

Micro e Nanoplásticos: um Macroproblema

Edição:
Delminda Moura
Isabel Mendes
Jaime Aníbal
Ana Gomes



Micro e Nanoplásticos: um Macroproblema

Editores

Delminda Moura

Isabel Mendes

Jaime Aníbal

Ana Gomes



CIMA- CENTRO DE INVESTIGAÇÃO MARINHA E AMBIENTAL
ARNET- REDE DE INFRAESTRUTURA EM RECURSOS AQUÁTICOS

Título:

Micro e Nanoplásticos: um Macroproblema

Editores:

Delminda Moura

Isabel Mendes

Jaime Aníbal

Ana Gomes

Edição:

CIMA- Centro de Investigação Marinha e Ambiental

ARNET- Rede de Infraestrutura em Recursos Aquáticos

Universidade do Algarve, Campus de Gambelas,

8005-139 Faro, Portugal

Imagem e concepção da capa:

Sarita Camacho

Desenho gráfico e paginação:

Grácio Editor

1ª edição: Dezembro, 2023

ISBN: 978-989-9127-53-1

Doi: <http://dx.doi.org/10.34623/tz6d-k552>

Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.1/19968>

CONTEÚDOS

Revisores	7
Introdução	11
O Projeto PlasticSea	17
1. O lixo marinho. O que são microplásticos e nanoplásticos? Como chegam ao oceano?	21
<i>Maria João Bebianno, Eloah Garcia Rosas, Joanna Melissa Gonçalves</i>	
2. Modelação dos microplásticos nos oceanos	33
<i>Eloah Rosas, Flávio Martins</i>	
3. Os microplásticos à porta do oceano: microplásticos atmosféricos	51
<i>Isabel Marín Beltrán, Ines Sánchez del Río, Cristina Veiga-Pires</i>	
4. Será que há microplásticos na costa sul de Portugal?	65
<i>Maria João Bebianno, Sónia Cristina, Justine Nathan, Priscila Goela, Flávio Martins, Eloah Rosas, Joanna Gonçalves, Delminda Moura</i>	
5. Efeitos de micro e nanoplásticos em moluscos bivalves	83
<i>Joanna Melissa Gonçalves, Maria João Bebianno</i>	
6. Microplásticos na aquacultura, o que sabemos?	93
<i>Laura Ribeiro, Florbela Soares, Ravi Luna-Araujo, Hugo Quental-Ferreira, Pedro Pousão-Ferreira, Justine Nathan, Sónia Cristina, Bruno Fragoso</i>	
7. Microplásticos no ambiente: uma nova ameaça à saúde humana?	115
<i>Angela Serafim, Belisandra Lopes, Tainá Fonseca</i>	
8. O potencial das microalgas na remoção de micro e nanoplásticos à saída das estações de tratamento de águas residuais	131
<i>Valdemira Afonso, Raúl Barros, Maria João Bebianno, Sara Raposo</i>	
Glossário	148

REVISORES



Filipa Bessa

Universidade de Coimbra,
Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Portugal

MARE
Centro de Ciências do Mar
e do Ambiente, Portugal

Filipa Bessa é bióloga, doutorada em Biociências (Ecologia Marinha) e investigadora no MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade de Coimbra. A sua investigação tem-se focado na avaliação dos efeitos de atividades humanas, com foco para a poluição por (micro)plásticos nos ecossistemas marinhos e costeiros. Neste âmbito, tem conduzido trabalhos de investigação nesta temática que vão desde a zona costeira de Portugal a zonas remotas como a Antártida, Cabo Verde ou nas Galápagos.

Pertence a vários órgãos consultivos (OSPAR E GESAMP) e é membro do grupo de trabalho Internacional “*Micro e Nano Plásticos*”, que apoia o Mecanismo de Aconselhamento Científico da Comissão Europeia (SAM).

Coordena projetos relacionados com processos inovadores para a deteção e mitigação de lixo marinho (UAS4Litter) e de ciência-cidadã (lixomarinho.app). Em paralelo, promove iniciativas de comunicação de ciência (exposições fotográficas, palestras e workshops) relacionadas com a literacia dos oceanos e a problemática da poluição por plásticos.



Helena Adão

Universidade de Évora,
Escola de Ciências e Tecnologia,
Portugal

MARE
Centro de Ciências do Mar
e do Ambiente, Portugal

Doutorou-se em Biologia na Universidade de Évora e é especialista em Ecologia Estuarina e Marinha, com particular foco na Ecologia da Meiofauna.

Coordena e participa em diversos projetos de investigação relacionados com desenvolvimento de novas ferramentas para facilitar a avaliação da condição ecológica dos ecossistemas bentónicos estuarinos e do mar profundo.

É Professora Associada no Departamento de Biologia da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, é membro da Direção do MARE- Centro de Ciências do Mar e Ambiente e coordena a Unidade Regional de Investigação do MARE da Universidade de Évora. É membro da Comissão Coordenadora do Laboratório Associado ARNET- Rede de Investigação Aquática.



Lúcia Guilhermino

Universidade do Porto,
Instituto de Ciências Biomédicas
de Abel Salazar,
Portugal

CIMAR
Centro Interdisciplinar de
Investigação Marinha e Ambiental

Lúcia Guilhermino nasceu em Beringel (Beja). Viveu em Lisboa até cerca dos quatro anos e posteriormente em Évora onde completou o décimo segundo ano. Licenciou-se em Biologia, especialidade de Sistemática e Ecologia, na Universidade de Coimbra em 1985. Doutorou-se em Biologia, especialidade de Ecologia, na Universidade de Coimbra em 1997. Obteve o grau de Agregada em Ecologia/Planctologia no Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar (ICBAS), Universidade do Porto em 2004.

Atualmente, é Professora Catedrática do ICBAS, Universidade do Porto, e Subdiretora do Departamento de Estudos de Populações.

Foi membro da Direção do Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR) da Universidade do Porto e do CIMAR-Laboratório Associado. Foi também Presidente do Colégio do Ambiente da Ordem dos Biólogos.

Os seus interesses de investigação são os efeitos da poluição por agentes químicos e das mudanças climáticas globais na saúde ambiental, animal e humana, de acordo com o conceito "One Health".



Maria João Bebianno

Universidade do Algarve,
Portugal

CIMA
Centro de Investigação Marinha e
Ambiental

ARNET
Rede de Infraestruturas em Recursos
Aquáticos, Portugal

Maria João Bebianno é Professora Catedrática Jubilada da Universidade do Algarve e foi coordenadora do projeto PLASTICSEA.

É membro do Grupo de Peritos do Processo Regular para a Avaliação do Estado do Ambiente Marinho incluindo os Aspetos Socio-Económicos das Nações Unidas e integra a Comissão Portuguesa para a Década das Nações Unidas das Ciências do Oceano para o Desenvolvimento Sustentável e o Comité Português para a Comissão Intergovernamental da UNESCO.

Foi coordenadora do Centro de Investigação Marinha e Ambiental da Universidade do Algarve. Faz ainda parte do Conselho Superior do Centro de Estudos Estratégicos da Marinha. Foi agraciada com a Medalha de Prémio Mérito – Grau Ouro pela Município de Faro e com a Medalha de Mérito Ciência atribuída pela Ministra de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior.



Paulo Gavaia

Universidade do Algarve,
Faculdade de Medicina e Ciências
Biomédicas,
Portugal

CCMAR
Centro de Ciências do Mar do
Algarve,
Portugal

Investigador no Centro de Ciências do Mar do Algarve desde 2007, professor convidado da Faculdade de Medicina e Ciências Biomédicas da Universidade do Algarve (UALG) e membro do GreenCoLab.

É licenciado em Biologia Marinha e concluiu o doutoramento em Ciências Biológicas - Biologia Molecular em 2005 na UALG.

Especialista em biologia do esqueleto, vem desenvolvendo investigação nas áreas da Biologia do desenvolvimento estudo dos determinantes moleculares da mineralização e em bioprospeção de compostos naturais com atividade sobre o tecido ósseo.

Tem uma extensa experiência na gestão e desenvolvimento de projetos de investigação e participa ativamente em atividade de divulgação científica para as escolas e para a sociedade.



Rosa Leon

Universidade de Huelva,
Espanha

Doutora em Bioquímica Vegetal pela Universidade de Sevilha. Dra. León trabalhou em diferentes aspectos da Biotecnologia Vegetal e Engenharia Bioquímica, em diferentes instituições, como o Departamento de Bioquímica Vegetal (Lund University, Suécia), Rothamsted Agriculture Experimental Station (Reino Unido), Plant Breeding Max Plank Institute (Colónia, Alemanha) e Instituto de Biotecnologia e Bioengenharia do Instituto Superior Técnico (Lisboa, Portugal).

Desde Abril de 2018, é Catedrática de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade de Huelva (Espanha). Publicou mais de 90 artigos de alto impacto e quatro patentes de invenção. Em 2003 lançou uma nova linha de manipulação genética de microalgas, tema sobre o qual coordenou vários projetos de pesquisa nacionais e internacionais. Em 2013, criou a spin-off PHYCOGENETICS, que ganhou dois prémios para empresas de base tecnológica (Prémio I Ceia3 "A3Bt"). Participa regularmente em congressos de divulgação científica.



Juan Luis Garzón Hervás

Universidade do Algarve,
Portugal

CIMA
Centro de Investigação Marinha e
Ambiental

ARNET
Rede de Infraestruturas em Recursos
Aquáticos, Portugal

Nascido na Espanha, Juan Luis Garzón Hervás é engenheiro civil licenciado na Universidade de Granada e doutorou-se pelo departamento de Engenharia Civil, Meio Ambiente e Infraestruturas da George Mason University (Estados Unidos). Desde 2019 é investigador no Centro de Investigação Marinha e Ambiental da Universidade do Algarve. Desenvolve a sua investigação na área de engenharia costeira e riscos associados a tempestades, com ênfase na aplicação de modelos numéricos para a simulação de ondas, correntes, nível do mar e transporte de sedimentos e para o desenvolvimento de sistemas de previsão e alerta. É autor de mais de trinta artigos, incluindo publicações em algumas das mais prestigiadas revistas internacionais e também tem colaborado na revisão de artigos nas mesmas revistas. Apaixonado pelo mar e a costa e pela sua conservação e desenvolvimento sustentável.

Introdução

Delminda Moura^{1,2}, Isabel Mendes¹, Jaime Aníbal¹, Ana Gomes^{1,2}

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ARNET – Rede de Infraestrutura em Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

² ICArEHB – Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

Já não se trata de descobrir o Caminho Marítimo para a Índia ou de como escapar à atração gravítica da Terra para visitar outros planetas. O desafio agora é outro: descobrir o caminho para o futuro da Humanidade tal como a conhecemos. É ainda possível? Enfrentamos desafios tão gigantescos e angustiantes que por vezes somos tentados a pensar que vamos ficar por aqui.

As consequências das alterações climáticas não são ainda totalmente compreendidas, mas já se fazem sentir dramaticamente, sobretudo nas populações das regiões geográficas mais desfavorecidas. Os eventos extremos como enxurradas, incêndios e tufões atormentam-nos diariamente em qualquer parte do mundo. As consequências são desumanas!

A produção global de plástico aumentou exponencialmente desde o final da Segunda Guerra Mundial (1945), quando as infraestruturas para a sua produção em grande escala foram estabelecidas, levando ao aumento do plástico como contaminante ambiental ao longo do tempo. No entanto, as sequelas desta contaminação só agora começam a ser seriamente encaradas, numa altura em que, passadas apenas algumas décadas da vulgarização do plástico, todos os ecossistemas soçobram já com toneladas de lixo plástico. Quando, em 1972, aproximadamente duas décadas após a vulgarização do uso do plástico, a revista *Science*, publicou um artigo que relatava a presença

de milhares de partículas de plástico a flutuar no Mar dos Sargaços, a notícia deixou-nos de boca aberta! Presentemente, já não causa espanto este tipo de paisagem, mas envilece-nos a todos que para ela contribuímos. Não é apenas (mas também) uma questão de horrenda estética. É mais grave! É o bem-estar dos ecossistemas, a nossa própria saúde e o nosso legado (Figura 1).

Deixaremos como legado, horizontes cronológicos feitos de plástico. Estes, lembrarão durante séculos, os estragos ambientais que causámos e a saúde que arruinámos. Não nos estamos a referir às camadas etárias mais velhas. Estamos todos a cometer o mesmo erro, jovens e idosos, apesar da educação ambiental ministrada nas escolas.



Figura 1. Peixe morto, abandonado pela maré na praia, sufocado por uma corda de plástico (fotografia de Delminda Moura, 4/06/2022).

É uma corrida contra o tempo. A grande maioria dos plásticos continua a ser produzida a partir de produtos químicos baseados em combustíveis fósseis, como gás natural ou petróleo. Os cientistas têm vindo a estudar a composição dos plásticos e dos seus aditivos, com particular atenção nos últimos anos para os microplásticos (partículas de plástico inferiores a 5 milímetros) e o modo como estes se estão a acumular no ambiente, como podem afetar os ecossistemas em geral, com ênfase nos marinhos, a saúde humana e quais os impactos socioeconómicos. As empresas responsáveis pela reciclagem e a remediação ambiental, em particular as responsáveis pelo tratamento de efluentes, procuram soluções técnicas adequadas para a reciclagem dos plásticos. Vários sectores de atividade industrial e económica não podem ou não querem deixar de utilizar o plástico. Uma elevadíssima percentagem de cidadãos, simplesmente, vive alheada do problema (Figura 2).



Figura 2.

Lixo abandonado ao ar livre, junto de um ecoponto, onde os materiais de plástico são dominantes (fotografia de Delminda Moura (5/08/2023)).

O grande sucesso dos materiais de plástico advém da sua elevada resistência, leveza, durabilidade e baixo custo de produção (Figura 3). Não existem ambientes no Planeta que não estejam contaminados por plástico, desde o solo, aos rios, às montanhas e ao oceano, incluindo zonas remotas sem ocupação humana, como as zonas polares ou o oceano profundo. Os nossos sistemas de água doce estão contaminados (rios, lagos, aquíferos). A investigação nestes sistemas é significativamente inferior à dos sistemas marinhos e, sobre a contaminação dos aquíferos é ainda incipiente. Estes, uma das nossas principais fontes de água doce para consumo, são muito vulneráveis a atividades de superfície, como por exemplo a agricultura. Nas regiões de cultivo em estufas, elevadas quantidades de plástico são abandonadas no solo, que acabarão por se degradar e transformar em microplásticos que facilmente são transportadas rumo às toalhas ou lençóis de água subterrâneas.



Figura 3.
Armadilhas para captura de crustáceos,
abandonadas a céu aberto
(fotografia de Delminda Moura, 13/06/2022).

Uma percentagem significativa dos plásticos que se encontram no meio aquático, em particular no oceano e nos mares, provém das áreas continentais adjacentes e são transportados pelos rios até ao oceano. Os rios são uma das principais vias de transporte do lixo do continente para o mar. Conduzem todo o tipo de matéria que recebem dos seus afluentes e também dos efluentes que recolhem nos locais e centros urbanos que cruzam. Este tráfego de lixo pode ser interrompido em barragens que são potenciais *hotspots* de acumulação de plásticos. No entanto, é a “lavagem” das margens durante os períodos de intensa pluviosidade e as cheias fluviais, que arrastam para o rio todo o lixo, que por ele será transportado como carga sólida, na maioria das vezes, até ao mar.

São as roupas de fibras sintéticas e os produtos de higiene pessoal e cosmética, os responsáveis pela quantidade assombrosa de nano e microplásticos lançados nas redes municipais de esgotos. Nos Estados Unidos, são lançados em cada dia na rede pública, em média, 13 mil milhões destas partículas. Estima-se que, na Europa, cerca de 145 000 toneladas de microplásticos são utilizados anualmente com os mais variados propósitos. Por exemplo, uma das mais importantes fontes de microplástico são os campos de

relva artificial que libertam para o ambiente cerca de 16 000 toneladas de microplástico por ano na Europa. É urgente e de vital importância aumentar a eficácia das estações de tratamento de águas residuais para que retenham os nano e os microplásticos nas lamas. Os microplásticos podem ser destruídos durante a incineração das lamas como acontece nos Países Baixos onde, cerca de 200 milhões de quilos de microplásticos são convertidas em bio-sólidos com diversas aplicações. Claramente, a agricultura não deverá ser uma destas aplicações, já que, durante a incineração, as lamas ficam enriquecidas em metais utilizados como aditivos nos plásticos, como cobre, cádmio, mercúrio, zinco e chumbo, entre outros. Coexiste o problema das partículas lançadas para a atmosfera durante o processo. Os metais pesados podem ainda ser recuperados das lamas utilizando ácidos orgânicos ou inorgânicos entre outros métodos. Até agosto de 2023, a agência europeia que regula as substâncias químicas (<https://echa.europa.eu/>) publicou uma lista de 72 produtos cuja utilização está sujeita a restrições, alguns dos quais são aditivos comuns dos plásticos.

As microesferas utilizadas em produtos de cuidados pessoais que passam através dos filtros de água, constituem um dos maiores contributos para a poluição do meio aquático. Um programa conjunto entre as Nações Unidas e uma Organização Não Governamental (ONG) inglesa para a proteção da vida animal e vegetal, lançou uma campanha de sensibilização das empresas multinacionais, para não utilizarem microesferas. A *Johnson & Johnson* e a *Body Shop* anunciaram a intenção de abandonar a sua utilização. O estado do Illinois nos Estados Unidos e alguns países europeus como a Bélgica, os Países Baixos, o Luxemburgo, a Áustria e a Suécia, já baniram a utilização de microesferas desde 2019.

É urgentíssimo que os decisores políticos mundiais adotem medidas para reduzir a utilização de plástico e aumentar a sua reciclagem. Mas é claro que, é utópico pensar que o plástico vai simplesmente desaparecer. Ele veio para ficar, como os vírus. É preciso reduzir a sua utilização, reutilizar os produtos que o contêm, reciclar e remediar os seus efeitos. Se as pessoas acreditam nos avanços científicos para prevenir e curar doenças, é necessário que acreditem também no que dizem os cientistas sobre os plásticos – o planeta está em risco.

Sem investimento na educação e sensibilização ambiental não chegaremos longe. Não basta disseminar ecopontos pelas cidades, embora obviamente

sejam indispensáveis. Todos conhecemos vizinhos que simplesmente despejam os plásticos na porta, junto aos contentores de lixo, na rua, nos campos e nas praias. Exige-se algo mais musculado. Campanhas de informação, educação e sensibilização junto das populações, de modo que estas percebam sem ambiguidades o que está em risco. Mas estas medidas não podem ficar circunscritas à bolha dos países mais desenvolvidos. É necessário auxiliar os países economicamente mais frágeis. Apesar do crescente interesse científico, social e político para a compreensão do comportamento, da dinâmica e dos efeitos dos micro e dos nanoplásticos, persistem ainda dificuldades na comparação entre regiões do globo, devido à inexistência de protocolos validados quanto à metodologia de análise e de colheita. É fundamental aumentar a consciencialização dos decisores políticos, da indústria e do público em geral sobre os impactos do lixo marinho; aumentar o conhecimento sobre as melhores práticas para lidar com este gigantesco problema a nível mundial; identificar e colmatar as lacunas de conhecimento relacionadas com a sua gestão e, melhorar a cooperação entre todos os intervenientes.

Bibliografia consultada

- Carpenter, E.J. & Smith, K.I., 1972. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science* 175: 1240-1241. <https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240>.
- Chilian, A., Bancuta, Oana-Roxana, Bancuta, J., Popescu, I.V., Cheboianu, A.I., Tanase, N.M., Tuican, M., Zaharia, M. & Zinicovscaia, I., 2022. Extraction of heavy metals and phosphorus from sewage sludge with elimination of antibiotics and biological risks. *Chemical Engineering journal*, 437 (1), 135298. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135298>.
- Frias, J., Gago, J., Figueiras, A., Pedrotti, M.L., Suarita, G., Tirelli, V., Andrade, J., Nash, R., O Connor, I., Lopes, C., Caetano, M., Raimundo, J., Carretero, O., Viñas, L., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Stefano, A., Gerdt, G. et al. (26 authors), 2019. Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater. Technical report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14181.45282>.
- Leslie, H.A., Brandsma, S.H., van Velzen, M.J.M. & Vethaak, A.D., 2017. Microplastics en route: Field measurements in Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International*, 101: 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.018>.
- Mason, S.A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D. & Rogers, D.L., 2016. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluents. *Environmental Pollution*, 218: 1045-1054. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056>.

O Projeto PlasticSea

Maria João Bebianno (Coordenadora do Projeto)

CIMA-Centro de Investigação Marinha e Ambiental CIMA/ARNET-Rede de Infraestruturas em Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve

Um dos desafios que resulta do crescimento da população humana é a necessidade de aumentar a produção de alimento, gerindo melhor e explorando de forma sustentável os recursos biológicos do oceano, sem ameaçar a sua qualidade e sustentabilidade.

A poluição por plástico é uma das ameaças ambientais mais graves à saúde do oceano, e a preocupação com a presença de plásticos no oceano tem vindo a aumentar, desde a sua descoberta nos anos 40 do século passado. A produção aumentou de 5 milhões de toneladas por ano em 1950 para 350 milhões de toneladas em 2022, 10% dos quais acabam no oceano. A composição do plástico varia muito, mas cinco das suas moléculas sintéticas, isto é, o polietileno (PE), o tereftalato de polietileno (PET), o polipropileno (PP), o policloreto de vinila (PVC) e o poliestireno (PS), correspondem aproximadamente a 75% da produção europeia. Recentemente, esta preocupação tem vindo a ser direcionada para os microplásticos (tamanho inferior a 5 milímetros) e nanoplásticos (tamanho inferior a 0,001 milímetros) que estão presentes em cosméticos, aplicações industriais e médicas, ou são o resultado da fragmentação de macroplásticos no oceano, devido à ação das ondas, das marés e da radiação ultravioleta (UV). Além disso, o oceano também é receptor de compostos químicos, como retardadores de chama e estabilizadores de UV, que são utilizados como aditivos na produção do plástico para aumentar a sua qualidade e flexibilidade. Muitos destes aditivos são reconhecidamente tóxicos, ou são suspeitos de poderem induzir disrupção endócrina (isto é, interferir com o sistema hormonal dos humanos e de outros animais).

A ingestão de plásticos tem sido detetada em diferentes espécies marinhas com diferentes estratégias de alimentação e em diferentes níveis da teia alimentar. A sua ingestão pode causar danos internos, como lacerações e respostas inflamatórias. A substituição do alimento por partículas de plástico causa ainda a redução da alimentação que, dependendo do tipo de plástico, pode induzir inibição do crescimento e da reprodução, distúrbios alimentares, alterações de comportamento e pode até provocar a morte dos indivíduos, tendo por isso um efeito negativo direto no desenvolvimento da economia azul.

Com o crescimento da população mundial, a necessidade de consumo de organismos marinhos aumentou, promovendo a produção do sector económico da aquacultura. Portugal tem o maior consumo de recursos biológicos marinhos per capita na União Europeia e é o terceiro a nível global (56 kg/habitante/ano), sendo a produção nacional de peixes e marisco insuficiente para os níveis de consumo. Assim, a produção da aquacultura portuguesa representa um contributo valioso para reduzir esse défice. A maioria das aquaculturas de bivalves localizam-se na Ria Formosa e contribuem com 88% da produção total de bivalves. A amêijoia boa (*Ruditapes decussatus*) é a principal espécie aqui produzida, mas a produção de mexilhões tem vindo a aumentar nos últimos anos, devido às instalações recentemente colocadas ao largo da costa portuguesa.

Contudo, a diversidade de materiais utilizados para construir as estruturas de aquacultura aumentou em paralelo com o desenvolvimento de polímeros sintéticos nos últimos 50 anos, sendo os plásticos utilizados em gaiolas, redes, cordas, linhas e boias. Além disso, os micro e nanoplásticos presentes na água e nos sedimentos podem acumular-se nos bivalves.

Com base nestes pressupostos, o objetivo do projeto PlasticSea foi avaliar o impacto da contaminação por plástico, em particular por microplásticos na costa portuguesa, através da monitorização da sua presença na água, biota e sedimentos para identificar “hotspots” de contaminação e as suas principais fontes. Os níveis de microplásticos na água, organismos e sedimentos foram também avaliados em explorações de aquacultura, para definir métodos padronizados para recolha, processamento e análise de microplásticos nestas matrizes. Isto permitiu ainda auxiliar as pequenas e médias empresas de aquacultura a minimizar o seu impacto, cumprindo com a legislação vigente e futura. Por último, o impacto na humanidade da poluição por plástico e

pelos seus aditivos foi também avaliado na investigação da transferência de microplásticos de mães para recém-nascidos, através do sangue materno, cordão umbilical e do tecido da placenta.

A sensibilização da população para a problemática da poluição por plástico, especificamente micro e nanoplásticos e a disseminação dos resultados do projeto, foram efetuadas através da Sciaena (<https://www.sciaena.org/>), do Centro Ciência Viva do Algarve e da Associação dos Aquacultores (APA). A disseminação destes resultados permite ainda encorajar a adoção de alterações ao uso do plástico pela população, para reduzir a ameaça do plástico para o ambiente marinho, contribuindo para: i) vários dos descritores da Diretiva da União Europeia sobre a Estratégia Marinha (<https://www.dgrm.mm.gov.pt/as-pem-diretiva-quadro-estrategia-marinha>) no âmbito da economia circular; ii) atingir um bom estado ecológico; e iii) atingir o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 14 das Nações Unidas, em particular as metas 14.1 e 14.2.

Participaram neste projeto investigadores do CIMA-Centro de Investigação Marinha e Ambiental /ARNET- Rede de Infraestruturas em Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve, do Instituto do Mar e da Atmosfera (IPMA), do Centro Ciência Viva do Algarve, da Empresa Sagres Marisco, da Sciaena e da Associação dos Aquacultores (APA).

Agradecimentos

A edição do presente livro foi possível graças ao contributo dos investigadores que colaboraram nos trabalhos de campo e de laboratório para adquirir os conhecimentos aqui partilhados, aos autores dos diversos capítulos que nele transmitem parte dos resultados da sua investigação, aos revisores científicos que contribuíram e despenderam o seu tempo para melhorar os manuscritos e aos editores que compilaram, reviram e orientaram todo o processo que conduziu à edição do livro *Micro e Nanoplásticos: um Macroproblema*.

Parte dos trabalhos apresentados neste livro ao longo dos diversos capítulos, foram conduzidos por investigadores do CIMA-Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ARNET - Rede de Infraestruturas em Recursos Aquáticos, financiado pela FCT UIDP/00350/2020; <https://doi.org/10.54499/UIDP/00350/2020>), ao qual agradecemos o suporte administrativo e logístico. Do mesmo modo, agradecemos à Sagremarisco, ao IPMA-EPPO- Estação Piloto

de Piscicultura de Olhão, ao Centro Ciência Viva do Algarve e ao Centro Hospitalar da Universidade do Algarve, que tornaram possível a investigação reportada em vários dos capítulos, através dos seus investigadores e utilização das instalações.

A investigação foi financiada pelo Projeto PLASTICSEA (FA-06-2017-046), através do Fundo Azul do Ministério da Economia e do Mar.

1. O lixo marinho. O que são microplásticos e nanoplásticos? Como chegam ao oceano?

Maria João Bebianno, Eloah Garcia Rosas, Joanna Melissa Gonçalves

CIMA- Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ARNET- Rede de Infraestrutura em Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

mbebian@ualg.pt; egrosas@ualg.pt; jmgoncalves@ualg.pt

O lixo marinho é constituído por qualquer material sólido persistente, fabricado ou transformado, gerado por atividades humanas e abandonado no meio marinho. Inclui materiais tais como plástico, metal, vidro, borracha e madeira. Abrange todos os materiais que são lançados no mar (por exemplo, artes de pesca) ou são transportados a partir de terra pelos rios, esgotos, águas pluviais e vento (por exemplo, granulados industriais, artigos sanitários e plásticos descartáveis) ou abandonados na costa. Os resíduos plásticos constituem a porção mais significativa do lixo marinho (mais de 80%).

O que são plásticos e que tipos de plástico existem?

O plástico foi sintetizado pela primeira vez em 1900, como resultado da invenção da *Baquelite*. Desde esse período, a produção de plástico tem aumentado exponencialmente dando origem à designada “*idade do plástico*”. Prevê-se que a produção de plástico atinja 1800 milhões de toneladas em 2050, sendo atualmente o consumo anual de plástico por pessoa, de 100 quilogramas na Europa Ocidental e na América do Norte e de 20 quilogramas na Ásia.

O plástico é um tipo de material formado por átomos de carbono, hidrogénio, oxigénio, azoto, enxofre e cloro. São polímeros sintéticos que resultam da liga-

ção de diferentes cadeias de moléculas (conhecidos por monómeros), para criar uma molécula grande (um polímero). Estas ligações tornam os polímeros fortes e duráveis. Os copolímeros ocorrem quando se ligam a diferentes monómeros, por exemplo, para fazer o nylon (poliamida). Os plásticos são materiais sintetizados a partir de recursos naturais ou de materiais criados sinteticamente, em que as matérias-primas incluem celulose, carvão, gás natural, sal e petróleo bruto. No futuro, prevê-se que o plástico seja substituído por materiais recicláveis. O plástico contém vários aditivos com diversas propriedades. Os aditivos são substâncias adicionadas aos plásticos durante a sua produção, com o objetivo de melhorar as suas propriedades físicas, químicas ou as suas características. Existem diversos tipos de aditivos que podem ser utilizados para funções específicas, como estabilizadores, plastificantes, corantes, pigmentos e retardadores de chama. A designação 'poli-' aparece na maior parte do nome dos diferentes plásticos comuns, como por exemplo o polietileno. Existem diversos tipos de plásticos disponíveis no mercado, como o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS) e o policloreto de vinilo (PVC), com diferentes utilizações, como por exemplo: artes de pesca, plásticos utilizados nas estufas na agricultura, garrafas, sacos, embalagens de alimentos, torneiras, tampas, palhinhas, beatas de cigarro, pellets industriais, microesferas cosméticas, carros, equipamentos eletrónicos, móveis, calçado e materiais de construção civil. As embalagens representam cerca de um terço (quase 39%) da produção total de plástico, seguidas pelos materiais utilizados na construção civil (21%) e pelos acessórios para a indústria automóvel (10%). Cada tipo de plástico utilizado nestas atividades, tem propriedades e qualidades diferentes, e por isso, foi decidido classificá-los em sete grupos principais (Figura 1.1) para permitir a identificação dos diferentes tipos de plástico utilizado nas embalagens ou noutros objetos, cujas propriedades e aplicações a seguir se indicam.



Figura 1.1.
Classificação dos tipos de plástico quanto à composição química.

Créditos da figura:
Joanna
Gonçalves

Propriedades e aplicações dos diferentes tipos de plástico

Polietileno tereftalato (PET): é o plástico mais produzido no mundo e é utilizado predominantemente como fibra sintética no fabrico de redes de pesca, de tecidos e na produção de embalagens (por exemplo, de água engarrafada, garrafas de refrigerantes, embalagens de alimentos para microondas e para detergentes). As três principais características deste plástico em relação a outros materiais, são a sua ampla aplicação, a sua eficácia para impedir a humidade e ser inquebrável;

Polietileno de alta densidade (PE-HD): encontra-se em garrações de 5 litros ou mais, em embalagens de leite, sumo, água e champô e em sacos de plástico. Este tipo de plástico é reciclável e relativamente seguro para a saúde humana;

Policloreto de vinilo (PVC): tem aplicações na construção civil (por exemplo, em canalizações e isolamento de fios elétricos), garrafas de água e de antisépticos bucais e embalagens utilizadas no transporte de refeições para fora (*takeaway*). O PVC pode conter bisfenol A, ftalatos, dioxinas, cádmio, chumbo e mercúrio, tudo compostos tóxicos, cancerígenos e desreguladores endócrinos. As três principais características do PVC, são a sua rigidez, a durabilidade e o facto de ser prejudicial para a saúde. A reciclagem deste tipo de plástico é limitada;

Polietileno de baixa densidade (PE-LD): é um tipo de plástico macio, flexível, leve a baixa temperatura e resistente à corrosão. O PE-LD pode ser encontrado em sacos e copos de plástico, tampas, películas aderentes, sacos do lixo e embalagens para alimentos. No entanto, os programas de reciclagem não aceitam frequentemente objetos feitos de PE-LD;

Polipropileno (PP): tem vasta aplicação em embalagens para alimentos, peças de plástico para a indústria automóvel, dobradiças e têxteis. O PP é um plástico semitransparente e de baixo atrito que possui boa resistência elétrica. O PP pode ser encontrado em embalagens de margarina, remédios e iogurtes, recipientes para transporte de alimentos, palhinhas e tampas. O PP tem duas características principais: é simples de fabricar e a lista de objetos de PP com possibilidade de serem reciclados tem vindo a aumentar;

Poliestireno (PS): é um tipo de plástico utilizado para fazer embalagens para refrigerantes, alimentos e outros objetos. Está disponível como material transparente e sólido que pode ser utilizado em chávenas, pratos e bandejas. O poliestireno é também utilizado para fazer esferovite, designando-se por

poliestireno expandido. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) está preocupada com o estireno (um dos componentes deste tipo de plástico), porque é um composto químico prejudicial à saúde. As pessoas expostas ao estireno têm maior probabilidade de contrair leucemia ou linfoma. No entanto, não é claro qual o tempo e a concentração de exposição necessária para desenvolver estas patologias. Após analisar profissionais que trabalham com o produto no dia-a-dia, verificou-se que as pessoas expostas ao poliestireno costumam apresentar problemas de saúde, como dores de cabeça, depressão, perda auditiva e até problemas neurológicos. O PS não é reciclável;

Plásticos com a classificação 7 (Figura 1.1): agrupa tipos de plástico produzidos a partir de 1987 e que incluem policarbonato (PC) e polilactídeo (PLA), que são utilizados em produtos como recipientes para alimentos, biberões e garrafas de água reutilizáveis. Os PC contêm uma substância química chamada bisfenol-A que é prejudicial à saúde e ao meio ambiente e é difícil de reciclar. No entanto, os PLA são produzidos a partir de fontes renováveis, como por exemplo plantas, e podem de ser compostados em instalações de compostagem industrial.

Atualmente, qualquer rotina diária envolve a utilização de diferentes materiais de plástico. Devido às suas propriedades assépticas, os plásticos são muito utilizados em produtos de higiene pessoal, mas esses produtos também causam problemas ambientais sérios. Os plásticos de menores dimensões, chamados microplásticos (com menos de 5 milímetros de tamanho) e nanoplásticos (dimensão inferior a 1000 nanómetros) são uma nova ameaça, embora ainda não se conheçam todos os riscos que representam quer para a saúde humana quer para o ambiente. Apesar da incerteza, estudos laboratoriais indicam que os micro e os nanoplásticos podem causar problemas, quer fisicamente, quer através dos compostos químicos (aditivos) e outros poluentes associados.

A percentagem de reciclagem de embalagens e de outros materiais de plástico varia de país para país. Na Europa, mais de 8,4 milhões de toneladas de resíduos plásticos foram recolhidos para serem reciclados dentro ou fora da União Europeia, o que corresponde a um aumento de 79% nos últimos anos, tendo sido 61% do material reciclado aplicado na produção de energia. Com o aumento da capacidade de reciclagem, a deposição de plásticos em aterros sanitários diminuiu consideravelmente (cerca de 43%), pelo que devem ser feitos todos os esforços para aumentar a reciclagem dos vários tipos de plástico.

Como se classificam os plásticos relativamente à sua dimensão?

Nem todos os plásticos têm a mesma dimensão (Figura 1.2) e o tamanho depende do tipo e aplicação. A maioria dos plásticos produzidos são macrolásticos (2,5 centímetros a 1 metro) e mesoplásticos (5 milímetros a 2,5 centímetros). No entanto, há plásticos que são produzidos com tamanhos menores, como os microplásticos (1000 nanómetros a 5 milímetros) e os nanoplásticos (menos de 1000 nanómetros), como por exemplo, os utilizados em cremes e esfoliantes ou aqueles que resultam da degradação de plásticos de maiores dimensões.

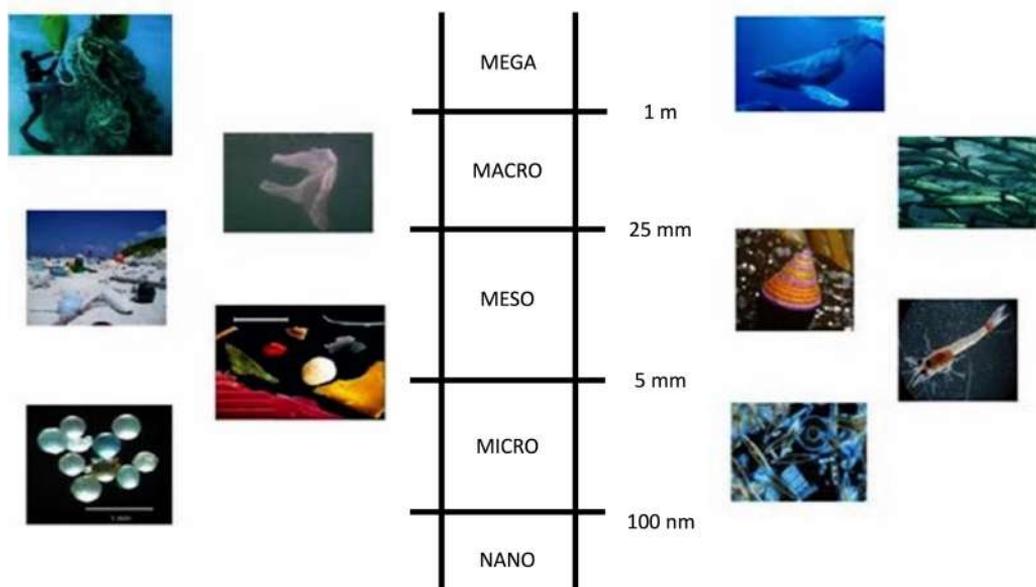


Figura 1.2.

Classificação dos plásticos quanto ao tamanho; m- metro; mm- milímetro; nm- nanómetro. Figura adaptada de GESAMP, 2019.

Como chega o plástico ao oceano?

A maioria do plástico presente no oceano provém de fontes terrestres, como resultado de derrames acidentais ou intencionais e de cheias torrenciais (arrastam os materiais das margens para os rios), bem como de sistemas ineficientes de tratamento de efluentes urbanos e industriais e de gestão de resíduos, ou de descargas inapropriadas ou ilegais em regiões costeiras intensamente urbanizadas (Figura 1.3). No entanto, o transporte de plástico por via atmosférica é também importante (ver Capítulo 3). Estima-se que mais de 10 milhões de toneladas métricas de plástico entrem anualmente no oceano, o

que equivale a um camião de lixo cheio de plástico despejado no oceano em cada minuto, encontrando-se a maior quantidade presente na zona costeira. O plástico de utilização única (só se utiliza uma vez, como por exemplo, os sacos de plástico) representa o maior contributo para a contaminação por plástico no oceano, estimando-se que, 1 a 5 triliões de sacos de plástico são utilizados anualmente em todo o mundo. Outras fontes, geradas no próprio meio marinho, incluem o transporte marítimo, a exploração industrial, a pesca e a aquacultura. Além disso, equipamentos utilizados na indústria pesqueira, como redes, cordas, cabos e outros equipamentos, podem ser perdidos ou abandonados no mar, contribuindo para a poluição por plásticos.

