

Microplásticos nos oceanos - um problema sem fim à vista

Paula Sobral, João Frias e Joana Martins

IMAR FCTUNL – Instituto do Mar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Campus da Caparica. 2829-516 Caparica. (email: psobral@fct.unl.pt)

Resumo

Os microplásticos (plásticos <5 mm) resultam na sua maioria de partículas de maiores dimensões, que sofrem degradação foto-química e abrasão, são persistentes e encontram-se quer a flutuar à superfície quer em suspensão na coluna de água quer depositados nos fundos e também nas praias. Facilmente confundidos com alimento devido ao seu tamanho, os microplásticos são vectores potenciais na transferência e exposição dos organismos marinhos a poluentes persistentes orgânicos (POP) de elevada toxicidade, compostos hidrofóbicos que adsorvem facilmente às partículas de plástico. A ingestão de microplásticos constitui uma ameaça de longo-termo para os organismos marinhos, não só pela possível obstrução mecânica do aparelho digestivo mas também pelos efeitos tóxicos dos POP.

O interesse por este tema tem vindo a aumentar especialmente após a descoberta de uma mancha muito extensa de plásticos acumulados no Giro do Oceano Pacífico Norte e de trabalhos que chamaram a atenção da comunidade científica para o facto da quantidade de plástico ser superior à quantidade de plâncton em várias zonas dos oceanos.

Recentemente, investigadores japoneses e americanos relataram níveis elevados de POP em grânulos de plástico (*pellets*) recolhidos em praias e águas costeiras um pouco por todo o Mundo. A ingestão de micropartículas de plástico por vários grupos de invertebrados foi confirmada por investigadores do Reino Unido, que relataram a sua translocação para o sistema circulatório no mexilhão, aumentando as preocupações pelo facto das micropartículas uma vez ingeridas poderem vir a afectar órgãos vitais.

Em Portugal a investigação sobre este tema foi iniciada em 2008 com as primeiras recolhas de microplásticos em praias e a análise de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, PAH, bifenis policlorados, PCB e o insecticida DDT, adsorvidos aos *pellets* verificando-se que todos apresentam contaminação. Os microplásticos que ocorrem nas praias da costa ocidental perfazem 71% do total de plásticos e os mais abundantes situam-se entre os 3 e os 5 mm de diâmetro (59%). Foi ainda realizada uma pesquisa desse tipo de partículas em amostras de plâncton recolhidas ao largo da costa portuguesa em 2002 e de 2005 a 2008 tendo-se observado a presença de plástico em 63 % das amostras de plâncton.

Palavras-chave: microplásticos, resíduos marinhos, PAH, PCB, DDT, Portugal

Abstract

Microplastics (particles <5 mm) result from the fragmentation of larger plastics due to photochemical degradation and abrasion. Microplastics are persistent, they can be found anywhere in the water, floating, suspended and on the bottom or stranded along the coastline.

They have the potential to act as vectors for the transfer and exposure to persistent organic pollutants (POP) to marine organisms as they are easily confounded with food/prey items.

POP are highly toxic compounds and due to their hydrophobic properties and prevalence at the surface microlayer, adsorb readily to microplastics, thus presenting a long-term threat to marine life, not only due to possible mechanical obstruction of the digestive tract following ingestion but also due to the toxic effects of POP.

The interest in this issue has grown after the discovery of an extensive patch of accumulated plastic debris in the North Pacific Gyre and work that followed, bringing to the attention of the scientific community how the amount of plastics outweighed the amount of plankton in certain areas of the ocean.

Work by researchers in Japan and in the USA, reported high levels of POP in beached and coastal resin *pellets*. The ingestion of plastic microparticles by several groups of marine invertebrates was confirmed by researchers in the United Kingdom, who also reported their translocation to the circulatory system of the mussel, raising further concern about the pathways microparticles may follow once inside the organism.

In Portugal research on this matter started in 2008 with the first collection of microplastics stranded on the beach and the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH, polychlorinated biphenyls, PCB and the insecticide DDT, adsorbed to plastic *pellets*. All *pellets* showed contamination. Microplastics stranded on beaches of the west coast amount to 71% of the total plastics found and are more abundant in the size range 3-5 mm (59%). Plankton samples from coastal waters, collected in 2002 and 2005 to 2008, were also examined for microplastics, and 63% of the plankton samples had plastic.

