annual Percentage. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>.
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ. Pollut.* 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Zettler, E.R., Mincer, T.J., Amaral-Zettler, L.A., 2013. Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environ. Sci. Technol.* 47, 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>

## 4.7 CONCLUSÕES GERAIS

Esse estudo teve como objetivos analisar a evolução do conhecimento científico sobre a poluição dos oceanos por plástico e identificar as lacunas no conhecimento sobre a temática. Para isso foi utilizada uma análise cienciométrica aliada a uma revisão sistematizada dos artigos sobre poluição dos oceanos por plástico incluídos no banco de dados da Thompson Reuters Web of Science, até o ano de 2016.

Ao todo foram publicados 974 artigos sobre a poluição dos oceanos por plástico. A partir de 2009 ocorreu um grande aumento na quantidade de artigos publicados, com 77,5% dos artigos publicados apenas entre 2009 e 2016. A presença de resíduos plásticos nos diversos ambientes marinhos e a interação da biota marinha com plástico foram os temas mais pesquisados nos estudos avaliados. Levando em consideração a quantidade de estudos sobre ingestão e emaranhamento ao longo do tempo, percebe-se que independente do período os táxons mais estudados foram as aves, os mamíferos e as tartarugas marinhas. Além disso, as tendências de pesquisa mudaram ao longo do tempo, com pesquisas sobre microplástico recebendo maior atenção nos últimos anos. Este trabalho demonstra ainda que existe um efeito significativo da porcentagem de população costeira sobre o interesse científico sobre a temática de poluição por plásticos nos ecossistemas marinhos, o que pode ser explicado pelo maior contato da população com o problema ou maior concentração de centros de pesquisa na região. O interesse público, por sua vez, parece ser uma variável importante na implementação de legislação, porém, mais análises são necessárias para entender a natureza desta relação.

Apesar do crescimento das pesquisas e dos avanços inegáveis da compreensão do problema ainda existe a necessidade urgente de quantificar e avaliar os efeitos dos nanoplásticos nos oceanos. Existe ainda uma clara prevalência dos estudos sobre poluição por plástico na Europa e América do Norte, o que indica a necessidade de ampliar esforços de pesquisa principalmente na Ásia e África, regiões que concentram boa parte dos países responsáveis por maior aporte de plástico para os oceanos. Em relação aos ambientes estudados, existe a necessidade de mais

estudos em regiões oceânicas profundas e regiões biodiversas com grande importância econômica, como recifes e manguezais. Da mesma forma, existe a necessidade de ampliação dos estudos de ingestão de plástico para mais espécies, principalmente de peixes e invertebrados e quanto a ingestão de microplástico de mais pesquisas em táxons como aves, tartarugas e mamíferos marinhos. Finalmente, sugere-se que essas regiões, táxons e habitats menos estudados sejam priorizados em estudos futuros, assim como o maior desenvolvimento de pesquisas em tópicos menos pesquisados como os poluentes associados ao plástico e impactos socioeconômicos da contaminação dos ecossistemas. Ao mesmo tempo, mais estudos precisam ser realizados a fim de entender a amplitude do interesse público, e seu efeito na criação de medidas de mitigação, como leis.