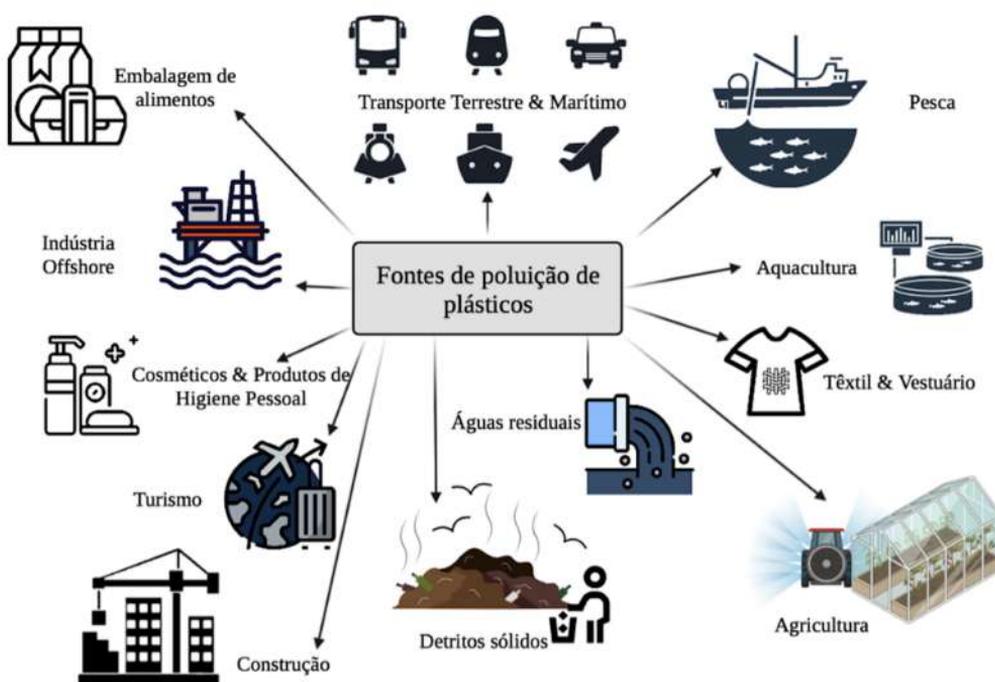


Figura 1.3. Fontes principais de plástico para o oceano. A figura é da autoria de Joanna Gonçalves (feita no Biorender.com).

Nas zonas de maior atividade pesqueira em mar aberto, a maior parte do plástico encontrado é composto por redes abandonadas ou perdidas (640 000 toneladas por ano), o que representa em peso, cerca de 70% de todo o plástico detetado no oceano. Estima-se que cerca de 6% de todas as redes

de pesca, 9% de covos de plástico (armadilhas para captura de polvo) e outras armadilhas, bem como 29% de todas as linhas de pesca mundiais, se percam anualmente no oceano.

Quando o plástico está presente no ambiente marinho, fica sujeito a vários processos químicos, físicos e biológicos que causam a sua degradação, incluindo a degradação mecânica (como por exemplo o atrito e correntes marítimas), a biodegradação, a degradação térmica e a degradação por ação da radiação ultravioleta (UV), entre outros. Estes processos resultam na fragmentação do plástico em pedaços de menores dimensões para formar micro e nanoplásticos (Figura 1.4). Alguns microplásticos ainda se detetam a olho nu, mas os nanoplásticos são mais difíceis de detetar visualmente.

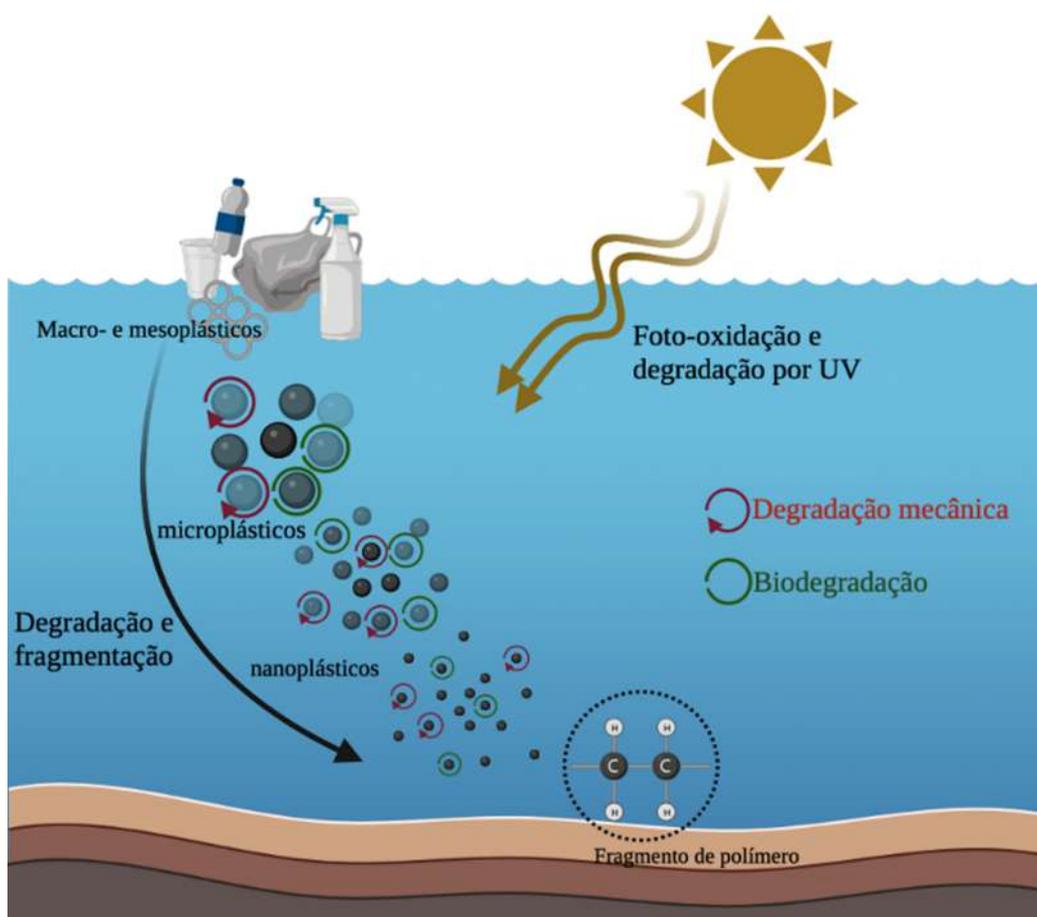


Figura 1.4. Ilustração da degradação/ fragmentação de plásticos no ambiente marinho (adaptada de Alkimin *et al.*, 2022).

Nem todos os micro e nanoplásticos resultam da degradação de plásticos de maiores dimensões. Podem ser introduzidos no ambiente marinho por meio de descargas diretas de efluentes de instalações industriais que produzem plásticos destas dimensões. Também alguns produtos de higiene pessoal que contêm micropartículas, como são o caso de esfoliantes e pastas de dentes e ainda os detergentes, chegam ao oceano através de efluentes urbanos (Capítulo 8). Depois de entrarem no oceano, estas pequenas partículas podem percorrer longas distâncias através das correntes oceânicas e das ondas, e por isso têm sido encontrados plásticos longe dos locais onde foram lançados (ver Capítulo 2). Já foram detetados plásticos em todos os habitats marinhos do mundo, desde os polos ao equador, desde a superfície do mar e zonas costeiras até ao mar profundo, em particular na Fossa das Marianas (local mais profundo do oceano, com quase 11 000 metros de profundidade).

O impacto mais comum do plástico na vida marinha inclui o emaranhamento e a ingestão de detritos plásticos. O emaranhamento representa uma ameaça para animais marinhos maiores, como tartarugas, aves, mamíferos e peixes de grande porte. A ingestão de micro e de nanoplásticos é também comum numa gama mais vasta de organismos marinhos de menores dimensões.

O que são plásticos primários e secundários?

Os microplásticos e os nanoplásticos são designados de primários ou secundários, consoante a sua origem (Figura 1.5). Consideram-se primários quando são intencionalmente projetados e fabricados para terem pequenas dimensões. Uma das principais origens de microplásticos primários resulta da lavagem de roupas sintéticas (35%) e do desgaste de pneus durante a condução (28%), enquanto que, os nanoplásticos primários são encontrados em cosméticos (por exemplo, esfoliantes e pasta de dentes), fibras de roupa sintética, medicamentos e tinta para impressoras 3D (três dimensões). Os plásticos secundários resultam da degradação e da fragmentação de plásticos maiores (macro e mesoplásticos), como sejam os sacos de plástico, as garrafas de água e/ou redes de pesca entre outros. Estima-se que 68% dos microplásticos encontrados no oceano sejam secundários.

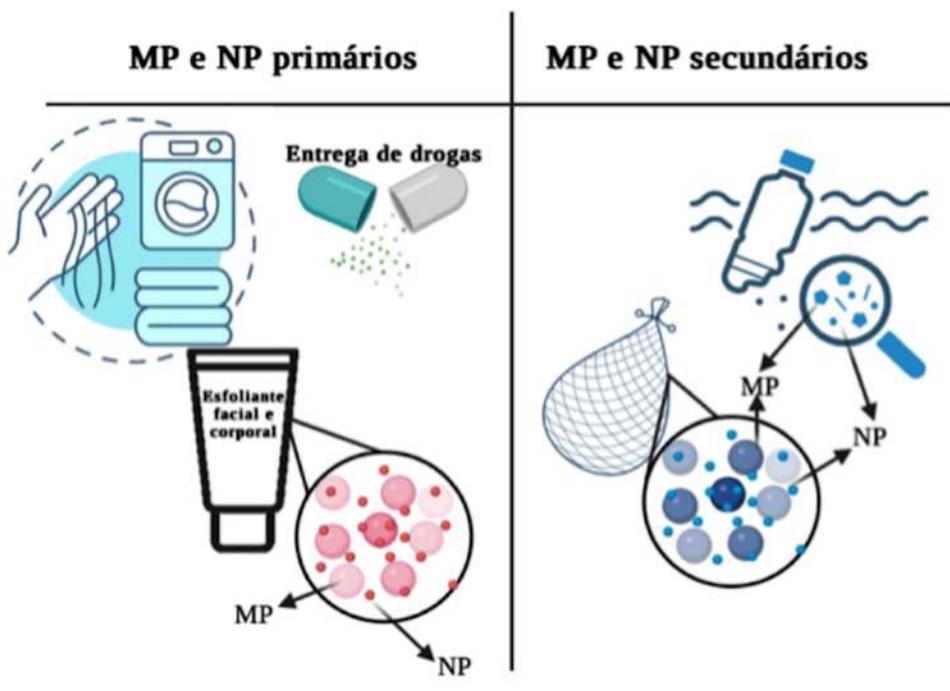


Figura 1.5. Plásticos primários e secundários; MP- microplásticos; NP- nanoplásticos. A figura é da autoria de Joanna Gonçalves (construída no Biorender.com).

Qual o problema que os plásticos têm criado no ambiente marinho?

O uso generalizado de plástico descartável tem causado danos ambientais significativos no meio marinho e constitui um problema global de poluição. O impacto mais evidente dos macroplásticos no oceano inclui o emaranhamento e o estrangulamento provocado por redes de pesca nos grandes mamíferos marinhos principalmente nos predadores de topo (baleias, golfinhos e tartarugas). Os mamíferos, tartarugas, aves, outros vertebrados e invertebrados marinhos têm capacidade para ingerir macro, micro e nanoplásticos que ocorrem no oceano em vários tamanhos, tipos e cores. Até à presente data, a ingestão de plásticos foi já identificada em mais de 1400 espécies marinhas, o que tem resultado em alterações no equilíbrio dos ecossistemas marinhos e na perda de biodiversidade. Uma vez ingeridos pelos organismos marinhos, a maior parte dos micro e nanoplásticos poderão encontrar-se no trato digestivo. No caso dos peixes, o sistema digestivo não é utilizado na alimentação humana, mas no caso do marisco (amêijoas, mexilhões, os-

tras e camarões) e dos pequenos peixes são consumidos na totalidade. Por outro lado, a ingestão de plástico pode comprometer uma série de funções, entre as quais, o ciclo reprodutor de espécies marinhas, estimando-se que cerca de 15% delas estejam em extinção. Estima-se também que até 2050, 99% das aves marinhas terão ingerido plástico.

A poluição por plástico é uma das áreas-chave que preocupa a comunidade científica internacional e muitas iniciativas estão a ser lançadas, que incluem ações de natureza científica, política, social e económica. A Comissão Europeia está a desenvolver uma estratégia, a atingir até 2050, para a utilização do plástico no âmbito na Economia Circular, que ajudará a reduzir a sua utilização ao longo do tempo. Para além do estabelecido no Descritor 11 da Diretiva da Estratégia Marinha, algumas das novas regras da União Europeia, incluem a Diretiva sobre os plásticos de uso único (Diretiva 2019/904/EU) e a Diretiva 2019/883/EU que estabelece as infraestruturas que devem ser implementadas nos portos para a recepção de detritos plásticos provenientes de embarcações. Exigem ainda, que a perda de equipamentos de pesca seja reportada, se possível recuperado e que os plásticos de uso único mais comum, como os encontrados na zona costeira europeia passem a ser proibidos, uma vez que representam mais de 80% do lixo marinho. Por outro lado, durante a 2ª Conferência das Nações Unidas sobre os Oceanos, que teve lugar em Lisboa em 2022, foi decidido convocar um comité intergovernamental para desenvolver um instrumento internacional juridicamente vinculativo sobre a poluição marinha por plásticos, que aborde o ciclo de vida do plástico.



Figura 1.6. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ligados à contaminação marinha por plásticos. 14: vida debaixo de água; objectivo 14-1: reduzir a poluição marinha; 12: consumo e produção responsáveis; 11: cidades e comunidades sustentáveis. Fonte da imagem: <https://sdgs.un.org/goals>.

O plástico presente no meio marinho está diretamente relacionado com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 14 da Agenda 2030 das Nações Unidas, sobre a conservação do oceano, mares e recursos marinhos para um desenvolvimento sustentável e, em particular a meta 14.1 (Reduzir a Poluição Marinha - Figura 1.6) que estabelece até 2050 a mobilização de todos os esforços para reduzir a contaminação por plástico. Os micro e os nanoplásticos também estão relacionados com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 (assegurar o consumo sustentável- Figura 1.6) e com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11, uma vez que os resíduos de plástico são o resultado de uma gestão deficiente dos detritos e do desenvolvimento urbano (Figura 1.6).

Bibliografia consultada

- Alkimin, G.D., Gonçalves, J.M., Nathan, J. & Bebianno, M.J., 2022. Impact of micro and nanoplastics in the marine environment. In: Jo, S. E. (ed.) *Assessing the Effects of Emerging Plastics on the Environment and Public Health*. 9: 172-225.
<https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9723-1.ch009>.
- Gonçalves, J.M. & Bebianno, M.J., 2021. Nanoplastics impact on marine biota: A review. *Environmental Pollution*, 273: 116426.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.116426>.
- Galgani, F., Aleke Stoeffeno B., Weis, J., Ioakeimidis, C., Schuyler, Q., Makarenko, I., Griffiths, H., Bondareff, J., Vethaak, D., Deidun, A., Sobral, P., Topouzelis, K., Vlahos, P., Lana, F., Hasselov, M., Gerigny, O., Arsonina, B., Ambulkar, A., Azzaro M. & Bebianno, M.J., 2021. Are litter, plastic and microplastic quantities increasing in the ocean? *Microplastics and Nanoplastics* 1,2.
<http://dx.doi.org/10.1186/s43591-020-00002-8>.
- Galgani, F., Stöfen-O'Brien, A., Ambulkar, A., Azzaro, M., Bebianno, M.J., Bondareff, J., Griffiths, H., Hasselov, M., Ioakeimidis, C., Jambeck, J., Keener, P., Lana, F.O., Makarenko, I., Rochman, C., Schuyler, Q., Sobral, P., Vu, C.T., Topouzelis, K., Vethaak, D., Vlahos, P., Wang, J. & Weis, J., 2021. Changes in inputs and distribution of solid waste, other than dredged material, in the marine environment. In: United Nations, *The Second World Ocean Assessment*, Volume II, Chapter 12: 151-184. ISBN: 978-92-1-1-130422-0.
- GESAMP, 2019. *Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter and Microplastics in the Ocean*. P.J Kershaw & F. Galgani (ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). GESAMP Report Studies 99, 123 p. <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>.

2. Modelação dos microplásticos nos oceanos

Eloah Rosas¹, Flávio Martins^{1,2}

¹CIMA - Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ARNET- Aquatic Research Network, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, Portugal.

²Instituto Superior de Engenharia (ISE), Campus de Gambelas, Universidade do Algarve, 8005-139 Faro, Portugal.
egrosas@ualg.pt; fmartins@ualg.pt

Comportamento dos microplásticos no oceano e modelos numéricos para estudos de dispersão

A costa sul de Portugal abriga parques naturais com elevada biodiversidade marinha, presentemente ameaçada com a crescente quantidade de microplásticos na região, para a qual contribuem as intensas atividades turísticas e pesqueiras. No entanto, são difíceis de identificar as fontes e trajetórias desses microplásticos, devido ao seu tamanho extremamente pequeno (inferior a 5 milímetros- ver Capítulo 1), fragmentação e transporte por longas distâncias através de correntes oceânicas, ventos e ondas, tornando a poluição por microplásticos um grande desafio para rastrear as suas origens e destinos.

O transporte dos microplásticos no oceano é afetado por diversos fatores que dificultam o rastreamento da sua origem e destino final. Esta complexidade resulta da estreita relação entre o comportamento e o transporte dessas partículas e a significativa variação das suas características físicas, tais como, tamanho, forma, densidade e flutuabilidade. Por exemplo, os microplásticos com menor densidade podem permanecer suspensos na água e serem transportados por correntes de superfície e ventos, enquanto que, os microplásticos com maior densidade afundam e são transportados pelas correntes do fundo do oceano ou depositam-se no sedimento.

De acordo com investigações recentes, é amplamente aceite que a grande maioria dos microplásticos, cerca de 99%, é encontrada em águas profundas. No entanto, de acordo com diversos estudos, os microplásticos de baixa densidade também estão presentes em águas profundas. Este facto deve-se em parte, ao processo de bioincrustação, no qual, alguns microrganismos colonizam a superfície dos microplásticos, formando um biofilme que aumenta o seu peso, fazendo-os afundar através da coluna de água (Figura 2.1). Outros processos como a fotodegradação, a sedimentação e a ressuspensão, também podem afetar o comportamento e a distribuição dos microplásticos no ambiente marinho (Figura 2.1). Além disso, os microplásticos podem ser transportados por grandes distâncias, veiculados por organismos marinhos que os ingerem acidentalmente.

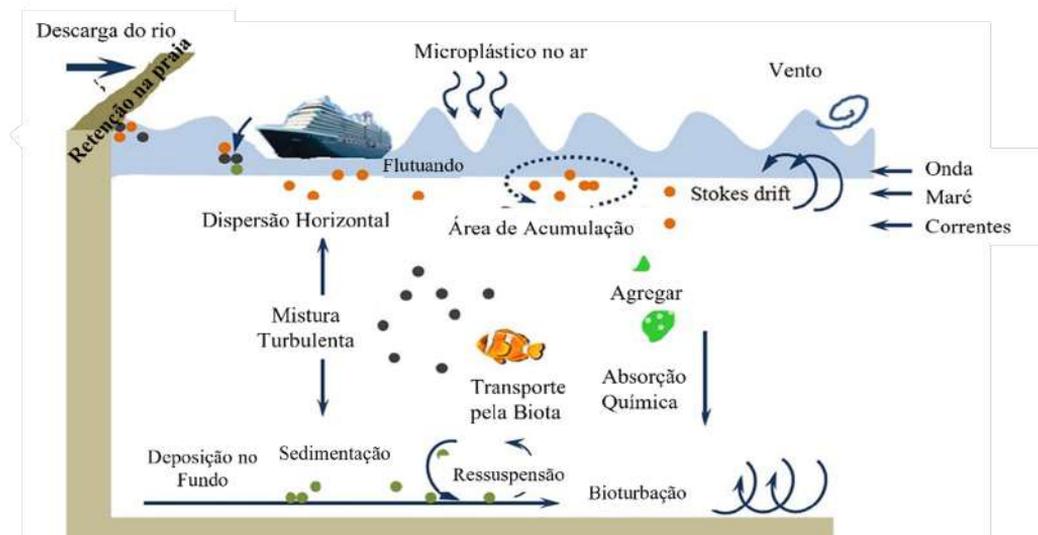


Figura 2.1.

Esquema do transporte dos microplásticos no oceano. *Stokes drift* é a diferença na posição de uma partícula após um dado período de tempo que pode ser o período das ondas. Créditos da imagem: Li et al., 2020.

O conhecimento sobre a distribuição e as fontes dos microplásticos é crucial para reduzir a poluição e preservar os ecossistemas marinhos. Existem diferentes abordagens para estudar o transporte e as fontes de microplásticos, como por exemplo, através de estudos de campo (ver Capítulo 4) ou da utilização de técnicas de modelação numérica. Esta, é uma ferramenta essencial no estudo da poluição por microplásticos no oceano, já que oferece uma alternativa económica à realização de extensos e dispendiosos trabalhos de

campo. A modelação numérica permite que os investigadores conduzam experiências virtuais com cenários e forçamentos variados, tais como correntes oceânicas, ventos e ação das ondas.

No campo da dinâmica dos fluidos computacional, existem dois métodos comuns que são amplamente utilizados: o método Lagrangiano e o Euleriano. Enquanto que o método Euleriano se baseia na descrição das propriedades do fluido (velocidade, pressão ou temperatura) em cada ponto do espaço ao longo do tempo, o método Lagrangiano segue o movimento individual de cada partícula do sistema. Ele associa um conjunto de coordenadas a cada partícula, permitindo que a sua trajetória seja acompanhada ao longo do tempo. A escolha do método depende da escala espacial e temporal do problema em questão, bem como das características do poluente que está sendo simulado. O método Lagrangiano é especialmente adequado para simulações em que os poluentes se espalham formando uma pluma, com variações de concentração intensas em pequenas escalas espaciais.

Diversos estudos têm empregado modelos oceânicos de alta resolução e modelos Lagrangianos de rastreamento das partículas para simular o transporte de microplásticos em diferentes áreas do oceano. No entanto, muitos desses modelos concentraram-se apenas no transporte de microplásticos na superfície do oceano, deixando de fora o transporte vertical e a dinâmica dos microplásticos ao longo da coluna de água no ambiente marinho. Além disso, há algumas limitações nos modelos para microplásticos, como a falta de dados de observações no campo para validar os resultados da simulação. É necessário melhorar os modelos e aumentar a precisão das previsões sobre a distribuição e o destino dos microplásticos no oceano.

Circulação oceânica na Península Ibérica e Canárias

Para simular com precisão a distribuição dos microplásticos no oceano, é essencial compreender a hidrodinâmica da área em questão. Na costa sul de Portugal, a complexidade das condições oceânicas é influenciada pelo Giro do Atlântico Norte, que inclui a Corrente Portuguesa (PoC), a Corrente das Canárias (CaC) e o ramo oriental da Corrente dos Açores (AzC). A PoC flui para sul nas camadas superiores do oceano, com parte dela dirigindo-se para a CaC e outra parte entrando no Golfo de Cádiz como Corrente do Golfo de Cádiz (GoC; Figura 2.2). A CaC é uma corrente fria que flui para sul ao

longo da costa noroeste de África antes de se voltar para o oeste em direção ao Oceano Atlântico. A AzC flui do Oceano Atlântico subtropical em direção a nordeste, passando pela Ilha da Madeira e dividindo-se em dois ramos: um para leste em direção ao Golfo de Cádiz e outro para sul, que se funde com a Corrente das Canárias (Figura 2.2). A circulação costeira na região próxima da costa ibérica é predominantemente influenciada pelos ventos locais e apresenta eventos de ressurgência durante o verão, devido à prevalência dos ventos de norte (ver Capítulo 4).

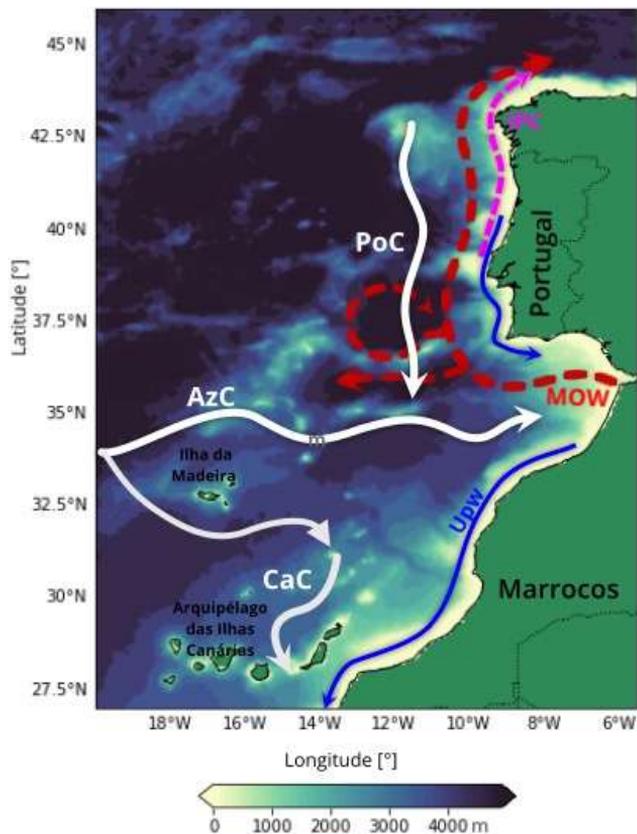


Figura 2.2. Representação esquemática da circulação oceânica na Península Ibérica e Canárias. AzC- Corrente dos Açores; CaC- Corrente das Canárias; IPC- Corrente de Polo Ibérico; MOW- Escoamento da água do Mediterrâneo; PoC- Corrente de Portugal; UpW- Afloramento costeiro (“Upwelling”). As linhas tracejadas são correntes profundas. Imagem produzida por Éloah Rosas. A escala de cores na base da figura representa profundidade em metros. As cores mais escuras representam águas mais profundas.

A circulação de águas profundas, ao longo da Península Ibérica, apresenta padrões diferentes em comparação com a circulação superficial acima descrita. Abaixo dos 500 metros de profundidade, observa-se a ocorrência de uma massa de água densa e fria que sai do Mar Mediterrâneo e esco para o Oceano Atlântico. Esta massa de água denomina-se Água de Escoamento do Mediterrâneo (MOW; Figura 2.2) e flui para sudoeste ao longo da costa continental da Península Ibérica e depois vira para noroeste, fundindo-se even-

tualmente com as Águas Profundas do Atlântico Norte. Neste contexto, este Capítulo irá abordar a técnica que combina modelos hidrodinâmicos com o modelo de dispersão Lagrangiano (ver explicação na secção anterior), para entender e prever as possíveis fontes de microplásticos que chegam à costa sul portuguesa. Analisam-se também os possíveis caminhos tomados pelos microplásticos originados na costa sul de Portugal. Além disso, exploraremos as implicações desses modelos para a mitigação do problema dos microplásticos e para a tomada de decisões políticas. Ao entender melhor as fontes e os caminhos dos microplásticos na costa sul de Portugal, podemos adotar medidas mais eficazes para reduzir sua presença nos nossos ecossistemas.

Modelação Lagrangiana do comportamento de microplásticos no oceano: descrição do modelo e forçamento hidrodinâmico

Foi utilizado o software *OpenDrift* (Figura 2.3 a), para simular o transporte de microplásticos nas águas costeiras da região sul de Portugal (Figura 2.3 b), considerando forças externas como vento e correntes. Esse modelo Lagrangiano já foi utilizado para simular o movimento de diferentes tipos de detritos marinhos, como petróleo, lixo e sedimentos, levando em conta diversas condições hidrodinâmicas. Além disso, por ser uma plataforma de código aberto, o *OpenDrift* permite que a comunidade de utilizadores contribua com melhorias e atualizações, aumentando a sua precisão e eficácia.

Neste trabalho, para garantir a precisão do cálculo das trajetórias das partículas ao longo de um período de 11 anos (2010-2020), foi utilizado o modelo oceânico *GLORYS12V1*, produto do CMEMS (Copernicus Marine Service - monitorização do ambiente marinho Copérnico- <https://marine.copernicus.eu/pt>) para forçamento hidrodinâmico do modelo *OpenDrift* (Figura 2.3 a). O *GLORYS12V1* é um produto oceanográfico preciso que simula a dinâmica dos oceanos a nível global e regional. Ele fornece informações oceânicas atualizadas e é amplamente utilizado em estudos de modelação oceânica para calcular trajetórias de partículas em sistemas oceânicos e costeiros.

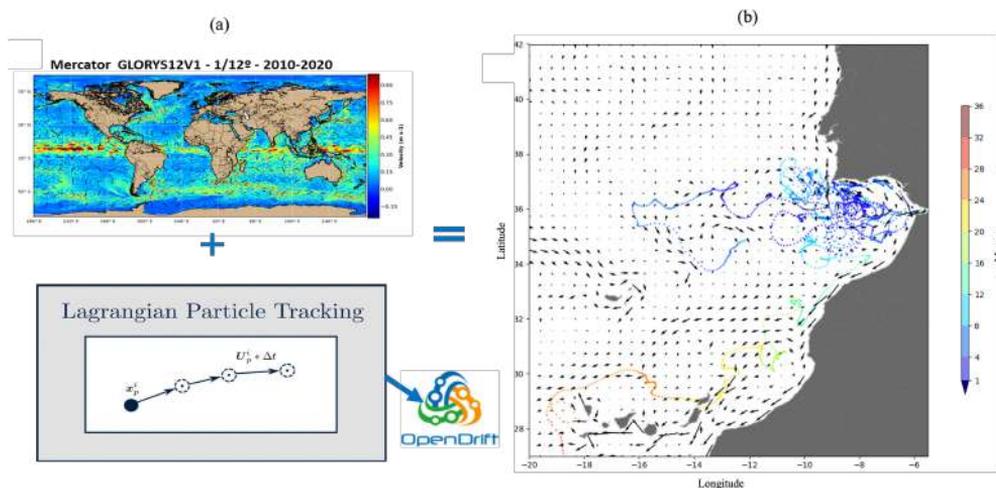


Figura 2.3.

Esquema do método utilizado neste trabalho, que combina o (a) produto oceanográfico global *GLORYS12V1* com o esquema do modelo Lagrangiano *OpenDrift* (b) exemplo de um mapa com o resultado das trajetórias e o tempo de transporte das partículas medido em meses. As setas no mapa (b) indicam a direção e a intensidade das correntes oceânicas. As partículas representam microplásticos. Lagrangian Particle Tracking: rastreamento de partículas de acordo com o modelo Lagrangiano. Figura produzida por Eloah Rosas.

Configurações de lançamento de partículas no modelo de microplásticos

Este trabalho compôs-se de duas etapas para estudar as diferentes trajetórias dos microplásticos que chegam ou se originam na costa do Algarve. O afundamento, sedimentação e bioincrustação, embora importantes para o transporte, não foram considerados devido à falta de compreensão completa desses processos na natureza e à falta de parametrizações confiáveis. Em vez disso, nas duas etapas foram realizados estudos de sensibilidade com três cenários de descarga de partículas em profundidades pré-definidas, para simular a deriva e a trajetória dos microplásticos (Tabela 2.1).

Tabela 2.1.

Configuração do lançamento das partículas para cada etapa e intervalo de profundidade simulada.

Etapa	Cenário	Intervalo de profundidade	Número de partículas lançadas	Tipo das partículas
1. Trajetórias dos microplásticos	Superfície	0-1 m	49 partículas/dia	baixa densidade
	Intermédio	30 m	49 partículas/dia	Sofreram processos que aumentam a densidade
	Profundo	800 m	48 partículas/dia	Alta densidade
2. Fontes dos microplásticos	Superfície	0-40 m	0,15 partículas/km ³ * volume caixa de emissão	baixa densidade
	Intermédio	40-400 m	0,15 partículas/km ³ * volume caixa de emissão	Sofreram processos que aumentam a densidade
	Intermédio	400-1200 m	0,15 partículas/km ³ * volume caixa de emissão	Alta densidade

Microplásticos originados na costa do Algarve

Na primeira etapa, utilizou-se um modelo para estudar o transporte e a acumulação de microplásticos provenientes da costa do Algarve. Foram lançadas partículas em três profundidades distintas: superfície, subsuperfície a 30 metros e profundo a 800 metros. O objetivo foi analisar o transporte dos microplásticos gerados por atividades que ocorrem na costa do Algarve, como as portuárias, turísticas, piscícolas, pesqueiras e navegação de recreio.

Em duas das simulações, foram libertadas diariamente 49 partículas ao longo da costa (Figura 2.4 a) na superfície do oceano e na subsuperfície (até 30 metros), representando microplásticos de baixa densidade. No terceiro cenário, foram lançadas 48 partículas a uma maior distância da costa (cerca de 50 quilómetros; Figura 2.4 b), para que a circulação em águas profundas fosse o principal fator influenciador do transporte dessas partículas, representando microplásticos de alta densidade com tendência para afundar.

Exposição da costa do Algarve às partículas remotas

Na segunda etapa do estudo, o modelo foi aplicado com o objetivo de identificar as potenciais fontes e trajetórias de transporte de microplásticos que podem alcançar as águas costeiras do Algarve entre 38° e 36° N, e -10° e -07° W (caixa SW-Costa na Figura 2.4. b), englobando as águas costeiras do sul e sudoeste de Portugal, bem como uma porção do sul da Espanha. Nesta etapa, foram selecionadas três categorias de fontes de microplásticos: costa adjacente, águas oceânicas e fronteiras laterais do modelo. A categoria de costa adjacente foi escolhida para avaliar a probabilidade de microplásticos originados em diferentes áreas costeiras chegarem às águas do Algarve. Para essa categoria, as partículas foram lançadas diariamente ao longo das regiões costeiras adjacentes à costa sul portuguesa, incluindo a ibérica ocidental, ibérica sul, Marrocos, Ilha da Madeira e Ilhas Canárias (Figura 2.5 a). Os lançamentos ocorreram desde a linha da costa até 50 quilômetros mar adentro, abrangendo a zona marítima contígua a essas áreas costeiras.

Como mencionado anteriormente, os microplásticos que impactam o Algarve também podem ser originados por atividades marinhas, como o desgaste gradual dos revestimentos químicos utilizados para proteger os cascos de

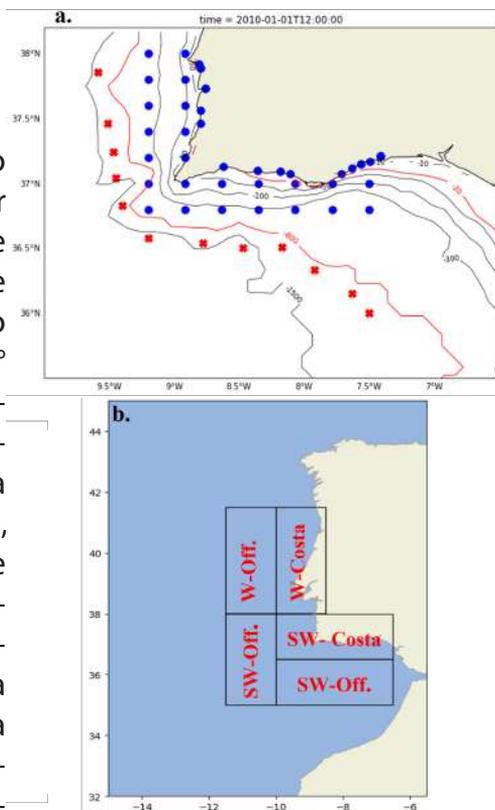


Figura 2.4.

- (a) Distribuição dos pontos de lançamento de microplásticos em diferentes profundidades na região sul da Península Ibérica, com círculos azuis representando a superfície e a subsuperfície (até 30 metros de profundidade). As cruzes vermelhas representam 800 metros de profundidade. As linhas pretas e vermelhas com valores assinalados, representam isolinhas da batimetria (linhas de igual profundidade) variando de 0 a 1500 metros.
- (b) Caixas de monitorização: águas costeiras do sul da Península Ibérica (SW-costa), águas costeiras da Península Ibérica ocidental (W-costa), águas ao largo da costa Sudoeste da Ibéria (SW-Off) e águas ao largo do Oeste da Ibéria (W-Off). Os eixos horizontais representam longitude oeste (W ou negativa) em graus. Os eixos verticais representam latitude norte (N) em graus. Off: ao largo, afastado da costa. Figura produzida por Eloah Rosas.

navios ou a fragmentação de lixo plástico maior encontrado em alto mar. Com o objetivo de estudar a possibilidade desses microplásticos chegarem à costa do Algarve, foi selecionada a categoria de águas oceânicas. Nesta categoria, foram lançadas diariamente partículas em seis caixas de lançamento, abrangendo as águas do Oceano Atlântico e do Golfo de Cádiz (Figura 2.5 a).

Neste trabalho, as “fronteiras laterais do modelo” também foram incluídas na categoria de fontes, para contemplar a possibilidade de microplásticos provenientes de regiões além das consideradas inicialmente impactarem a costa do Algarve. Para esta categoria, foram libertadas diariamente partículas ao longo dos limites do modelo, tal como ilustrado na Figura 2.5 a, permitindo assim, ampliar a compreensão sobre as diferentes fontes e trajetórias desses microplásticos que podem afetar a costa sul de Portugal.

Em ambas as etapas do estudo, foram realizados ensaios de sensibilidade para analisar as possíveis fontes e trajetórias dos microplásticos que chegam à costa do Algarve. Foram considerados três cenários com diferentes intervalos de profundidade pré-definidos: superficial, intermediário e profundo (Figura 2.5 b). O intervalo superficial que varia de 0 a 40 metros, foi utilizado para simular partículas de microplásticos com densidade menor que a água do mar (tipicamente 1,0267 quilogramas por litro), como o polipropileno e o polietileno (ver Capítulo 1), que tendem a flutuar próximo à superfície. O intervalo intermediário de profundidade de 40 a 400 metros, foi destinado ao estudo de partículas com densidade mais elevada, devido à sua composição química ou processos que aumentam sua densidade original, como a bioincrustação. Essas partículas afundam até atingir a profundidade de flutuação neutra, ou seja, com densidade igual à densidade do fluido circundante. Por fim, o intervalo profundo, que vai de 400 a 1200 metros, foi utilizado para simular partículas ainda mais densas, como PVC e PET (ver Capítulo 1), que podem afundar na coluna de água e acumular-se em sedimentos.

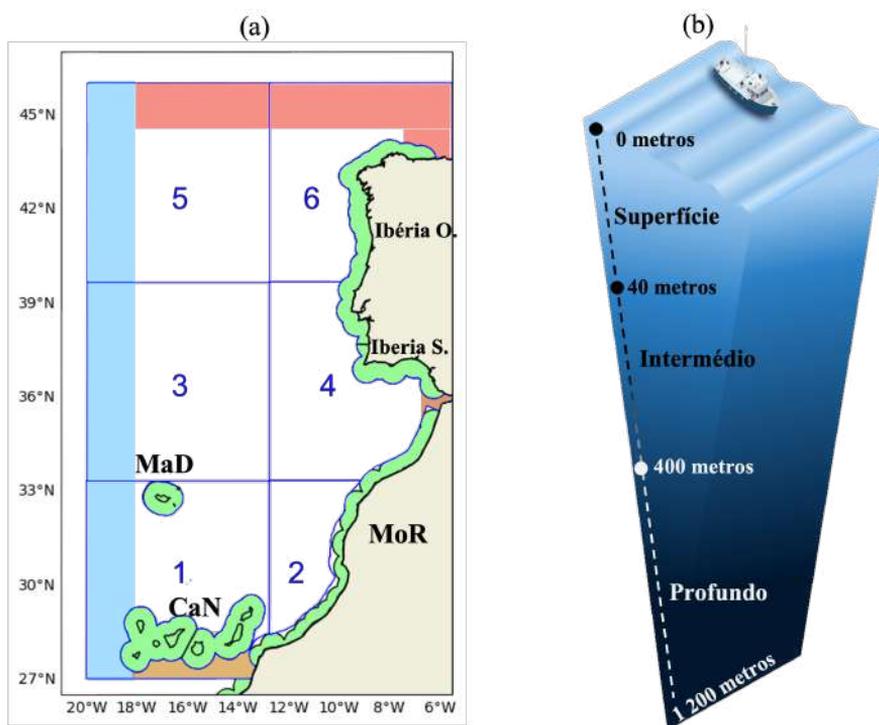


Figura 2.5.

- (a) Distribuição das fontes de lançamento de microplásticos consideradas no modelo de simulação (ver texto). As três fontes de lançamento de microplásticos são representadas da seguinte maneira: 1) costa adjacente representada por polígonos verdes no arquipélago das Ilhas Canárias (CaN), Marrocos (MoR), Ilha da Madeira (MaD), sul da Ibéria (ibérica S) e oeste da Ibéria (ibérica W); 2) águas oceânicas representadas por caixas limitadas com linhas azuis e, 3) fronteiras do modelo mostradas como caixas coloridas (azul, castanho e laranja);
- (b) Três intervalos de profundidade considerados para a libertação e deriva das partículas de microplásticos (explicação no texto). O eixo horizontal da figura (a) representa longitude oeste (W) em graus; o eixo vertical representa latitude norte em graus (N). Figura produzida por Eloah Rosas.