Key-words: microplastics, marine debris, PAH, PCB, DDT, Portugal

Introdução

O impacto dos resíduos de plástico nos organismos marinhos tem sido amplamente documentado especialmente quando se trata de resíduos de uma dimensão apreciável, como é o caso das redes derivantes e outros materiais relacionados com a actividade da pesca, sacos de plástico e resíduos de embalagens. Relativamente aos fragmentos de pequenas dimensões, que são em grande parte resultantes da degradação do plástico no mar, a informação escasseia.

A poluição dos oceanos por estes fragmentos designados microplásticos, uma categoria ampla que inclui todas as partículas menores que 5 mm, é extremamente preocupante devido à sua ubiquidade, persistência, e por serem um potencial vector de exposição e transferência de compostos orgânicos persistentes de elevada toxicidade (Thompson et al. 2004).

A dispersão e acumulação de plásticos é um problema crescente à escala global, afectando todos os ambientes marinhos (Gregory, 2009; Moore, 2008) encontrando-se plástico a flutuar à superfície, em suspensão na coluna de

água e depositado nos fundos ou nas praias.

De acordo com os dados da associação Plastics Europe (2011), a produção mundial de plásticos aumentou de 5 milhões de toneladas em 1950 para 265 milhões em 2010, verificando-se um aumento regular de 6% ao ano nos últimos 20 anos.

A Europa é hoje responsável por cerca de 21,5 % da produção mundial (57 milhões toneladas), um pouco menos que em anos anteriores, tendo sido já ultrapassada pela China (23,5%). A procura de resina virgem na Europa aumentou em 4,5 % de 2009 para 2010 enquanto a taxa de reciclagem aumentou apenas 1,6%. Foram recolhidas 24,7 milhões de toneladas de resíduos plásticos das quais 24,1% foram encaminhadas para a reciclagem e 33,8% para queima em cimenteiras e centrais térmicas.

Os relatórios da Plastics Europe expressam, de forma concisa e veemente, a inequívoca mais-valia das aplicações do plástico a diversos sectores, representando 1,6 milhões de empregos e ganhos importantes ao nível da segurança alimentar e aplicações na medicina, eficiência energética na indústria

automóvel e na construção, e ainda em inovação para criação de novos polímeros que satisfaçam o uso com menor impacto ambiental.

Se é verdade que nos últimos anos muitos países têm investido numa mais eficaz gestão de resíduos e na redução dos impactos do plástico, encaminhando quantidades cada vez maiores de resíduos para o aterro ou recuperando o seu valor através do aumento das taxas de reciclagem e da valorização energética, também não deixa de ser verdade que existe uma quantidade indeterminada de resíduos plásticos que escapam a este ciclo, para não falar das quantidades que foram descartadas durante décadas, quando a gestão de resíduos dava os seus primeiros passos.

A presença de grânulos ou pastilhas de resina virgem (*pellets*) depositados nas praias é igualmente comum. Fugas acidentais mas por ventura frequentes da matéria-prima aquando da sua transferência dos navios para os camiões de transporte, e destes para as unidades de conversão e moldagem, poderão estar na origem destas ocorrências. Estas partículas são facilmente arrastadas pelas chuvas para os cursos de água e para o mar. Quando as resinas são transportadas a granel em navios, a lavagem de tanques é também uma fonte potencial de introdução de *pellets* no meio marinho.

Do plástico produzido 40% é descartado no prazo de um ano, sobretudo o plástico utilizado no sector das embalagens, e não existem estimativas fiáveis sobre as quantidades que atingem os oceanos, estima-se que a maior parte (60 a 80%) dos detritos marinhos sejam compostos por plástico (Derraik, 2002).

A descoberta de uma área extensa de acumulação de resíduos plásticos no Giro do Pacífico Norte e a constatação de que nesse local a concentração de plástico era 6 vezes superior à de plâncton colhido à superfície por uma rede com 0,333 µm de malha (Moore et al., 2001) trouxe para a comunidade científica e para os meios de comunicação a evidência de que o problema do plástico nos oceanos tinha uma dimensão nunca antes admitida.

No Atlântico os registos de detritos plásticos datam da década de 70 (Carpenter, et al. 1972 e Colton, et al. 1974) e segundo Barnes (2002) no Reino Unido a sua quantidade duplicou entre 1994 e 1998. A maior percentagem de

resíduos era então proveniente das actividades marítimas como a pesca.

