

PET - Polymer Extraction Technology

Relatório do Projeto



Marta Santos

Vasco Isidoro

5/2026

Resumo

Os **microplásticos** (MPs) são detectados cada vez mais frequentemente em todos os ambientes, nomeadamente no aquático, tornando-se perigos cada vez mais relevantes para ecossistemas e para os seres humanos. O objetivo deste projeto é criar um **sistema** para remover microplásticos da água, que possa vir a ser implementado em ETAs e ETARs.

Em primeiro lugar, vão ser adicionadas à água **nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$** e será provocada a sua adsorção aos microplásticos através de **exposição ultrassónica**. Em segundo lugar, a água irá fluir num tubo com uma trajetória em espiral, para induzir um leve **efeito centrífugo**, que aumentará a exposição dos microplásticos à terceira etapa, a **remoção magnética**. Os primeiros testes de remoção de microplásticos da água, ainda fora do sistema, sem a componente centrífuga, recorrendo apenas a agitação física para a adsorção e a extração magnética, mostraram taxas de remoção, em média, de 75,5%. Estes resultados, a par da simplicidade e da eficiência económica, comprovam a eficácia da abordagem proposta. Daqui em diante, serão realizados testes para averiguar qual a influência da introdução do efeito centrífugo e da exposição ultrassónica na taxa de remoção. Também serão feitos testes para determinar se a salinidade e o pH têm impacto na remoção dos MPs.

Palavras-chave

Sistema, microplásticos, nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, exposição ultrassónica, efeito centrífugo, remoção magnética.

Abstract

Microplastics (MPs) have become increasingly frequent in all environments, namely aquatic ones, becoming very relevant hazards for ecosystems and humans. The aim of this project is to create a **system** for removing microplastics from water, which can be implemented in water treatment plants (WTPs) and wastewater treatment plants (WWTPs). First, **$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles** will be added to the water and their adsorption to the microplastics will be induced through **ultrasonic exposure**. Second, the water will flow in a tube with a spiral trajectory to induce a mild **centrifugal effect**, which will increase the exposure of the microplastics to the third stage, their **magnetic removal**. The first tests of microplastic removal from water, outside the full system, without centrifugal effect and ultrasonic exposure, relying only on physical stirring for adsorption and magnetic extraction, showed removal rates, on average, of 75,5%. These results, along with the simplicity and economic efficiency of the proposed approach, prove its effectiveness and viability. Going

forward, tests will be carried out to study the influence of the introduction of the centrifugal effect and ultrasonic exposure on the removal rate. Tests will also be performed to determine whether salinity and pH have an impact on microplastic removal.

Key words

System, microplastics, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles, ultrasonic exposure, centrifugal effect, magnetic removal.

Introdução

Com o avanço da indústria e tecnologia, são criados cada vez mais resíduos, grande parte dos quais acabam depositados em ambientes aquáticos, nomeadamente em rios e mares.

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente, embora sejam um material relativamente recente, os plásticos representam cerca de 60% a 90% do total de resíduos marinhos, sendo que, segundo Our World in Data, a produção global de plástico tem aumentado (Anexo 1) e, de acordo com dados da BBC, a quantidade de plástico nos oceanos também (Anexo 2).

Uma vez no ambiente marinho, os plásticos sofrem degradação mecânica, química e biológica, fragmentando-se infinitamente, originando micro e nano plásticos (com menos de 0,5 mm e 1µm de diâmetro, respectivamente). Por serem de dimensões tão reduzidas, estas partículas são muito difíceis de retirar da água, passando inalteradas pela maioria dos sistemas tradicionais de filtragem.

Conforme reportado por Gouveia (2018) em *Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas*, a maioria das ETARs estudadas apresenta valores totais de remoção de microplásticos (MPs) da água muito variáveis (dos 17 aos 91%), sendo que, numa delas, a taxa de remoção foi -548%, havendo mais microplásticos na água à saída do que à entrada da ETAR. Para além disso, a taxa média de remoção global de MPs nas ETARs da Europa é apenas 64.26% após as três fases de tratamento a que a água é submetida (Bayo et al., 2021 in Rodrigues, 2022).