Devido à falta de dados de campo, o número de partículas libertadas nas simulações foi determinado com base num equilíbrio entre tempo computacional e precisão do modelo. Diariamente, as partículas foram lançadas em cada fonte de origem e nos três intervalos de profundidade considerados. Para determinar o número total de partículas libertadas ao longo de 11 anos, foi realizado um cálculo levando em conta o volume do polígono e o número médio de partículas por quilómetro cúbico (km^3), à semelhança de estudos anteriores. Esta normalização permitiu obter uma estimativa representativa das partículas libertadas e da sua distribuição ao longo do tempo.

Trajetórias dos microplásticos originados na costa do Algarve

Para facilitar a visualização e a compreensão da dispersão e do transporte dos microplásticos em diferentes profundidades na região do Algarve, foram realizados mapas com a representação da “concentração cumulativa de partículas” (Figura 2.6). Nestes mapas, foi adotada uma normalização das partículas emitidas, ou seja, o valor total de partículas foi dividido por 100 000, tornando assim os resultados independentes do número total de partículas libertadas. A concentração foi representada em escala logarítmica de cores, facilitando a visualização das diferenças entre regiões. Por exemplo, na Figura 2.6 b, uma concentração logarítmica de 3 indica que, ao longo dos 11 anos simulados, até 1000 partículas oriundas da costa do Algarve, transportados entre os 40 e 400 metros de profundidade, passaram próximo da costa do Marrocos.

Os resultados apresentados na Figura 2.6 revelam que os microplásticos originados no Algarve exibem trajetórias distintas, dependendo da profundidade em que se encontram. Esta observação ressalta a importância de considerar diferentes profundidades em modelos de dispersão, para obter uma compreensão mais precisa da distribuição dessas partículas no oceano. Os microplásticos transportados na superfície, ou próximos a ela, tendem a ser direcionados para sul pela corrente de Portugal (PoC) e pela Corrente das Canárias (CaC), ou para este, no sentido do Estreito de Gibraltar e Mar Mediterrâneo, pela Corrente do Golfo de Cádiz (GoC) (ver Figura 2.2). No entanto, as partículas simuladas em águas mais profundas (800 metros), seguem um padrão distinto (Figura 2.6 c). Essas partículas tendem a ser transportadas ao longo da costa, chegando ao Cabo de São Vicente. Porém, algumas partículas continuam a sua trajetória para oeste ao largo do Oceano Atlântico, enquanto que, muitas outras seguem para norte. Estes resultados sugerem que os microplásticos de alta densidade são expostos à circulação da água de escoamento do Mediterrâneo, que flui do Mar Mediterrâneo em direção ao Oceano Atlântico (ver Figura 2.2). Além disso, foi avaliada a possível transferência dos microplásticos originados na costa do Algarve para áreas vizinhas, como a Baía da Biscaia e o Mar Mediterrâneo. Para esta análise, foram levadas em consideração as proporções de microplásticos em diferentes profundidades que atravessaram para fora os limites do modelo (ver Figura 2.5 a). Na Tabela 2.2, essas proporções são apresentadas como percentagens do número total de partículas libertadas. Os microplásticos originados no Algarve, podem contaminar algumas regiões próximas. Por exemplo, 40% dessas partículas na superfície tenderam a ser transportados para fora da fronteira este do modelo (Tabela

2.2). Estes resultados indicam que a costa do Algarve pode ser uma fonte de microplásticos para o Mar Mediterrâneo que é uma das áreas do mundo mais poluídas por plásticos, além de ser uma região com significativa biodiversidade marinha.

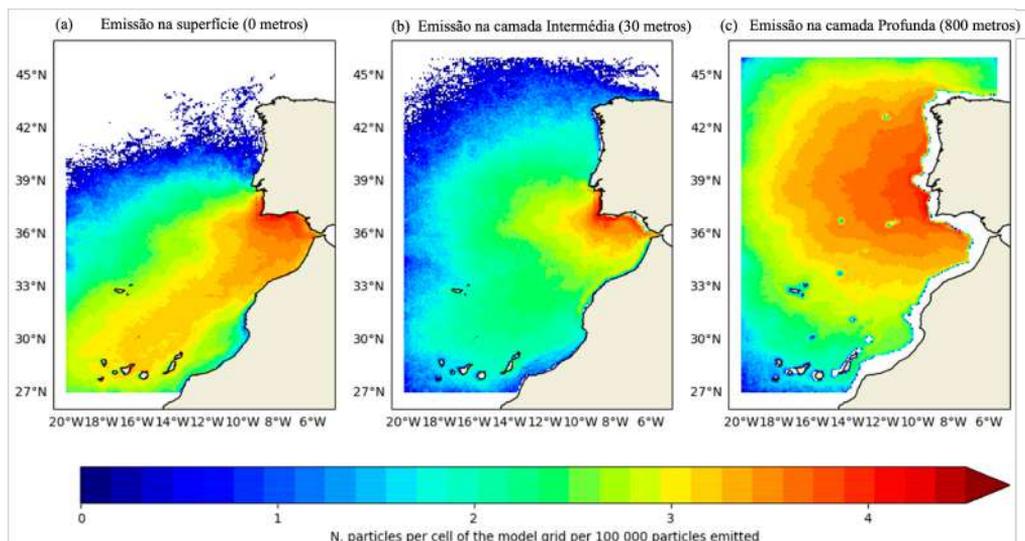


Figura 2.6.

Mapas mostrando a concentração acumulada de partículas em cada célula de $0,8^\circ \times 0,8^\circ$ por cada 100 000 partículas emitidas (N. particles per cell of the model grid per 100 000 particles emitted). A escala de cor é logarítmica para partículas transportadas por correntes (explicação no texto); (a): emissão e transporte à superfície; (b): emissão e transporte a uma profundidade de 30 metros e (c): emissão e transporte a uma profundidade de 800 metros. Os eixos horizontais representam longitude oeste (W) em graus. Os eixos verticais representam latitude norte (N) em graus. Figura produzida por Eloah Rosas.

Tabela 2.2.

Percentagens do número total de partículas libertadas que atravessam as fronteiras norte, sul, este e oeste do modelo, à superfície, a uma profundidade de 30 metros, e à profundidades de 800 metros (ver figura 2.6).

Profundidades de lançamento das partículas

Fronteira do modelo	Superfície (0 metros)	Intermédia (30 metros)	Profunda (800 metros)
norte	0%	0%	18%
sul	20%	1%	0%
oeste	29%	1%	22%
este	48%	28%	0%

Para avaliar áreas de acumulação de partículas, o seu tempo de residência é um parâmetro importante a ser considerado. O tempo de residência foi definido como o tempo médio que as partículas permanecem numa determinada região, antes de serem transportadas para outra. Neste trabalho, o tempo de residência foi calculado como o número de dias consecutivos em que cada partícula permaneceu numa determinada região, durante o período de 11 anos. A Figura 2.7 ilustra os tempos de residência individualmente calculados para cada uma das caixas de monitorização (ver Figura 2.2).

As partículas que entram nas águas superficiais do sul de Portugal (S-coast na Figura 2.7) têm uma permanência média de cerca de 20 dias, antes de serem transportadas para o mar aberto. Nas águas superficiais das regiões ocidentais (W-coast na Figura 2.7), esse tempo médio é menor, cerca de 10 dias, devido à ocorrência mais frequente e intensa de eventos de ressurgência ao longo da costa ibérica. Em relação às partículas suspensas a 30 e 800 metros de profundidade, os tempos médios de residência são semelhantes nas diferentes sub-regiões, exceto nas sub-regiões S-coast e W-coast (Figura 2.7), onde o tempo de permanência é relativamente menor. Esta diferença pode ser atribuída à dinâmica da circulação MOW, que transporta efetivamente as partículas para o Atlântico Norte, e à batimetria que resulta numa deposição mais rápida à medida que a profundidade diminui.

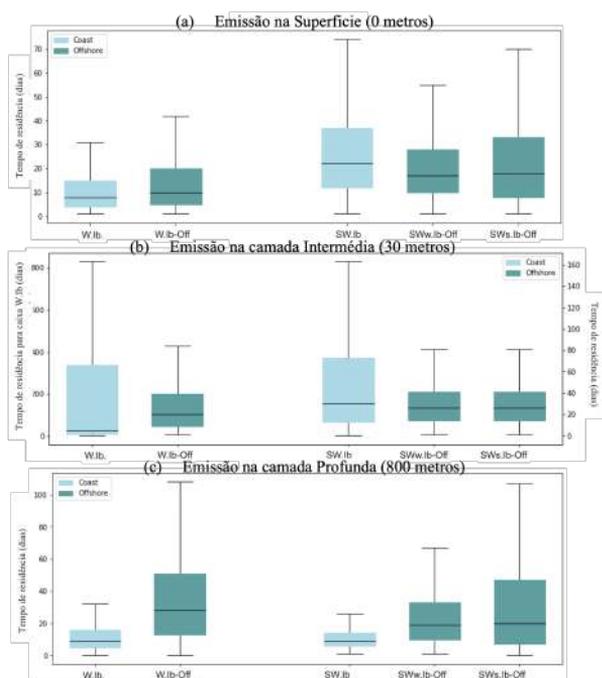


Figura 2.7. Tempo de residência das partículas em dias- residence time (days) para sub-regiões específicas (caixas na Figura 2.2 b) para intervalos de profundidade simulados: superfície - 0 metros, águas intermédias - 30 metros de profundidade e águas profundas - 800 metros de profundidade. As linhas horizontais dentro de cada caixa representam a mediana dos valores de tempo de residência para cada sub-região. Coast = costa; Off e Offshore = ao largo, mar aberto).

Exposição da costa do Algarve às partículas remotas

Este trabalho investigou as potenciais origens dos microplásticos que chegam à costa do Algarve, quer seja a partir da costa oeste de Portugal, quer originados por fontes remotas (costa adjacente, águas oceânicas e fronteiras do modelo). A Figura 2.8 mostra o mapa da região de estudo com a percentagem do número de partículas que passaram pela costa sul portuguesa, entre 6-10°W de longitude e 36-38°N de latitude, durante a simulação de 11 anos, discriminadas pela localização da origem e pelo intervalo de profundidade em que a partícula foi lançada.

A costa sul de Portugal pode ser afetada por microplásticos originados em diversas regiões distantes do Algarve. A profundidade à qual os microplásticos são transportados também desempenha um papel importante na sua chegada. Por exemplo, 45% dos microplásticos provenientes da costa oeste da Península Ibérica, que são transportados na superfície, chegam à costa sul (Figura 2.8 a). Por outro lado, quando esses microplásticos têm origem na mesma fonte, mas são transportados em grandes profundidades, apenas 15% deles alcançam o Algarve (Figura 2.8 c).

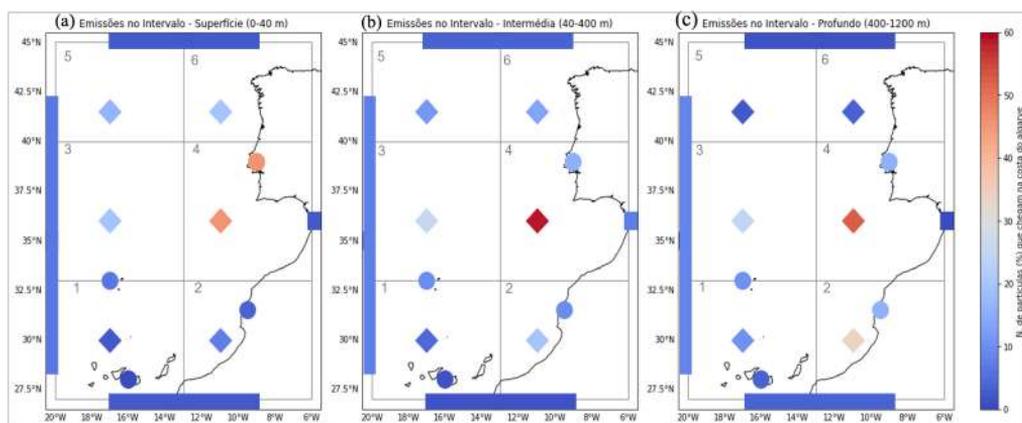


Figura 2.8.

Percentagem de microplásticos emitidos por três categorias de fontes, que atravessam a região sul de Portugal: costas adjacentes (símbolos circulares), águas oceânicas (símbolos em forma de diamante) e fronteiras (símbolos retangulares). Os símbolos estão posicionados próximo às respectivas fontes. A cor dos símbolos indica a percentagem de partículas de cada fonte, conforme indicado na barra de cores no lado direito da figura. Cada mapa representa um intervalo de profundidade: (a) superfície (0 – 40 metros), (b) intermédia (40 – 400 metros e (c) profunda (400 – 1200 metros). Nos eixos verticais (eixos dos YY') estão indicadas as latitudes norte (N) e nos eixos horizontais (eixos dos XX') as longitudes oeste (W). Figura produzida por Eloah Rosas.

As atividades marinhas no Golfo de Cádiz, como pesca e navegação, são as principais fontes dos microplásticos marinhos que chegam à região do Algarve, independentemente da profundidade em que são transportados (45% à superfície, 58% na subsuperfície e 52% em águas profundas; Figura 2.8). Menos de 10% dos microplásticos lançados nas fronteiras do modelo, alcançam a costa do Algarve, independentemente da fronteira e profundidade de transporte. Os resultados expressos na Figura 2.8 ressaltam a importância de entender as rotas de transporte de microplásticos no oceano e identificar as suas fontes numa escala ampla.

A Figura 2.9 exibe mapas com a densidade das trajetórias das partículas lançadas em diferentes regiões e profundidades, revelando a distribuição de microplásticos em várias áreas oceânicas ao longo de 11 anos. A seleção das fontes baseou-se em análises anteriores para identificar as principais fontes de microplásticos que afetam diferentes profundidades ao longo da costa do Algarve (ver Figura 2.8). Essa abordagem contribui para a compreensão das rotas de transporte de microplásticos em direção à costa do Algarve, fornecendo informações valiosas para identificação de fontes e de medidas preventivas.

Nas regiões costeiras (Figura 2.9 a), nos três intervalos de profundidade, observa-se uma faixa estreita com elevada concentração de partículas ao longo da costa ibérica, especialmente na superfície ou próximo dela. Essas partículas são originadas no noroeste da Península Ibérica e transportadas para o sul pela Corrente de Portugal, que flui ao longo do ano até uma profundidade de 300 metros. Além disso, os microplásticos provenientes das regiões costeiras de Marrocos e da Ilha da Madeira também afetam a costa sul de Portugal, embora com menor intensidade. As partículas mais densas, originadas na costa de Marrocos, quando atingem profundidades abaixo de 40 metros, são deslocadas para norte em direção ao Golfo de Cádiz, pela Corrente Submarina das Canárias e pelo fluxo norte da Água Intermédia Antártica, aproximando-se assim, da costa do Algarve.

Em águas oceânicas (Figura 2.9 b), a grande percentagem dos microplásticos originados no Golfo de Cádiz tende a ser transportada para próximo da costa do Algarve. Isso ocorre devido à proximidade geográfica do Golfo com a costa do Algarve e às correntes do Golfo de Cádiz e dos Açores (ver a Figura 2.2). O Golfo de Cádiz é uma rota importante para o transporte de mercadorias entre o Atlântico e o Mediterrâneo. A pesca também é uma atividade económica vital na região, com várias espécies de peixes capturadas nas águas do Golfo de Cádiz. No entanto, essa intensa atividade humana pode causar poluição marinha, incluindo a libertação de microplásticos (ver Capítulo 1).

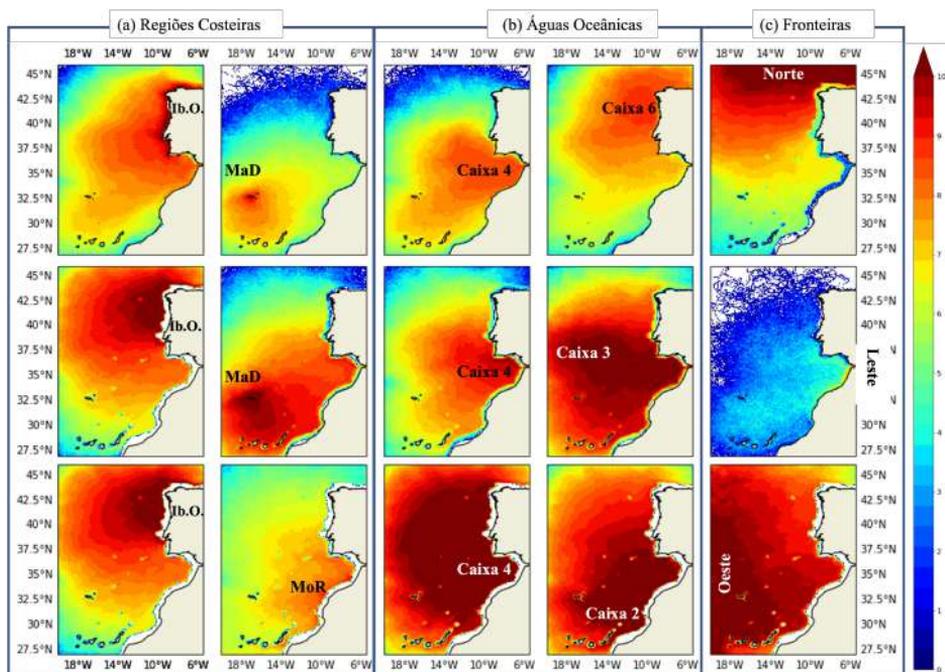


Figura 2.9.

Mapas da densidade das partículas emitidas nas linhas costeiras adjacentes (a), mar aberto (b) e fronteiras do modelo (c). As cores representam uma escala logarítmica de densidade, indicada na barra lateral no lado direito da figura. Os nomes das origens estão indicados no mapa (MaD - Madeira; Ib.O - oeste da Ibéria; MoR - Marrocos). Os mapas superiores representam partículas lançadas na superfície, os mapas centrais representam partículas em profundidades intermédias e os mapas inferiores representam partículas em águas profundas. Nos eixos verticais (eixos dos YY') estão indicadas as latitudes norte (N) e nos eixos horizontais (eixo dos XX') as longitudes oeste (W). Figura produzida por Eloah Rosas.

A importância dos modelos oceânicos na compreensão e mitigação da poluição por microplásticos nas águas costeiras do Algarve

As simulações confirmaram a presença de microplásticos nas águas costeiras do Algarve, originados tanto em atividades locais quanto em áreas vizinhas, podendo impactar negativamente os ecossistemas marinhos locais. Esses microplásticos têm a capacidade de se deslocar por longas distâncias e períodos prolongados, afetando áreas como o Mediterrâneo e as Ilhas Canárias, conhecidas por concentrações elevadas de microplásticos e ecossistemas diversos. Esses resultados destacam a importância da cooperação entre países e regiões para mitigar a poluição por microplásticos, especialmente de fontes de plásticos significativas. Através de acordos internacionais, é possível regular a produção, utilização e descarte adequado de plásticos, com o objetivo de reduzir esse problema em crescimento.

Os modelos oceânicos desempenham um papel fundamental na compreensão e mitigação dos problemas relacionados com os microplásticos, bem como na formulação de acordos internacionais eficazes. Esses modelos têm a capacidade de identificar as fontes e os trajetos de dispersão dos microplásticos, permitindo a localização de áreas críticas com alta concentração e maior probabilidade de impactos ambientais. Essas informações são essenciais para orientar as medidas de controle e mitigação, especialmente em regiões como o Algarve onde há potencial contaminação de recursos marinhos utilizados na alimentação humana, tal como peixes e mariscos.

Os modelos também desempenham um papel importante na previsão de poluição por microplásticos, considerando fatores como mudanças climáticas e atividades humanas. Essas projeções permitem entender os desafios de longo prazo enfrentados pelos acordos internacionais, fazendo com que essa ferramenta seja essencial para regular os plásticos, reduzindo a poluição e preservando os ecossistemas marinhos. No entanto, é preciso aperfeiçoar esses modelos para entender melhor o comportamento complexo dos microplásticos, incluindo fragmentação, afundamento, bioincrustação e colonização.

Bibliografia Consultada

- Barton, E.D., 2001. Canary And Portugal Currents. In Elsevier eBooks (pp. 380–389). <https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0360>.
- Zhang, H., 2017. Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>.
- Li, Y., Zhang, H., & Tang, C., 2020. A review of possible pathways of marine microplastics transport in the ocean. *Anthropocene Coasts*, 3(1), 6-13. <https://doi.org/10.1139/anc-2018-0030>.
- Khatmullina, L., & Chubarenko, I., 2019. Transport of marine microplastic particles: why is it so difficult to predict?. *Anthropocene Coasts*, 2(1), 293-305. <https://doi.org/10.1139/anc-2018-0024>.
- Kershaw, P. J., & Rochman, C. M., 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. *Reports and Studies-IMO/FAO/Unesco-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP)* Eng No. 93. Disponível online em: https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics%20full%20study.pdf.

3. Os microplásticos à porta do oceano: microplásticos atmosféricos

Isabel Marín Beltrán¹, Ines Sánchez del Río¹, Cristina Veiga-Pires²

¹ Centro de Ciências do Mar do Algarve, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

² Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA) – Rede de infraestrutura em Recursos Aquáticos (ARNET), Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro, Portugal.

imbeltran@ualg.pt; sanchezdelrio.ines@gmail.com; cvpires@ualg.pt

De onde vêm os microplásticos que respiramos?

Os microplásticos (MP) já se encontram por todo o lado, desde o topo da mais alta montanha, até às regiões mais profundas do oceano. A maioria das pesquisas sobre MP é focada em amostras de água e sedimentos, sendo ainda muito limitados os estudos que procuram MP em amostras de ar. O cálculo dos fluxos de MP na atmosfera começou apenas na última década. Sabe-se agora que diferentes mecanismos afetam o transporte dos MP pelo ar, como por exemplo, a velocidade e a direção do vento, correntes de ar ascendentes e descendentes, turbulências, precipitação de chuva e neve, e a topografia. O tempo de residência das partículas na atmosfera está também relacionado com o tamanho e a densidade das mesmas. As partículas mais pequenas e de menor densidade, podem ser transportadas até várias centenas de quilómetros desde a sua origem. As partículas com dimensões superiores a 0,0025 milímetros (tamanho equivalente à largura de um cabelo fino) e que abrangem uma proporção importante de MP, podem eventualmente sedimentar por gravidade.

A precipitação atmosférica de MP tem sido estudada em ambientes urbanos, suburbanos e remotos. Os dados abrangem de 0 até 1000 partículas de MP por

metro quadrado e por dia. A Figura 3.1 mostra os lugares onde tem sido analisada a deposição atmosférica de MP. Surpreendentemente, nem sempre os valores mais altos foram encontrados nos maiores núcleos urbanos. Por exemplo, relataram-se valores de deposição de MP na cidade de Dongguan na China (aproximadamente 10,5 milhões de pessoas) entre 175 e 313 partículas de MP por metro quadrado e por dia, ao passo que, num local remoto nos Pirenéus se encontraram valores entre 300 e 460 partículas por metro quadrado e por dia! Este facto pode estar relacionado com diferenças do tamanho das partículas analisadas, muito mais pequenas no segundo exemplo (até 0,0025 milímetros), o que dificulta a comparação entre os distintos estudos. Em todo caso, o facto de serem observados MP no ar desde zonas urbanas a áreas remotas, indica que a poluição por MP se tornou um problema global. Foi estimado que a fonte das partículas que atingem os Pirenéus teria uma origem regional (até 100 quilómetros de distância), distância esta que não abrange grandes cidades. Outros estudos reportaram a possibilidade dos MP atmosféricos viajarem por maiores distâncias, até vários milhares de quilómetros, atingindo as áreas polares.



Figura 3.1.

Mapa com a localização dos distintos estudos onde se relatam dados de deposição atmosférica de MP. 1- Paris (França, 2016); 2 - Dongguan (China, 2017); 3 -Tehran (Irão, 2017); 4 - Yantai (China, 2017); 5 - Pirenéus (França, 2019); 6 – Parque Nacional de Rocky Mountain (EUA, 2019); 7 - Hamburg (Alemanha, 2019), 8 - Shanggai (China, 2019); 9 - Londres (Inglaterra, 2020); 10 - Faro (Portugal, este trabalho).

Os diferentes valores de MP resultantes da deposição atmosférica encontrados nos distintos lugares também podem ser devidos às alturas do ano em que as amostras foram recolhidas. Os estudos publicados até agora, tiveram

uma duração de poucos meses, no máximo um ano, o que tem impedido de encontrar quaisquer padrões sazonais ou inter-anuais na precipitação de MP a partir do ar. O que sabemos é que a maioria dos MP que se encontram no ar têm forma de fibras, isto é, partículas em que o comprimento é muito superior ao das outras duas dimensões, pelo que, é assumido que têm praticamente uma única dimensão. Uma das hipóteses para a proveniência das fibras de MP, é a de que estas partículas têm a sua origem principal nas nossas roupas. Contudo, também se encontraram no ar MP em forma de filmes (partículas de duas dimensões) e fragmentos (partículas de três dimensões).

Não se tem muita informação sobre a composição química dos MP transportados pelo ar, o que torna difícil decifrar as suas fontes. Entre os tipos de MP mais encontrados em amostras de ar estão o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliéster (o politereftalato de etileno, PET, é o plástico mais conhecido deste grupo), o poliestireno (PS), o policloreto de vinilo (PVC) e as poliamidas (PA). Entre eles, o poliéster é um polímero (ver Caixa 3.1) utilizado frequentemente na indústria têxtil, entre muitas outras utilizações. O PE e o PP podem também ser utilizados em produtos têxteis, mas têm ainda muitas outras aplicações, como por exemplo no fabrico de embalagens, na construção civil, agricultura e na indústria automóvel (Tabela 3.1). O PS também é comum em embalagens, materiais de construção civil, pneus, e equipamentos elétricos. O PVC é utilizado para isolamento de cabos, tubos e piscinas insufláveis. As poliamidas (o náilon é o plástico mais conhecido deste grupo) são utilizadas nos têxteis, cordas e redes de pesca, e na indústria automóvel (Tabela 3.1).

Caixa 3.1. O que é um “Polímero”?

Um polímero (do grego, poli-, "muitos" + -meros, "parte") é um material composto por moléculas muito grandes, conhecidas como macromoléculas. Podem ter uma origem natural (por exemplo, as proteínas) ou sintética (por exemplo, os plásticos). Os polímeros, naturais e sintéticos, são formados a partir de unidades de baixa massa molecular (monómeros) em reações de polimerização, até atingir um determinado grau de polimerização. A sua elevada massa molecular traduz-se em propriedades físicas únicas, como a dureza, uma grande elasticidade e uma tendência para formar estruturas amorfas (sem ordenação espacial) e semi-cristalinas, em vez de cristais.

Tabela 3.1

Polímeros mais consumidos na União Europeia, Noruega, Suíça e Reino Unido.
(g cm⁻³)= gramas por centímetro cúbico; Mt= milhões de toneladas

Nome	Abreviatura	Densidade (g·cm ⁻³)	Procura global (Mt)	Exemplos das suas aplicações no mercado
Polietileno (de alta e baixa densidade)	PE (HDPE/LDPE)	0,92 – 0,97	14,90	Embalagens, sacos de uso único, sacos reutilizáveis, recipientes de uso geral, tampas de garrafas, filmes agrícolas, flutuadores.
Polipropileno	PP	0,90 – 0,91	9,70	Embalagens, tampas de garrafas, indústria automóvel, fibras industriais, cordas, canos, recipientes para micro-ondas.
Policloreto de vinila	PVC	1,16 – 1,58	4,70	Construção civil, canalizações, caixilhos de janelas, indústria automóvel (por exemplo, painéis interiores de portas), garrafas para produtos químicos, isolamento de cabos, embalagens para produtos farmacêuticos.
Politereftalato de etileno	PET	1,37 – 1,45	4,14	Garrafas de bebidas, embalagens, fibras de poliéster, isolantes térmicos.
Polistireno	PS	1,04 – 1,10	3,0	Espuma de embalagens, brinquedos, copos descartáveis, câmaras refrigerantes, CDs, videocassetes, contentores para alimentos.
Poliamida (por exemplo, náilon)	PA	1,02 – 1,05	0,85	Têxteis, linhas de pesca, cerdas de escovas de dentes, indústria automóvel, isolantes, utensílios de cozinha.
Álcool polivinílico	PVOH/PVA	1,26 – 1,33	Não há dados certos	Embalagens, indústria do papel, construção civil, têxteis, produtos eletrónicos, cosméticos, revestimentos industriais.
Polidimetilsiloxano (silicones)	PDMS	0,95 – 1,20	Não há dados certos	Agentes de polimento, vedantes e proteção, impermeabilização, lubrificantes e medicina dentária para próteses.

As nossas roupas e os têxteis em geral, parecem ser as principais fontes dos MP que respiramos, seguidas dos pneus dos carros e do pó das cidades como segunda e terceira fonte de MP que vão para o mar, respetivamente. Os fragmentos e os filmes, podem também ter a sua origem em produtos descartáveis como sacos de plástico e embalagens (por exemplo, PE e PET), em distintos materiais utilizados na construção civil (por exemplo, PVC), na incineração de resíduos, nos aterros sanitários, nas partículas sintéticas utilizadas em solos hortícolas (por exemplo, turfa de poliestireno), ou nas lamas de estações de tratamentos de águas residuais, que são utilizadas como fertilizante (ver Capítulos 1 e 8 para complementar a informação).

Estima-se que o transporte de contaminantes pelo ar seja responsável por 7% da poluição dos oceanos. No entanto, até agora, nenhum estudo mostrou efetivamente uma correlação entre os MP da deposição atmosférica e aqueles encontrados em águas costeiras.

Microplásticos no ar e o seu impacto na Ria Formosa

A nossa equipa tem levado a cabo um estudo anual dos MP que estão no ar da Ria Formosa, no Algarve (Figura 3.2 A). A Ria Formosa é um sistema de canais de marés com estatuto de parque natural desde 1987, designado como Área Protegida de Categoria III (Monumento ou Elemento Natural). Este sistema lagunar inclui vários habitats vulneráveis, mas protegidos, que consistem em sapais, praias, planícies de maré de areia siltosa e canais arenosos. Abriga habitats com elevada biodiversidade, incluindo espécies comerciais e não comerciais, importantes populações de ervas marinhas e cavalos-marinhos e tem um importante significado ornitológico que atrai muitos turistas.

Os MP atmosféricos foram recolhidos por meio de “coletores passivos”, consistindo em três garrafas de vidro de 2 litros, com um funil de 20 centímetros de diâmetro no topo (Figura 3.2 B). Estes funis contêm um crivo de 2 milímetros, pelo que, as partículas recolhidas são de diâmetro inferior a 2 milímetros. Isto é, menores do que uma ervilha. Os coletores foram colocados no telhado (aproximadamente a 4 metros acima do solo) do Centro Ciência Viva do Algarve, na cidade de Faro, situado na Ria Formosa (Figura 3.2 C). A precipitação atmosférica foi recolhida mensalmente, durante um período de um ano, entre novembro de 2020 e outubro de 2021. Dependendo das

condições meteorológicas, as partículas suspensas no ar seriam depositadas nos funis por meio de precipitação húmida (ou seja, presença de chuva) ou seca (ausência de chuva).

Foram ainda recolhidas mensalmente amostras de água da Ria Formosa, em frente ao Centro Ciência Viva, nos mesmos dias (ou próximo) em que foi recolhida a precipitação atmosférica. A colheita de água da Ria Formosa ocorreu sempre na maré alta e foi feita num caiaque. Uma rede de zooplâncton com malha de 0,1 milímetros (tamanho equivalente à largura de um cabelo meio-grosso) e com 27 centímetros de diâmetro, foi presa na parte de trás do caiaque e imersa alguns centímetros para recolher água sub-superficial (Figura 3.2 D). A aplicação Strava foi utilizada para registar a distância total percorrida, que foi de aproximadamente 350 metros.

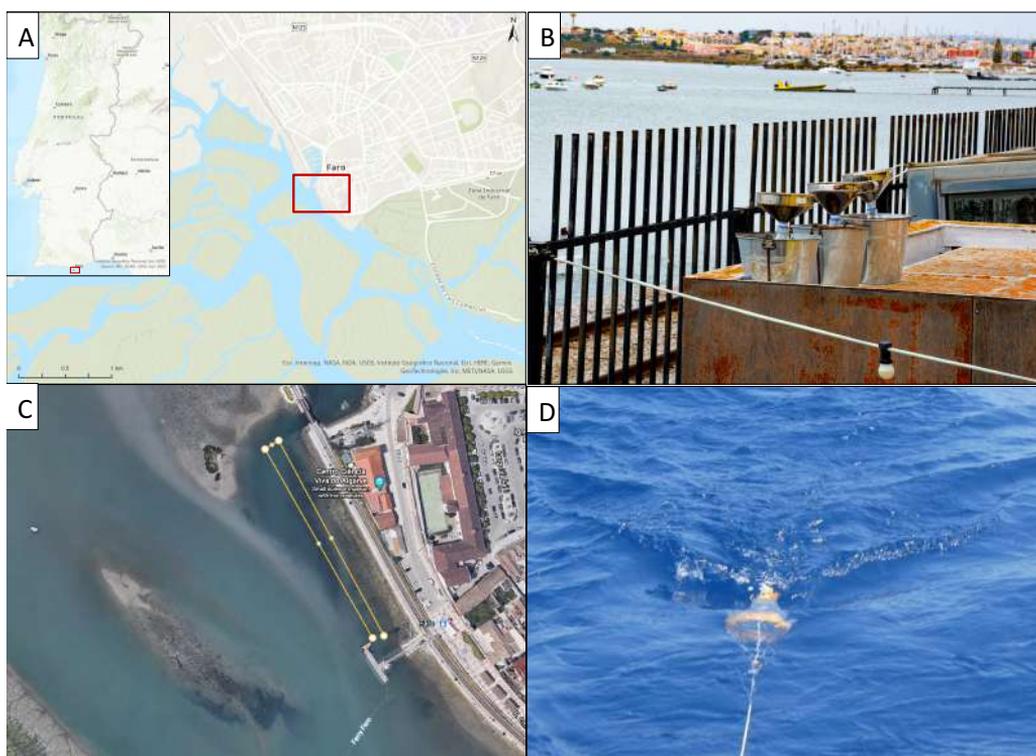


Figura 3.2.

- A: mapa de localização da área de estudo, na cidade de Faro (Portugal), no Parque Natural da Ria Formosa, onde se recolheram as amostras de ar e água;
- B: coletores passivos de deposição atmosférica (fotografia de Inés Sánchez del Río);
- C: transecto percorrido de caiaque na Ria Formosa, em frente ao Centro Ciência Viva do Algarve;
- D: rede de zooplâncton a recolher partículas da água superficial (fotografia de Inés Sánchez del Río).

As amostras atmosféricas e das águas costeiras foram mais tarde analisadas no laboratório. Foram tratadas com peróxido de hidrogénio (água oxigenada) para eliminar partículas orgânicas que poderiam interferir nas análises dos MP. Depois, as amostras foram filtradas com filtros de silício, que são transparentes e podem ser analisados num microscópio de infravermelhos de transformada de Fourier. Este instrumento tira uma fotografia do filtro e faz a análise química de cada partícula presente na amostra.

Durante o período de estudo, os fluxos de deposição atmosférica de MP variaram entre 7 e 98 partículas por metro quadrado e por dia (Figura 3.3), com um valor médio de 54 partículas por metro quadrado e por dia. As análises estatísticas mostraram que a deposição atmosférica de MP foi maior durante os meses de inverno (novembro – abril) do que no verão (maio – outubro). Os resultados na literatura que consultámos pareciam apontar para maiores fluxos de MP atmosféricos nos meses de inverno. No entanto, tanto quanto é do nosso conhecimento, este é o primeiro trabalho que relata estas diferenças sazonais. Não só os valores foram maiores no inverno, como também foi observada uma maior diversidade de polímeros. Mais particularmente, os polímeros da família do PVC e o álcool polivinílico foram os mais comuns no inverno, embora também fossem encontrados em menor quantidade, durante os meses de verão. As poliamidas como o náilon, tiveram fluxos semelhantes em ambas as estações do ano, sendo a proporção maior no verão. Embora as partículas de PE e PET fossem menos frequentes durante os meses de verão, estes plásticos foram observados durante o ano todo e a sua presença foi significativa (aproximadamente 7% em cada estação) (Figura 3.4). A deposição de MP no inverno (maior do que no verão) parece fortemente relacionada com eventos de chuva e inversamente relacionados com a temperatura, como esperado. Pelo contrário, a deposição atmosférica de MP durante o período de verão está positivamente correlacionada com a direção predominante do vento (do continente) e com a temperatura. A intensidade do vento não teve uma influência considerável nos fluxos em nenhuma estação.

Nas águas da Ria Formosa, a concentração média de MP encontrada foi de 3 MP por metro cúbico, abrangendo valores de zero (julho de 2021) a 11 (maio de 2021) partículas por metro cúbico (Figura 3.3). Neste caso, não se encontraram diferenças significativas entre os períodos quente e frio. Foi encontrada uma relação positiva entre o número de partículas e a intensidade do vento. Quanto maior a intensidade do vento, maiores são as correntes oceânicas de superfície, o que pode facilitar a entrada de MP do mar para a Ria. Nas águas

da Ria, as partículas identificadas como PVC e PE foram as predominantes, seguidas de PP e poliamidas (Figura 3.4). Embora estes plásticos também se encontraram nas amostras de ar, as proporções são bastante diferentes no caso do PE e PP, que foram muito mais abundantes nas amostras de água. Também os picos de MP nos dois tipos de ambientes não aconteceram nas mesmas alturas do ano (Figura 3.3). Enquanto que os valores de deposição atmosférica de MP foram claramente maiores no inverno, não observámos um padrão sazonal nas águas da Ria. Estes resultados levam à conclusão de que a deposição atmosférica no sul de Portugal não é a principal fonte de MP na Ria Formosa. Outras fontes como as correntes superficiais, a maré ou as estações de tratamento de águas residuais, podem trazer uma maior quantidade de MP para a Ria. Mesmo assim, a deposição atmosférica pode ser uma fonte importante de alguns MP, como o PVC, que, por ser mais pesado, pode depositar-se perto do lugar de origem – no nosso caso pode ser, por exemplo, os trabalhos de construção na cidade de Faro (ver aplicações na Tabela 3.1). Pelo contrário, os MP mais leves como o PE ou o PP podem ter viajado maiores distâncias antes de chegar até às águas da Ria Formosa. Os MP presentes na água, podem também ser ressuspensos e transportados pelo vento até várias centenas de quilómetros.

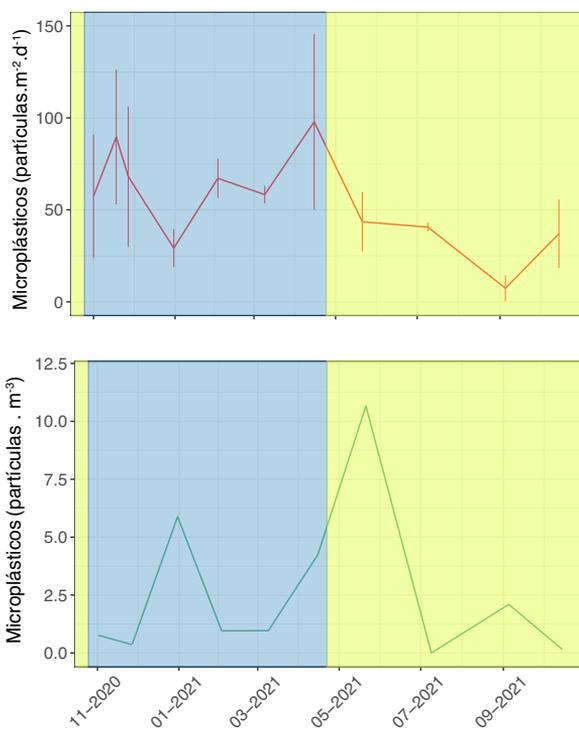


Figura 3.3. Séries temporais de fluxos de microplásticos atmosféricos e concentrações de microplásticos em águas da Ria Formosa. As barras de erro na série atmosférica correspondem ao erro padrão de três amostras. Duas estações foram definidas: inverno, entre os meses de novembro a abril (em azul), e verão, entre os meses de maio a outubro (em amarelo).