Actualmente, 70 a 80% dos detritos plásticos têm origem terrestre (Bowmer e Kershaw, 2010), facto ao qual não será estranho o padrão mundial de concentração da população na orla costeira. No litoral de Portugal Continental habitam entre 52 e 60% da população total do país, sendo também a zona onde existem todo o tipo de actividades do sector primário, secundário e terciário (INE, 2011).

Tipos de Polímeros e Contaminação

Estudos sobre a composição de plásticos na água e nas praias dão conta de uma grande variedade de polímeros (Thompson et al., 2004, Ng & Obbard, 2006, Rios, et al., 2007), sendo os mais abundantes o polipropileno (PP), o polietileno (PE) o policloreto de vinila (PVC) e o polistireno (PS).

Os plásticos são fabricados de modo a suportar uma grande variedade de usos e não são biodegradáveis, embora a fotodegradação e a abrasão mecânica contribuam para a sua degradação por fractura e estilhaçamento (Corcoran et al., 2009).

O envelhecimento do material plástico aumenta a sua capacidade de adsorver poluentes hidrofóbicos, tais como, poluentes orgânicos persistentes (POP), que se podem concentrar à superfície da água até 500 vezes (Wurl & Obbard, 2004).

Recentemente, investigadores japoneses relataram níveis elevados de POP em grânulos de plástico (*pellets*) colhidos em praias e águas costeiras (Mato, et al, 2001, e Endo et al 2005). No Atlântico Sul e Caraíbas, Ivar do Sul e Costa (2007) registam os mesmos padrões de contaminação. A iniciativa "Pellet Watch" (Takada et al., 2006), reúne resultados da contaminação de *pellets* em vários locais do Mundo (Ogata et al. 2009) demonstrando ao mesmo tempo a prevalência do problema.

À medida que o plástico vai envelhecendo e fragmentando, as partículas tendem a afundar-se e ficam disponíveis também para os organismos bênticos.

Não se sabe quanto tempo os plásticos podem permanecer nos oceanos (Rios et al., 2007), nem qual é a taxa de degradação e redução de tamanho das

partículas que permanecem nos oceanos, mas existem registos de partículas de ~20 µm, (Thompson *et al.*, 2004) encontradas nas praias e em ambientes subtidais. Estas dimensões são idênticas às dos itens alimentares de muitas espécies de invertebrados, pelo que as partículas de plástico são potencialmente ingeridas por estas espécies (Moore, 2008).

Existem vários registos de fragmentos de plástico e *pellets* encontrados em conteúdos estomacais de várias espécies de aves e mamíferos marinhos e peixes (ver revisão por Derraik, 2002, mas também Vlietstra & Parga, 2002, Mallory, 2008) provavelmente em resultado da transmissão via cadeia alimentar, sendo os seus efeitos desconhecidos.

Experiências recentes referem a ingestão de micropartículas (20 a 2000 µm) por invertebrados marinhos (Thompson *et al.*, 2004 e Teuten *et al.* 2007). Browne *et al.*, (2008) registaram a ingestão de partículas de poliestireno de 3 a 9,6 µm de diâmetro por mexilhões (*Mytilus edulis*) e sua translocação para o sistema circulatório.

Este facto é preocupante pois a transferência de partículas plásticas do sistema digestivo para o circulatório pode danificar órgãos importantes como o coração ou o fígado, para além da ameaça adicional que constitui os efeitos de tóxicos (POP como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, PAH, bifenis policlorados, PCB) adsorvidos às partículas. Existem de facto evidências sobre o elevado potencial de acumulação de PCB em *pellets* de plástico (ver Mato *et al.*, 2001, e Endo *et al.*, 2005).

Teuten *et al.*, 2007 descobriram que o fenantreno (um PAH) adsorve em muito maiores quantidades ao plástico do que às partículas de sedimento. Segundo Rios *et al.*, (2007), os *pellets* de plástico colhidos em praias da costa dos Estados Unidos e no Giro do Pacífico Norte são uma armadilha para os POP, que ingeridos podem desorver no tubo digestivo e serem acumulados pelos organismos (Tanabe *et al.*, 2004).

Nos últimos anos, e dada a ênfase que se internacionalmente se tem colocado neste problema têm surgido vários trabalhos (revistos por Cole *et al.*, 2011) que abordam a temática dos plásticos no mar, nomeadamente no que respeita às quantidades observadas, à superfície, nos fundos e nas praias e à capacidade de adsorver/desorver poluentes, bem como

estudos que confirmam a ingestão de partículas de plástico por diversos grupos de organismos marinhos.