Assim, conclui-se que grande parte dos sistemas tradicionais de tratamento de água não são opções viáveis ou sustentáveis para a remoção de microplásticos (Wu & You, 2025; Shi et al., 2022):

- processos de filtração, agregação e sedimentação apresentam baixas taxas de remoção, que variam consoante a densidade do polímero;
- sistemas de biodegradação requerem microrganismos e ambientes específicos, dificultando o seu uso em contextos industriais e aumentando o custo;
- processos de degradação química podem deixar resíduos na água, condicionando a sua pureza.

Desta forma, segundo um estudo da Universidade de Newcastle, estima-se que cada pessoa ingira, em média, cerca de 5 gramas de plástico semanalmente, o que equivale a um cartão de crédito. Ainda segundo esse estudo, a principal fonte que contribui para a ingestão desses microplásticos é a água, em particular a engarrafada. É, por isso, urgente o desenvolvimento de métodos alternativos de extração de microplásticos da água que sejam eficientes e sustentáveis.

De entre as soluções emergentes, o recurso ao magnetismo tem-se destacado como uma alternativa promissora, como relatado por Vohl et al. (2024). No entanto, grande parte da inovação nesta área utiliza partículas magnéticas funcionalizadas, ou seja, partículas cujas superfícies foram modificadas com outras moléculas, para lhes conferir novas propriedades, como maior capacidade de adesão e/ou ligação aos microplásticos. Apesar das vantagens associadas a esta funcionalização, as partículas sintetizadas por este processo apresentam custos bastante elevados, podendo tornar-se pouco viáveis para aplicação a níveis industriais.

Assim sendo, na sequência de um estudo recente realizado por alunos na China (Wu & You, 2025), que reportava o processo de remoção de microplásticos da água utilizando nanopartículas não-funcionalizadas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e ultrassons para causar a adsorção das partículas aos microplásticos, e que apresentava resultados de remoção promissores, o nosso grupo decidiu criar um sistema que operacionalize este método, aproximando-o de usos industriais, nomeadamente ETAs e ETARs.

Metodologias

Materiais

- 2 Aquários
- 1 Placa de Aço - 1*12,99€
- 4 Ímans em bloco - 4*17,7€
- 3 Válvulas - 3*7,09€
- 2 Tubos de gás em aço inoxidável - 2*11,42€
- 1 Broca de vidro - 1*4,95€
- Partículas de Nano $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
- Microplásticos de diversos polímeros e tamanhos

Total: 132,85€

Nota: Os materiais sem valor referido foram reutilizados ou, no caso das partículas, sintetizados em laboratório. No caso dos microplásticos, estes foram, num primeiro momento, produzidos a partir de plásticos em fim de vida e, posteriormente, cedidos por investigadores. Todo o material comprado foi financiado pelo Colégio Valsassina.

Estrutura e funcionamento planeado

O objetivo do projeto é criar um sistema para remover microplásticos da água. Para isso, vamos fazer uma estrutura vertical com 3 secções (Anexos 3, 4, 5 e 6):

- Em primeiro lugar, no recipiente inicial, vão ser adicionadas à água nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e será provocada a sua adsorção aos microplásticos através de exposição ultrassónica (com um altifalante e um

gerador de sinal). Seguindo os resultados reportados por Wu & You (2025), a sua exposição aos ultrassons será de cerca de 20 minutos.

- Na segunda parte do sistema, a água irá fluir num tubo de aço inoxidável com uma trajetória em espiral em torno de um eixo vertical, para induzir um “efeito centrífugo gravitacional”, auxiliando a separação dos microplásticos.
- Por fim, a água passará do tubo para o recipiente final, que terá ímãs do lado de fora que, aproveitando o efeito centrífugo, vão atrair as partículas de ferro e, conseqüentemente, os microplásticos. Nesse recipiente, abrir-se-á uma torneira de onde a água sai limpa e própria para consumo.