Quando se fala de MP, é preciso levar em consideração o tamanho das partículas para permitir comparar resultados em diferentes ambientes e partes do mundo. Na Ria Formosa, o tamanho das partículas analisadas abrangiam de 0,1 até 2 milímetros. Nesse sentido, ficou clara a predominância dos intervalos de menores tamanhos de MP em ambos os tipos de amostras. Cerca de 70% dos MP identificados na deposição atmosférica tinham um tamanho entre 0,1 a 0,2 milímetros, mais pequenos do que o insecto mais pequeno do mundo! Da mesma forma, mais de metade das partículas de MP encontradas nas amostras de água foram classificadas no intervalo do menor tamanho considerado. Entre 0,1 e 1 milímetro, em geral, quanto maior o tamanho, menor a quantidade de MP encontrada. Alguns MP maiores que 1 milímetro foram analisados, mas estes corresponderam apenas a 7% dos MP encontrados na água e a menos de 2% no caso da deposição atmosférica.

Quais são os impactos dos microplásticos atmosféricos?

Os MP atmosféricos transportados pelo vento vão eventualmente depositar-se em distintos ambientes, incluindo zonas afastadas de núcleos urbanos. A Figura 3.5 resume o ciclo dos MP que viajam pela atmosfera, desde a sua produção até à sua deposição em rios, montanhas e mares. Estudos recentes reportaram a possibilidade dos MP atmosféricos terem viajado por distâncias de até 6000 quilómetros, atingindo as áreas polares. Já se encontraram MP no Ártico e na Antártida, e também no topo das mais altas montanhas, como o monte Everest. Existe ainda um risco climático adicional, considerando a capacidade dos MP para absorver radiação solar e acelerar assim o derretimento da neve.

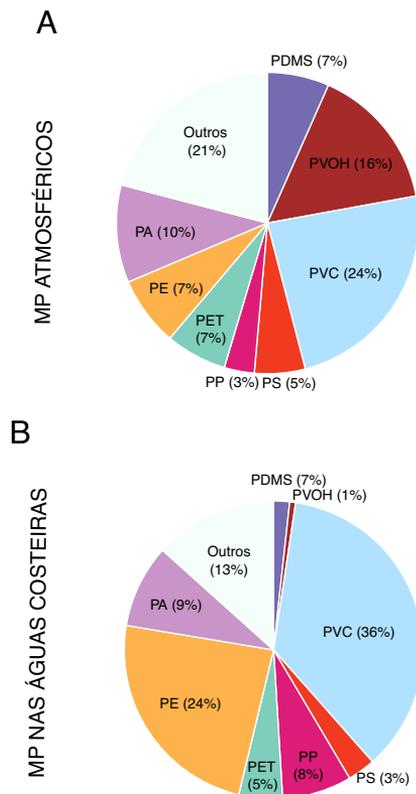


Figura 3.4. Principais grupos químicos de microplásticos que se identificaram nas amostras de deposição atmosférica e nas águas da Ria Formosa: PE – polietileno (incluindo de alta e baixa densidade), PP – polipropileno, PET – Politereftalato de etileno, PS – poliestireno, PVC – policloreto de vinila, PA – poliamida, PVOH – álcool polivinílico.

Não é fácil levar a cabo estudos de toxicidade em humanos, mas estudos epidemiológicos já indicaram que a poluição do ar por partículas está ligada a efeitos adversos respiratórios e cardiovasculares (ver Capítulo 7). Neste aspeto, quanto menor o tamanho das partículas, mais fácil é entrar no sistema respiratório e atingir os pulmões. Embora não se tenha estudado a relação direta entre exposição a MP atmosféricos e doenças nos humanos, sabe-se que os trabalhadores em determinadas profissões podem estar expostos a altas concentrações de MP, resultando em doenças ocupacionais. Alguns exemplos são trabalhadores muito expostos as fibras sintéticas, como aqueles da indústria têxtil sintética e pecuária. A maioria dos estudos associa a inalação de fibras sintéticas a doenças respiratórias, tais como lesões nas vias aéreas inferiores, redução da capacidade de ventilação, dispneia grave ou cancro de pulmão. Também se tem relatado doenças respiratórias nos trabalhadores da indústria do PVC. A polimerização do cloreto de vinilo produz PVC como um pó branco respirável. Alguns estudos já encontraram uma conexão entre a exposição a poeira de PVC e monômeros de cloreto de vinilo com a doença pulmonar restritiva indiferenciada.

Se os MP atmosféricos podem ter efeitos negativos na saúde humana, também podem ter um impacto na economia. Os países com políticas de saúde pública vão ter de investir mais dinheiro neste sector por causa dos MP (e outros poluentes ambientais). Nos países carentes de serviços de saúde pública, vão ter de ser os cidadãos a custear o impacto dos MP na saúde. Se as concentrações de MP atmosféricos continuarem a aumentar nos próximos anos, o que com certeza vai acontecer, e se não fizermos nada para solucionar este problema, os MP podem ter ainda um impacto negativo em sectores como o turismo ou o transporte aéreo.

Como podemos reduzir a poluição do ar por microplásticos?

Para sabermos solucionar os problemas ambientais é preciso analisarmos as causas. Ainda não sabemos com certeza a origem de todos os MP que estão na atmosfera, mas, para já, sabemos que a indústria têxtil e automóvel são uma fonte importante de MP no ar que respiramos. Sabe-se ainda que as roupas libertam mais fibras nas máquinas de lavar (e eventualmente para o ar) durante as primeiras utilizações. Após estas, a libertação de fibras diminui de maneira exponencial. Neste aspecto, o que podemos fazer é comprar menos roupas e que as mesmas sejam de maior qualidade, para durar mais tempo. É ainda pre-

ferível que sejam de fibras naturais, como o algodão ou o linho. Relativamente aos MP da indústria automóvel, como os liberados pelos pneus ao longo do tempo, o que se pode fazer é andar menos de carro e mais de bicicleta, ir a pé, ou utilizar transportes públicos. Desta forma, combina-se a menor libertação de MP para a atmosfera, com os efeitos positivos para a saúde!

Embora nem sempre seja possível saber as principais fontes dos MP que cruzam os céus, uma coisa é certa: os MP que estão no ambiente têm a sua origem nas atividades humanas, mais particularmente nos produtos a que chamamos “de uso único”, ou que são usados por pouco tempo (por exemplo, embalagens) e que representam aproximadamente 50 % da produção total anual de plásticos. Nós utilizamos estes produtos por apenas uns minutos, para depois ficarem no ambiente por décadas ou centenas de anos (na verdade, ainda não sabemos, já que os plásticos fazem parte das nossas vidas há menos de 100 anos!). Vários países e estados já introduziram algumas leis para reduzir os plásticos de uso único. O mais bem-sucedido até ao momento, talvez tenha sido a implementação de proibições ou taxas sobre sacos plásticos descartáveis, contribuindo para reduções de sacos entre 33 % no estado da Califórnia e até 94 % na Irlanda. Na Europa, foi publicada em 2019 a Estratégia Europeia para os Plásticos numa Economia Circular, com o objetivo de proibir a utilização de determinados artigos de plástico descartáveis (por exemplo, talheres, copos de bebidas, palhinhas, ou cotonetes). Com a pandemia da COVID-19, a implementação desta e de outras medidas tem sido adiada. Durante os primeiros anos da pandemia, o mundo testemunhou um aumento sem precedentes na demanda de plásticos, como máscaras, luvas descartáveis, água engarrafada, e desinfetantes para as mãos, entre outros produtos, o que representou um passo para trás na luta contra a poluição por plásticos.

Independentemente das medidas legislativas propostas pelos governos do mundo, convidamos os leitores deste livro a utilizarem os plásticos com cautela, especialmente aqueles de uso único. Sempre que seja possível, é preferível comprar produtos que não sejam de plástico. Por exemplo, copos de vidro/chávenas, garrafas de vidro/metálicas, sacos de pano, ou palhinhas de metal. Ou, se forem de plástico, podemos utilizá-los logo que possível. Não convém é serem aquecidos (por exemplo, relativamente às lancheiras), já que, podem libertar poluentes tóxicos como os ftalatos ou o bisfenol A, que são aditivos habitualmente adicionados aos plásticos (ver Capítulo 1).

A reciclagem tem de ser a última opção. Quando já não conseguimos dar mais uma vida aos materiais. Até porque, muitos tipos de plástico como o PVC, o PS ou o náilon ainda não são recicláveis, já que, para as empresas fica mais barata a produção de novos produtos. Mas para o ambiente, e para a nossa saúde, o preço é muito maior!

Agradecimentos

Isabel Marín Beltrán agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), pelo financiamento recebido no âmbito do programa Estímulo ao Emprego Científico, Apoio Individual (CEECIND/03072/2017). O estudo contou ainda com o financiamento da FCT através dos projetos PTDC/CTA-AMB/7782/2020, UIDB/04326/2020, UIDP/04326/2020 e LA/P/0101/2020. As autoras também agradecem ao Centro Ciência Viva do Algarve a possibilidade de colocar os coletores passivos para recolher as partículas atmosféricas, assim como a ajuda dada pelas pessoas que lá trabalham sempre que foi precisa. Agradecemos também a colaboração de Pablo Tierz López, Nuria Fernández de Villalobos e Victor Gallego Albiach pela colaboração na coleta das amostras da água da Ria. As autoras agradecem aos editores do livro, a Valdemira Afonso e a Lúcia Guilhermino pelas suas revisões e sugestões para melhorar este capítulo.

Bibliografia consultada

- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V.R., Le Roux, G., Durántez-Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S. & Galop, D., 2019. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geosciences* 12: 339–344.
<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0409-4>.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C. & Tassin, B., 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin* 104 (1-2): 290–293.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>.
- Plastics Europe, 2021. Plastics - the facts 2021. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>. Acesso em Março de 2023.
- Prata, J.C., 2018. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution* 234: 115–126.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>.
- Zhang, Y., Kanga, S., Allen, S., Allen, C., Gaod, T. & Sillanpää, M., 2020. Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews* 203, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>.

4. Será que há microplásticos na costa sul de Portugal?

Maria João Bebianno¹, Sónia Cristina¹, Justine Nathan¹, Priscila Goela^{1,2}, Flávio Martins^{1,3}, Eloah Rosas¹, Joanna Gonçalves¹, Delminda Moura¹

¹CIMA - Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ARNET- Aquatic Research Network, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, Portugal

²S2AQUAcoLAB, Olhão, Portugal.

³Instituto Superior de Engenharia (ISE), Campus de Gambelas, Universidade do Algarve, 8005-139 Faro, Portugal.

mbebian@ualg.pt, sccristina@ualg.pt, justine2nathan@hotmail.com, priscila.goela@gmail.com, fmartins@ualg.pt, egrosas@ualg.pt, joannangoncalves@gmail.com, dmoura@ualg.pt

À procura de microplásticos no litoral do Algarve

Milhões de toneladas de plásticos produzidas por várias atividades humanas, com diversos tamanhos e formas, entram anualmente no oceano (ver Capítulo 1) e têm sido encontrados na água, nos organismos e no sedimento das praias e dos fundos oceânicos.

Os microplásticos são partículas de plástico muito pequenas (inferiores a 5 milímetros), incluindo algumas com dimensões na nanoescala (até 100 nanómetros), também designadas por nanoplásticos. Os microplásticos estão presentes em oceanos e mares de todo o mundo e têm efeitos nocivos nos recursos vivos marinhos que constituem um alimento importante para a população humana. São ingeridos por organismos marinhos como moluscos (por exemplo, mexilhões, amêijoas, ostras), crustáceos (camarões, carangueijos), peixes (por exemplo, linguado e robalo) e muitos outros, muitas vezes por serem confundidos com as partículas que normalmente constituem a alimentação dessas espécies.

Caixa 4.1. Porque são os moluscos espécies bioindicadoras ou espécies-sentinela da contaminação no oceano?

Os moluscos, são consideradas espécies bioindicadoras ou espécies-sentinela porque possuem as seguintes características:

- (i) são sésseis filtradores e acumulam compostos na forma tanto dissolvida como particulada presentes na água, permitindo a medição dos níveis de stressores acumulados nos seus tecidos, o que por sua vez é um bom indicador da saúde do ambiente circundante;
- (ii) são relativamente resistentes a uma grande variedade de contaminantes e stressores ambientais (por exemplo, salinidade e temperatura), podendo assim sobreviver em ambientes stressantes;
- (iii) são facilmente recolhidos e mantidos sob condições laboratoriais bem definidas;
- (iv) encontram-se em densidades elevadas em populações bastante estáveis, permitindo amostragens repetidas;
- (v) têm ampla distribuição geográfica (tanto em ambientes de água doce como salgada), permitindo a comparação de dados entre diferentes áreas;
- (vi) existe extensa informação sobre a sua biologia e a sua resposta a uma ampla gama de condições ambientais.

Em 2018, foi assinalada a presença de microplásticos na água e em moluscos bivalves (mexilhões *Mytilus galloprovincialis* e amêijoas *Scrobicularia plana* e *Ruditapes decussatus*) em sete locais da costa sul de Portugal. Estes moluscos são considerados bioindicadores ou espécies-sentinela da presença de contaminantes no meio marinho (Caixa 4.1), incluindo micro e nanoplásticos (ver Capítulo 1). Entre os organismos analisados, 86% dos mexilhões e mais de 90% de amêijoas da espécie *R. decussatus* continham microplásticos, não tendo sido estes detetados na amêijoas branca (*S. plana*). O número, o tamanho e a cor dos microplásticos dependeram dos locais onde as espécies foram recolhidas. A percentagem mais elevada de mexilhões contendo microplásticos foi detetada entre Portimão e Sagres.

Os bivalves são, portanto, da maior utilidade para diagnosticar a presença de microplásticos e nanoplásticos no meio marinho (Caixa 4.2). As espécies sentinela têm sido amplamente utilizadas em todo o mundo para avaliar tanto o estado atual, como as mudanças ao longo do tempo da qualidade do ambiente aquático devido a diferentes stressores. Várias características tornam os bivalves particularmente importantes e amplamente utilizados como organismos sentinela.

Com o objetivo de avaliar a quantidade, o tipo e a dimensão dos microplásticos dispersos na água, em mexilhões e no sedimento no litoral da região sul de Portugal, dando continuidade à campanha de 2018, realizou-se uma segunda campanha de amostragem inserida no Projeto PLASTICSEA (FA-06-2017-046), financiado pelo Fundo Azul do Ministério da Economia e do Mar. Foram recolhidas amostras de água, mexilhões e sedimento em março e em setembro de 2022 em onze locais (estações de amostragem) na costa sudoeste do Algarve (Praia da Barriga) e ao longo da costa meridional entre Sagres e Vila Real de Santo António, junto à foz do Rio Guadiana (Figura 4.1).

Caixa 4.2. Porque são os moluscos bivalves bons bioindicadores?

A designação de moluscos vem da palavra latina 'molluscus', que significa "macio". Apesar de certos grupos de moluscos possuírem uma concha, todos são de corpo mole, tornando-os vulneráveis a predadores e vírus. Mesmo aqueles que têm uma concha protetora, precisam de a abrir ou estender o pé musculoso (estrutura anatómica) para alimentação e locomoção. Como resultado, a concha não é uma verdadeira barreira física contra infeções microbianas ou entrada de contaminantes.

Os moluscos bivalves e em particular os mexilhões, são espécies bioindicadoras por terem as características indicadas na Caixa 4.1.



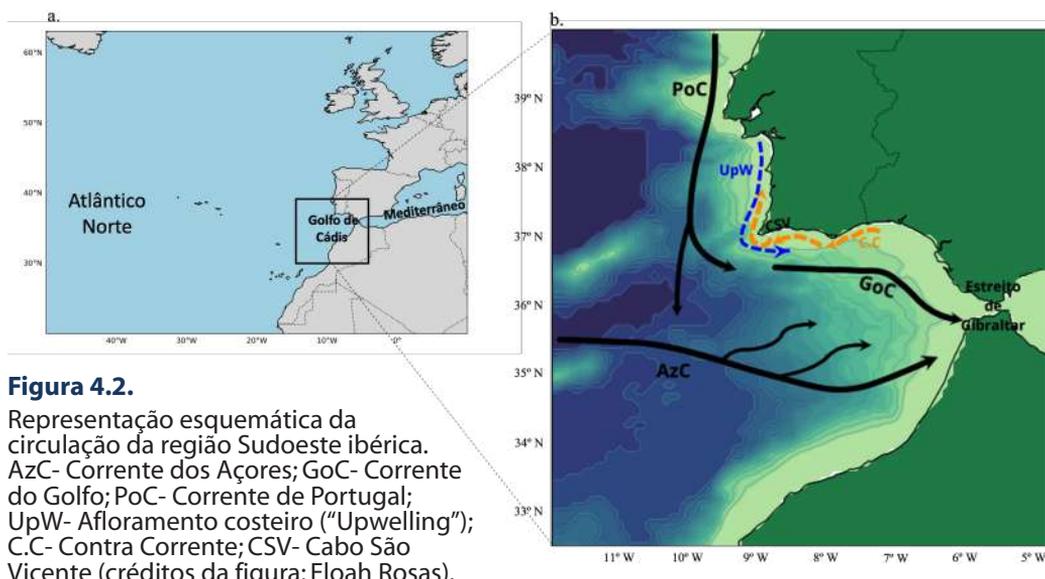
Figura 4.1.

Localização das estações de amostragem. Os números a cinzento no mapa, correspondem às fotografias dos locais com o mesmo número. Fonte do mapa do Algarve: imagem de satélite modificada (Cristina, 2022) Sentinel-2B Level 2A (24-02-2020), processada pela Agência Espacial Europeia (ESA). As fotografias são da autoria dos membros da equipa do presente Capítulo.

Caracterização hidrodinâmica do litoral do Algarve

A costa do Algarve estende-se ao longo da costa Sudoeste da Península Ibérica, entre as coordenadas geográficas 37° a 37° 05'N (latitude) e 09° 07' 4"W (longitude). Com mais de 200 quilómetros de extensão, a região do Algarve é reconhecida mundialmente pela sua vasta e diversificada costa, com praias, falésias e parques naturais, que atraem turistas de todas as partes do mundo, em busca de sol e atividades recreativas ligadas ao mar, sendo também as especialidades culinárias preparadas com espécies marinhas muito apreciadas. O clima mediterrânico, com verões longos e quentes, torna a região altamente desejável, sendo que, mais de quatro milhões de turistas visitam o Algarve anualmente, impulsionando o turismo como a principal atividade económica da região, a qual também possui uma indústria pesqueira consolidada e um sector de aquicultura em crescimento. À semelhança de outras regiões costeiras, essas atividades podem impactar negativamente o ambiente marinho, incluindo a poluição por resíduos plásticos. É importante considerar medidas de preservação e conservação do ecossistema marinho, garantindo o desenvolvimento económico da região de forma sustentável.

O Algarve enfrenta desafios complexos, como a necessidade de equilibrar as indústrias de turismo, pesca e aquicultura com a proteção do meio ambiente. A circulação da água é um elemento crucial nessa problemática, pois influencia a biodiversidade marinha e a disseminação de poluentes, como por exemplo o lixo marinho contendo plástico. A circulação da água na região está intrinsecamente ligada à sua localização geográfica no Atlântico Norte e à sua proximidade ao Mar Mediterrâneo, tornando-a uma zona de convergência de correntes oceânicas (Figura 4.2; ver também o Capítulo 2). Esta circulação explica a existência de uma grande variedade de espécies marinhas e é fundamental para compreender a interação entre as indústrias e a natureza e para promover uma gestão sustentável e eficaz da costa do Algarve.



A circulação próxima da costa Sul e Sudoeste do Algarve é produzida por uma complexa interação entre as condições atmosféricas e a topografia costeira, que pode levar à formação de afloramentos costeiros (“upwelling”) e estruturas de mesoescala associadas. De abril a setembro, ocorrem eventos de afloramento que trazem à superfície água fria e rica em nutrientes das profundezas do oceano. Esses eventos são impulsionados pela combinação de constantes e intensos ventos de norte e da zona costeira, que, de acordo com a teoria de Ekman, força a água próxima da superfície a deslocar-se para fora da costa. Isto resulta numa banda de água fria, na camada superficial, até cerca de 100 metros de profundidade, ao longo da costa oeste portuguesa, que se desloca para sul e por vezes contorna o cabo de São Vicente seguindo por algum tempo junto à costa sul do Algarve .

A costa Sul do Algarve também possui eventos de afloramentos produzidos localmente. Estes são gerados por ventos provenientes do quadrante oeste, mas ocorrem com menor frequência e intensidade em comparação com a costa oeste. Isso, porque a orientação da costa sul muda abruptamente no Cabo de S. Vicente, que se encontra virado para sul. Como resultado, o transporte offshore (mar alto) Ekman (upwelling) também pode ser induzido por ventos de oeste, e a água resultante de upwelling flui para leste ao longo da costa sul, podendo atingir o ponto mais oriental da região em Vila Real de Santo António.

Para além do afloramento costeiro, durante o verão também são observados períodos em que existe uma contracorrente quente que flui para oeste ao longo da costa sul durante períodos de relaxamento (abrandamento) dos ventos norte e/ou oeste. Em algumas ocasiões, essa corrente gira no sentido dos ponteiros do relógio em torno do Cabo de São Vicente e flui para norte ao longo da costa oeste do Algarve. Ao longo do resto do ano, de outubro a março, os ventos de sudoeste que predominam na Península Ibérica provocam uma inversão da circulação superficial do oceano, o que leva à formação da “Contracorrente Costeira Portuguesa “. Esta corrente flui para norte ao longo da costa ocidental e para leste ao longo da costa sul. Como resultado, o fluxo para norte é detetado desde a superfície até 1500 metros de profundidade, incluindo a presença de água mediterrânica ao longo da costa oeste e norte da Península Ibérica. Durante os períodos de afloramento costeiro, a Contracorrente Costeira Portuguesa ainda está presente na costa portuguesa, mas a sua intensidade é reduzida em comparação com os períodos em que o afloramento não ocorre.

Ao longo da costa da Península Ibérica, em regiões mais afastadas da costa, é comum encontrar uma corrente de deriva para leste, que é alimentada pelas correntes de superfície do Atlântico Norte, também conhecida como Corrente do Golfo, que é uma continuação da Corrente de Portugal. Logo abaixo, é possível observar as águas de escoamento mediterrâneo que fluem em direção ao Oceano Atlântico na camada mais profunda do mar. Essas águas seguem para oeste ao longo do Golfo de Cádiz, entrando no Oceano Atlântico. Uma parte dessas águas também gira para o Norte na região mais ocidental, próximo ao Cabo de São Vicente e espalha-se gradualmente ao longo da plataforma Oeste Ibérica, podendo alcançar regiões mais afastadas, como o Golfo da Biscaia.

Como recolhemos e analisámos os microplásticos?

A recolha e a identificação de microplásticos decorreu em duas etapas. Uma no campo, onde se recolheram 10 litros de água do mar, mexilhões e sedimento em cada estação de amostragem e a outra no laboratório onde as amostras foram analisadas (Figura 4.3). Cada local foi georreferenciado utilizando um sistema de posicionamento global (GPS). De forma a eliminar qualquer tipo de contaminação com plástico proveniente de outras fontes, foi utilizado material de vidro ou de metal, quer durante a amostragem

quer durante o manuseamento no laboratório. Mediu-se em cada local a temperatura e a salinidade da água, a direção e a velocidade do vento e estimou-se a altura e a direção das ondas. No laboratório, a água foi filtrada (Figura 4.3 b), utilizando filtros de acetato de celulose com tamanho dos poros igual a 0.8 nanómetros (um nanómetro é a bilionésima parte do metro). Os filtros foram observados ao microscópio para identificação do tamanho e da cor dos microplásticos que neles ficaram retidos.

Em cada estação de amostragem, foram recolhidos vinte mexilhões que foram embalados individualmente em papel de alumínio, ou colocados no interior de recipientes de vidro ou de metal (Figura 4.4 a) e transportados em contentores isotérmicos (mantêm a temperatura) a 4°C até ao laboratório onde foram congelados a -20°C até serem analisados.

No laboratório, os mexilhões foram medidos e pesados. O seu tecido (partes moles) foi separado da concha (Figura 4.4 b), pesado e colocado num Erlenmeyer (frasco de vidro em forma de balão) ao qual foi adicionada uma solução de hidróxido de potássio a 10% (numa proporção 5:1) e colocado numa estufa a 50°C para digerir (destruir) toda a matéria orgânica presente (Figura 4.4 c). Seguiu-se a separação das partículas de microplástico da solução contendo o tecido do organismo entretanto digerido. Para tal, adicionou-se uma solução hipersalina de cloreto de sódio (sal) para promover a flutuação dos microplásticos, uma vez que estes são menos densos que a solução preparada. A camada superior da solução, contendo as partículas de microplásticos flutuantes foi recolhida e filtrada, utilizando um filtro idêntico ao utilizado na análise da água. Os filtros foram guardados em caixas de Petri de vidro, até posterior análise em microscópio (cor, tipo e tamanho) e por espectroscopia de infravermelhos por transformada de Fourier (FTIR) para determinar a sua composição química (ver Caixa de texto 7.2 do Capítulo 7).

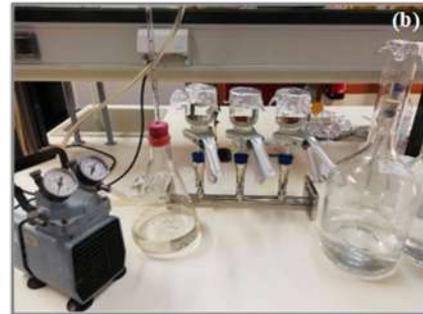


Figura 4.3.

- (a) recolha de amostras de água (Fotografia John Icely, 2021);
- (b) filtração das amostras em laboratório para identificação de microplásticos na água (Fotografia: Justine Nathan, 2021).



Figura 4.4.

- (a) recolha de mexilhões (Fotografia: John Icely, 2021);
(b) processamento das amostras em laboratório: medição dos organismos (Fotografia: Justine Nathan, 2021);
(c) digestão da matéria orgânica num Erlenmeyer (Fotografia: Justine Nathan, 2021).

As amostras de sedimento foram recolhidas durante a maré baixa com colhedores de aço inoxidável, fabricados para o efeito, de modo a que todas as amostras tivessem volume idêntico (Figura 4.5 a). Os sedimentos foram armazenados em frascos de vidro, com capacidade de 125 centímetros cúbicos e mantidos a 20°C até serem analisados (Figura 4.5 b). No laboratório, secaram-se os sedimentos numa estufa a 40°C durante 72 horas. A matéria orgânica do sedimento foi depois digerida, utilizando peróxido de hidrogénio (água oxigenada) a 30% (Figura 4.5 c). Os sedimentos foram então submetidos a uma triagem mecânica, fazendo passar cada amostra por uma coluna de crivos, com malha sucessivamente mais fina, do topo para a base: 500, 355, 250, 180, 125, 90 e 63 micrómetros (Figura 4.5 d). Assim dividido em classes granulométricas (tamanho das partículas), foram isoladas as partículas de microplásticos por flutuação, utilizando uma solução hipersalina de cloreto de sódio (1,2 gramas de sal por cada centímetro cúbico de água) (Figura 4.5 e). Após filtragem, num processo também semelhante ao utilizado para a água e para os mexilhões, as partículas de microplástico foram caracterizadas no microscópio quanto à forma, tipo, cor e tamanho e à composição química por FTIR.

Figura 4.5.

- (a) colheita de sedimentos com colhedores de aço inoxidável;
- (b) armazenamento em frascos de vidro e processamento das amostras em laboratório;
- (c) tratamento do sedimento com peróxido de hidrogénio para remover a matéria orgânica;
- (d) divisão granulométrica do sedimento através de triagem mecânica;
- (e) separação das partículas de microplásticos por flutuação, utilizando uma solução hipersalina de cloreto de sódio

(Fotografias: Sónia Cristina, 2021 (a e b) e Justine Nathan, 2021 (c, d, e).



O que observámos em cada uma das amostras recolhidas?

Encontrámos microplásticos em todas as amostras de água, mexilhões e sedimento recolhidos na Praia da Barriga na costa sudoeste, bem como, ao longo da costa meridional do Algarve, desde Sagres a Vila Real de Santo António (Figura 4.6), embora a quantidade, a cor, o tamanho e a forma tivessem variado entre os diversos locais. Foi em Sagres, Portimão e Olhão (respectivamente locais 2, 5 e 9 na Figura 4.1), que foram identificadas as maiores percentagens de microplásticos na água, nos mexilhões e no sedimento (Figura 4.6). Os valores mais elevados nos mexilhões ocorreram em Sagres (local 2 na Figura 4.1) e Portimão (local 5 na Figura 4.1), enquanto que, na água, foram mais elevados em Sagres e Olhão (Figura 4.6). No sedimento, a maior percentagem de microplásticos foi encontrada em Sagres e Olhão (respectivamente os locais 2, e 9, na Figura 4.1).

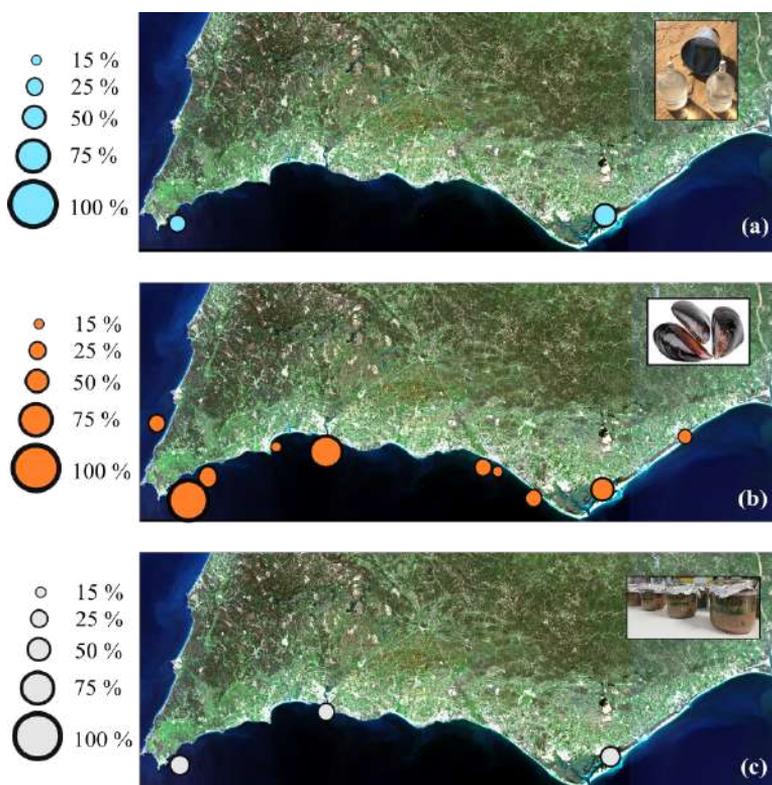


Figura 4.6.

Percentagens de ocorrência de microplásticos ao longo da costa do Algarve, em amostras de água (a), mexilhão (b) e sedimento (c).

Para esta figura, considerámos apenas as ocorrências acima dos 15% do total de cada variável. Imagem de satélite modificada (Cristina, 2022) Sentinel-2B Level 2A (24-02-2020), processada pela Agência Espacial Europeia. (Fotografias: Sónia Cristina 2021).

Os microplásticos caracterizam-se pela sua densidade, forma, tamanho, composição e cor, sendo que, os de maior densidade têm tendência para se depositar no sedimento. Os microplásticos identificados na água, nos mexilhões e no sedimento tinham diferentes cores, sendo a cor azul a predominante na água e nos mexilhões, enquanto que, no sedimento os microplásticos foram principalmente transparentes (Figura 4.7). A cor negra foi frequente nos mexilhões (32,2%) e na água (16%), enquanto que, no sedimento, ocorreu apenas em 4,9% das partículas identificadas. A cor verde teve representatividade significativa e semelhante nos mexilhões (6,3%), na água (6,5%) e no sedimento (6,9%). As restantes cores ocorreram em percentagens inferiores a 5%, com exceção das partículas vermelhas na água (7,5%). Os microplásticos diferiram também na forma e no tamanho.

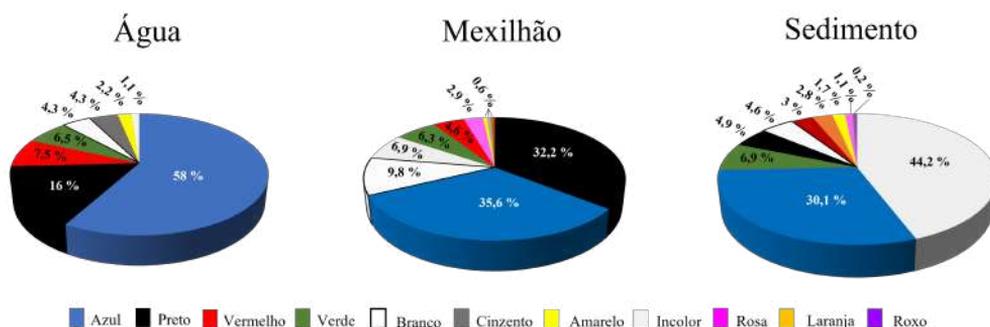


Figura 4.7. Cor dos micropelásticos presentes nas amostras de água, mexilhões e sedimentos ao longo da costa do Algarve.

Quanto à forma, os micropelásticos agruparam-se em três tipos: fragmentos, fibras e filmes (películas). Nas amostras recolhidas, predominaram as fibras em Sagres e Olhão (86,4% e 84,0%, respetivamente) e os fragmentos em Portimão, onde as fibras representaram apenas 19,7%. Os micropelásticos com forma de filme ocorreram em percentagens menores, com um máximo de 4,5% em Portimão. Em geral, os fragmentos foram as partículas de micropelástico predominantes na água e nos mexilhões, enquanto que, as fibras predominaram nos sedimentos. A percentagem de filmes detetada nos mexilhões (3%) foi semelhante à dos sedimentos (Figura 4.8). Considerando a morfologia e a cor, os fragmentos foram principalmente transparentes ou de cor azul (59,2%), enquanto que as fibras, apesar de maioritariamente transparentes (37,0%), ocorreram também em quantidades significativas em preto, verde (10%) e azul (19%). As restantes cores das fibras representaram 24% no total. Não encontramos nenhuma relação entre a cor e o tamanho das partículas (Figura 4.9).

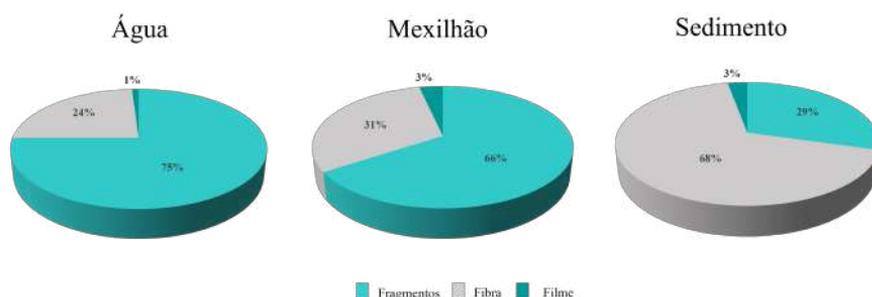


Figura 4.8. Tipo dos micropelásticos presentes nas amostras de água, mexilhões e sedimentos ao longo da costa do Algarve.

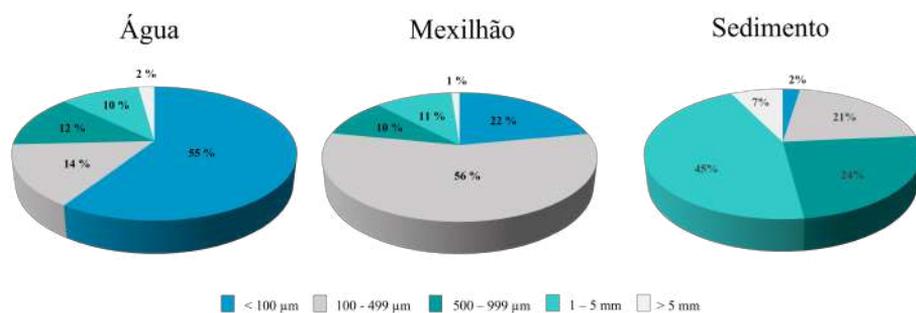


Figura 4.9.

Tamanho dos microplásticos detetados em amostras de água, mexilhões e sedimentos ao longo da costa do Algarve.

Para identificar a composição das partículas de microplásticos presentes nas amostras que recolhemos, utilizámos espectroscopia de FTIR (ver explicação na Caixa de texto 7.2 do Capítulo 7). A composição dominante das partículas de microplástico na água, nos mexilhões e nos sedimentos foi o polipropileno (PP) seguida sucessivamente do polietileno (PE) e do polietileno tereftalato (PET) e com menor representação do náilon, do poliestireno (PS), de partículas de acrílicos, poliuretano (PU) e poliéster (ver Capítulo 1 e Figura 4.10).

O polipropileno (PP) e o polietileno (PE) são os tipos dominantes nos microplásticos analisados, representando um total de 77,1 %. Embora em percentagem semelhante, o PP (38,8%) e o PE (38,3%) têm expressão muito diferente nos diversos locais. O PP predomina em Sagres e Olhão, enquanto que o PE ocorre principalmente em Portimão. O maior número de microplásticos e a maior diversidade quanto à composição, foram encontrados em Sagres.

A composição das fibras é principalmente PP, maioritária em Sagres e Olhão, enquanto que, os fragmentos predominantes em Portimão, são principalmente de PE. As fibras são as que ocorrem numa maior diversidade de composição, enquanto que, os filmes ocorrem apenas em três composições (PE, PET e PVC).

Verificou-se que existia uma relação entre a composição dos microplásticos e a sua morfologia (forma). As fibras foram principalmente compostas por PP (Sagres e Olhão), enquanto que, os fragmentos foram sobretudo de PE (em Portimão). As fibras foram as que ocorreram numa maior diversidade de composição, enquanto que os filmes foram apenas de PE, PET e PVC.

De entre as composições predominantes (PP e PE), as partículas de PP ocorreram em todas as cores, mas principalmente em azul e verde e também em partículas transparentes.

Como explicar o que descobrimos?

Existem no Algarve três *hotspots* (locais de maior incidência) onde a ocorrência de microplásticos é preocupante, que são, de oeste para este: Sagres, Portimão e Olhão. Esta situação já tinha sido identificada em 2018.

Em Sagres, predominaram fibras de PP principalmente transparentes. Em Portimão, foram os fragmentos de PE transparentes ou de cor azul, que predominaram sobre os restantes microplásticos. À semelhança de Sagres, foram as fibras de PP que predominaram em Olhão, mas a cor dominantes foi o azul.

As variáveis que controlam a distribuição e a tipologia dos microplásticos são: (i) variáveis ambientais, como a direção e energia das ondas e correntes, (ii) tipo de substrato (por exemplo, areia ou argila) e densidade da água, (iii) características intrínsecas das próprias partículas (por exemplo, densidade e forma) e variáveis relacionadas com atividades humanas (ver Caixa 4.3).

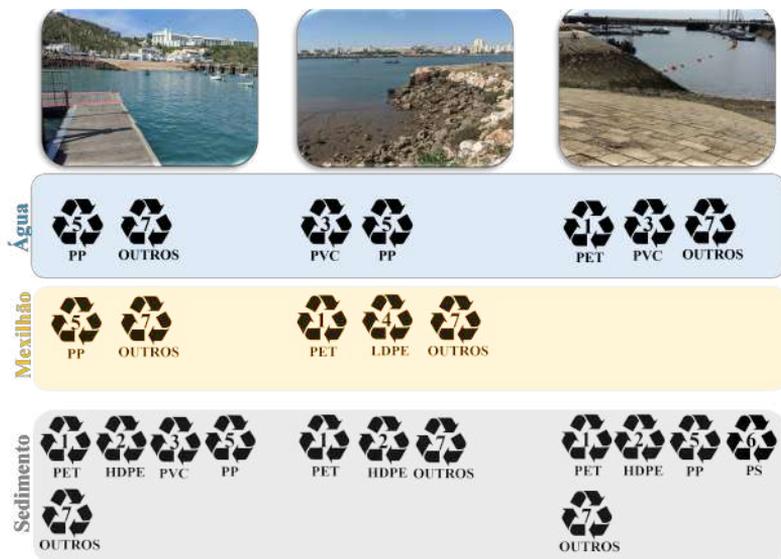


Figura 4.10. Tipo de microplásticos identificados em água, mexilhões e sedimentos em Sagres, Portimão e Olhão. Os símbolos são os utilizados no Capítulo 1. Fotografias da autoria de John Icely e Sónia Cristina (2021) e figura elaborada por Sónia Cristina (2023).