Plásticos na Costa Portuguesa

Desde 2008 que o grupo do IMAR FCT-UNL tem vindo a desenvolver investigação no tema da poluição por plásticos em ambiente costeiro e marinho. Essencialmente preocupados com os efeitos dos microplásticos, temos vindo a recolher amostras de resíduos plásticos por todo o país de modo a identificarmos as principais zonas de acumulação em Portugal Continental, as quantidades, categorias e tipos de polímeros presentes e averiguar a sua contaminação por poluentes orgânicos persistentes. O presente artigo reúne resultados seleccionados destes estudos.

As praias em que inicialmente recolhemos amostras foram, por razões de proximidade à FCTUNL, a da Cresmina (Guincho) e a da Fonte da Telha (Caparica). No ano seguinte, alargámos a amostragem de modo a ter um conjunto de 5 praias de Norte a Sul do país, Agudela (Matosinhos), Cova de Alfarroba (Peniche), Cresmina, Fonte da Telha e Bordeira (Aljezur).

Em 2011, e tendo em conta resultados anteriormente obtidos por Frias *et al.* (2010) e Martins e Sobral (2011), foram realizadas amostragens num total de 10 praias na costa ocidental portuguesa, agora no âmbito de um projecto de investigação – POIZON - financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, e que tem como principais objectivos avaliar as quantidades e dimensões de plásticos, e em particular microplásticos e *pellets* nas praias em Portugal Continental, estudar as taxas de degradação dos principais polímeros de plástico em condições oceânicas e investigar a transferência de contaminantes por ingestão de partículas de plástico, a sua acumulação e efeitos nos organismos marinhos.

Metodologia

Avaliação das quantidades de plásticos nas praias, identificação dos polímeros e análise de contaminantes

A metodologia usada para a recolha de amostras, passou pela definição de áreas de 50 x 50 cm e de 2 x 2 m (quadrados)

nas zonas de acumulação (Figura 1), onde foram recolhidos os primeiros 2 cm de areia. Cada amostra foi colhida em triplicado, num total de seis amostras em cada praia. As amostras das áreas maiores foram separadas *in situ* usando um crivo metálico com malha comercial de 2,5 x 3,5 mm, que permite recolher *pellets* e todos os plásticos de dimensões superiores. Nos quadrados 50 x 50 cm, recolhemos a areia, sendo a separação

dos plásticos feita *a posteriori* no laboratório.

No laboratório, os plásticos são separados da areia por diferença de densidade, sendo as amostras introduzidas em tanques com uma solução concentrada de NaCl (140 g L^{-1}), e remexidas múltiplas vezes de modo a que o plástico que possa existir na amostra flutue à superfície ou na coluna de água facilitando a recolha.



Figura 1. Aspecto de uma zona de acumulação de resíduos numa praia da Caparica com destaque para os *pellets*.

Após a separação do plástico, a água é filtrada por filtros Whatman® GF/C com $\sim 1 \mu\text{m}$ de poro, recorrendo a uma bomba de vácuo GAST® DOA. Seguidamente os filtros são observados à lupa binocular de modo a quantificar as partículas de plástico que não são visíveis à vista desarmada.

A classificação, contagem e peso de microplásticos é feita por classes de tamanho (Figura 2), mm a mm até aos 10 mm, seguindo a metodologia descrita por Ogi e Fukumoto (2000) e adaptada de Endo *et al.* (2005).



Figura 2. Fragmentos de plástico organizados segundo as dimensões.

A identificação dos polímeros é feita por Micro-Espectroscopia de Infra-vermelho com Transformada de Fourier ($\mu\text{-FTIR}$), que mede o espectro de absorção da

radiação infravermelha pelas ligações químicas de um material, cujos picos de intensidade são característicos para cada grupo funcional químico. O aparelho

utilizado é um espectrofotômetro Nicolet® Nexus com interface para um microscópio Continuum e com um detector MCT-A arrefecido por nitrogénio líquido, tendo uma resolução espacial de 30 μm . A informação espectral é analisada com o software OMNIC® que integra uma base de dados que permite identificar os polímeros.

A análise das concentrações de contaminantes (POP) foi dirigida aos PAH, PCB e ao DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) e seus metabolitos (DDE, dicloro-difenil-dicloroetileno e DDD, dicloro-difenil-dicloroetano), tendo os *pellets* sido divididos em quatro classes de acordo com a cor que apresentavam (brancos, coloridos, envelhecidos e pretos). A determinação foi feita por cromatografia gasosa com espectrometria de massa (GC-MS) com o equipamento DSQ Thermo®, operando em modo SIM (*Selected Ion Monitoring mode*), cujos resultados discriminam várias classes de PAH e vários congêneros de PCB e ainda o DDT e os seus metabolitos.

Pesquisa de plástico em amostras de plâncton

Em complemento da quantificação dos plásticos nas praias, investigámos a presença de plástico nas águas, analisando 155 amostras de plâncton recolhidas com 3 redes distintas – rede de neuston (335 μm); LHPR (280 μm) e WP2 (180 μm) – entre 2002 e 2008, de Norte a Sul da costa portuguesa. Os microplásticos foram pesquisados à lupa binocular e posteriormente medidos ao microscópio, recorrendo a um software específico.

Resultados Seleccionados

As dimensões dos microplásticos (fibras e partículas), recolhidos no primeiro ano variaram entre 1 μm e 5 mm de diâmetro com comprimento a partir de 15 μm , e situam-se na classe de tamanhos das partículas que organismos, como zooplâncton e pequenos peixes, podem ingerir. Os principais polímeros identificados foram o polipropileno, polietileno de alta e de baixa densidade e o poliestireno (Figura 3). No que se refere aos poluentes orgânicos persistentes adsorvidos às amostras de *pellets* recolhidas no âmbito deste estudo, todas as amostras se encontravam contaminadas tanto com PAH, como com PCB, DDT e os seus metabolitos (Figura 4).

As concentrações de PAH variaram entre 0,2 e 319,6 ng g^{-1} , as concentrações de PCB variaram entre 0,02 e 15,56 ng g^{-1} e as concentrações de DDT variaram entre 0,16 e 4,05 ng g^{-1} . A maior concentração observada de PAH foi observada nos *pellets* pretos e de PCB nos *pellets* envelhecidos, ambos na praia da Cresmina. Na Fonte da Telha a maior concentração de PAH foi observada nos *pellets* envelhecidos.

Seria de supor que os *pellets* envelhecidos apresentassem concentrações maiores de POP, uma vez que se encontram há mais tempo no meio ambiente, pelo que obter concentrações elevadas nos *pellets* pretos foi uma surpresa. É provável que a constituição química destes *pellets* permita um aumento da superfície para adsorção, embora seja necessário continuar a investigação no sentido de identificar os diferentes polímeros envolvidos. De salientar ainda a presença de DDT, insecticida banido em vários países há cerca de 40 anos. Os resultados completos deste estudo foram publicados por Frias *et al.* 2010.

No estudo de 2010, que incluiu amostras de 5 praias (Martins e Sobral, 2011), os microplásticos representaram em número 72% de todos os plásticos recolhidos (tamanhos <1 mm até ≤ 5 mm), entre *pellets* e fragmentos e apenas 10% apresentam dimensões superiores a 1 cm. No conjunto das cinco praias foram recolhidos um total de 17799 itens de plástico com um peso de cerca de 2322 g. A densidade média foi de cerca de 185,1 itens m^{-2} o que corresponde a um peso médio de 36,4 g m^{-2} .

A abundância de plástico é maior para as classes entre 3 e 5 mm (Figura 5), representando 60% da abundância total. Em termos de peso, tal como seria de esperar, são os macroplásticos que têm maior representatividade correspondendo a 89.6% do peso total. A nível global os tamanhos recolhidos variaram entre 50 μm e 20 cm.

Relativamente à pesquisa de plástico nas amostras de plâncton confirma-se a existência de fibras e fragmentos (63 % das amostras), e, embora os resultados se encontrem ainda em processamento, podemos adiantar que, dos 4 anos estudados, 2007 é o ano com maior volume de plástico relativamente ao biovolume recolhido, correspondendo a ~16%.