Caixa 4.3. Qual a origem dos microplásticos?



As fibras compostas principalmente por PP que predominaram em Sagres e em Olhão são menos densas (0,90 gramas/centímetro cúbico) do que os fragmentos de polietileno (PE: 0,92-0,96 gramas/centímetro cúbico) que predominaram em Portimão. O PP é mais duro e resistente que o PE e é muito utilizado nas indústrias de mobiliário (por exemplo, cadeiras e mesas de exterior) e automóvel, tampas de refrigerantes (são principalmente azuis e brancas) e copos de plástico, entre outras aplicações. O PE é o plástico mais utilizado a nível mundial e representa cerca de um terço de todos os plásticos produzidos e cerca de metade do plástico utilizado em embalagens como garrafas e sacos. Deste modo, a semelhança entre as estações de Sagres e Olhão na composição e tipologia das partículas de microplástico e as diferenças destas estações com Portimão, poderão ser justificadas pelas atividades humanas predominantes em cada uma destas localidades, como por exemplo, pesca, aquacultura, turismo, atividades de lazer, e atividade portuária.

Uma outra questão, diz respeito à quantidade de microplásticos que observámos. No sedimento em Portimão foi cinquenta e oito vezes superior à encontrada na água, enquanto que, em Sagres e Olhão é respectivamente de trinta e quatro e quinze vezes superior. A explicação mais óbvia é a de que as partículas encontradas no sedimento são o resultado da acumulação ao longo do tempo, mais eficaz em locais abrigados onde as ondas e correntes não removem frequentemente o fundo. As diferenças de densidade das partículas devem também ter influenciado esta distribuição. Os microplásticos predominantes em Portimão foram fragmentos de polietileno mais densos do que as fibras preponderantes em Sagres e Olhão. Sagres está localizado na parte mais ocidental da costa, numa zona de afloramento costeiro (ver secção 4.2 e Capítulo 2) onde se forma um filamento de água mais fria que

tem origem ao largo do Cabo de São Vicente, que, embora tenha menor densidade populacional, se caracteriza por uma intensa atividade piscatória, envolvendo aquacultura onde se produzem grandes quantidades de moluscos bivalves e se usam redes de pesca e cabos náuticos com diversas funções. Todo este material é feito de plástico (ver Capítulo 6) que pode originar microplásticos devido às condições oceanográficas nessa zona. Por outro lado, é uma área de intenso tráfego marítimo entre o Mar Mediterrâneo e o Oceano Atlântico, podendo estar sujeita ao impacto de microplásticos produzidos pelas embarcações.

A quantidade de microplásticos encontrada na água em cada estação de amostragem, diferiu entre a Primavera e o Outono. A densidade da água depende da salinidade e da temperatura. A temperatura da água superficial foi cerca de cinco graus centígrados mais elevada e a salinidade foi ligeiramente mais baixa no Verão do que no Inverno. Deste modo, a densidade da água superficial no Verão, foi inferior à densidade da água no Inverno (mais fria e mais salina). Não surpreende, pois, que tenhamos encontrado mais microplásticos em suspensão na água na recolha de Inverno.

Como podemos contribuir para reduzir a quantidade de microplásticos que chega ao oceano? Que medidas de mitigação podemos aplicar?

A maior parte dos microplásticos encontrada na água, nos mexilhões e no sedimento tem origem terrestre. De facto, estima-se que cerca de 80% do lixo marinho são plásticos que podem chegar ao oceano na forma de macroplásticos (ver Capítulo 1) e depois sofrer degradação devido às correntes oceânicas e à radiação solar, dando origem aos microplásticos secundários que, no entanto, também podem ser introduzidos diretamente como microplásticos primários (ver Capítulos 1 e 3).

Para mitigar a introdução de plástico no meio marinho, as soluções devem ser tomadas em terra, quer aumentando a capacidade de reciclagem dos plásticos, quer melhorando a tecnologia das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR - ver Capítulo 8), ou ainda, desenvolvendo tecnologia para diminuir a utilização de plásticos nas atividades de aquacultura (ver Capítulo 6), de exploração do sal ou na agricultura. Por outro lado, torna-se necessário sensibilizar a população para não abandonar garrafas, sacos de plástico ou outros materiais de plástico, como sejam as bases dos chapéus

de sol nas praias, uma vez que estas constituem uma fonte importante de introdução de materiais plásticos na zona costeira. É necessário que a atividade pesqueira seja consciencializada para evitar perder redes de pesca e trazer para terra para reciclar todo o lixo plástico que recolhe normalmente nas redes de pesca, bem como, identificar os locais onde eventualmente possam ter perdido as redes, para que possam ser recolhidas posteriormente. A maior percentagem de microplásticos de cor preta detetada na água e nos mexilhões pode estar relacionada com a degradação de covos para a captura do polvo, muitos dos quais são perdidos e têm sido encontrados em vários locais, como foi o caso da praia de Forte Novo durante a campanha de amostragem. Seria desejável uma gestão mais adequada deste tipo de pesca ou, se possível, utilizar outro tipo de material. Por último, mas de extrema importância, deve ser feito um grande esforço para alertar a população para a necessidade de colocar os plásticos em locais de reciclagem, de modo a reduzir a quantidade de microplásticos. De acordo com o preconizado no relatório do Banco Mundial, se não forem tomadas mais medidas do que as já implementadas, em 2050 poderemos ter mais detritos de plástico no oceano do que animais marinhos. Uma vez que uma dieta rica em organismos marinhos é fundamental para a saúde humana e é muito expressiva no nosso país, é necessário conhecer a taxa de eliminação dos microplásticos nos mexilhões e noutros organismos de valor comercial, de modo a perceber se a depuração poderá ser uma solução económica e sustentável para reduzir o risco da acumulação destas micropartículas nos organismos marinhos e assim proteger melhor a saúde humana.

Bibliografia Consultada

- Bebianno, M.J., Pedro, P., Serafim, A., Lopes, B. & Newton, A., 2019. Human impact in the Ria Formosa Lagoon. In: Aníbal, J., Gomes, A., Mendes, I. & Moura, D. (eds) Ria Formosa: Challenges of a Coastal Lagoon in a Changing Environment. Centre of Marine and Environmental Research, Universidade do Algarve Editora, Faro, Portugal, pp. 109–124. <http://hdl.handle.net/10400.1/12475>.
- European Environment Agency, 2023. "Microplastics from textiles: towards a circular economy for textiles in Europe". Disponível online em: <https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-a>.
- Frias, J., Gago, J., Otero, V. & Sobral, P., 2016. Microplastics in coastal sediments from southern portuguese shelf waters. *Marine Environmental Research* 114: 24–30. 10.1016/j.marenvres.2015.12.006.
- Vital, S.A., Cardoso, C., Avio, C., Pittura, L., Regoli, F. & Bebianno, M.J., 2021. "Do

microplastic contaminated seafood consumption pose a potential risk to human health?". *Marine Pollution Bulletin* 171, 112769.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112769>.

Relvas, P., Barton, E.D., Dubert, J., Oliveira, P.B., Peliz, A., Da Silva, J.C.B., & Santos, A.M.P., 2007. Physical oceanography of the western Iberia ecosystem: latest views and challenges. *Progress in Oceanography* 74 (2-3): 149-173.

<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.04.021>.

5. Efeitos de micro e nanoplásticos em moluscos bivalves

Joanna Melissa Gonçalves, Maria João Bebianno

CIMA-Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ARNET – Rede de infraestrutura em Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000-139 Faro, Portugal.

jmgoncalves@ualg.pt; mbebian@ualg.pt

Como se estudam os micro e os nanoplásticos?

Tal como referido no Capítulo 1, os plásticos já foram detetados em mais de 1400 espécies marinhas. De entre os vários tipos de plástico, os de menores dimensões, tais como os micro (entre 1000 nanómetros e 5 milímetros de tamanho) e os nanoplásticos (dimensão menor que 1000 nanómetros), devido ao seu tamanho, têm mais facilidade para entrarem na cadeia alimentar do que os macrolásticos. No entanto, os nanoplásticos e os microplásticos de menores dimensões são difíceis de identificar a olho nu nos tecidos dos organismos marinhos, sendo necessário recorrer a várias técnicas analíticas para investigar as partículas com tamanho inferior a um micrómetro. Por exemplo, a microscopia eletrónica de transmissão (TEM) é uma dessas técnicas (Figura 5.1). Outras mais avançadas como a espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) ou a espectroscopia micro-Raman (ver Capítulo 7), ou ainda a pirólise (reação a altas temperaturas) associada à cromatografia gasosa e espectrometria de massa, permitem identificar a composição química dos plásticos.

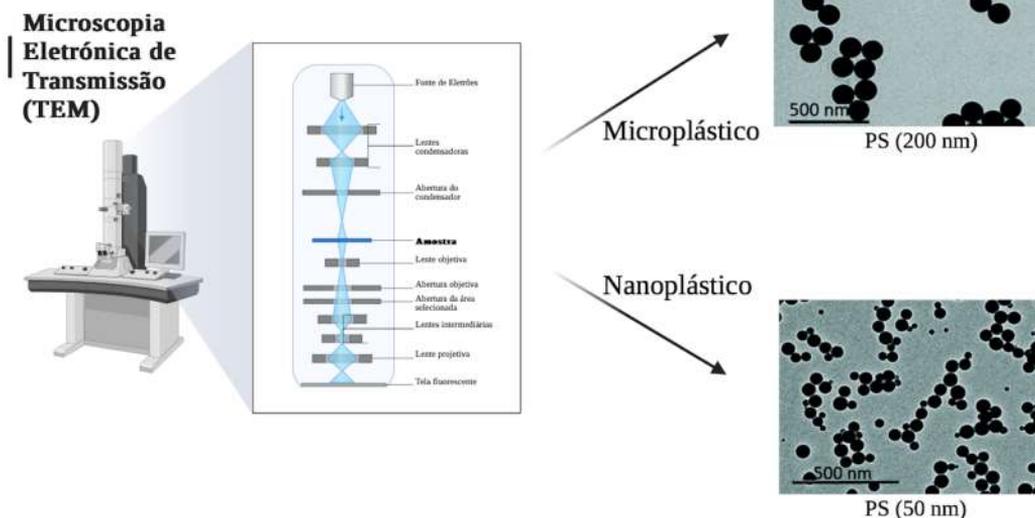


Figura 5.1.

Exemplos de imagens de micro e de nanoplásticos obtidas por microscopia eletrônica de transmissão; nm-nanómetro. A figura é da autoria de J.M. Gonçalves, criada com biorender.com, adaptada de Alaraby et al., 2022.

Ingestão e bioamplificação de microplásticos e nanoplásticos

A ingestão dos micro e nanoplásticos pelos organismos marinhos e em particular pelos moluscos bivalves, está relacionada com a sua alimentação. O fitoplâncton, alimentação habitual dos moluscos, tem o mesmo tamanho dos microplásticos e, estes são ingeridos acidentalmente pelos moluscos por se assemelharem ao seu alimento. Uma vez ingeridos, os microplásticos e os nanoplásticos podem ser transferidos de um determinado nível trófico para um nível trófico superior, por exemplo, do microzooplâncton para o mesozoplâncton (por exemplo, o camarão *mysid*) processo que se designa por bioamplificação (Figura 5.2). Os micro e os nanoplásticos têm também a capacidade de adsorverem contaminantes que se encontrem presentes na água, pelo que, são uma via de transferência de contaminantes para os organismos marinhos. Além disso, os plásticos podem também funcionar como veículo para outros contaminantes, uma vez que, após serem ingeridos, podem libertar os contaminantes adsorvidos (aderidos na superfície) no oceano a par da libertação dos aditivos químicos utilizados durante a produção do plástico.

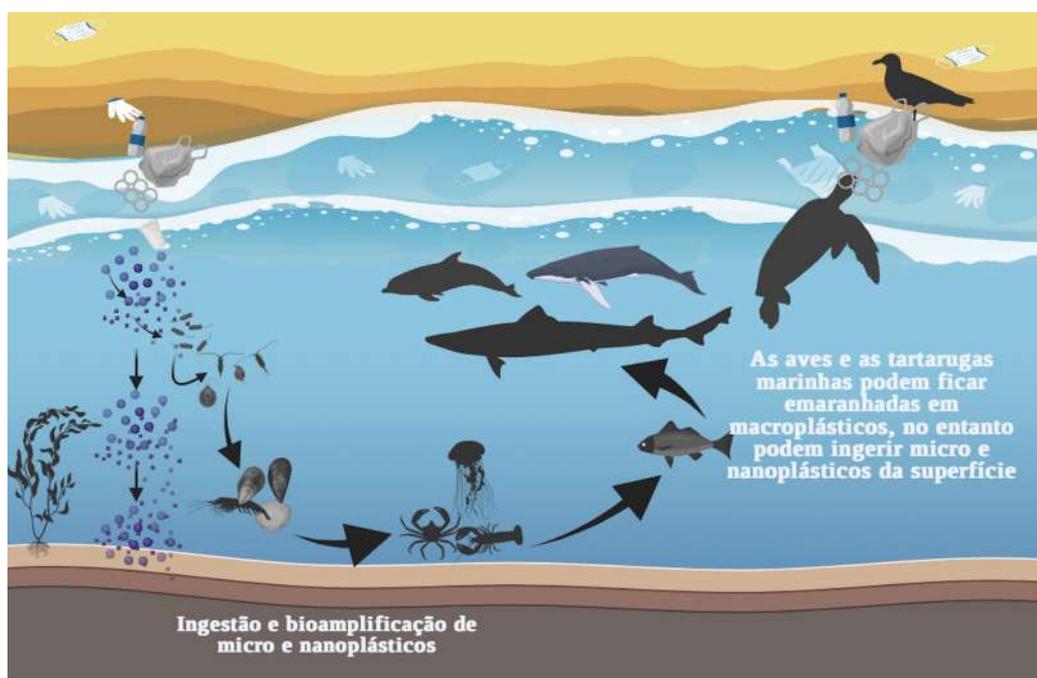


Figura 5.2.

Emaranhamento, ingestão e bioamplificação de micro e nanoplasticos no oceano. A figura é da autoria de J.M. Gonçalves, criada com biorender.com

As primeiras evidências de ingestão de plástico foram registadas em aves marinhas em 1962, na Nova Zelândia e no Canadá, respetivamente nos faiões (*Pachyptila* spp.) e nas aves painho-de-cauda-forcada (*Hydrobates leucorhous*). No fim da década de 1960 (em 1969), no noroeste das ilhas havaianas, a ingestão de plástico também foi identificada no albatroz-de-laysan (*Phoebastria immutabilis*). Em 1999, a ingestão de plásticos foi detetada pela primeira vez nas fezes do leão marinho (*Phocartos hookeri*) e nos otólitos (concreções no ouvido interno) do *Electrona subaspera*, uma espécie de peixe *Myctophid* (mictofídeos – peixes-lanterna). Os mictofídeos são uma componente importante da dieta de algumas espécies de focas que coabitam na mesma região geográfica, tendo sido detetados cerca de 92% de otólitos dessa espécie de peixe nas fezes das focas. A bioamplificação de microplasticos foi confirmada quando se encontraram partículas de plástico nas fezes das focas (*Arctocephalus* spp.), tendo os microplasticos sido ingeridos através da teia alimentar. Isto é, os peixes ingeriram as partículas de plástico e as focas ao alimentarem-se desses peixes acumularam os micro-

plásticos previamente ingeridos pelos peixes. Todos os fatores que direta e/ou indiretamente podem causar danos à vida marinha, merecem maior atenção, sejam eles relacionados com a ingestão de micro e nanoplásticos ou com a sua bioamplificação.

Numa cadeia trófica de dois níveis, onde os náuplios (larvas) de copépodes (*Tigriopus fulvus*) eram a presa e o estágio *ephyra* (formas larvares de medusas) de *Aurelia* spp. o predador, detetaram-se microplásticos agregados no manúbrio da boca (tubo central das medusas) e próximo dos filamentos gástricos. Foi também identificada uma transferência trófica entre o mexilhão *Mytilus edulis* previamente exposto a microplásticos de poliestireno (ver Capítulo 1) e o caranguejo comum (*Carcinus maenas*), bem como, entre o mexilhão castanho (*Perna perna*) exposto a microesferas de PVC (0,1-1 micrómetros) e dois consumidores secundários (peixe – *Sphoeroides greeleyi* e caranguejo – *Callinectes ornatus*). Os microplásticos ingeridos pelo caranguejo foram transportados na hemolinfa para diferentes tecidos (estômago, hepatopâncreas, ovário e brânquias), mas foram acompanhados por uma rápida eliminação não representando risco para os níveis tróficos superiores. No caso do lagostim *Nephrops norvegicus*, alimentado com pedaços de peixe onde foram introduzidos fios de polipropileno (ver Capítulo 1), as partículas de plástico foram encontradas no estômago após 24 horas. Em peixes pelágicos (nadam livremente na coluna de água) como o atum albacora (*Thunnus albacares*), a cavala-da-índia (*Acanthocybium solandri*) e a barracuda gigante (*Sphyraena barracuda*), verificou-se uma baixa ocorrência de macroplásticos (maiores que 5 milímetros) e estes não foram observados no atum patudo (*Thunnus obesus*). No entanto, os microplásticos presentes nas presas encontradas no estômago do atum albacora (*T. albacares*) evidenciam transferências tróficas, sendo os cefalópodes e os peixes da família *Bramidae* as presas mais contaminadas. Os tipos mais frequentes de microplásticos encontrados no estômago das presas e dos atuns (predadores), foram espumas, pellets e fibras (inferiores a 1 milímetro). Os polímeros mais frequentemente encontrados entre estes microplásticos foram a borracha de estireno-butadieno (SBR), a poliamida (PA), o polietileno tereftalato (PET) e o polietileno (PE). A melhor compreensão sobre a ingestão e a bioamplificação de microplásticos e a libertação de contaminantes associados e dos seus aditivos, é crucial. A ingestão de microplásticos não se verifica em todas as espécies, deixando uma incerteza de como ocorre a bioamplificação destas partículas de menor dimensão. Não se sabe se existe efeito de bioamplificação nos nanoplásticos, pois devido ao seu tamanho e à

facilidade que têm para atravessar as paredes celulares é preciso perceber se a sua ingestão dará ou não origem a bioamplificação.

Para além da ingestão de microplásticos identificada nos mexilhões recolhidos na costa sul de Portugal (Capítulo 4) e em diferentes espécies de moluscos bivalves produzidos em explorações de aquacultura (Capítulo 6), têm-se realizado vários ensaios laboratoriais (Figura 5.3) para estudar o efeito que aquele tipo de plástico pode induzir quando ingeridos por esses organismos. No ambiente, as concentrações de micro e de nanoplásticos são, respectivamente, inferiores a 1 miligrama por litro e a 15 microgramas por litro. É importante compreender o efeito destas concentrações nos animais marinhos. Os resultados de ensaios sobre a ingestão de microplásticos expostos a concentrações ambientalmente relevantes, revelaram, por exemplo, que a amêijoia branca *Scrobicularia plana* exposta a microplásticos de poliestireno (20 micrómetros; 1 miligrama por litro), ingeriu e acumulou microplásticos de poliestireno nos seus tecidos. Após 7 dias de depuração, os microplásticos não foram eliminados, indicando que uma semana não é suficiente para eliminar a quantidade de microplásticos ingeridos. Por outro lado, quando o mexilhão mediterrânico *Mytilus galloprovincialis*, foi exposto a nanoplásticos (10 micrograma por litro) de poliestireno (50 nanómetros), os nanoplásticos foram detetados nas brânquias, na glândula digestiva, e nas gónadas. A presença de nanoplásticos de poliestireno nas gónadas, poderá vir a afetar a reprodução, comprometendo a evolução desta espécie. Tendo em consideração a importância do mexilhão na dieta mediterrânica, a ingestão de micro ou de nanoplásticos por esta espécie, pode causar efeitos adversos na saúde humana (ver Capítulo 7).



Figura 5.3.

Exemplo de um desenho experimental de laboratório com micro (MP) ou nanoplásticos (NP). A figura é da autoria de J.M. Gonçalves, criada com biorender.com

Os microplásticos e os nanoplásticos podem também ser um vetor de acumulação de outros contaminantes em moluscos bivalves. Esta acumulação é dependente do tipo, tamanho, forma e propriedades químicas quer dos micro e nanoplásticos quer dos contaminantes adsorvidos por eles. A amêijoia branca (*Scrobicularia plana*), foi exposta no laboratório a microplásticos de polietileno de baixa densidade (1 miligrama por litro) com dois tamanhos diferentes (4 - 6 e 20 - 25 micrómetros) não contaminados ou contaminados com ácido perfluorooctanosulfónico (PFOS) ($55,7 \pm 5,3$ e $46,1 \pm 2,9$ micrograma por grama, respetivamente). A ingestão de microplásticos pelas amêijoas, dependeu do tamanho destas. Porém, a dimensão das partículas de plástico não teve qualquer influência na acumulação de PFOS nos seus tecidos. No entanto, quando a amêijoia *S. plana* foi exposta à mesma quantidade de microplásticos (1 miligrama por litro) de três dimensões diferentes (4-6, 11-13 e 20-25 micrómetros) contaminados com benzo[a]pireno (BaP) ($16,6 \pm 0,1$, $16,9 \pm 0,2$ e $15,1 \pm 0,2$ microgramas por litro, respetivamente), a acumulação de BaP nos tecidos das amêijoas aumentou com o aumento do tamanho dos microplásticos.

Efeito de microplásticos em moluscos bivalves

Após a ingestão pelos moluscos bivalves, foram encontrados microplásticos em vários tecidos, incluindo na corrente sanguínea (na hemolinfa), brânquias e, mais significativamente, na glândula digestiva e nas gónadas, o que pode comprometer as suas funções biológicas. O impacto da ingestão de microplásticos é influenciado pelo seu tamanho; quanto menor a dimensão da partícula maior o efeito. As taxas de filtração pelas espécies bivalves são afetadas pela ingestão de microplásticos, que influencia também a taxa de eliminação dos mesmos. A menor duração da abertura da válvula após a exposição ao microplástico pode ser responsável por esse efeito. O crescimento dos moluscos também é retardado pela ingestão de microplásticos, mas as alterações mais significativas são de natureza bioquímica e dependem da espécie, da duração da exposição e do tipo de microplástico. Espécies reativas de oxigénio (ROS), como o anião superóxido (O_2^-), o peróxido de hidrogénio (H_2O_2) e o radical hidroxilo ($HO\bullet$), são produzidas com mais frequência como resultado da ingestão de microplásticos. Os moluscos bivalves ativam o seu sistema de defesa antioxidante e aumentam a sua atividade enzimática para se protegerem do aumento de ROS. Danos oxidativos ou danos nas membranas celulares do organismo podem ocorrer quando o aumento da atividade enzimática do sistema antioxidante é

incapaz de equilibrar a produção de ROS, fazendo com que o tecido fique inflamado. Por exemplo, após uma exposição de 7 dias a concentrações subletais de microplásticos de polistireno (2 milímetros; 0, 10, 104 e 106 partículas por litro), os microplásticos ingeridos alteraram significativamente a atividade das enzimas antioxidantes digestivas. Esta exposição levou a uma diminuição das atividades da amilase (enzima digestiva) e xilanase (enzima que atua sobre os hidratos de carbono) e ao aumento de atividades de celulase (classe de enzimas) e protéase (enzimas que atuam sobre as proteínas) total. Como resultado, o aumento ou a diminuição da atividade enzimática depende do tecido, do tempo de exposição e do tipo de microplástico. Nos moluscos bivalves, o efeito sobre os lípidos também é muito significativo porque, além de desempenharem um papel crucial na estrutura da membrana celular, as fêmeas também contêm duas vezes mais lípidos que os machos. Conseqüentemente, a reprodução é severamente afetada, através da diminuição do número total de ovos e do diâmetro dos mesmos, pelo aumento na mortalidade larval e pelo atraso no desenvolvimento da espécie. Além disso, a ingestão tem impacto na hemolinfa, causando uma diminuição significativa do número total de hemócitos (células do sistema circulatório de alguns animais invertebrados), o aumento do número de algumas células do sangue como por exemplo dos granulócitos basófilos, e a diminuição de outras como os granulócitos vermelhos e os hialinócitos. Pode ainda ocorrer a supressão da capacidade fagocitária dos hemócitos, isto é, da sua aptidão para isolar corpos estranhos. Além dos efeitos genotóxicos (dano no ADN), a exposição a microplásticos em moluscos bivalves, causa danos histopatológicos (danos nos tecidos) nas brânquias e glândulas digestivas, bem como alterações genéticas nos sistemas antioxidante, imunológico e de balanço energético. Na amêijoia, *Scrobicularia plana*, uma exposição de 14 dias a microplásticos (11–13 micrómetros) de polietileno de baixa densidade originou um deficiente funcionamento das brânquias. Na mesma espécie, os indivíduos expostos a microplásticos do mesmo tamanho, mas contaminados com benzo[a]pireno (BaP) (um dos componentes mais tóxico do petróleo) ou com ácido perfluorooctano sulfônico (PFOS), utilizado no fabrico de materiais antiaderentes, a inflamação e o dano nas membranas celulares foram encontradas no órgão digestivo. No entanto, os efeitos foram piores quando expostos ao mesmo tipo de microplástico contaminado com o filtro UV, oxibenzona (BP-3), normalmente utilizado como protetor solar. Neste caso, as brânquias foram o tecido mais afetado, tendo sido observada a inflamação das células, dano nas membra-

nas celulares, neurotoxicidade e genotoxicidade. A taxa de filtração da amêijoia *S. plana* foi reduzida após a exposição a partículas de microplásticos do mesmo tipo, mas de dimensões menores (4–6 micrómetros) em comparação com partículas de maiores (20–25 micrómetros) com PFOS adsorvido, o que pode comprometer o seu desenvolvimento. Adicionalmente, foram notadas perturbações no sistema antioxidante em resultado da inflamação das brânquias e da glândula digestiva, onde foi observada morte celular, que compromete o funcionamento destes órgãos. Em conclusão, os microplásticos de polietileno de maior dimensão têm um impacto mais nocivo nesta espécie de amêijoia do que os de menor dimensão. Mesmo após 7 dias de depuração, a genotoxicidade, a neurotoxicidade e os danos da membrana celular, aumentam quando a amêijoia *S. plana* é exposta a microplásticos de poliestireno (20 micrómetros por 14 dias). Como resultado, os efeitos tóxicos que os microplásticos têm sobre os moluscos bivalves dependem do tipo de plástico, do tamanho das micropartículas, do tempo de exposição, da presença de outros contaminantes na água e das espécies impactadas.

Efeitos de nanoplásticos nos moluscos bivalves.

A informação sobre os efeitos de nanoplásticos em moluscos bivalves é ainda escassa, embora existam já experiências de exposições tanto agudas como crónicas. Uma das maiores preocupações sobre os efeitos dos nanoplásticos é a facilidade com que estas partículas atravessam a barreira celular devido ao seu tamanho, como também devido ao seu volume ser maior do que o dos microplásticos, facilitando a adsorção de outros contaminantes no ambiente envolvente. Os moluscos bivalves reconhecem os nanoplásticos como alimento e eliminam-nos nas pseudofezes (alimento filtrado, rejeitado antes de ser ingerido). A estabilidade da membrana lisossomal e das células hemocíticas diminuiu após a exposição a nanoplásticos e, tal como no caso dos microplásticos, a produção de radicais de oxigénio aumenta. No desenvolvimento embrio-larval de moluscos, como ostras e mexilhões, os nanoplásticos causam malformações no desenvolvimento larval (D-velígeros), tendo-se observado em mexilhões (Figura 5.4) que os nanoplásticos originaram a completa inibição dos D-velígeros, em que 90% das larvas permaneceram no estágio trocófora, enquanto que em ostras o desenvolvimento embrio-larval foi completamente inibido (redução 100%).

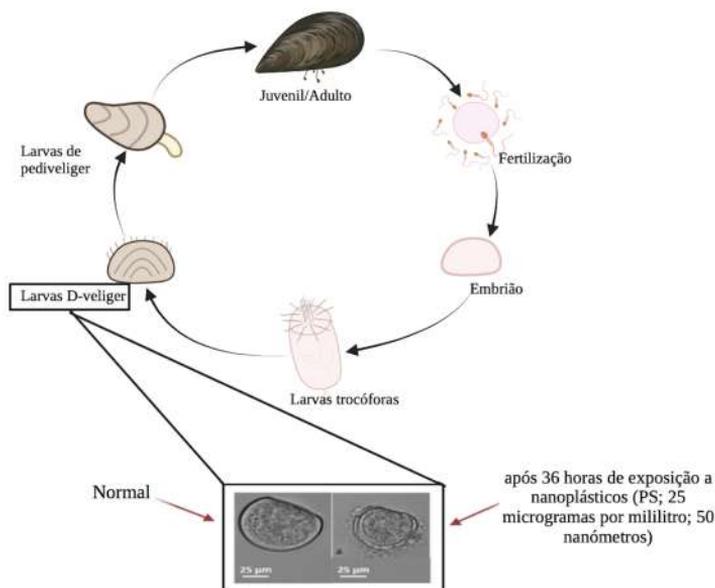


Figura 5.4. Evolução da reprodução – formação das larvas D de mexilhões, bem e malformadas. Adaptado de Taliec et al., 2018 por Joanna Gonçalves. Figura criada com biorender.com.

Para além dos efeitos já referidos, foram ainda observados outros danos na reprodução, após a exposição a nanoplasticos, em que estes afetaram a mobilidade do esperma e a robustez dos ovos. Os nanoplasticos quando ingeridos, provocam a inflamação dos tecidos e causam dano nas membranas celulares, genotoxicidade (dano no ADN) e neurotoxicidade (efeito adverso no sistema nervoso). O impacto na saúde geral dos moluscos bivalves, por exemplo, dos mexilhões, é mais notável após exposição a nanoplasticos, em comparação com microplásticos, pois provoca maiores efeitos nos lisossomas e na atividade das enzimas antioxidantes, resultando em inflamação e dano nas membranas celulares. Por exemplo, no mexilhão, *Mytilus galloprovincialis*, após uma exposição a nanoplasticos de poliestireno (50 nanómetros), a genotoxicidade foi muito perceptível, apresentando dano no ADN e ainda, inflamação das brânquias, glândula digestiva e gónadas, originando dano oxidativo das membranas celulares e comprometendo a saúde dos mexilhões. A toxicidade de nanoplasticos de poliestireno depende do tecido e do tempo a que estão expostos a este tipo de nanopartículas. As brânquias, o primeiro tecido em contacto com os nanoplasticos na água circundante, são o tecido mais comprometido. No entanto, as gónadas dos mexilhões, após três dias de exposição, apresentam maior dano oxidativo nas membranas celulares em comparação com os outros tecidos, sugerindo que a reprodução do mexilhão poderá estar prejudicada, o que resulta numa

maior preocupação, pois afeta a dinâmica das populações e o ecossistema podendo dar origem no futuro à perda de biodiversidade.

Em conclusão, quer os micro quer os nanoplásticos, dependendo do tamanho, do tipo de polímero e da concentração, podem induzir em moluscos bivalves efeitos mais expressivos após exposição, em particular no sistema reprodutor, que podem pôr em causa a sua saúde, dando origem a uma diminuição da população e a um impacto futuro na biodiversidade. No entanto, os micro e os nanoplásticos, têm na generalidade na sua composição química, compostos como bisfenol A, metais e retardadores de chama que, quando estes plásticos estão em contacto com a água do mar podem ser libertados constituindo um leixivado que pode ser um fator adicional de agressão ao meio marinho e cujo impacto ainda hoje é praticamente desconhecido.

Bibliografia consultada

- Gonçalves, J.M., Sousa, V.S., Teixeira, M.R., & Bebianno, M.J., 2022. Chronic toxicity of polystyrene nanoparticles in the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Chemosphere* 287, 132356. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132356>.
- Islam, N., Garcia da Fonseca, T., Vilke, J., Gonçalves, J.M., Pedro, P., Keiter, S., Cunha, S.C., Fernandes, J.O. & Bebianno, M.J., 2021. Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) adsorbed to polyethylene microplastics: accumulation and ecotoxicological effects in the clam *Scrobicularia plana*. *Marine Environmental Research* 105249. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105249>.
- O'Donovan, S., Mestre, N.C., Abel, S., Fonseca, T.G., Carteny, C.C., Willems, T., Prinsen, E., Cormier, B., Keiter, S.S., & Bebianno, M.J., 2020. Effects of the UV filter, oxybenzone, adsorbed to microplastics in the clam *Scrobicularia plana*. *Science of the Total Environment* 733, 139102. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139102>.
- Ribeiro, F., Garcia, A.R., Pereira, B.P., Fonseca, M., Mestre, N.C., Fonseca, T.G., Ilharco, L.M., & Bebianno, M.J., 2017. Microplastics effects in *Scrobicularia plana*. *Marine Pollution Bulletin* 122 (1–2): 379–391. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.078>.
- Taltec, K., Huvet, A., Di Poi, C., González-Fernández, C., Lambert, C., Petton, B., Le Goïc, N., Berchel, M., Soudant, P., & Paul-Pont, I., 2018. Nanoplastics impaired oyster free living stages, gametes and embryos. *Environmental Pollution* 242: 1226–1235. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.020>.

6. Microplásticos na aquacultura, o que sabemos?

Laura Ribeiro¹, Florbela Soares¹, Ravi Luna-Araujo¹, Hugo Quental-Ferreira¹, Pedro Pousão-Ferreira¹, Justine Nathan², Sónia Cristina², Bruno Fragoso³

¹ IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera, EPPO- Estação Piloto de Piscicultura de Olhão, Av. Parque Natural da Ria Formosa, s/n 8700-194 Olhão, Portugal.

² CIMA-Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ ARNET- Aquatic Research Network – Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

³ Sagremarisco Lda - Rua Ribeira do Poço 26, 8650-426, Vila do Bispo, Portugal

lribeiro@ipma.pt; fsoares@ipma.pt; ravi.araujo@ipma.pt; hferreira@ipma.pt; pedro.pousao@ipma.pt; justine2.nathan@hotmail.com; sccristina@ualg.pt; fragoso.b@gmail.com

Que aquacultura se faz em Portugal?

Apesar da enorme extensão da costa de Portugal (cerca de 2 500 quilómetros), a produção em aquacultura foi cerca de 17 000 toneladas em 2020. No total dos países da União Europeia (EU), a contribuição de Portugal para a produção em aquacultura é bastante baixa, correspondendo apenas a 1%.

A aquacultura portuguesa é maioritariamente de água salgada ou salobra, com apenas 5% da produção com origem em água doce, representada na sua maioria por produção de truta em regime intensivo. A aquacultura em água salgada ou salobra está localizada principalmente ao longo da costa portuguesa em lagoas, estuários e áreas entremarés, mais recentemente, em áreas de mar aberto do Algarve e da Madeira.

Em água salgada e salobra, os grupos mais produzidos são peixes e bivalves, respectivamente 38,7% e 61,3% da produção nestas águas. As principais espécies de peixes marinhos mais produzidos são o pregado e a dourada, em que o pregado é produzido em regime intensivo em tanques de fibra e/ou cimento, sendo a dourada produzida majoritariamente em regime semi-intensivo em tanques de terra, e mais recentemente de forma intensiva em jaulas (mar aberto). No caso dos bivalves, as espécies mais produzidas são amêijoas e ostras, ambas em regime extensivo. Os bivalves asseguram o grosso do volume comercializado, bem como o valor obtido, contribuindo com 58,6% do valor total obtido com a comercialização dos produtos de aquacultura.

Que plásticos se utilizam em aquacultura?

Dada a diversidade de organismos (ver Caixa 6.1) que é possível produzir em aquacultura e os diferentes ambientes em que se pode fazer aquacultura (água doce ou salgada, lagos ou mar aberto, tanques) existe uma variedade de estruturas com formas e tamanhos variados para conter/fixar os organismos nas suas áreas de produção e nas rotinas diárias. Alguns bivalves, como as ostras, são principalmente produzidos em zonas costeiras afetadas pelas marés, onde são deixados junto do sedimento dentro de cestos ou sacos de rede (em plástico), filtrando a água quando estão submersos.

Caixa 6.1. O que é a aquacultura?

A aquacultura é uma produção de organismos aquáticos, de água doce e água salgada. A produção é principalmente de peixes, moluscos, crustáceos invertebrados e macroalgas. Uma das vertentes da investigação em aquacultura é conhecer os processos envolvidos em cada fase do ciclo de vida, para cultivar a espécie em cativeiro. Nestas situações, as fases iniciais (ovos, larvas, esporos) são cultivadas em ambiente controlado (temperatura, luz e oxigénio), enquanto as fases de juvenil e adulto (até atingir o tamanho comercial), são feitas no exterior vulgarmente conhecidas por pré-engorda e engorda. Há espécies em que ainda não se conhece (ou controla) o ciclo de vida e só se faz engorda, capturando-se no meio ambiente os organismos na fase de juvenil (peixes, bivalves, crustáceos). Pode fazer-se aquacultura em terra, junto à costa, em mar aberto, em rios e lagos. Podem utilizar-se diferentes infraestruturas para cultivo (por exemplo, tanques de terra, fibra de vidro ou betão, jaulas, cordas, caixas/sacos) e podem estar localizadas em terra junto a rios e em áreas costeiras como estuários, rias, baías costeiras e também em mar aberto.



Representação da localização de diferentes estruturas utilizadas em aquacultura marinha (adaptada de <https://oceana.org/aquaculture/>)

A resistência, a durabilidade, a facilidade de moldar e a leveza do material em plástico são algumas das características que explicam a forte e vasta implementação deste material em aquacultura, sobretudo a marinha onde o meio ambiente é mais corrosivo. De facto, a rapidez e o grau de deterioração dos plásticos depende muito do tipo de plástico e das condições ambientais onde a exploração está localizada (por exemplo, exposição solar, salinidade e hidrodinamismo).

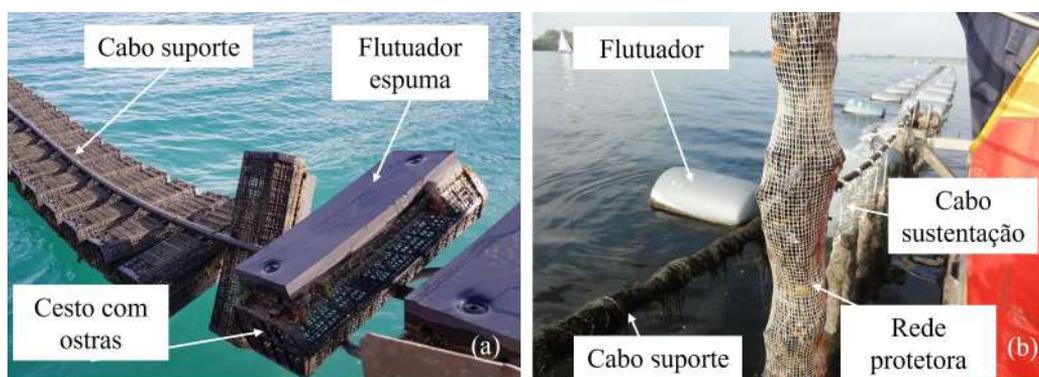


Figura 6.1.

Cultivo de bivalves.

(a) cultivo de ostras em cestos flutuantes (adaptada de <https://www.globalseafood.org/advocate/innovation-award-2021-finalist-flipfarm>, 2023);

(b) cultivo de mexilhão em cabos verticais suportados por sistema de boias e cabos horizontais (adaptada de <https://www.wbakker.com/en/products-and-services/mussels/longline-systems>, 2023).

As estruturas para o cultivo marinho, por exemplo jaulas, são mantidas a flutuar com boias (normalmente poliestireno expandido - ver Capítulo 1) e seguras por linhas e cabos feitos de derivados de plástico. As redes são frequentemente feitas de fios de monofilamento polietileno e poliamida (ver Capítulo 1). Nas Figuras 6.1 e 6.2, mostram-se exemplos de alguns dos materiais de plástico utilizados: a) num cultivo de ostras com cestos flutuantes numa baía costeira e no cultivo de mexilhões em cabos verticais cobertos com uma rede protetora (Figura 6.1); b) numa jaula para produção de peixe com os seus componentes de plástico mais robustos para suportarem as ondulações do mar e manter os peixes confinados dentro da rede da jaula (Figura 6.2).