Figura 3. Partículas de a) polipropileno; b) polietileno e c) polietileno com visível contaminação identificadas com recurso à técnica μ F-TIR. (escala 500 μ m)

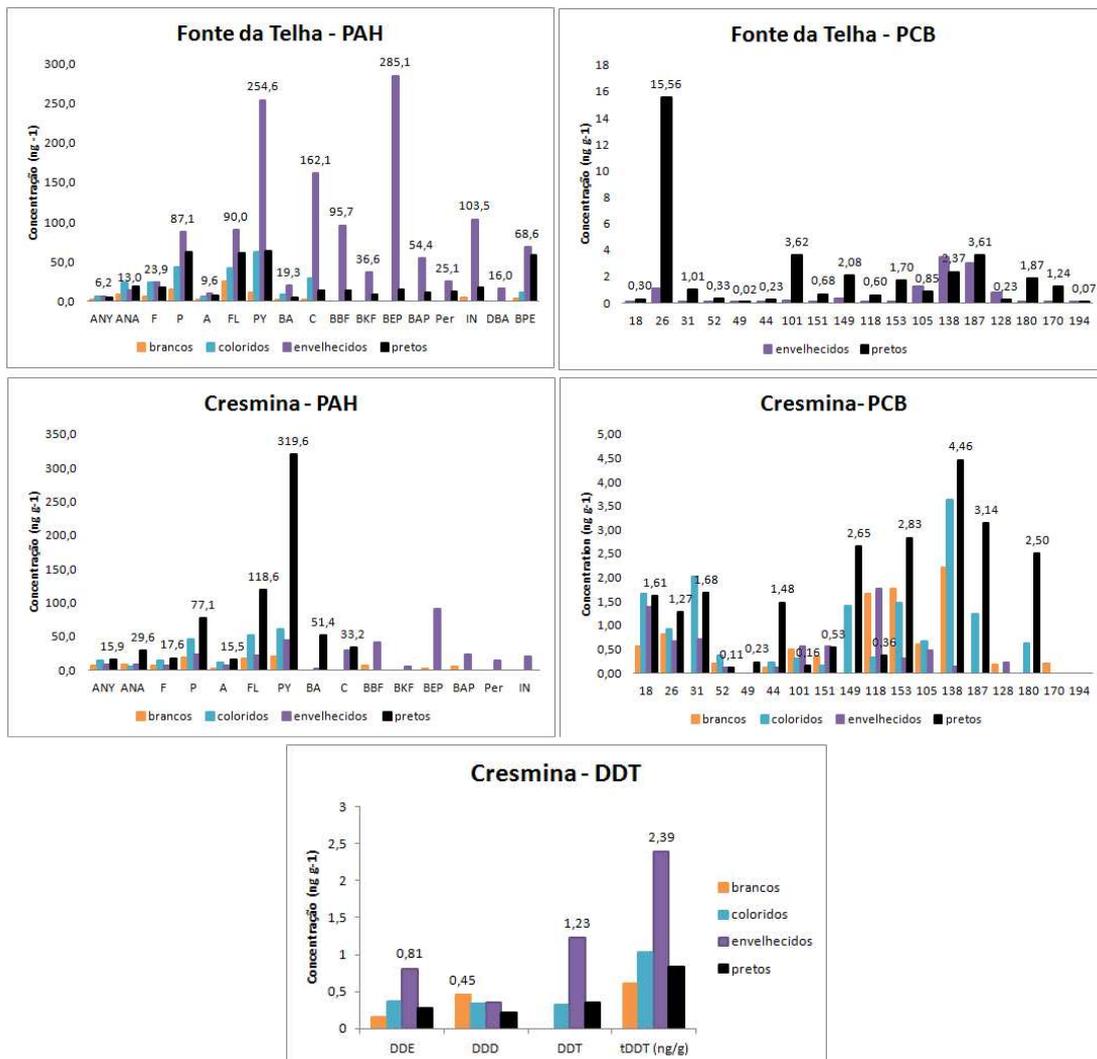


Figura 4. Concentrações de PAH, PCB, DDE, DDD, DDT e DDT total (ng g^{-1}) em 4 classes de *pellets* recolhidos nas praias da Cresmina (Guincho) e Fonte da Telha (Caparica) em 2009 (adaptada de Frias et al. 2010).