Vários métodos podem ser utilizados para flutuação da estrutura das jaulas para cultivo de peixe, incluindo tubos e recipientes de policloreto de vinil e polietileno de alta densidade, tambores de plástico e flutuadores de poliestireno. Os tubos de polietileno de alta densidade são amplamente utilizados devido à sua versatilidade, resistência à degradação por raios ultravioleta (UV) e relação custo-benefício. Os tubos são preenchidos com cilindros de poliestireno para aumentar a flutuabilidade. Podem ser fabricados em várias formas, cores e tamanhos e a armação mantida em conjunto com suportes de plástico. Estas armações formam a estrutura principal para fixar a rede que confina o peixe.

Diversos estudos sobre a poluição com microplásticos indicam ser uma tarefa extremamente difícil saber com precisão qual a origem dos microplásticos encontrados no mar. Ainda assim, parece ser consensual que a maior contribuição de microplásticos no meio aquático tem origem nas atividades realizadas em terra, perto de áreas urbanas e industriais, as quais vão afetar os sistemas aquáticos circundantes.

Assim, apesar do sector da aquacultura ser uma potencial fonte de emissão de microplásticos para o meio aquático, neste momento a sua contribuição parece ser comparativamente bastante reduzida, apesar de ser necessária a realização de investigação nesta área para avaliar o efeito da aquacultura na produção de microplásticos. Estes estudos são muito pertinentes pois prevê-se um elevado crescimento da produção em aquacultura nos próximos anos para assegurar o aumento do consumo de pescado pela população, de acordo com a Organização para a Agricultura e Alimentação (FAO) da Organização das Nações Unidas (ONU).



Figura 6.2.

Jaula para produção de peixe. Os peixes estão confinados numa rede submersa que está fixa à superfície numa estrutura circular de plástico e esticada por pesos no fundo da rede. O colar feito em polietileno de alta densidade (PEAD) serve também para os operadores circularem em volta da jaula nos trabalhos diários (adaptada de www.badinotti.com, 2023).

Bivalves em diferentes sistemas de produção

Para além de avaliar a presença de microplásticos em bivalves na natureza (Capítulo 4), o projeto PLASTICSEA pretendeu ainda avaliar a presença de microplásticos em bivalves produzidos em aquacultura. Para isso, foram estudados bivalves produzidos em diferentes sistemas de produção, nomeadamente culturas suspensas em mar aberto, viveiros e cultivo multitrófico

integrado em tanques de terra, para caracterizar a diversidade e a quantidade de microplásticos nestes organismos. Para além dos bivalves, recolheram-se amostras de água e de sedimento, de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 4. Os principais resultados obtidos são descritos nas próximas seções.

Culturas suspensas em mar aberto

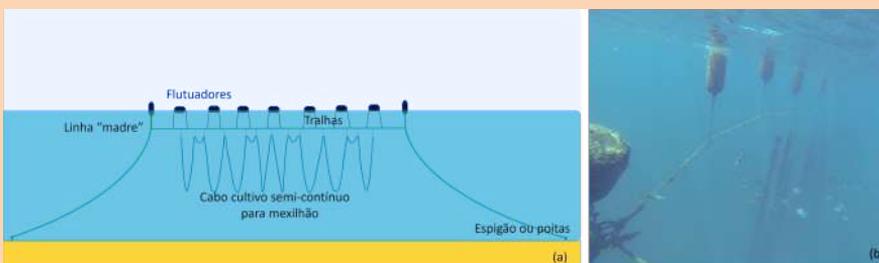
O cultivo de bivalves em mar aberto (culturas suspensas, Figura 6.3) ainda representa em Portugal uma pequena fração da produção nacional. No entanto, tem-se observado um aumento das áreas concessionadas e também da produção, em particular do cultivo de mexilhão. Este cultivo baseia-se na replicação de uma unidade estrutural (ver Caixa 6.2) em que se acrescentam linhas paralelas consecutivas até alcançar a dimensão desejada. As linhas são mantidas seguras por cabos perpendiculares.



Figura 6.3. Culturas suspensas de mexilhão ao largo de Sagres (Fotografias por Sagremarisco, 2023)

Caixa 6.2. O que é uma linha numa cultura suspensa?

Por linha, designa-se a unidade estrutural de um conjunto para a produção de bivalves em cultura suspensa. Cada linha consiste num cabo ancorado ao nível do sedimento, por poitas ou estacas apropriadas nas suas duas extremidades; este cabo principal é designado por “madre”. A flutuabilidade da “madre” é garantida por boias presas por cabos designados por “tralhas”, mantendo o cabo numa posição horizontal e sub-superficial e que permite a sua utilização para o cultivo. A partir da “madre” são suspensas cordas contínuas para cultivo de mexilhão, lanternas ou jaulas com sacos para cultivo de ostras. As linhas deverão estar colocadas paralelamente à linha de costa e tendo em conta a direção da corrente dominante, por forma reduzir a sua resistência na água.



Esquema dos elementos de uma unidade estrutural de cultivo suspenso de bivalves (a) e imagem subaquática da estrutura (b) (Elaborado por: Sagremarisco, 2023).

O plástico é fundamental na instalação destas estruturas, pela sua resistência à tensão, à radiação solar e ao custo (Figura 6.4). Neste caso particular, utilizam-se cabos entrançados de polietileno de 55 milímetros de diâmetro com comprimento aproximado de 480 metros. A flutuabilidade é garantida através da utilização de boias de polietileno de forma alongada com 210 litros de capacidade. O cabo de cultivo usado para mexilhões é constituído por náilon (poliamida), ao qual são acrescentados espigões plásticos de 23 centímetros em polipropileno a cada 35 centímetros de cabo, para evitar o deslizamento dos mexilhões ao longo das cordas. O cultivo de mexilhões situa-se entre os 17 e os 30 metros de profundidade (ver Caixa 6.2). Por vezes, é também utilizada uma rede anti-predadores em polietileno para evitar a predação pelos peixes. Os juvenis de mexilhões podem ser comprados ou ser obtidos através da sua apanha no ambiente natural. Para este fim, são

utilizados cabos com diversos formatos e texturas e de diferentes materiais, que podem ser de poliéster ou de polipropileno.

Nas culturas suspensas, a cor de microplásticos observados na água, foram na sua maioria azuis, e cerca de um quinto preto (Caixa 6.3). No miolo dos bivalves, identificaram-se 5 grupos de microplásticos, 4 coloridos e 1 incolor transparente, sendo este o grupo predominante. Verificou-se ainda que o grupo dominante nos sedimentos também era o transparente. As diferenças nas cores dos microplásticos nos diferentes compartimentos (água, bivalves e sedimento) sugerem que as partículas têm um comportamento diferente na coluna de água, relacionados com o peso e forma da partícula, variando a disponibilidade para ingestão pelo bivalve e/ou como afunda na coluna de água. As próprias estruturas afetam a circulação da água e das partículas. Dado que os plásticos utilizados na instalação têm cor, a existência de partículas incolores transparentes sugere uma origem externa ao cultivo, que importa avaliar.

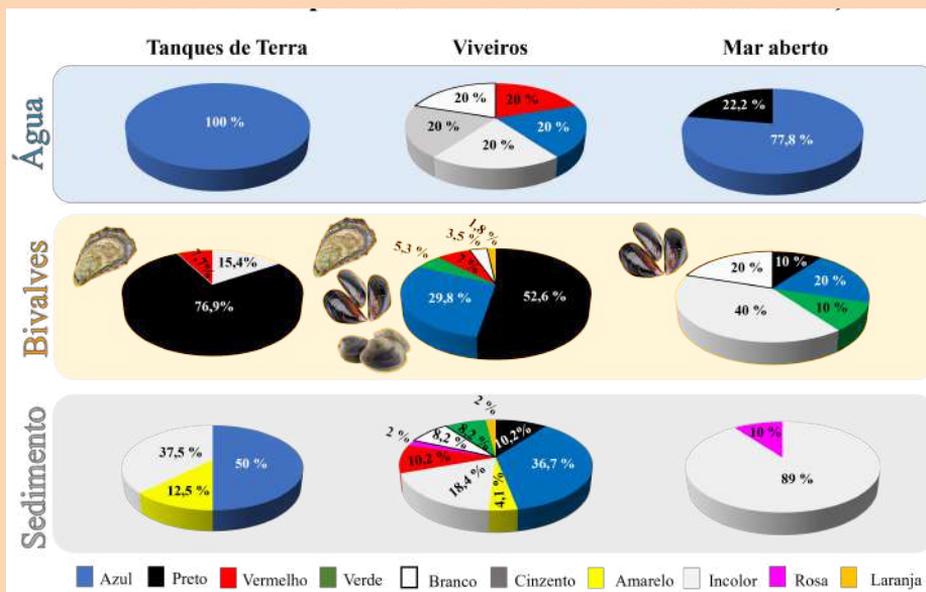


Figura 6.4.

Diferentes tipos de plásticos utilizados na aquicultura de bivalves, em cultura suspensa em mar aberto (Fotografias por Sagremarisco, 2023).

- a) Cabo de cultivo em Nylon (Poliamida) com espigões azuis em plástico Polipropileno (PP);
- b) Cabo de Polipropileno (PP) e Poliéster (PES) para captura de semente de mexilhão.
- c) Cabo entrançado da linha madre em Polietileno (PE) 55mm Ø
- d) Bóias de PP com tralhas em Nylon (PA), Polietileno (PE) ou Polipropileno (PP)
- e) Espigões plásticos de cores diversas (PP)
- f) Rede anti predação (PE)

Caixa 6.3. Cor dos Microplásticos nos Diferentes Sistemas de Produção



Viveiros

Os viveiros de bivalves em Portugal são unidades localizadas em zonas entre-marés estuarinas ou lagunares, que utilizam metodologias tradicionais em regime extensivo com um elevado número de estabelecimentos de aquacultura de pequena dimensão. Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), em 2020 existiam 1272 estabelecimentos de aquacultura ativos, dos quais 89% das unidades correspondiam a viveiros para produção de moluscos bivalves. Deste modo, tendo em conta a elevada importância deste sector a nível ecológico, económico e social para Portugal, é fundamental identificar que tipo de microplásticos encontramos neste tipo de aquacultura de modo a mitigar o seu impacto.

Em Portugal, foram recolhidas amostras de bivalves, água e sedimento, para quantificar e identificar o tipo e cor de microplásticos (MP) em viveiros, localizados na Ria de Aveiro, no Estuário do Sado e na Ria Formosa (Figura 6.5).

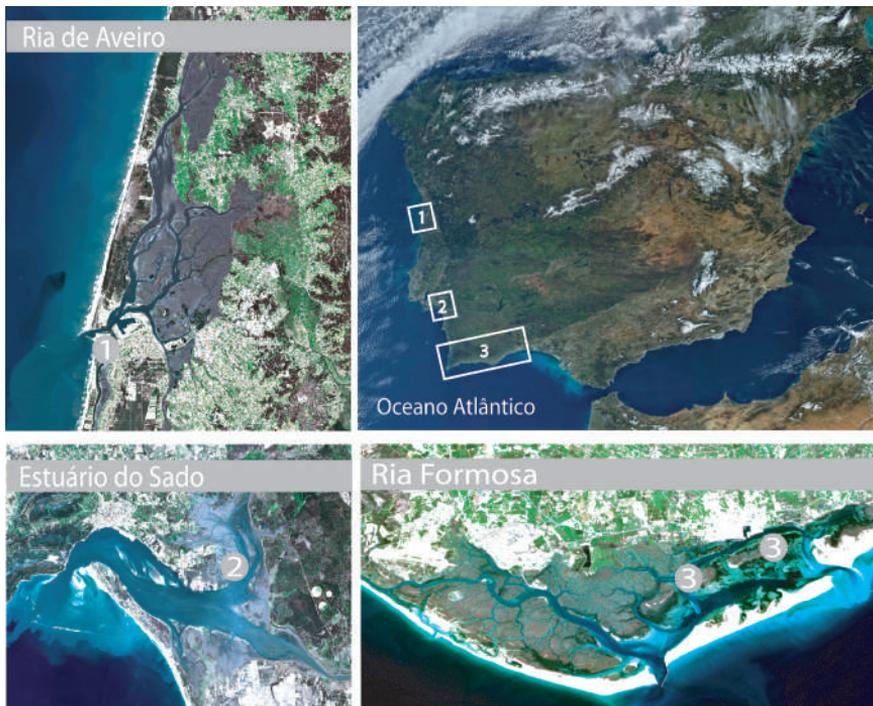


Figura 6.5.

Localização das estações de amostragem de microplásticos em viveiros da Ria de Aveiro, Estuário do Sado, Sagres e Ria Formosa. Fonte das imagens de satélite: imagem da Península Ibérica modificada (Cristina, 2022) da missão Sentinel-3 OLCI (01-03-2016), e processada pela Agência Espacial Europeia; as outras imagens de satélite relativas à Ria de Aveiro, Estuário do Sado e à Ria Formosa correspondem a imagens de satélite modificadas (Cristina, 2023) respetivamente do Sentinel-3A (24-02-2019), Sentinel-3B (21-03-2019), e Sentinel-3B (10-01-2019), e foram processadas pela Agência Espacial Europeia.

Os viveiros foram o sistema de cultivo onde se observou a maior variedade de cores de microplásticos, sempre cinco ou mais cores, na coluna de água, no miolo dos bivalves e no sedimento (Caixa 6.3). Nos bivalves foram identificados essencialmente fragmentos (Ria de Aveiro e Ria Formosa) e fibras (Estuário do Sado) e a cor mais comum foi o preto. Os MP que foram encontrados neste tipo de aquacultura foram: polietileno de alta densidade, polipropileno, polietileno, polietileno tereftalato e o propileno, em particular nas amostras de sedimento. Estes tipos de plásticos são utilizados em bolsas de cultivo de ostras (polipropileno) (Figura 6.6 a), em cordas (polietileno, polietileno tereftalato ou polipropileno), em tubos (polietileno) que são muitas vezes usados na demarcação dos viveiros, como é o caso dos viveiros da Ria Formosa, e nos baldes (polipropileno e o polietileno) que são usados no transporte dos bivalves (Figura 6.6 b).



Figura 6.6.

(a) Viveiros de ostras (*Crassostrea gigas*) no Estuário do Rio Sado com a utilização de bolsas sobre tabuleiros de metal e (b) viveiros de amêijoas (*Ruditapes decussatus*) na Ria Formosa (Fotografias por Sagremarisco, 2021).

Tanques de terra

Em Portugal, a produção de peixes marinhos faz-se tradicionalmente em tanques de terra batida (23 licenças ativas) em sistemas semi-intensivos e representam 5,4% da produção nacional. Estas unidades de produção recebem água do meio envolvente, normalmente através de comportas, podendo, ou não, ser armazenada num reservatório. Depois, passa para os tanques de cultivo e volta a ser rejeitada para o meio ambiente adjacente, podendo ou não passar por um tanque de decantação.

Os microplásticos podem entrar nas pisciculturas através da água, e/ou pela degradação dos materiais/equipamentos utilizados, tais como arejadores da ração, alimentadores, redes nas comportas de entrada e, os tanques podem ainda ser cobertos por redes em plástico, para evitar a predação por aves (Figura 6.7).



Figura 6.7.

Tipos de plásticos por equipamento.

PE: polietileno: (a) cobertura do arejador, (b) rede de saída da água, (c) flutuador do arejador e (d) saco de cultivo de ostras.

FRP: plástico reforçado com fibra: (e) peça do alimentador, (f) suporte do arejador e (g) pás do arejador.

PA: poliamida: (h) rede de proteção contra corvos-marinhos e (i) cordas.

PS: poliestireno: (j) flutuador dos sacos de cultivo de ostras.

PVC: policloreto de vinil: (k) tubo do alimentador e (l) fecho dos sacos de cultivo de ostras (Fotografia por Ravi Araújo - EPPO, 2021).

No cultivo em sistema multitrófico integrado, foram identificados seis tipos de plásticos (Figura 6.8): polietileno, plástico reforçado com fibra, poliamida, poliestireno e policloreto de vinil. O peso total de plástico por tanque foi de 205,36 quilos. Os mais abundantes foram polietileno (43%) e poliamida (36%), seguidos de poliestireno (13%), plástico reforçado com fibra (6%) e policloreto de vinil (2%) (Figura 6.8).

Na aquicultura em tanques de terra, existem vários fatores físicos, químicos e biológicos que podem contribuir para a degradação dos plásticos. Tendo os tanques de terra uma ocupação do território majoritariamente superficial, a exposição à radiação solar é bastante elevada e este é o fator físico que mais degrada os equipamentos utilizados (Figura 6.9 a, b). Os materiais que estão em contato com a água sofrem também com a incrustação de organismos marinhos (exemplo: algas e cracas) e a remoção destes organismos pode contribuir para o desgaste do plástico (Figura 6.9 c, d). A fricção das pás dos arejadores com a água e a ração ao passar pelos tubos dos alimentadores também podem contribuir para a produção de microplásticos.

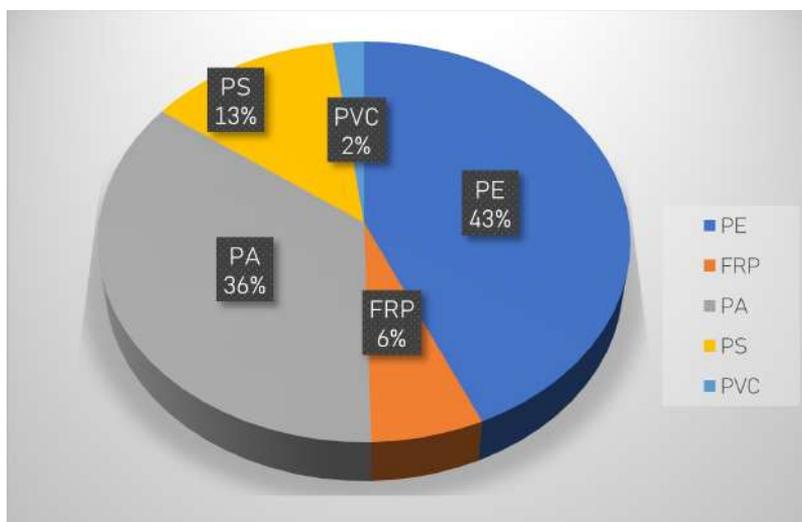


Figura 6.8.

Tipos de plásticos utilizados numa aquacultura integrada.

PE: polietileno;

FRP: plástico reforçado com fibra;

PA: poliamida;

PS: poliestireno e

PVC: policloreto de vinil.

Alguns peixes procuram alimento em organismos incrustantes, provocando algum desgaste dos plásticos onde estão incrustados esses organismos (Figura 6.9 e, f). Da análise dos três compartimentos neste sistema de cultivo (água, bivalves e sedimento (ver Caixa 6.3), a cor mais comum de micropartículas na água foi azul, enquanto que, no miolo dos bivalves a maioria dos microplásticos foi de cor preta. No sedimento dominaram partículas de cor azul e transparentes. Os microplásticos encontrados nos bivalves não se observaram na água. Este facto pode significar que já tinham sido ingeridos há mais tempo pelas ostras, por terem um tempo de residência na coluna de água muito curto, dado que aparecem no sedimento. É importante continuar a estudar.

A aquacultura em tanques de terra é geralmente construída em zonas costeiras onde a água salgada entra no sistema através de comportas ou válvulas. Estas estruturas podem ser ajustadas para reduzir ou mesmo bloquear a entrada de água no sistema quando se suspeita que não tem boa qualidade. Esta operação pode ser utilizada com o objetivo de diminuir a entrada de mi-

croplásticos no sistema, e assim reduzir o seu impacto na produção em aquacultura. A minimização/substituição do plástico por outras soluções também pode ser implementada e é transversal a todas as práticas de aquacultura.

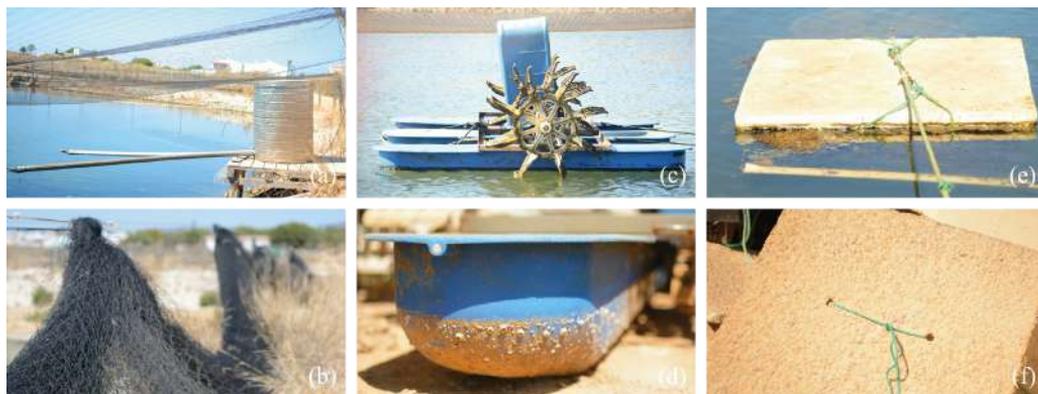


Figura 6.9.

Tipos de material e degradação. (a) rede de proteção contra corvos-marinhos e alimentador, (b) degradação das redes de proteção contra corvos-marinhos pela exposição ao sol, (c) arejador, (d) incrustação de cracas nos flutuadores do arejador, (e) *longline* de cultivo de ostras, (f) degradação dos flutuadores do cultivo de ostras por incrustação de organismos marinhos e mordidas dos peixes (Fotografias por Ravi Araújo - Eppo, 2021).

Os microplásticos ingeridos ficam nos organismos? O que devemos saber?

A maior preocupação para o ser humano é saber se os microplásticos que ingerimos podem ter efeito na saúde. Será que os microplásticos depois de ingeridos são absorvidos pelo organismo? Quantas vezes não engolimos sem querer, uma pastilha elástica, que faz a viagem pelo tubo digestivo até ao fim?

A avaliação do efeito dos microplásticos na saúde humana ainda está no início, por isso sabemos pouco. Já existem vários grupos de cientistas a trabalhar nesta área a nível mundial, em que alguns dos seus resultados indicam que este efeito parece ser mais físico do que químico.

No caso dos peixes consumimos habitualmente o músculo, embora em algumas espécies também o fígado, e às vezes mesmo todo o peixe quando são pequenos. No caso dos bivalves, tiramos a concha e ingerimos todas as partes moles do organismo, enquanto que no caso dos crustáceos retiramos a carapaça e ingerimos o músculo, embora, no caso da sapateira também

as gónadas. Será então que este consumo diferenciado representa o mesmo risco para a saúde humana?

A exposição e as vias de contaminação dos organismos aos microplásticos é influenciada pela forma como os animais se alimentam, para além das condições de cultivo. Os bivalves são filtradores, consumindo o alimento disponível na natureza, filtrando grandes quantidades de água da qual retiram o seu alimento (por exemplo, fitoplâncton, bactérias). Por seu lado, os peixes em cultivo, apesar de ingerirem a água do meio de cultivo, alimentam-se quase exclusivamente da ração fornecida, embora alguns dos ingredientes da ração possam ter vestígios de microplásticos.

Existem vários estudos de pescado em lotas e comprado em mercados e grandes superfícies comerciais, mas sobre organismos produzidos em aquacultura ainda existe pouca informação. Há evidências de que a composição dos polímeros plásticos identificados nos organismos marinhos, reflete o tipo de plásticos que são utilizados na atividade da aquacultura (por exemplo, redes e baldes). No mexilhão de aquacultura, foram encontrados teores elevados de polipropileno e poliéster expandido, cuja presença poderá estar potencialmente relacionada com a utilização destes polímeros na construção dos cabos e das boias. Os tipos de polímeros mais abundantes detetados nos bivalves, são polietilenos, seguido de polietileno tereftalato, polipropileno, poliamida e poliestireno. A grande difusão deste material poderá estar relacionada com a maior produção e utilização destes tipos de polímeros.

No estudo realizado no âmbito do projeto PLASTICSEA para avaliar a presença de microplásticos de bivalves produzidos, observou-se que os valores em diferentes sistemas se mantiveram abaixo de 0,6 micropartículas / grama de miolo (peso fresco) nas duas estações do ano para tanques, viveiros e mar aberto (Figura 6.10). Apenas na Ria Formosa se observaram valores mais elevados, mas ainda assim abaixo de 1 micropartícula / grama de miolo (peso fresco). Estes valores são bastante inferiores aos observados em bivalves e peixes de pesca e mercados recolhidos em locais da Europa (ver Caixa 6.4).

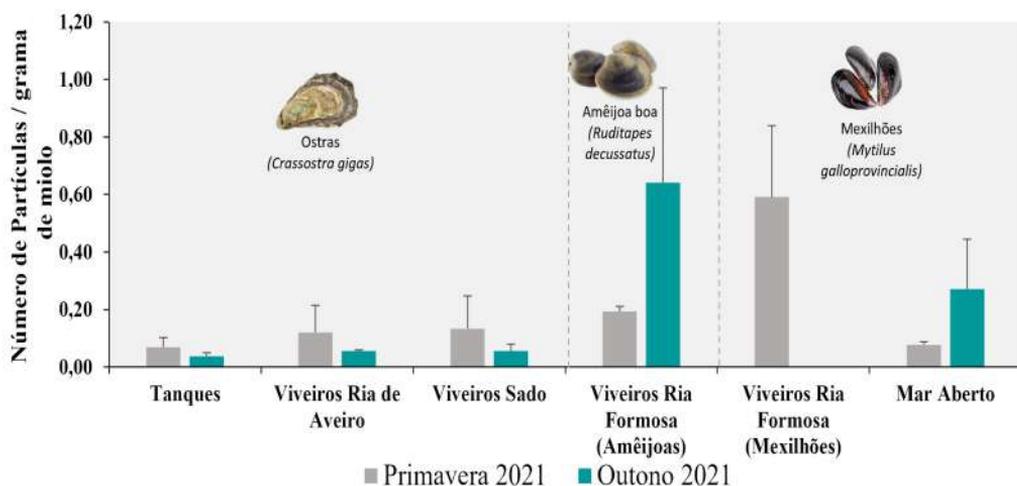
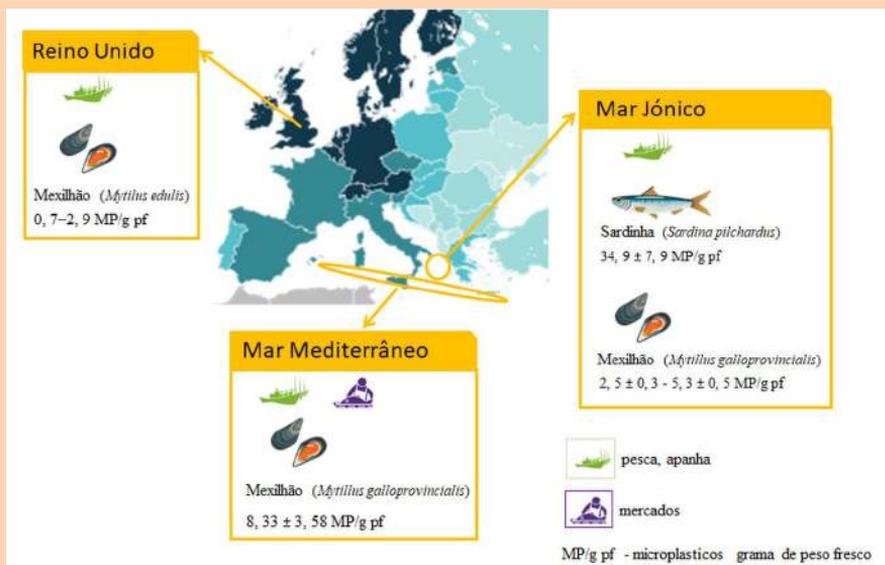


Figura 6.10.

Número de partículas de microplástico por grama de miolo identificadas em diferentes sistemas de produção de aquacultura em Portugal.

Trabalhos de outros autores com peixes (amostrados em mercados e da pesca), referem que o número de microplásticos foi diretamente proporcional ao tamanho do animal, à proximidade a áreas urbanas e à concentração de plásticos na água e no sedimento. Os principais grupos de polímeros observados nos peixes foram polietileno, polipropileno, poliamida, polietileno tereftalato e poliestireno em ordem decrescente, embora, no caso dos peixes de aquacultura e pesca os polímeros dominantes tenham sido o polietileno e o polipropileno. As propriedades dos microplásticos também podem ter influência na sua ocorrência nos organismos. A densidade dos plásticos parece afetar a probabilidade de ingestão pelos organismos. Assim, plásticos que apresentam maior densidade como o policloreto de vinil ou o polietileno tereftalato, afundam mais rapidamente ficando menos disponíveis para ser ingeridos por organismos que se alimentem na coluna de água. Mas, contrariamente ao esperado, observa-se maior número de microplásticos em organismos pelágicos do que em bentónicos.

Caixa 6.4. Quantidade de microplásticos em organismos aquáticos em alguns locais da Europa



(Informação adaptada de Garrido-Gamarro & Costanzo, 2022; infografia adaptada de Marine Conservation Society - <https://www.mcsuk.org> e Fact and Figure CFP EU)

A forma mais frequente dos microplásticos em organismos aquáticos são fibras e fragmentos, sendo as outras morfologias menos comuns (microesferas, filmes e grânulos). A maior abundância de microplásticos na forma de fibras, sugere que a proveniência possa ser de redes de pesca e de instalações de aquacultura em mar aberto no caso de poliamida e polipropileno, enquanto que, o lixo caseiro pode ser responsável pela maioria dos polímeros têxteis como o raiom (ver Capítulo 1).

Ao contrário dos bivalves em que se usa todo o miolo, a norma de quantificação de microplásticos nos peixes indica que se utilize apenas o trato digestivo. A razão da norma pode estar relacionada com o facto de não se observar contaminação do músculo, ou ser insignificante. Como habitualmente retiramos o trato digestivo quando comemos peixe, à exceção dos peixes pequeninos em que todo o peixe é ingerido, facilmente diminuimos a probabilidade de ingerirmos microplásticos.

Para compreender o risco dos microplásticos, têm sido feitos estudos para (i) perceber como se distribuem nos diferentes tecidos, (ii) avaliar se os microplásticos são ingeridos e em que concentração, (iii) estudar se, e como os diferentes tecidos são afetados, expondo os organismos a diferentes concentrações de microplásticos. Estudos em laboratório detetaram partículas no músculo, mas utilizando concentrações 100 vezes superiores às encontradas na natureza. Esta observação indica que a probabilidade de chegar ao músculo é baixa, podendo apenas ocorrer em locais extremamente contaminados.

Para além do efeito físico da micropartícula nos tecidos, se absorvida, outra preocupação é perceber a capacidade de adsorção dos microplásticos, tornando-se veículos para acumular e concentrar substâncias perigosas para a saúde pública, presentes no meio ambiente.

Considerando os estudos/evidências existentes até ao momento, o risco para o ser humano parece não ser elevado. Contudo, esta conclusão não pode ser definitiva pois a informação disponível é escassa e, na realidade, sabemos ainda pouco sobre os potenciais efeitos para a saúde humana. Por isso, é essencial continuar a investigar e aumentar o nosso conhecimento no sector da produção em aquacultura, onde a utilização de plásticos é elevada.

Conseguimos melhorar a forma como utilizamos o plástico?

A taxa de crescimento anual da produção em aquacultura deve manter-se perto dos 6% nos próximos anos. Sendo um sector estratégico porque assegura proteína de elevada qualidade, é expectável um aumento na utilização de material de plástico. Existe um conjunto de boas práticas que podem ser adotadas pelos produtores e outros agentes do sector envolvidos ao longo da cadeia de valorização, para reduzir a quantidade de microplásticos libertados para o meio aquático. Para diminuir a contribuição da aquacultura para a poluição marinha por plástico, devem adotar-se as regras dos cinco "R": Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar, e ainda Recusar (Tabela 6.1).

Tabela 6.1.
Regras dos 5 R's para mitigar a poluição de plásticos em aquacultura

R's	Ação
Reduzir	<p>Reduzir os níveis de abrasão a que o material está sujeito:</p> <ul style="list-style-type: none"> • escolher componentes apropriados ao ambiente físico e químico - os plásticos utilizados na aquacultura marinha, são escolhidos pela sua resistência ao sal e UV; • utilizar materiais alternativos ou plásticos com maior especificação (resistentes e leves).
	<p>Reduzir o risco de falhas no equipamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • assegurar que os componentes sejam substituídos no período de validade; • elaborar planos de contingência com previsão de tempestades (por exemplo, recolher o material frágil);
	<p>Capacitar e treinar os operadores da empresa para a importância do cumprimento das boas práticas.</p>
Reutilizar	<p>Maximizar a reutilização dos plásticos; Assegurar que existem sistemas nos locais para facilitar a reutilização do plástico.</p>
Reciclar	<p>Convencer os fornecedores a maximizar a utilização de plásticos recicláveis nos equipamentos de aquacultura;</p>
Recuperar	<p>Desenvolver uma política de gestão dos plásticos associada (por exemplo, inventário de plásticos recicláveis).</p>
	<p>Elaborar procedimentos para localizar e recuperar equipamentos (ex: colocar GPS em equipamentos).</p>
Recusar	<p>Criar a possibilidade de recuperar material de plásticos de empresas que fecham.</p> <p>Criar uma política onde se reduza ou até elimine:</p> <ul style="list-style-type: none"> • plástico de único uso; • plásticos com baixo nível de reciclagem; • equipamentos que misturem plásticos.

Recomendações práticas para reduzir microplásticos em aquacultura

- Impedir, quando possível, a entrada de plásticos do meio envolvente nas aquaculturas;
- Recolher os plásticos oriundos de outras fontes de poluição das zonas de produção de organismos marinhos;
- Substituir os plásticos, sempre que for possível, por material biodegradável, como no caso das cordas e sacos de cultivo de ostras;
- Utilizar sistemas sónicos e ultrassónicos para afugentar os corvos-marinhos e evitar a utilização das redes de proteção em tanques de produção de peixe;
- Os tubos de policloreto de vinil dos alimentadores de tanques de peixes, podem ser substituídos por tubos de alumínio;
- Estudar a viabilidade de revestir os flutuadores dos sacos de cultivo de ostras com outros materiais como por exemplo, contraplacado marítimo;
- Os equipamentos/materiais que não estão em utilização devem ficar abrigados do sol e variações de temperaturas, para prevenir a sua degradação;
- Prever a substituição dos equipamentos/materiais em plástico antes da sua degradação. Verificar a possibilidade de reciclar de todo material plástico;
- Incentivar estudos sobre degradação, quantificação e bioacumulação em busca de informações mais precisas.

A redução de microplásticos é uma responsabilidade de TODOS.

Bibliografia consultada

FAO, 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615, 147 pp. <http://www.fao.org/3/a-i7677e.pdf>.

Garrido-Gamarro, E. & Costanzo, V., 2022. Microplastics in food commodities – A food safety review on human exposure through dietary sources. Food Safety and Quality Series No. 18. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2392en>.

- Instituto Nacional de Estatística, 2022, Estatísticas da Pesca 2021, 99 pp.
https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESTipo=ea&PUBLICACOEScolecção=107656&selTab=tab0&xlang=pt.
- Lim X.Z., 2021. Microplastics are everywhere — but are they harmful? Nature Vol 593 6 May: 22-25. <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01143-3>.
- Huntington, T., 2019. Marine Litter and Aquaculture Gear – White Paper. Report produced by Poseidon Aquatic Resources Management Ltd for the Aquaculture Stewardship Council. 20 pp. https://www.asc-aqua.org/wp-content/uploads/2019/11/ASC_Marine-Litter-and-Aquaculture-Gear-November-2019.pdf.

7. Microplásticos no ambiente: uma nova ameaça à saúde humana?

Angela Serafim^{1,2}, Belisandra Lopes¹, Tainá Fonseca¹

¹ CIMA- Centro de Investigação Marinha e Ambiental/ARNET- Rede de Infraestrutura em Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

² Centro Hospitalar Universitário do Algarve, CHUA.

aserafim@ualg.pt; blopes@ualg.pt; taina-garcia@hotmail.com

A crescente dependência da utilização de produtos plásticos desnecessários e evitáveis, particularmente embalagens de uso único e itens descartáveis, reflete-se na quantidade alarmante de resíduos de plástico que se encontram, aparentemente, em todos os recantos da Terra. A preocupação com as consequências da poluição por plásticos, seja para a vida marinha ou terrestre, tornou-se um tema de discussão global, amplamente divulgado nos diversos meios de comunicação e redes sociais. Apesar do elevado número de estudos científicos realizados nos últimos 10 anos com o objetivo de identificar e revelar os impactos dos plásticos e microplásticos (MP) na saúde ambiental, ainda se sabe pouco sobre os seus reais efeitos na saúde humana.

A disseminação de MP por todo o nosso planeta suscita sérias preocupações quanto à saúde e segurança das gerações presentes e futuras. Estudos desenvolvidos por cientistas de diversas áreas do conhecimento revelam que estamos a inalar MP através do ar (ver Capítulo 3) e a ingeri-los através do consumo de água mineral e bebidas engarrafadas, sal, mel, alimentos enlatados, saquetas de chá, açúcar, peixe e mariscos contaminados por MP. Assim, uma vez que o plástico é um material presente no nosso quotidiano 24 horas por dia (observe agora a quantidade de itens plásticos à sua volta!), estaremos nós, seres humanos, livres das ameaças que estes itens possam causar à nossa saúde?

Para uma melhor compreensão dos potenciais perigos que os MP podem representar para a saúde humana, é crucial identificar as fontes de contaminação de partículas de MP no ambiente, as suas vias de entrada no organismo humano, os mecanismos de interação destas partículas com os nossos tecidos e células e, finalmente, os seus efeitos tóxicos. A recolha de dados e a investigação sobre a exposição humana diária a MP a longo prazo, são fundamentais para que se possam tomar medidas para a redução dos riscos para a saúde.

Vários estudos demonstram as mais diversas rotas de entrada de MP primários e secundários (ver definição no Capítulo 1) no ambiente natural. A maior fonte de contaminação de MP primários nos ecossistemas marinhos encontra-se nas nossas próprias casas, através da lavagem de roupas sintéticas (35%) e do uso de produtos de higiene pessoal e de cosmética (2%), que libertam fibras e esferas de MP, respetivamente, para os esgotos urbanos. Apesar das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) receberem e tratarem os resíduos municipais para garantir uma qualidade segura antes da sua libertação no ambiente (ver Capítulo 8), elas não possuem processos tecnológicos com eficiência para uma remoção completa dos MP, que acabam por ser transportados para os rios, mares e oceanos. Além disso, a má gestão de lixo e de material têxtil, resultando no seu descarte indevido e dispersão no ambiente, ou o abandono de artefactos de pesca no oceano, são vias significativas de introdução de plásticos nos ecossistemas marinhos e, conseqüentemente, de MP (ver Capítulo 1). Como os plásticos que chegam a estas massas de água não são facilmente removidos, acumulam-se nos ecossistemas e podem ser ingeridos pelos diferentes organismos, entrando na cadeia alimentar e por isso, na dieta humana.

Neste Capítulo, apresentamos os mais recentes estudos de investigação e evidências disponíveis acerca da exposição humana aos MP, possível contaminação e toxicidade que estes novos contaminantes podem causar à nossa saúde.

Microplásticos à mesa

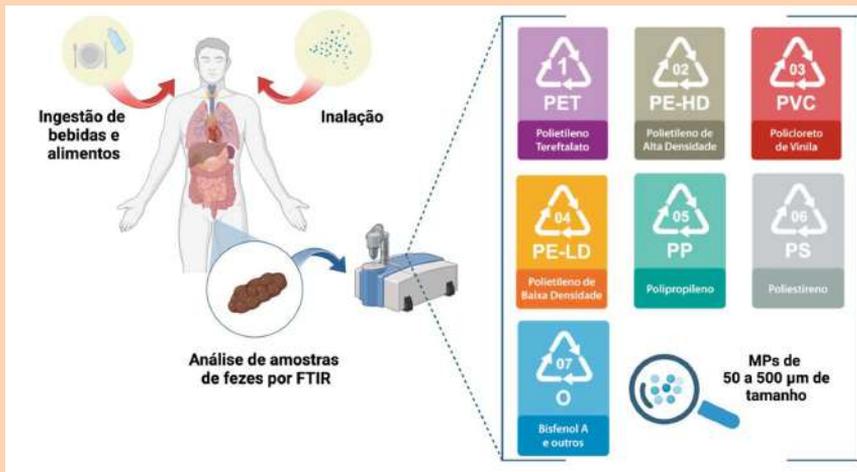
O consumo de peixe e marisco contendo MP representa uma fonte significativa de ingestão deste contaminante no nosso quotidiano. Estima-se que, em países europeus onde a população tem uma tradição histórica e cultural de consumo de pescado, a ingestão de MP pode chegar até 11 mil partículas por ano, por pessoa.

Os resultados do estudo por Cox e colaboradores (2019) indicaram as seguintes concentrações de partículas de MP em bebidas e alimentos consumidos: água engarrafada (94,37 MP por litro), cerveja (32,27 MP por litro), água da torneira (4,24 MP por litro), marisco (1,48 MP por grama), açúcar (0,44 MP por grama), sal (0,11 MP por grama) e mel (0,10 MP por grama). O ar que respiramos também contém quantidades significativas de MP (9,8 MP por metro cúbico).

Sabe-se que as substâncias químicas que compõem originalmente os plásticos podem causar sérios danos à saúde humana, mas o conhecimento sobre a sua toxicidade ainda é muito limitado. A maior prova de que os MP são ingeridos é a sua presença nas fezes (Caixa 7.1). Foram analisadas amostras de fezes humanas através de uma técnica chamada *Espectroscopia de Infravermelhos Transformada de Fourier* (FTIR) (ver Caixas 7.2.1 e 7.2.2) e as análises indicaram a presença de MP, revelando que estes podem ser excretados pelo trato gastrointestinal após a digestão do alimento contaminado.

Caixa 7.1. Detecção de MP em fezes

O estudo de Schawbl e colaboradores (2019) contou com a participação de 8 voluntários, de diferentes países (Japão, Rússia, Holanda, Reino Unido, Polónia, Itália, Finlândia), que forneceram amostras de fezes para detecção de MP. Além disso, os voluntários forneceram informações detalhadas sobre a frequência de consumo de água mineral engarrafada, produtos de higiene pessoal e cosmética, e de alimentos embalados ou acondicionados em plástico. A equipa de investigação detetou a presença de MP com dimensões entre 50 e 500 micrómetros, numa concentração média de 20 fragmentos em cada 10 gramas de amostra fecal. Dos 10 tipos de plásticos selecionados para análise nas fezes estudadas, foram detetados 9. Apesar dos resultados inéditos, o estudo também apresentou algumas limitações, tais como, uma quantidade reduzida de amostras e de réplicas (apenas 1 amostra foi doada por cada um dos voluntários). Existiu também uma grande variabilidade geográfica, uma vez que as amostras estudadas vieram de diferentes países, para além de hábitos de consumo muito diversificados entre os voluntários.

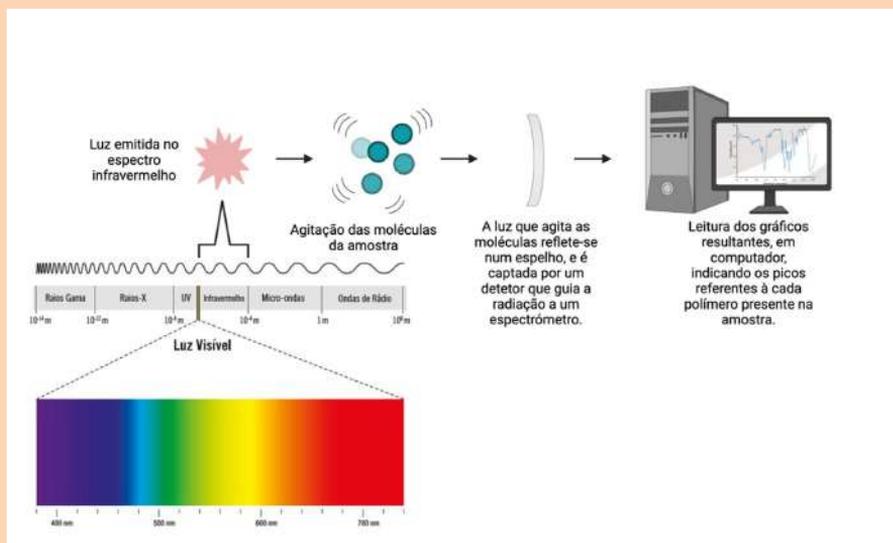


Caixa 7.2.1 Espectroscopia molecular: uma ferramenta essencial para a identificação de microplásticos (MP)

As técnicas de espectroscopia molecular têm-se revelado fundamentais para a identificação dos diferentes polímeros que constituem os plásticos. Estas técnicas experimentais baseiam-se na utilização da luz para estudar a composição, estrutura e propriedades da matéria. As amostras em estudo são irradiadas com um feixe de luz incidente e a análise é feita à luz transmitida, emitida ou difundida pela amostra. Dentro destas técnicas, podemos destacar a espectroscopia FTIR (Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier) e a espectroscopia Raman, ambas utilizadas no estudo de MP.

Espectroscopia FTIR:

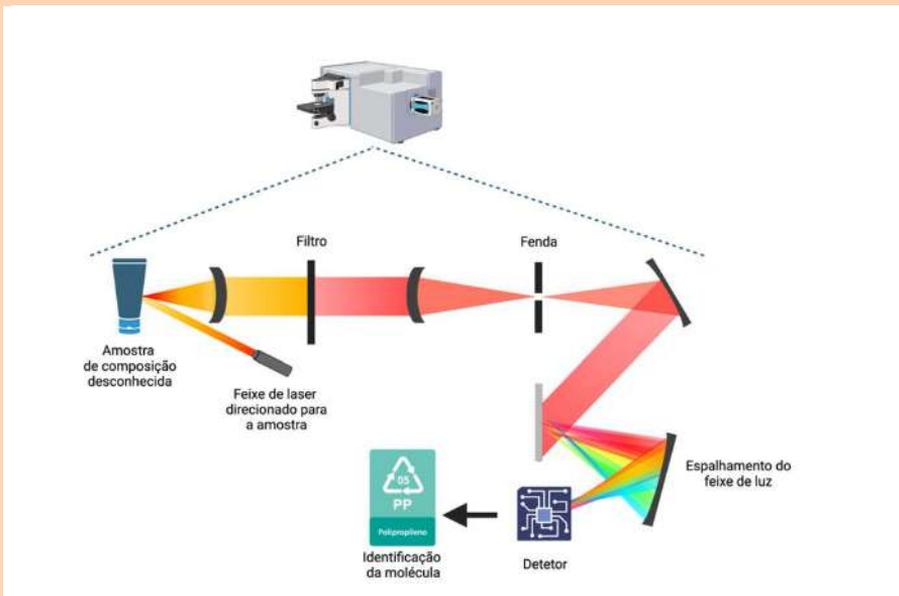
A espectroscopia FTIR é uma técnica de análise vibracional que se baseia na absorção de radiação infravermelha pelos polímeros presentes nos MP. Cada tipo de polímero possui grupos funcionais característicos, com frequências vibracionais únicas, o que permite identificá-los de forma precisa. Durante a análise, a amostra é exposta a diferentes comprimentos de onda do espectro infravermelho, e a quantidade de luz absorvida é medida. O resultado é um espectro que mostra picos de absorção correspondentes aos diferentes grupos funcionais presentes no material em estudo. A partir da comparação com espectros de referência de polímeros conhecidos, é possível determinar a composição dos MP.



Caixa 7.2.2 Espectroscopia molecular: uma ferramenta essencial para a identificação de microplásticos (MP)

Espectroscopia Raman:

A espectroscopia Raman é uma técnica que utiliza luz laser para estudar a composição dos materiais. Quando um feixe de luz laser incide sobre uma amostra, parte dela é difundida de maneira diferente, dependendo das vibrações das moléculas na amostra. Essas vibrações moleculares são únicas e geram padrões de luz difundida característicos, que são chamados de "espectros Raman". Cada material possui um espectro Raman exclusivo, funcionando como uma espécie de "impressão digital" molecular. Ao analisar o espectro Raman, os cientistas podem identificar os diferentes tipos de plástico presentes nas amostras.



Como entram os microplásticos no nosso sistema digestivo?

Os MP ingeridos através do consumo de alimentos podem ser inicialmente absorvidos no nosso intestino por células da mucosa intestinal, chamadas células M. Este tipo de células atuam normalmente como porta de entrada para agentes infecciosos, antígenos e outros materiais estranhos que podem ser encontrados no trato gastrointestinal. As células M englobam partículas ou substâncias do meio extracelular (fora da célula) através de um processo denominado endocitose, que é também responsável pela absorção de MP (Figura 7.1 A). Nesse processo, a célula engloba MP e outras partículas, em vesículas intracelulares chamadas de endossomas, onde são processadas e apresentadas ao sistema imunológico. As células dendríticas que fazem parte do sistema imunológico, são responsáveis por transportar os MP através da circulação linfática, podendo alcançar a circulação sanguínea (Figura 7.1 A). Outra forma dos MP atravessarem a mucosa intestinal é através do transporte nos espaços entre as células da parede intestinal, um mecanismo conhecido como difusão paracelular. Este é um processo de difusão passiva que ocorre entre células adjacentes, envolvendo a passagem de moléculas através de junções comunicantes, e não através das membranas celulares (Figura 7.1 B). A difusão paracelular não é muito seletiva, o que significa que permite a passagem de diversas moléculas e compostos, incluindo as partículas de MP. Quando a integridade destas junções entre as células se encontra debilitada, a passagem de MP através da parede intestinal é favorecida. Consequentemente, os MP são capturados pelas células dendríticas, transportados na circulação linfática e, posteriormente, na circulação sanguínea (Figura 7.1 B).

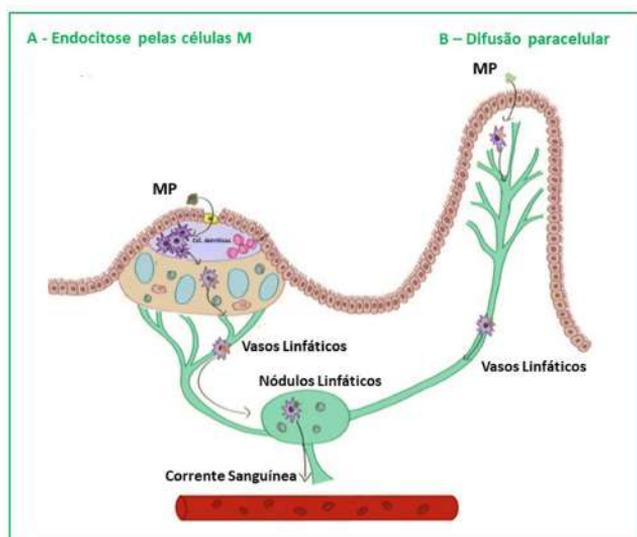


Figura 7.1. Mecanismos hipotéticos pelos quais os microplásticos penetram na mucosa intestinal (Figura adaptada de Ragusa et al., 2021).

Para examinar a presença de MP e a composição dos polímeros de plástico no sistema gastrointestinal, foram recolhidas amostras de tecido intestinal, mais precisamente do cólon (Caixa 7.3), durante procedimentos cirúrgicos (colectomia) e analisadas com o auxílio de microscopia eletrónica e da técnica de FTIR (ver Caixas 7.2.1 e 7.2.2).

Caixa 7.3. Efeitos de MP na saúde humana

No estudo conduzido por Ibrahim e colaboradores (Ibrahim et al., 2020), 11 adultos, residentes no Nordeste da Península da Malásia, com indicações clínicas para a colectomia, consentiram em ser voluntários para a recolha das amostras. Estes apresentavam condições como cancro colorretal e diagnósticos não relacionados com cancro (por exemplo, malformação arteriovenosa com sangramento, perfuração do cólon e trauma). Foram detetados MP em todas as amostras, com uma média de 28 partículas por grama de tecido. A maioria dos MP analisados eram fibras constituídas por 90% de policarbonato, 50% de poliamida e 40% de polipropileno.



Inspirar e expirar: Microplásticos no ar

Juntamente com o ar que respiramos, inalamos uma série de partículas, sejam elas de origem natural ou produzidas pelas atividades humanas, coletivamente chamadas de matéria particulada. Não é de se admirar que esta mistura complexa de matéria suspensa no ar também seja formada por micro e nanoplásticos, de tamanhos, formas e composições variadas (ver Ca-

pítulo 3). Estudos recentes têm revelado que os MP podem ser transportados para a superfície do oceano e para lugares distantes e remotos, através de processos regidos pelos ventos e turbulência. A distribuição espacial, em quantidade e composição de MP, demonstrou variar significativamente de acordo com as áreas de estudo. É o caso de zonas urbanas da Europa, como Hamburgo (Alemanha) e Paris (França), que revelaram a deposição de 275 e 118 partículas por metro quadrado por dia (m^2/dia), respectivamente, enquanto que na China, a abundância de MP pode chegar a 602 partículas depositadas por m^2/dia . No entanto, resultados surpreendentes indicaram que em zonas pristinas da Cordilheira dos Pirenéus (uma cadeia de montanhas entre Espanha e França), a quantidade de MP depositada, alcançou cerca de 365 partículas por m^2/dia , evidenciando a problemática global associada à poluição atmosférica por MP.

O registo da abundância de fibras depositadas em apartamentos urbanos revelou níveis alarmantes, indicando uma taxa de deposição de 1600 a 11 000 fibras por m^2/dia . Embora a investigação acerca deste tema ainda seja recente, as evidências científicas geradas, têm despertado o alerta de profissionais de saúde pública para os possíveis efeitos que podem ser desencadeados pela constante inalação de MP.

Apesar de invisíveis ou da sua presença não ser sentida durante a respiração, as microfibras (inferiores a 5 milímetros) e nanofibras (com dimensão entre 1 e 100 nanómetros) são dominantes na atmosfera. Estima-se que um adulto inale até 30 milhões de MP por ano, superando, portanto, a entrada de MP no organismo prevista pela ingestão de água e de sal de mesa. Os MP inalados podem fragmentar-se no interior do organismo e desencadear processos de abrasão e inflamação nos tecidos, resultando em infeções, além de transportarem agentes infecciosos presentes nas superfícies dos plásticos. Mas como ocorre a entrada dos MP no nosso organismo, via inalação? No trato respiratório superior, o muco é mais espesso e permite uma eliminação bem-sucedida dos MP. O movimento mecânico do epitélio ciliado e a presença de surfactante impedem que os MP se espalhem pelo epitélio e cheguem à circulação sanguínea (Figura 7.2 A). No trato respiratório inferior, a camada de muco é mais fina, facilitando assim a difusão dos MP, que podem espalhar-se na circulação sanguínea por captação celular ou difusão (Figura 7.2 B).

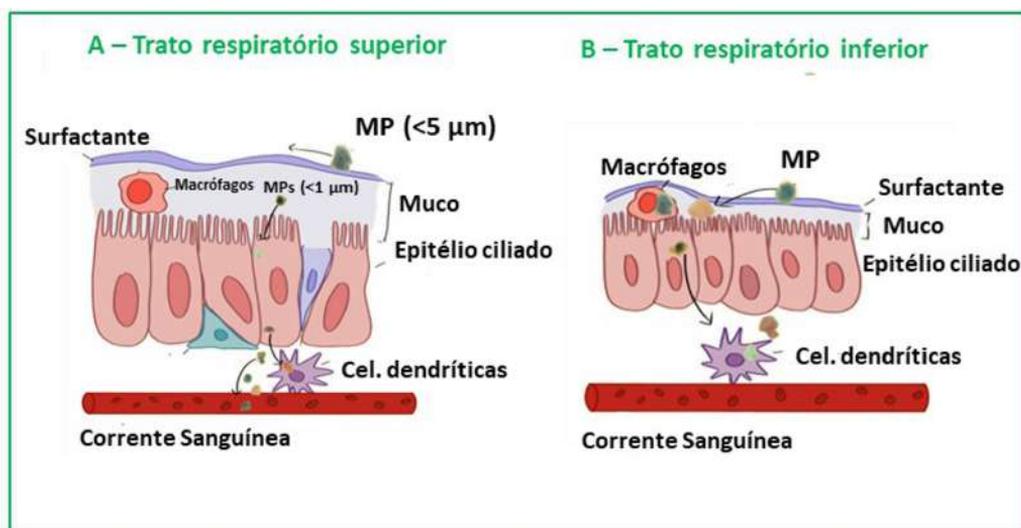


Figura 7.2.

Mecanismos hipotéticos pelos quais os microplásticos penetram no trato respiratório (Figura adaptada de Ragusa et al., 2021).

Será que os microplásticos atravessam o cordão umbilical?

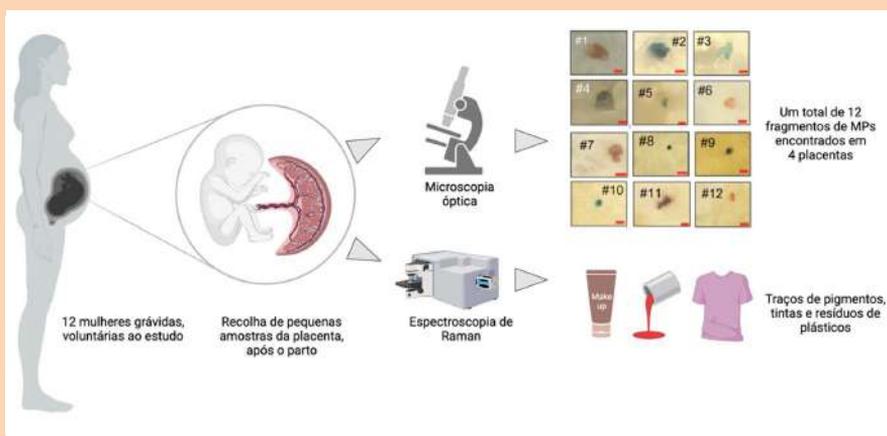
Quanto menor o tamanho de uma partícula de plástico, maior a sua capacidade de atravessar barreiras biológicas do nosso organismo e de ser transportada e acumulada nos nossos tecidos. Desta forma, este fenómeno acaba por também incluir a placenta como destino final dos MP. A placenta é um tecido complexo que possui múltiplas camadas de células, de diferentes tipos, que regulam os mecanismos de transporte para fornecer oxigénio, nutrientes e agentes reguladores do desenvolvimento do feto. O transporte de poluentes ambientais para o sistema gastrointestinal materno e, conseqüentemente, para a circulação fetal através do tecido placentário, é objeto de estudos na área da Toxicologia. A transferência de contaminantes para o feto gera condições desfavoráveis à idade gestacional (como partos prematuros), problemas de desenvolvimento intra-uterino e riscos associados a doenças pós-parto, como já reportado para metais, pesticidas, poluentes atmosféricos e compostos químicos industriais. Desta forma, os nanoplásticos (NP - partículas com tamanho inferior a 100 nanómetros) tornam-se ainda mais preocupantes, já que, são tão pequenos que podem penetrar facilmente nos órgãos e fluidos corporais. Em geral, à medida que o tamanho de um objeto, partícula, ou até mesmo célula, diminui o seu volume, maior se torna a proporção da sua superfície de contato. Como resultado, os NP possuem uma maior capacidade

de 'carregar' e transportar contaminantes que ficam aderidos à sua superfície. No entanto, ainda há muitas incertezas quanto ao real transporte e destino de NP no organismo, devido à ausência de métodos sensíveis que permitam compreender os mecanismos de transferência entre as barreiras biológicas.

Evidências científicas indicam a transferência de fragmentos de MP através do cordão umbilical para o tecido placentário (Caixa 7.4) e a sua eliminação através do mecônio (primeiras fezes do recém-nascido). Coletivamente, estas detecções revelam uma potencial ameaça ao desenvolvimento infantil, a longo prazo, particularmente onde as populações ingerem uma grande quantidade de MP através da alimentação ou hábitos de vida. Desta forma, torna-se de extrema importância a obtenção de conhecimento atualizado, que preencha lacunas quanto às concentrações de MP presentes no ambiente, vias de acesso e transporte de MP no organismo humano, respostas biológicas em células de tecidos humanos e cálculo de riscos pela exposição intra-uterina a MP e aos seus compostos químicos associados.

Caixa 7.4. MP na placenta humana

No estudo de Ragusa et al. (2021), foram analisadas seis placentas voluntariamente fornecidas após parto vaginal no Departamento de Obstetrícia e Ginecologia do Hospital San Giovanni Calibita Fatebenefratelli, localizado na Ilha Tiberina, em Roma, Itália. As amostras foram estudadas através de Microespectroscopia Raman para avaliar a presença de MP (ver Caixa 7.2). Foram encontrados, no total, 12 fragmentos de MP (com tamanho entre 5 e 10 micrómetros), com forma esférica ou irregular, em quatro placentas. Todas as partículas de MP foram caracterizadas quanto à morfologia e composição química. Todas elas eram pigmentadas; três foram identificadas como sendo de polipropileno pigmentado, um polímero termoplástico, enquanto para as outras nove foi apenas possível identificar os pigmentos, que são utilizados em revestimentos artificiais, tintas, adesivos, gessos, polímeros, cosméticos e produtos de cuidados pessoais.



Apesar dos poucos estudos indicativos da presença de MP em tecidos humanos, o mesmo não acontece com as substâncias adicionadas aos plásticos. Estas substâncias são denominadas 'aditivos' e servem para melhorar as propriedades físicas e químicas dos plásticos, como a resistência mecânica, durabilidade, estabilidade térmica, cor e propriedades de processamento. Existem muitos tipos de aditivos utilizados em plásticos, incluindo estabilizadores, antioxidantes, retardadores de chama, plastificantes, corantes e lubrificantes, entre outros. De realçar que alguns aditivos, como os ftalatos e bisfenol A (BPA), podem ser tóxicos e têm sido associados a efeitos adversos à saúde, como distúrbios hormonais, cancro, infertilidade e outros problemas crônicos. Além disso, alguns aditivos podem tornar-se poluentes ambientais persistentes, afetando a fauna e a flora locais.

O BPA é um aditivo químico utilizado na composição e fabrico de certos tipos de plástico, como garrafas de água, embalagens de alimentos e bebidas, equipamentos médicos e dentários, têxteis, e muitos outros produtos (ver Capítulo 1). O BPA tem sido associado a efeitos adversos à saúde humana, especialmente em bebés e crianças, devido à sua capacidade de interferir com o sistema endócrino. O sistema endócrino é responsável por regular a produção de hormonas no corpo, e a exposição ao BPA pode causar problemas de saúde, como a puberdade precoce, disfunção hormonal, cancro, obesidade e diabetes. Devido a estas preocupações, muitos países implementaram restrições ao uso do BPA em certos produtos, como biberões e produtos de cuidados infantis. No entanto, o BPA ainda é amplamente utilizado na produção de outros produtos e, portanto, a exposição humana e ambiental continua a ser uma preocupação. Assim, há uma exposição ambiental significativa a poluentes provenientes do plástico, que são capazes de penetrar na placenta humana, representando um potencial risco para a saúde da mãe e, em particular, do recém-nascido.

Na região Sul de Portugal, no Algarve, foi desenvolvido um estudo inserido no projeto de investigação PLASTICSEA, para determinar o teor de compostos químicos adicionados ao plástico, como o bisfenol-A (BPA), em placentas voluntariamente fornecidas por mulheres grávidas de diferentes cidades da zona costeira algarvia, após o parto. Todas as amostras de placentas apresentaram BPA em concentrações que variavam de 0,80 a 9,50 nanogramas por grama (Figura 7.3). Estes valores são geralmente consistentes com os relatados por outros autores noutros países (Espanha, China e Estados Unidos). Os níveis e a prevalência de exposição ao BPA podem variar dependendo de vários fatores, como dieta, estilo de vida e geografia. De facto, na costa algarvia, verificaram-se níveis mais altos de BPA nas placentas das mulheres que residiam em Olhão, comparados com os níveis detetados noutras cidades da mesma região. Estes resultados podem ser o reflexo dos hábitos e estilo de vida dos diferentes grupos de mulheres.

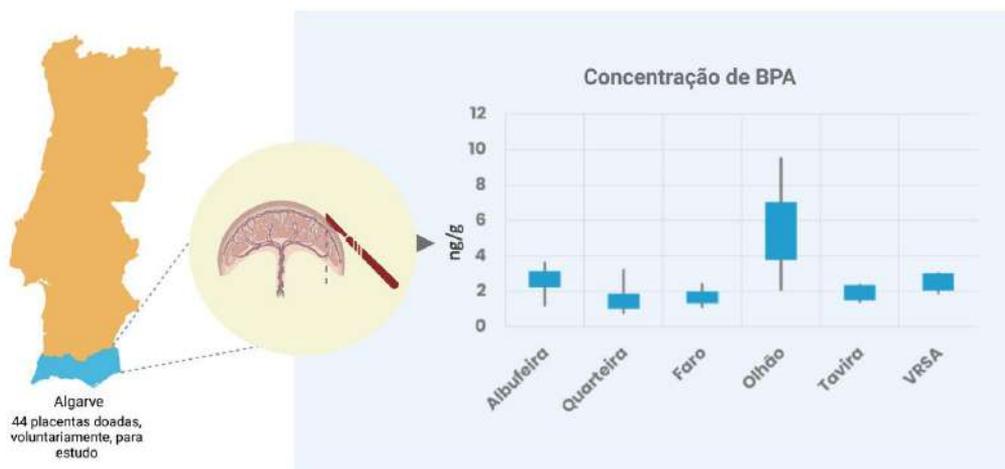


Figura 7.3.

Concentração de bisfenol-A detetado em placentas de mulheres grávidas que voluntariamente participaram de um estudo conduzido na região Sul de Portugal.

Que medidas devem ser tomadas para reduzir a contaminação humana por MP? Que caminhos devemos tomar?

A vasta distribuição de MP no ambiente que nos rodeia levanta questões sobre o nível de exposição humana, bem como a capacidade de absorção pelo corpo humano. Embora a comunidade científica esteja preocupada com o perigo que os MP possam representar para a saúde a longo prazo, as evidências científicas atuais, tanto sobre a toxicidade como sobre a exposição humana, são insuficientes para estabelecer conclusões definitivas de risco, quer por ingestão quer por inalação.

A medição precisa da quantidade de microplásticos capazes de penetrar nos tecidos humanos, ou seja, partículas menores que 10 micrómetros, é crucial para a avaliação de risco para a saúde, como uma ferramenta inestimável para confirmar a extensão da exposição e propor medidas de proteção da saúde pública. Portanto, torna-se essencial a criação de métodos validados e padronizados entre as diferentes regiões do mundo, para se investigar de maneira alargada a quantidade e composição de MP no ambiente e no corpo humano. Além disso, é importante comparar a toxicidade causada por MP incorporados no organismo humano e por partículas da mesma dimensão, naturalmente presentes no ambiente.

O crescente número de estudos focados na detecção e caracterização dos diferentes tipos de MP em diferentes sistemas do corpo humano revela novos desafios científicos e a urgência da criação de novos materiais como alternativas ao plástico e medidas de gestão de lixo, bem como mudanças nos padrões de consumo e atitudes.

Bibliografia consultada

- Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F., Juanes, F. & Dudas, S.E., 2019. Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53: 7068–7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>.
- Ibrahim, Y.S., Tuan Anuar, S., Azmi, A.A., Wan Mohd Khalik, Lehata, S., Hamzah, S.R., Ismail, D., Ma, Z.F., Dzulkarnaen, A., Zakaria, Z., Mustaffa, N., Tuan Sharif & Lee, Y.Y., 2020. Detection of microplastics in human colectomy specimens. Open access *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 5 (1): 116–121. <https://doi.org/10.1002/jgh3.12457>.
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M.C.A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M. & Giorgini, E., 2021. Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environment International* 146, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.
- Schwabl, P., Koppel, S., Konigshofer, P., Bucsecs, T., Trauner, M., Reiberger, T. & Liebmann, B., 2019. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, 171 (7): 453–457. <https://doi.org/10.7326/M19-0618>.

8. O potencial das microalgas na remoção de micro e nanoplásticos à saída das estações de tratamento de águas residuais

Valdemira Afonso, Raúl Barros, Maria João Bebianno, Sara Raposo

CIMA- Centro de Investigação Marinha e Ambiental\ARNET – Rede de Infraestruturas em Investigação Aquática, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

vlafonso@ualg.pt; rbarros@ualg.pt; mbebian@ualg.pt; sraposo@ualg.pt

Atualmente, a acumulação de micro e nanoplásticos no ambiente, especialmente no ambiente aquático, é um dos principais desafios com que a sociedade se depara, sendo urgente a procura de soluções sustentáveis para esta problemática (ver Capítulo 1). Neste capítulo, será abordado o papel das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) no transporte de microplásticos (MP) para o ambiente aquático, onde as microalgas poderão ter um papel crucial, como uma possível solução para a mitigação dos micro e nanoplásticos nestes efluentes. Serão caracterizados os microplásticos presentes em efluentes de duas ETAR distintas, com sistemas de tratamento diferentes, e será avaliado o potencial das microalgas na sua remoção. Numa perspetiva de bioeconomia circular, com a utilização sustentável de recursos biológicos, será avaliada a utilização da biomassa produzida após o tratamento das águas residuais, num contexto de biorrefinaria para a produção de biocombustíveis.

Estações de Tratamento de Águas Residuais: uma das principais vias de entrada dos microplásticos no meio marinho

As ETAR são infraestruturas extremamente importantes, nas quais é realizado o tratamento das águas residuais domésticas e industriais geradas diariamente, com o objetivo de remover ou diminuir a matéria poluente, para que possam ser reutilizadas ou reintroduzidas no meio ambiente em segurança. Nas ETAR, as águas residuais são sujeitas a processos físicos, químicos e biológicos, para a separação e remoção da matéria poluente, gerando efluentes sólidos e líquidos, que devem ser geridos de forma a diminuir o seu impacto no meio ambiente (Caixa de texto 8.1).

Caixa 8.1. Como funciona uma ETAR?

Nas **ETAR**, existem, de um modo geral, três tipos de tratamento sequenciais aos quais praticamente todas as águas residuais municipais ou industriais são sujeitas: o tratamento preliminar, o tratamento primário e o tratamento secundário. Algumas ETAR ainda realizam tratamentos terciários, dependendo da capacidade e características das infraestruturas, e também das necessidades de ajuste das características dos efluentes.

No **Tratamento Preliminar** são removidos os sólidos de maiores dimensões por filtração e gradagem, seguindo-se a remoção das areias, por desarenamento, e as gorduras por desengorduramento.

O **Tratamento primário** faz uma separação física, normalmente por decantação, de parte da matéria orgânica e dos sólidos suspensos, resultando desta etapa uma fase sólida que deve ser adequadamente tratada e eliminada.

O **Tratamento secundário** consiste num processo biológico para a remoção da matéria orgânica por ação de microrganismos. Estes microrganismos estão presentes nas lamas que são misturadas com as águas residuais. Este processo pode ser feito na presença de oxigénio por arejamento, quando os microrganismos utilizados são aeróbios, e sem arejamento, quando são anaeróbios. Algumas ETAR combinam os dois tipos de tratamento de forma a aumentar a eficácia desta etapa. Após o tratamento biológico, as águas residuais são dirigidas para os decantadores secundários para decantação por gravimetria. Desta etapa, resulta uma fase sólida da qual uma parte é reintroduzida no sistema para manter as lamas ativas utilizadas no tratamento secundário, e o excedente é transformado em composto para fins agrícolas, ou enviado para aterro.

No **Tratamento terciário**, faz-se, quando necessário, a afinação do efluente, sujeitando-o por exemplo a processos de desinfecção, remoção de azoto ou fósforo em excesso, ou remoção de sólidos suspensos residuais ou processos avançados de remoção de classes específicas de contaminantes.

Apesar dos tratamentos aplicados serem efetivos na remoção de grande parte da matéria poluente, partículas de menores dimensões como os micro e os nanoplásticos, podem não ser removidas nem degradadas, persistindo no efluente final. Por não existirem tratamentos direcionados para a remoção destas partículas, as ETAR são consideradas uma das principais fontes de micro e nanoplásticos para o ambiente aquático, podendo representar pontos estratégicos que permitam atuar na sua deteção e remoção.

As partículas de plástico que são transportadas até às ETAR, têm origem nas atividades antrópicas diárias, a nível doméstico e industrial (Figura 8.1). Os microplásticos primários (ver definição no Capítulo 1) são o principal tipo de lixo plástico que é transportado pelas águas residuais urbanas até às ETAR e que se pode encontrar nos seus efluentes. Os microplásticos primários encontram-se em produtos de uso doméstico e industrial, como géis esfoliantes, pastas dentífricas, cosméticos, produtos de limpeza, tintas e outros produtos que, no seu processo de fabrico e/ou uso, acabam por gerar micropartículas que vão contaminar as águas residuais urbanas e entrar facilmente nas redes de esgoto sendo transportadas até às ETAR. As fibras têxteis sintéticas, libertadas durante as lavagens de roupa, são também consideradas um tipo de MP primário e são o tipo de plástico que é libertado nos esgotos domésticos em maior quantidade. Estima-se que, cerca de 35% dos microplásticos dos oceanos sejam fibras têxteis, tendo grande parte sido introduzidas no oceano através dos efluentes das ETAR. Os microplásticos secundários, que têm origem na degradação de objetos de maiores dimensões (ver Capítulo 1), entram também nas redes de esgoto, sendo a principal causa, a eliminação errada de produtos como pensos higiénicos, tampões e cotonetes, entre outros, pela sanita ou lavatórios. Outra via de transporte dos microplásticos até às ETAR são as escorrências nas ruas, pela chuva ou lavagens, que transportam o lixo urbano até às sargetas, entrando assim nas redes de esgoto. Beatas de cigarro, restos de pneus que resultam da fricção na estrada durante a condução, partículas resultantes da erosão de objetos plásticos e outros detritos plásticos indevidamente descartados, são exemplos de como os detritos de microplásticos secundários podem facilmente ser introduzidos nas ETAR.

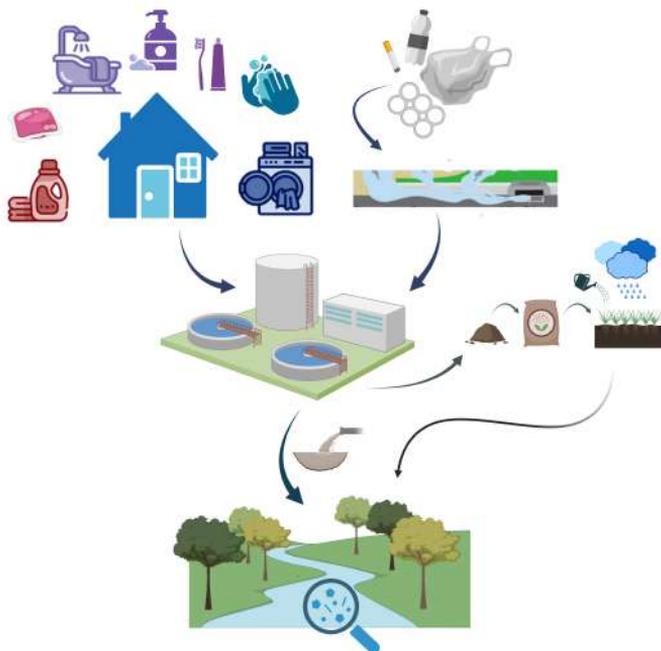


Figura 8.1.

Principais vias de transporte dos microplásticos até às ETAR e ambientes aquáticos. Imagem criada com recurso ao software BioRender.com, 2023.

O tratamento das águas residuais nas ETAR não está direcionado para a eliminação deste tipo de contaminante, não havendo assim um controlo das quantidades de micro e nanoplásticos ao longo dos processos de tratamento nas ETAR, bem como nos seus efluentes. Apesar de as ETAR não terem um tratamento específico para a remoção de microplásticos, ocorre geralmente uma diminuição no número de partículas no efluente final, devido aos diferentes processos de tratamento existentes nas ETAR, nomeadamente as decantações, primária e secundária, ficando as partículas de maiores dimensões retidas nas fases sólidas geradas. Em muitas ETAR, estas fases sólidas, denominadas lamas, compostas maioritariamente por matéria orgânica, são processadas e transformadas em composto para ser utilizado na agricultura como biofertilizante, voltando assim a reintroduzir parte dos microplásticos no meio ambiente. Por outro lado, devido ao elevado caudal diário processado pelas ETAR municipais, o número de microplásticos que são detetados no efluente final é significativo, tendo sido reportadas quantidades de microplásticos nos efluentes finais de ETAR que se situam entre 0,5 a 1000

partículas de microplásticos por litro, que se traduz em milhões de partículas libertadas diariamente nos efluentes, que acabam por ser introduzidos de forma contínua no meio aquático recetor, sem qualquer monitorização (Caixa de texto 8.2).

Um Caso de Estudo

Na Universidade do Algarve, estão a ser desenvolvidos métodos para mitigar as cargas de microplásticos dos efluentes de duas ETAR da região do Algarve (Figura 8.2) com tratamentos diferentes, em que na ETAR 1 existe uma lagoa de maturação, com um tempo de residência de 48 horas após a desinfecção antes da saída para o meio recetor, enquanto que, na ETAR 2 o efluente é introduzido no meio recetor logo após a desinfecção, sem lagoa de maturação. Os meios recetores dos efluentes destas ETAR são zonas de elevada importância ambiental, sendo que a ETAR 1 descarrega para uma ribeira algarvia numa zona perto da costa, e a outra para a Ria Formosa, a zona húmida mais importante do sul do país, classificada como Parque Natural desde 1978, segundo o decreto de lei nº 45/78, com importância a nível internacional pela notável riqueza ecológica que se pode encontrar nos seus 60 quilómetros de extensão.

Caixa 8.2. Como podemos contribuir para diminuir a carga de microplásticos que vai para as ETAR?

Fazer uma **escolha cautelosa na compra de produtos de uso doméstico e de higiene pessoal**, excluindo produtos que contenham micropartículas, como por exemplo, alguns dentífricos, esfoliantes faciais e corporais e detergentes com micropartículas e em cápsulas.

Nunca descartar objetos de higiene pessoal, ou outros que contenham plástico, pela sanita, como pensos higiénicos, tampões e cotonetes.

Nunca deitar lixo para o chão nas ruas, impedindo assim que sejam transportados microplásticos secundários nas águas das chuvas para a sarjetas que acabam por entrar na rede de esgotos.

Já existem **filtros, adaptáveis às máquinas de lavar roupa**, que retêm grande parte das fibras sintéticas libertadas durante as lavagens, que podem ser adquiridos nas grandes superfícies. No futuro as máquinas de lavar deverão incorporar estes sistemas de filtragem de origem.

Existem também **sites** (por exemplo, <https://www.beatthemicrobead.org/product-lists/>), que permitem pesquisar por marca de produto aqueles que contêm microplásticos na sua composição.



Figura 8.2.

Zona onde se encontra a Ria Formosa. Imagem adaptada do google maps e NicoTappero2018, criada com recurso ao software BioRender.com, 2023.

Tendo em conta o elevado impacto ambiental que contaminantes como micro e nanoplásticos podem ter nestas zonas, é importante avaliar e monitorizar as quantidades destes poluentes que aí são introduzidas. Neste contexto, foram recolhidas amostras nos efluentes das duas ETAR acima referidas, para quantificar e caracterizar em termos de morfologia, cor e tamanho, os microplásticos presentes nestes efluentes e ainda, avaliar o possível impacto dos diferentes tipos de tratamento das águas residuais de cada ETAR, quanto à quantidade e características destas partículas. Na Figura 8.3, podem-se observar exemplos de partículas representantes das diferentes morfologias identificadas nas amostras dos efluentes, e respetiva classificação. Os gráficos da Figura 8.4 representam a caracterização dos microplásticos detetados e quantificados nas amostras recolhidas numa campanha realizada durante o outono de 2021.

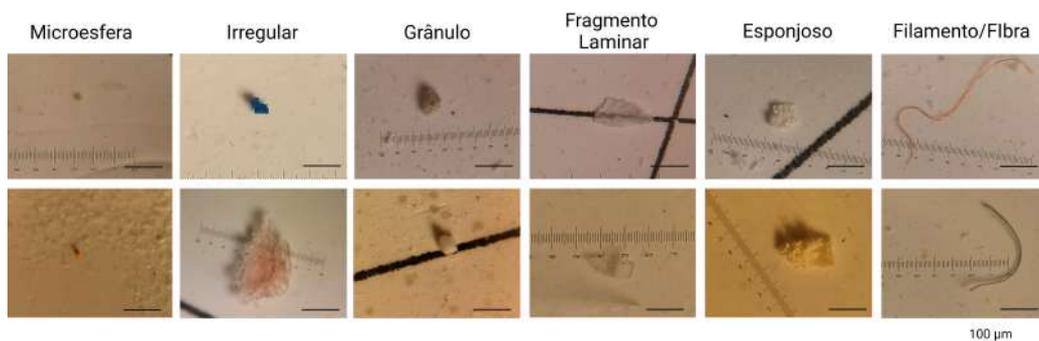


Figura 8.3. Diferentes morfologias das partículas de plástico detetadas. Fotografias de Valdemira Afonso, 2021, imagem criada com recurso ao software BioRender.com .