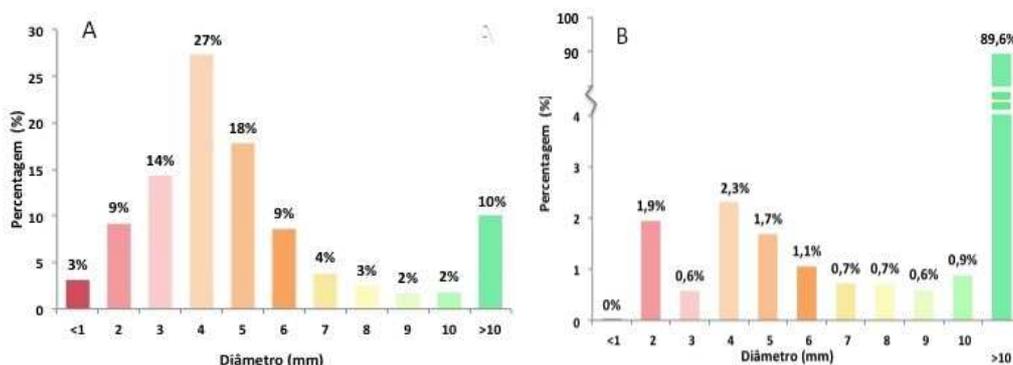


Figura 5. Distribuição da abundância de plástico (A) % em número e (B) % em peso, para cada classe de tamanho (mm) nas 5 praias estudadas em 2009 (adaptado de Martins e Sobral, 2011).

Perspectivas Futuras

O tema dos plásticos nos oceanos e os seus efeitos sobre a fauna marinha teve um reconhecimento mundial sem precedentes na última década. Essa importância reflecte-se no aumento do número de publicações científicas sobre diversas vertentes do tema (quantidades, contaminação, efeitos) e na divulgação nos meios de comunicação social tradicionais e na internet. A Directiva Quadro Estratégia Marinha está também a dar especial atenção ao assunto, na perspectiva de fornecer aos Estados-Membros metodologias para inventariação e monitorização das quantidades e as suas origens. Em Portugal este tema é ainda relativamente pouco importante, mas essa situação não tardará a mudar, sendo importante alargar a área de estudo às Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, de modo a obtermos uma melhor cobertura da extensa zona económica exclusiva portuguesa.

Muito há ainda a fazer quer no que toca à eficácia da gestão dos resíduos plásticos, em particular no aumento das taxas de reciclagem e na sua valorização energética, embora esta última acarrete problemas ambientais devido à elevada toxicidade dos compostos que são libertados para a atmosfera.

A componente de sensibilização e informação do público para o problema da persistência dos plásticos no ambiente é um aspecto muito importante, e talvez o único que contribuirá de forma decisiva para que virtualmente todo o plástico possa ser recolhido pelo sistema de gestão de resíduos, em conjunto com o desenvolvimento de novos modelos de consumo que permitam a diminuição da quantidade de plástico de embalagem, de uso único, e a utilização de materiais

inovadores que a indústria tem vindo a desenvolver para reduzir o impacto do plástico.

Devemos trabalhar activamente para determinar a extensão do problema da poluição por plásticos nos oceanos, e compreender os seus efeitos sobre os organismos marinhos, mas sem esquecer que as vertentes económica e social, são determinantes para as quantidades produzidas, o tipo de utilização e finalmente a recolha e valorização. Não podemos esquecer ainda que a preocupação com o impacto dos resíduos plásticos, que os países desenvolvidos do mundo ocidental demonstram actualmente, não é acompanhada de modo efectivo por economias emergentes, como as da Ásia, que impõe um peso cada vez maior do lado da produção e consumo.

À medida que os processos de degradação do plástico nos oceanos forem actuando os fragmentos serão cada vez em maior número e de menor tamanho, adsorvendo poluentes persistentes, bioacumuláveis e tóxicos, e aumentando assim o risco de introdução destes compostos ao nível dos consumidores primários, como o zooplâncton e peixes filtradores, com efeitos imprevisíveis para as cadeias tróficas dos oceanos.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a todos que nos têm ajudado, e em especial a Ana Maria Ferreira (Instituto de Investigação das Pescas e do Mar - IPIMAR), Marta Martins (IPIMAR) e Isabelina Santos (IPIMAR), pelas análises dos contaminantes, Antonina dos Santos (IPIMAR) pela disponibilização de amostras de zooplâncton, Maria João Melo (Departamento de Conservação e

Restauro, FCT-UNL), pelo acompanhamento na identificação dos polímeros, e à nossa colega de bancada Joana Antunes (IMAR FCT-UNL).