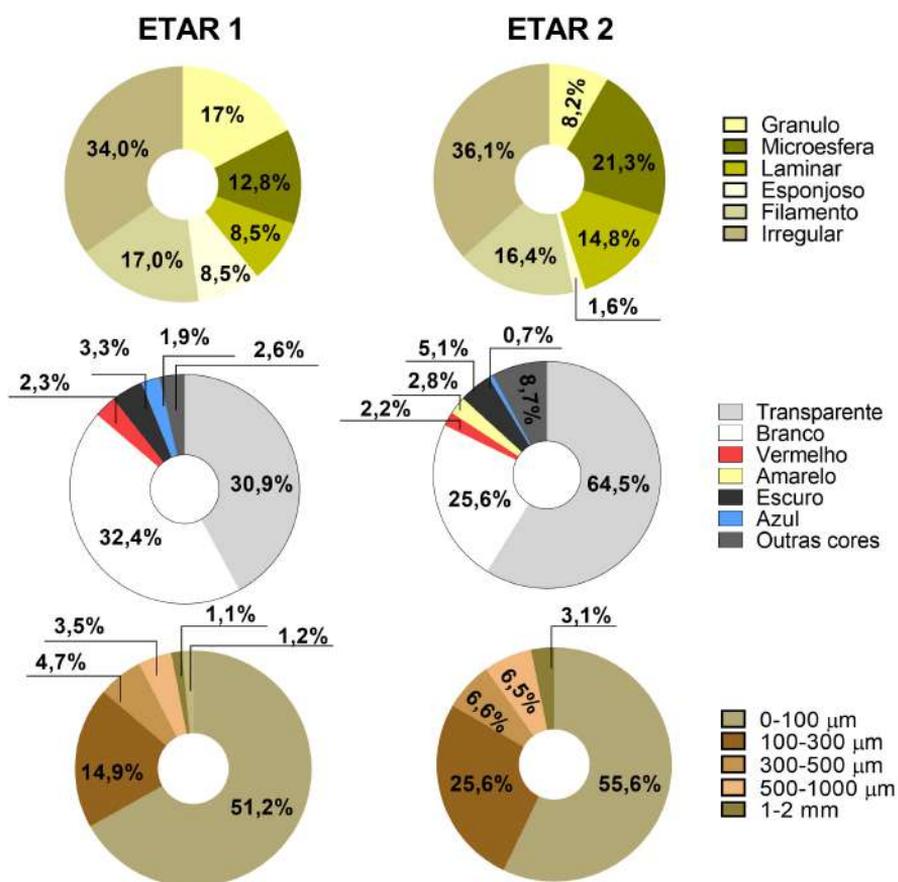


Figura 8.4. Caracterização das partículas de microplásticos detetadas nos efluentes das duas ETAR, em termos da sua morfologia, cor e tamanho; mm: milímetro; µm: micrómetro.

A quantidade de microplásticos detetada nos efluentes das ETAR 1 e 2, situavam-se entre 100 e 1000 partículas de microplásticos por litro, confirmando também a prevalência de fibras têxteis e microesferas em relação a outras morfologias. Em estudos realizados noutras partes do planeta, as quantidades detetadas foram ligeiramente inferiores às registadas nas ETAR do nosso caso de estudo (138 - 443 partículas de microplásticos por litro). Em termos de cor, o branco foi a cor mais abundante, secundada por partículas transparentes, sendo também comuns as cores verde, azul, amarelo e preto. Em relação às dimensões dos microplásticos, verificou-se que o número de partículas aumenta com a diminuição das dimensões, isto é, quanto mais pequenas as partículas, maior a sua abundância. Esta tendência foi igualmente observada noutros estudos. De salientar também, que as proporções entre os diferentes tipos de microplásticos dentro de cada categoria: morfologia, cor e tamanho, são semelhantes nos efluentes das duas ETAR, apesar dos distintos tratamentos e caudais diários de cada uma. Os resultados obtidos visam contribuir para uma melhor compreensão do papel das ETAR como fonte de entrada dos microplásticos no ambiente aquático.

O potencial das microalgas na remoção dos microplásticos presentes nas águas residuais

As microalgas

As microalgas (Figura 8.5) são microrganismos unicelulares fotossintéticos que habitam ambientes aquáticos por todo o planeta. Estes microrganismos utilizam luz, dióxido de carbono e nutrientes inorgânicos para sobreviver e proliferar (Caixa de texto 8.3).

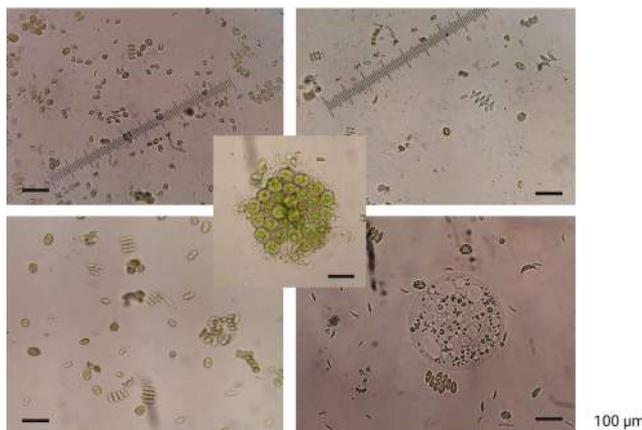


Figura 8.5.

Exemplo de diferentes espécies de microalgas visualizadas ao microscópio. Fotografias tiradas por Valdemira Afonso, 2022. Imagem criada com recurso ao software BioRender.com, 2023.

A biomassa das microalgas é constituída por compostos de elevado valor económico, como os ácidos gordos essenciais, proteínas, vitaminas, polissacarídeos e pigmentos, com inúmeras aplicações nas indústrias farmacêutica, nutracêutica, cosmética, aquacultura, agricultura e bioenergia. Por outro lado, a grande capacidade de fixação de dióxido de carbono por parte destes organismos, ajuda a reduzir substancialmente a pegada de carbono do processamento da biomassa.

A grande diversidade genética e consequente diversidade de compostos bioativos que podem ser produzidos pelas microalgas, tem gerado grande interesse por parte da indústria farmacêutica e cosmética, que integram cada vez mais compostos destes organismos nos seus produtos. Por outro lado, o seu elevado valor nutricional torna as microalgas um alimento muito atrativo no setor da aquacultura, sendo já amplamente utilizadas como aditivo alimentar nesta indústria. Na agricultura, a sua biomassa pode ser utilizada como biofertilizante e biopesticida. Na alimentação humana, verifica-se uma crescente incorporação de microalgas na composição de vários produtos alimentares, e são já consideradas um superalimento devido ao seu grande valor nutricional, sendo a *Chlorella* e a *Spirulina* as espécies mais exploradas e consumidas no mercado.

Caixa 8.3. O que são microalgas?

As **microalgas** representam uma grande diversidade de microrganismos aquáticos fotossintéticos, unicelulares. Existem microalgas eucariotas e procariotas, que podem ser encontradas em ambientes de água doce, salgada ou salobra, e na superfície de rochas e plantas, em qualquer parte do globo terrestre.

São **organismos autotróficos**, capazes de produzir o seu próprio alimento. Estes organismos estão na base da cadeia alimentar, servindo de alimento aos organismos de níveis tróficos superiores.

Estima-se que existam entre **350 mil a um milhão** de espécies de microalgas, das quais apenas 30 000 estão descritas e catalogadas.

As microalgas são responsáveis pela produção de cerca de **50% de todo o oxigénio** do nosso planeta.

A **biomassa de microalgas** contém uma grande quantidade de compostos bioativos na sua composição, com potencial para as mais diversas aplicações biotecnológicas, que vão desde a alimentação, indústria farmacêutica e cosmética, à produção de biocombustíveis.

Caixa 8.4. O que é a eutrofização?

A **eutrofização** de um corpo de água acontece quando há uma descarga com elevada concentração de material orgânico e nutrientes inorgânicos como o fósforo e o azoto, que vão induzir um crescimento anormal de microalgas e bactérias nas águas das zonas receptoras. Este fenómeno leva à criação de uma camada de água que normalmente muda de cor (geralmente de verde para castanho) com o aumento da turvação, o que impede a passagem de oxigénio e de luz e impossibilita a realização da fotossíntese pelas algas e microalgas. Isto leva à sua morte e consequente libertação da matéria orgânica que as constitui, o que, por sua vez, conduz ao aumento de microrganismos decompositores que consomem o oxigénio, esgotando-o. Desta forma, passam a prevalecer os microrganismos anaeróbicos que ao decomporem a matéria orgânica libertam gases tóxicos e com odor desagradável. Todos estes eventos resultam na morte dos organismos nativos desse ecossistema.

O setor da bioenergia é uma das principais aplicações das microalgas. Quando comparadas com outras fontes de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, como a cana de açúcar ou outras plantas superiores, as microalgas possuem diversas vantagens: não requerem grandes áreas de terreno para o seu cultivo, possuem ciclos de vida mais curtos, reduzindo substancialmente os tempos de cultivo de cada cultura, não competem no setor da alimentação e não necessitam de água potável, podendo ser cultivadas em águas residuais, promovendo o seu reaproveitamento e também a eliminação de contaminantes que possam estar presentes nessas águas. Estas vantagens tornam a biomassa das microalgas uma matéria-prima sustentável com potencial para a produção de biocombustíveis como bioetanol, biodiesel, biogás e biohidrogénio, num contexto de sustentabilidade e de bioeconomia circular.

Cultivo de microalgas em águas residuais e o seu efeito na mitigação dos microplásticos

Os efluentes de águas residuais urbanas têm efeitos nefastos nos ecossistemas, podendo levar à eutrofização (Caixa de texto 8.4) dos corpos de água. Uma forma de contornar esta situação e mitigar o seu efeito poluente, passa pelo desenvolvimento de tecnologias e pelo uso de sistemas biológicos que promo-

vam a remoção do excesso de nutrientes e eliminem o risco de eutrofização (Figura 8.6). Assim, atualmente, é cada vez mais urgente a necessidade de inovar e criar tecnologias com a adoção de abordagens mais sustentáveis, tanto a nível ambiental como económico, através do uso de biorrecursos naturais. A utilização de microalgas, capazes de crescer em águas residuais, utilizando tanto a matéria orgânica e inorgânica como os nutrientes para a sua proliferação, tem-se mostrado como uma alternativa sustentável e economicamente viável, obtendo-se biomassa algal.



Figura 8.6.

Exemplo de eutrofização de um corpo de água. Fonte: ECTran71, CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>.

O crescimento de microalgas neste tipo de águas ricas numa elevada diversidade de nutrientes, permite o estabelecimento de consócios naturais de microalgas (Caixa de texto 8.5), que, juntamente com bactérias, estabelecem relações simbióticas, capazes de proteger as microalgas dos compostos tóxicos presentes nas águas residuais, e, simultaneamente, contribuir para a remoção dos contaminantes perigosos. Desta relação simbiótica, o dióxido de carbono (CO_2) produzido pelas bactérias será consumido pelas microalgas através da fotossíntese, libertando oxigénio (O_2), que por sua vez será consumido pelas bactérias.

O estabelecimento destes consórcios de microalgas poderá ser uma ferramenta potencial para a remoção de compostos poluentes das águas residuais, sendo que, os microplásticos representam parte destes contaminantes. As microalgas têm a capacidade de atuar como agentes de tratamento desses contaminantes ao assimilarem alguns destes poluentes durante o seu crescimento, promovendo um tratamento biológico destas águas que pode ser incorporado como parte dos tratamentos secundário ou terciário nas ETAR, melhorando a sua performance e diminuindo assim o seu impacto no ambiente aquático. Para além disso, é uma tecnologia com menor impacto ambiental, relativamente às tecnologias tradicionais, com menores emissões de gases com efeito estufa e formação de lamas.

O cultivo de microalgas em efluentes de águas residuais tem ainda a vantagem de poder ser uma alternativa sustentável ao uso de água potável na produção de biomassa, que servirá como matéria-prima na produção de bioprodutos, promovendo assim uma diminuição dos custos do processo de produção de biomassa a nível industrial. Desta forma, as microalgas apresentam-se como uma ferramenta para o tratamento de águas residuais, e, simultaneamente, como matéria-prima ambientalmente sustentável para a produção de bioprodutos com interesse económico.

Caixa 8.5. O que são os consórcios nativos de microalgas?

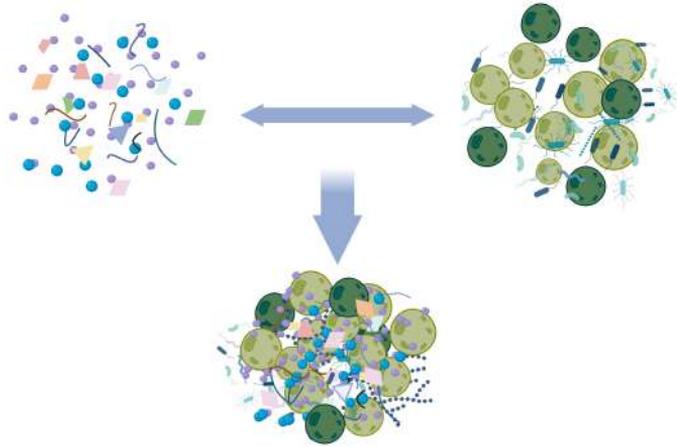
Os **consórcios nativos de microalgas** são conjuntos de microrganismos que crescem naturalmente nas águas residuais quando existem as condições ideais para o seu desenvolvimento. A luz promove a fotossíntese, e a agitação possibilita a dissolução de dióxido de carbono no meio de cultura, sendo essenciais para que as microalgas prevaleçam e estabeleçam uma relação de simbiose com os restantes microrganismos, como bactérias, fungos e leveduras que estão naturalmente presentes nestas águas, e que também se desenvolvem consumindo o oxigénio e outros compostos produzidos pelas microalgas. Estes consórcios, por estarem adaptados à respetiva água como meio de cultura, apresentam altas taxas de crescimento com elevada produção de biomassa, quando comparada com monoculturas de microalgas, que, para além de terem menores produções de biomassa, requerem também um maior controlo de todo o sistema de cultivo, de modo a impedir contaminações por bactérias ou fungos nocivos a esse microrganismo.

Neste trabalho, foram estabelecidos consórcios nativos de microalgas, adaptados aos efluentes das ETAR investigadas, com o objetivo de avaliar a sua eficiência na remoção de micro e nanoplásticos nesses efluentes, em simultâneo com a produção de biomassa e posterior processamento e valorização em biodiesel, bioetanol e biogás, num contexto de biorrefinaria. O objetivo foi avaliar o potencial de consórcios nativos de microalgas para serem utilizados como uma ferramenta no tratamento de águas residuais urbanas e num processo concomitante de produção de biocombustíveis, no qual se procura uma solução para duas problemáticas socioambientais com elevado impacto na sociedade e no ambiente.

Mecanismos de remoção dos micro e nano plásticos pelas microalgas

A remoção de microplásticos e nanoplásticos pelas microalgas é uma hipótese que tem vindo a ser avaliada. Tendo em conta as potenciais aplicações de microalgas para o tratamento de águas residuais, tornou-se importante perceber se existe um efeito igualmente benéfico na sua interação com partículas de micro e nanoplásticos de forma a avaliar o potencial que estes microrganismos apresentam na remoção deste tipo de contaminantes. Dados preliminares indicam que essa relação existe, demonstrando que o crescimento de microalgas em águas contaminadas com microplásticos, promove a diminuição do número destas partículas. A hetero-agregação é considerado o principal mecanismo responsável por essa redução (Figura 8.7). Este fenómeno consiste na agregação de partículas de diferente natureza que interagem entre si, maioritariamente pela atração entre cargas elétricas opostas, formando agregados de maiores dimensões. No caso de culturas de consórcios de microalgas, compostos poliméricos como polissacarídeos que são produzidos pelos microrganismos, podendo ser excretados para o meio extracelular ou serem integrados nas superfícies das suas paredes celulares, vão interagir com a superfície dos microplásticos, atuando como agentes floculantes que levam à formação de agregados que ficam retidos na biomassa durante a sua produção (Figura 8.7).

Figura 8.7.
Processo de hetero-
agregação entre
consórcios de
microalgas e partículas
de microplásticos.
Imagem criada com
recurso ao software
BioRender.com, 2023.



Ensaio preliminares, nos quais os consórcios nativos de microalgas foram mantidos em cultura nos efluentes das duas ETAR com tratamentos distintos, indicam uma elevada eficiência na remoção dos microplásticos por consórcios nativos de microalgas, tendo sido obtidas taxas de remoção de entre 43 e 87% (Figura 8.8). Observou-se também que os consórcios crescidos no efluente da ETAR 2 (Figura 8.2), foram capazes de remover mais eficientemente os microplásticos quando comparado com os da ETAR 1 (Figura 8.2), o que pode ser explicado pela presença de diferentes microrganismos com características que permitem uma maior hetero-agregação entre as partículas de microplásticos e os microrganismos que constituem esse consórcio. Os estudos foram realizados através de ensaios laboratoriais, com a quantificação do número de partículas de microplásticos com dimensões até 10 micrómetros, antes e depois do crescimento das microalgas em cada um dos efluentes.

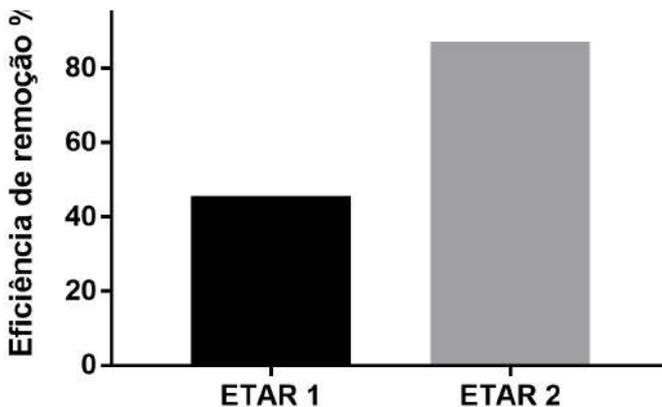


Figura 8.8.
Percentagem de partículas
removidas após o
tratamento com os
consórcios de microalgas,
nos efluentes da ETAR 1 e
da ETAR 2

Têm também sido desenvolvidos métodos inovadores para analisar e quantificar nanoplásticos. Uma vez estabelecido o método de extração e quantificação, serão realizados ensaios com o objetivo de avaliar a eficiência da remoção destas partículas pelos consórcios de microalgas. Tendo em conta as dimensões extremamente pequenas dos nanoplásticos (ver Capítulo 1), os mecanismos pelos quais se dá a sua remoção tendem a diferir dos utilizados com os microplásticos. Os nanoplásticos podem ser adsorvidos na superfície das paredes celulares, sendo em alguns casos também capazes de atravessar a parede da membrana celular, acumulando-se no interior das células.

Valorização da biomassa de microalgas produzidas em águas residuais com produção de bioenergia

A biomassa produzida durante o processo de remoção de compostos presentes nas águas residuais tem o potencial de servir como matéria-prima para a produção de bioprodutos, nomeadamente biocombustíveis, como o biodiesel, o bioetanol, e o biogás.

Caixa 8.6. O que é uma biorrefinaria?

O conceito de **biorrefinaria** assenta na ideia de que todas as frações de uma dada biomassa, são aproveitadas e valorizadas, onde o processo de produção de um determinado produto tem como passos intermédios a extração sequencial e a purificação de outros produtos com valor comercial ou que possam ser integrados no próprio processo de produção.

A **biomassa de microalgas**, pela sua diversidade e inúmeras aplicações, tem a possibilidade de servir como matéria-prima para biorrefinarias. Numa biorrefinaria de microalgas, por exemplo, podem começar por ser extraídos compostos de valor acrescentado, como os pigmentos, antioxidantes ou outros compostos bioativos, seguindo-se a extração de óleos, que, consoante o seu teor em ácidos gordos essenciais, poderão ter aplicações nutracêuticas para aquacultura ou para produção de biodiesel. Após a extração dos compostos de valor acrescentado, podem ser produzidos outros produtos bioenergéticos como bioetanol ou biogás. Mesmo após estes processos, o resíduo sólido resultante poderá ainda ser utilizado como biofertilizante.

Num contexto de sustentabilidade e economia circular, com o objetivo de minimizar os custos de produção e o impacto ambiental, o conceito de biorrefinaria (Caixa de texto 8.6) apresenta-se como uma possível solução viável para a produção de biocombustíveis a partir de biomassa microalgal.

Algumas espécies de microalgas consideradas oleaginosas, ricas em lípidos, podem ser convertidas em biodiesel através da reação química de transesterificação. Após a extração dos ácidos gordos, a biomassa residual é ainda rica em hidratos de carbono que podem servir de substrato a leveduras para a produção de bioetanol. Uma vez fermentada, a matéria orgânica restante pode ser convertida em biogás através da digestão anaeróbica desses resíduos finais da biomassa. Este é um exemplo de biorrefinaria que pode ser aplicado à biomassa de consórcios de microalgas que foram cultivadas em águas residuais para fins de remoção de microplásticos, que, pela natureza do processamento da biomassa, transforma também a natureza química dessas partículas, impedindo que voltem a entrar no ambiente. Neste contexto, será avaliado o potencial da biomassa obtida após crescimento e remoção dos microplásticos presentes nas águas residuais, para a produção de biodiesel, bioetanol e biogás. Será ainda realizado o ciclo de vida do produto, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica e sustentabilidade de todo o processo de produção destes três biocombustíveis em contexto de biorrefinaria.

Bibliografia consultada

- Cheng Y. & Wang H.Y., 2022. Highly effective removal of microplastics by microalgae *Scenedesmus abundans*, *Chemical Engineering Journal*, Volume 435, Part 2, 135079, ISSN 1385-8947, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135079>.
- Do M.V., Thanh Le T.X., Vu N.D. & Dang T.T., 2022. Distribution and occurrence of microplastics in wastewater treatment plants, *Environmental Technology and Innovation*, Volume 26, 102286, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102286>.
- Lagarde F., Olivier O., Zanella M., Daniel P., Hiard S. & Caruso A., 2016. Microplastic interactions with freshwater microalgae: Hetero-aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type, *Environmental Pollution*, Volume 215: 331-339, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.006>.
- Pessôa L.C., Cruz E.P., Deamici K.M., Andrade B.B., Carvalho N.S., Vieira S.R., Silva J.B.A., Pontes L.A.M., Souza C.O., Druzian J.I. & Assis D.J., 2022. A review of microalgae-

based biorefineries approach for produced water treatment: Barriers, pretreatments, supplementation, and perspectives, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 10, Issue 4, 108096, ISSN 2213-3437, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108096>.

Pistocchi A., Andersen H.R., Bertanza G., Brander A., Choubert J.M., Cimbritz M., Drewes J.E., Koehler C., Krampe J., Launay M., Nielsen P.H., Obermaier N., Stanev S. & Thornberg D., 2022. Treatment of micropollutants in wastewater: Balancing effectiveness, costs and implications, *Science of The Total Environment*, Volume 850, 157593, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157593>.

GLOSSÁRIO

Absorção de alimento: absorção do produto da digestão ao nível do epitélio (um dos tipos de tecido do corpo humano) intestinal, através da membrana das células intestinais.

Acreção: acumulação gradual de sedimento.

Adsorção: adesão de moléculas e partículas a uma superfície sólida.

Antigénios: substâncias encontradas em microrganismos, células tumorais e outros agentes estranhos ao corpo, como proteínas e hidratos de carbono. Quando um antigénio entra no organismo, ele é reconhecido pelo sistema imunológico como um invasor e desencadeia uma resposta de defesa.

Aquacultura em mar aberto: aquacultura em mar aberto ou jaulas em mar aberto (em inglês “offshore”) significa estruturas afastadas das zonas costeiras e que não interferem com as atividades que existem nestas zonas. Geralmente não são visíveis a partir de terra. Requerem muito equipamento de fixação no fundo do mar (cabos, boias) uma vez que precisam de aguentar as ondulações fortes e possíveis intempéries.

Aquacultura em recirculação: sistemas de produção com água continuamente filtrada e reutilizada. É um sistema quase exclusivamente fechado onde não há libertação da água do sistema para o meio ambiente. Normalmente designado por RAS da designação inglesa *Recirculated Aquaculture System*.

Aquacultura em regime semi-intensivo: produção com recurso a suplemento alimentar artificial.

BaP: Benzo(a)pireno: hidrocarboneto aromático, policíclico, mutagénico (capaz de induzir mutação) e altamente cancerígeno, resultante da combustão incompleta de matéria orgânica. Pode ser encontrado nos gases de exaustão de veículos automóveis, no fumo do cigarro, da maconha e da madeira, e em alimentos grelhados na brasa.

Bioamplificação: aumento da concentração de um composto químico em organismos vivos ao longo da cadeia alimentar.

Bioetanol: álcool natural, etanol, produzido a partir da fermentação de matéria vegetal por microrganismos, normalmente utilizado como combustível.

Biofertilizante: adubo orgânico, rico em nutrientes e microrganismos benéficos, produzido a partir da degradação de matéria orgânica por microrganismos.

Bioincrustação: processo pelo qual bactérias, algas e invertebrados sésseis (fixos

num substrato) colonizam e crescem em superfícies submersas, tanto naturais (rochas e outros organismos) quanto artificiais (fragmentos de plástico, cascos de navios e boias).

Biomassa: matéria orgânica vegetal ou animal, utilizada como matéria-prima para a produção de energia e outros produtos de interesse.

Biorrefinaria: unidade industrial de processamento de biomassa em energia e compostos de interesse como materiais renováveis e produtos químicos, através de processos de conversão e valorização sustentável dos recursos biológicos.

Biota: conjunto de organismos que habita ou habitou uma área específica do planeta Terra.

Bisfenol-A: composto que faz parte da composição química de certos plásticos de policarbonato e de resinas epóxi.

BP3 Oxibenzona: composto orgânico utilizado em protetores solares, protetores labiais e hidratantes.

Caixa de Petri: caixa redonda achatada, de vidro ou plástico, com uma tampa que a cobre totalmente.

Células dendríticas: células do sistema imunológico que capturam e apresentam antígenos aos linfócitos T (células do sistema imunológico) ativando a resposta imunológica. Elas desempenham um papel importante na defesa do organismo contra agentes patogênicos (que provocam doença) e na regulação da resposta imunológica.

Células hemocíticas: células do sangue dos bivalves.

Chlorella: microalga verde, unicelular, muito utilizada como suplemento alimentar devido ao seu alto teor de nutrientes.

Colectomia: cirurgia em que o cólon, também conhecido como intestino grosso, é removido parcial ou totalmente. É realizada para tratar várias condições, como cancro do cólon, doença inflamatória intestinal e diverticulite grave (inflamação na parede interna do intestino).

Compostos bioativos: substâncias naturais que têm atividade a nível celular, com efeitos benéficos para a saúde, pelas suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, entre outros.

Compostos polibromados: compostos formados por átomos de carbono, hidrogénio e bromo que são retardadores de chama. Estes compostos têm sido utilizados em vários produtos, como materiais de construção, produtos electrónicos, mobília, veículos a motor, aviões, plásticos, espumas

de poliuretano e têxteis.

Covos: armadilhas utilizadas para capturar polvo.

Cromatografia: técnica de análise cujo objectivo é separar e purificar misturas.

Cultivo extensivo: produção com recurso a alimentação exclusivamente natural.

Neste tipo de cultivo não existe intervenção humana, devendo os organismos a cultivar ser obtidos em meio natural.

Cultivo intensivo: consiste na produção com recurso a alimentação exclusivamente artificial.

Cultivo multitrófico integrado: estes sistemas IMTA (do inglês Integrated multitrophic aquaculture) é um método de produção aquícola em que existe co-cultura de diferentes espécies pertencentes a diferentes níveis tróficos e com funções ecossistémicas complementares. No IMTA, os alimentos, resíduos, nutrientes e subprodutos, não consumidos por uma espécie, são recapturados e usados como fertilizantes, alimentação e energia por outras espécies no cultivo e que atuam como bio-remediadores.

D-velígero: fase larvar característica do desenvolvimento dos bivalves após a fase trocófora.

Decantação: separação através da gravidade, dos resíduos sólidos que estão contidos na água. Assim, estes resíduos vão descer na água até ao fundo do tanque e ficam aí retidos, saindo a água do tanque mais límpida para o meio ambiente.

Difusão passiva: processo em que moléculas ou iões se movem através de uma membrana celular sem gastar energia. As substâncias deslocam-se do local de maior concentração para o de menor concentração.

Digestão anaeróbica: processo de decomposição de matéria orgânica pela ação de microrganismos na ausência de oxigénio, geralmente com produção de gás metano.

Dioxinas: compostos organoclorados tóxicos que se formam em processos de combustão, resultantes de incêndios e erupções vulcânicas, queima de madeira, carvão, gasolina ou óleo, emissões da indústria química ou metalúrgica e do papel.

Ecotoxicologia: ciência que estuda os efeitos de substâncias tóxicas naturais ou artificiais sobre os organismos vivos.

Efluentes: águas residuais proveniente de atividades humanas, como processos industriais e redes de esgoto, que são lançados no ambiente, na forma líquida ou gasosa causando alteração da qualidade do meio receptor.

Endocitose: processo em que as células capturam moléculas e partículas do meio externo e as incorporam em vesículas intracelulares.

Endossomas: organelas celulares que participam na captura e no processamento de materiais capturados pela célula.

Enzimas antioxidantes: substâncias que protegem as células saudáveis contra os danos causados pelo excesso de radicais livres, prevenindo o stress oxidativo.

Epitélio ciliado: tipo de tecido que possui células com cílios móveis. Os cílios têm a função de mover fluidos e remover partículas.

Espécies reativas de oxigênio: moléculas que contêm oxigênio e são quimicamente muito ativas. Essas moléculas, que podem assumir várias formas, atingem essa reatividade devido a uma característica comum: a presença de um elétron desemparelhado.

Espectroscopia Raman: técnica baseada na luz que incide num material e que permite obter a sua composição química em poucos segundos. É assim chamada, porque foi o resultado de experiências conduzidas por Chandrasekhara Venkata Raman (Físico Indiano).

Espectroscopia: técnica analítica que utiliza a luz para estudar a composição e a estrutura da matéria.

Estágio trocófora: os bivalves passam por estágios larvares até chegar à forma adulta. A primeira fase larval é a larva trocófora.

Eucariotas: organismos unicelulares ou pluricelulares, cujas células possuem um núcleo bem definido onde se encontra o material genético contido por membrana celular e separado do citoplasma onde se encontram outros organelos celulares.

Expressão gênica: informação hereditária contida nos genes.

Fagocitose: capacidade das células para ingerir materiais estranhos, como por exemplo, bactérias.

Floculantes: agentes que promovem o processo de floculação. Isto é, os constituintes sólidos em suspensão numa solução agregam-se formando aglomerados de maiores dimensões, facilitando assim a separação a fase sólida da fase líquida.

Fotodegradação: processo pelo qual a exposição à luz ou radiação ultravioleta provoca a decomposição ou dissociação de compostos químicos, provocando a quebra das ligações químicas e consequente alteração das propriedades físicas e químicas dessas substâncias.

Fotossíntese: mecanismo através do qual plantas e outros organismos verdes

convertem a luz solar em energia química e açúcares, a partir do dióxido de carbono e da água, produzindo oxigénio como subproduto.

Fotossintéticos: organismos que realizam a fotossíntese.

Ftalatos: compostos químicos utilizados como plastificantes, solventes ou fixadores em muitos produtos de higiene pessoal, tais como sabonetes, champôs, laca de cabelo ou verniz de unhas.

Garrafa Niskin: garrafa utilizada para colheita de água a diversas profundidades.

Genotoxicidade: capacidade de alguns compostos químicos de danificar a informação genética no interior de uma célula, causando mutações ou induzindo modificações na sequência nucleotídica ou da estrutura em dupla hélice do ADN de um organismo vivo.

Giro do Atlântico Norte: correntes oceânicas que se deslocam em sentido dos ponteiros do relógio, formando um grande giro que se estende desde a costa leste dos Estados Unidos e Canadá até à Europa e à África.

Gónadas: órgãos dos organismos onde se produzem as células sexuais necessárias para a sua reprodução.

Hidrodinâmica: estudo do movimento dos fluidos, suas interações e as propriedades relacionadas, como velocidade, pressão e densidade.

Hipersalina: solução excessivamente salina.

Hotspot: local onde uma dada característica ocorre com mais intensidade.

Inerte: substância que não reage quimicamente.

Infravermelho: radiação electromagnética com frequência inferior à luz vermelha e com comprimento de onda entre 700 e 50 000 nanómetros (um nanómetro é a milionésima parte de milímetro).

Ingestão alimentar: introdução de alimento no organismo (comer/beber), o qual irá ser sujeito ao processo digestivo ao longo do canal digestivo, podendo ser absorvido ao nível do epitélio intestinal. Quando não é absorvido é excretado nas fezes.

Lagoa de maturação: tratamento final em algumas estações de tratamento de águas residuais (ETAR) no qual uma lagoa artificial recebe o efluente após a desinfecção (tratamento final nas ETAR sem lagoa de maturação) antes de ser libertado no meio aquático receptor.

Latitude: coordenada geográfica medida em graus, que é o ângulo entre o plano do equador e a perpendicular ao local considerado. Varia entre zero graus (0°) no equador e noventa graus (90°) nos polos. Latitude norte (N) entre o equador e

o polo norte; latitude sul (S) entre o equador e o polo sul.

Leveduras: microrganismos eucariotas unicelulares, pertencentes ao reino do Fungos.

Lípidos: classe de moléculas orgânicas, insolúveis em água, produzidas pelos seres vivos, que inclui os triglicéridos que constituem a gordura vegetal e animal armazenada no interior das células, como reserva energética.

Lisossomas: tipo de organelo celular essencial para a digestão celular.

Longitude: coordenada geográfica medida em graus, que é o ângulo entre o local e o meridiano de Greenwich para este (longitude E) ou para oeste (longitude W). Varia entre 0° e 180°.

Mesoplâncton: organismos planctônicos com dimensão entre 0,2 e 20 milímetros.

Microespectroscopia Raman: técnica que utiliza a dispersão da luz para analisar a estrutura molecular de uma amostra. Fornece informações sobre a composição química e a estrutura dos materiais, sendo útil em diversas áreas de investigação.

Micrómetro: milésima parte do milímetro.

Microzooplâncton: pequenos animais que fazem parte do plâncton. Um exemplo, são os pequenos crustáceos designados por krill do qual se alimentam as baleias.

Moluscos bivalves: animais de corpo mole protegido por uma concha com duas valvas que se articulam numa charneira.

Neurotoxicidade: compostos tóxicos que altera a atividade normal do sistema nervoso, causando danos.

Nível trófico: grupo de organismos com hábitos alimentares semelhantes.

Nutracêutica: termo que combina os conceitos de nutrição e farmacêutica, referindo-se a produtos alimentares ou suplementos que possuem propriedades medicinais, proporcionando benefícios terapêuticos e preventivos

Oleaginosas: que contém grande quantidade de óleos e gorduras.

Organismos bentônicos: vivem junto ou dentro do fundo do mar/lago/rio, como por exemplo, linguados, safios, moreias e bivalves como ostras e amêijoas.

Organismos pelágicos: organismos que vivem na coluna de água afastados do fundo (zona bentónica). Os seres pelágicos podem ser organismos microscópicos como microalgas, protozoários, ou macroscópicos como peixes, medusas, tartarugas e baleias.

Ornitologia: ramo da zoologia que se dedica ao estudo das aves.

Oxidação: reação química em que se combina oxigênio com outras substâncias para formar óxidos.

PFOS: Acido perfluorooctanossulfônico: surfactantes (tensoativos) orgânicos fluorados. Estes compostos são desreguladores endócrinos.

Poliméricos: materiais compostos por moléculas de grandes dimensões, chamadas polímeros, que consistem em repetição de moléculas mais pequenas (unidades estruturais) ligadas entre si.

Polissacarídeos: polímeros compostos por cadeias longas de açúcares ligados entre si, produzidas no interior das células com diversas funções, como o armazenamento de energia, estrutura celular e suporte.

Procariontas: organismos unicelulares, de estrutura simples e sem núcleo definido, pertencentes ao domínio Bactéria.

Relações simbióticas: relações ecológicas entre seres vivos de diferentes espécies, em que ambos se beneficiam mutuamente.

Ressurgência: fenómeno oceanográfico que ocorre quando águas subsuperficiais sobem para as camadas superficiais do oceano. Esse processo é impulsionado pela interação entre três forças físicas: ventos, efeito de Coriolis e transporte de Ekman.

Retardadores de chama: compostos químicos utilizados para prevenir o início, retardar ou se possível eliminar a propagação do fogo em materiais.

Sedimentar (ato de): assentar, poisar numa superfície exposta ao ar ou, na maioria das vezes no fundo dos lagos e das bacias marinhas.

Sedimento: partículas que resultam da erosão das rochas (sedimento litogénico), da atividade biológica, como por exemplo fragmentos de conchas (sedimento biogénico) ou ainda da precipitação de sais dissolvidos na água (sedimento quimiogénico).

Sésseis filtradores: organismos sem capacidade de locomoção e que filtram os nutrientes da água.

Sistema endócrino: responsável por regular várias funções do corpo através de hormonas. As glândulas endócrinas produzem essas hormonas, que são libertadas na corrente sanguínea e atuam em tecidos e órgãos específicos. Este sistema regula o crescimento, o metabolismo, a reprodução, o desenvolvimento sexual e o equilíbrio do corpo. O sistema endócrino trabalha em conjunto com outros sistemas para manter o equilíbrio corporal.

Spirulina: microalga pertencente ao género das cianobactérias, muito utilizada

como suplemento alimentar devido ao seu alto teor de proteínas, vitaminas e antioxidantes.

Stressor: aquilo que influencia negativamente a saúde e o bem-estar humano, bem como a estrutura dos ecossistemas. Neste caso, são exemplos os contaminantes, a temperatura e o pH.

Surfactante: substância presente nos pulmões que reduz a tensão superficial nos alvéolos, facilitando a respiração. Ajuda a prevenir o colapso dos alvéolos durante a expiração, permitindo uma troca eficiente de oxigênio e dióxido de carbono.

Swell: ondas muito altas que viajam por longas distâncias na superfície do oceano e que vão aumentando de altura à medida que se aproximam da costa.

Teoria de Ekman: descreve a influência do vento na circulação oceânica em camadas superficiais, onde a força de Coriolis causa um desvio para a direita no Hemisfério Norte ou para a esquerda no Hemisfério Sul. Esse movimento resulta numa espiral descendente, fazendo com que, cada camada de água se mova numa direção ligeiramente diferente da camada superior.

Transesterificação: reação química entre um álcool e um éster que dá origem a novos álcool e éster, utilizada na conversão dos óleos vegetais (triglicéridos) em biodiesel (ésteres metílicos ou etílicos de ácidos gordos).

Transformada de Fourier: operação matemática que decompõem uma função temporal em frequências.

Upwelling (aflorescimento costeiro): processo oceânico em que águas frias e ricas em nutrientes das profundezas sobem para a superfície.

Zona intermareal: zona que se situa entre a maré cheia e a maré vazia. É por isso um ambiente com fortes variações de salinidade e temperatura.

Zonas lagunares: zonas costeiras aquáticas geralmente conectadas ao mar por um ou vários canais e barras, formando lagoas de extensão variável. São exemplos de zonas lagunares, as lagoas de Óbidos, Albufeira, Melides e Sto. André, a Ria de Alvor e a Ria Formosa.

Zooplâncton: conjunto de organismos aquáticos que não têm capacidade fotossintética (heterotróficos) e que vivem dispersos na coluna de água, apresentando pouca competência para a sua locomoção (são, em grande parte, arrastados pelas correntes oceânicas ou pelas águas de um rio).



Associação Portuguesa de Aquicultores