Referências

- Barnes, D. K. A., 2002. Invasions by marine life on plastic debris. *Nature* 416: 808-809.
- Bowmer, T., Kershaw, P., 2010. Proceedings of the GESAMP International Workshop on micro-plastic particles as a vector in transporting persistent, bioaccumulating and toxic substances in the oceans. Reports & Studies n.82. UNESCO-IOC, Paris.
- Browne, M., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., Thompson, R. C., 2008. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.*, 42 (13), 5026-5031.
- Carpenter, E.J., Smith, K.L., 1972. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science* 175, 1240-1241.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T. S., 2011, Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2588-2597
- Colton, J.B., Knapp, F.D., Burns, B.R., 1974. Plastic particles in surface waters of the Northwestern Atlantic. *Science* 185, 491-497.
- Corcoran, P.L., Biesinger, M.C., Grifi, M., 2009. Plastics and beaches: a degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin* 58, 80-84.
- Derraik, J. G. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 44 (9) pp.842-852
- Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Takada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Ogi, H., Yamashita, R., Date, T., 2005. Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences. *Marine Pollution Bulletin* 44, 1103-1114.
- Frias, J., Sobral, P., Ferreira, A., 2010. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin* 60 (11), 1988-1992.
- Gregory, M.R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364, 2013-2025.
- INE, I.P. 2011. Censos 2011. Resultados preliminares. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa. Portugal.
- Ivar do Sul, J.A, Costa, M.F., 2007. Marine debris review for Latin America and the wider Caribbean region: from the 1970s until now, and where do we go from here? *Marine Pollution Bulletin* 54(8):1087-104.
- Mallory, Mark L. 2008. "Marine plastic debris in northern fulmars from the Canadian high Arctic." *Marine Pollution Bulletin* 56(8):1501-4.
- Martins, J., Sobral, P. Plastic marine debris on the Portuguese coastline: A matter of size? *Mar. Pollut. Bull.* (2011)
- Mato, U.; Isobe, T.; Takada, H.; Kanehiro, H.; Ohtake, C.; Kaminuma, T. 2001. Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. *Environmental Sciences and Technology*, 35 pp.318-324.
- Moore, C, S Moore, M Leecaster, and S Weisberg. 2001. "A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre." *Marine Pollution Bulletin* 42(12):1297-1300.
- Moore, C. J. 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, longterm threat. *Environmental Research*, 108 pp.131-139.
- Ng, K. L.; Obbard, J. P. 2006. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 52 pp.761-767.
- Ogata Y, Takada H, Mizukawa K, Hirai H I, Endo S, Mato Y, Saha M, Okuda K, Nakashima A, Murakami M, Zurcher N, Booyatumanondo R, Zakaria MP, Dung LQ, Gordon M, Miguez C, Suzuki S, Moore C, Karapanagioti HK, Weerts S, McClurg T, Burren E, Smith W, Van Velkenburg M, Lang J S, Lang R C, Laursen D, Danner B, Stewardson N, Thompson RC 2009. International Pellet Watch: global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase

data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin* 58(10):1437-46.

Ogi, H.; Fukumoto Y. 2000. A sorting method for small plastic debris floating on the sea surface and stranded on sandy beaches. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 51 (2) pp.71-93.

Plastics Europe, 2011. The compelling facts about plastics 2011. An analysis of plastics production, demand and recovery for 2010. PlasticsEurope - Association of Plastics Manufacturers. Brussels, Belgium.

Rios, L. M.; Moore, C.; Jones, P. R. 2007. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 54 pp.1230-1237.

Tanabe, S., 2004. POPs-need for target research on high risk stage. *Marine Pollution Bulletin* 48, 609-610.

Takada, H., 2006, Call for *pellets!* International Pellet Watch Global

Monitoring of POPs using beached plastic resin *pellets*. *Marine Pollution Bulletin* 52, 1547-1548

Teuten, E. L.; Rowland, S. J.; Galloway, T. S.; Thompson, R. C. 2007. Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental Sciences & Technology* 41 pp.7759-7764

Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at Sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838.

Vlietstra, L.S., Parga, J.A., 2002. Long-term changes in the type, but not amount, of ingested plastic particles in short-tailed shearwaters in the southeastern Bering Sea. *Marine Pollution Bulletin* 44, 945-955.

Wurl, O., Obbard, J.P., 2004. A review of pollutants in the sea-surface microlayer (SML): a unique habitat for marine organisms. *Marine Pollution Bulletin* 48, 1016-1030.