Procedimentos

Sínteses de Nano γ -Fe₂O₃

Após algumas sínteses de Nano γ -Fe₂O₃ com procedimentos ligeiramente diferentes, o que apresentou resultados mais promissores, transcrito detalhadamente abaixo, foi uma adaptação do descrito em Nazari, M.*et al.*(2014) segundo as indicações da investigadora Catarina Santos (Anexo 7).

Procedimento

Foram pesados 2,7 g FeCl₃·6H₂O e 4,0 g FeCl₂·4H₂O, que foram colocados num gobelé. Foi adicionada água destilada até perfazer o volume de 10,0 mL. A solução de NH₄OH (25%) foi transferida para uma bureta que foi suspensa no suporte universal sobre o gobelé contendo a solução de Fe. Adicionou-se, quase de uma vez, 5,8 ml da solução de base, sob agitação magnética vigorosa da solução de ferro. A solução obtida tinha pH de 8,4 e cor preta. O produto obtido foi colocado na centrifugadora durante 10 minutos, lavado com água e colocado novamente a centrifugar durante 5 minutos. Passados alguns dias, a centrifugação e a lavagem foram feitas novamente, retirou-se o líquido sobrenadante e o produto depositado foi posto a secar na estufa a 40°C, durante dois dias (Anexos 8 e 9).

Obtenção de microplásticos

Foram recolhidos uma série de materiais, em fim de vida, feitos de diferentes tipos de plásticos (Anexo 10) e de diferentes cores. Segundo as sugestões da investigadoras contactadas, os diferentes polímeros recolhidos - PET (polietileno tereftalato), PP (polipropileno), HDPE (polietileno de alta densidade), PS (poliestireno) - foram cortados à mão em fragmentos com cerca de 1-2mm de diâmetro (Anexos 11 e 12).

Após alguns testes, concluímos que a adsorção não estava a ocorrer e suspeitámos que se devesse à grande dimensão dos plásticos. Tentamos triturá-los e lixá-los,

mas obtivemos o mesmo resultado. Contactámos a investigadora Joana Antunes do MARE da Nova FCT que nos forneceu microplásticos de diversos polímeros (PVC, PET, PP, PS) e tamanhos (+/- 500µm, entre 200-300µm e >250 µm) - (Anexo 13).

Taxa de remoção de microplásticos

Seguindo as indicações das investigadoras Joana Antunes do MARE (Marine and Environmental Sciences Centre) da Nova FCT, o processo que adotamos para a deteção dos microplásticos à saída do sistema foi o seguinte:

Adição de microplásticos

- Adição de uma determinada massa de microplásticos à água no início do sistema, contabilizando também a massa adicionada de cada um dos tipos de polímero. Assim, sabe-se **MPi**, a massa de microplásticos existentes por litro de água adicionado no início.

Deteção dos microplásticos

- Após a adesão dos compostos MPs+nano γ -Fe₂O₃ aos ímanes no reservatório final, agita-se a coluna de água sobrenadante, para homogeneizar a dispersão de microplásticos na mesma. De seguida, seleciona-se uma amostra dessa água com um determinado volume. Filtra-se essa amostra, que permite separar os MPs da água, para que estes sejam secos (com recurso a uma estufa) e pesados. Assim, sabe-se **MPf**, a massa de microplásticos existentes por litro de água obtido após a filtração.

Cálculo da taxa de remoção

- A taxa de remoção dos microplásticos será dada por:

$$\eta = [(MPi - MPf) / MPi] \times 100\%$$

MPi - Massa de microplásticos por litro inicial

MPf - Massa de microplásticos por litro final

η - Taxa de remoção

Primeiros testes de remoção

O procedimento a ser usado para a remoção foi testado, inicialmente, fora do sistema final (Anexo 14). O seguinte procedimento foi repetido 3 vezes (Anexo 15).

Adicionaram-se a 250 mL de água uma determinada massa - respetivamente (0.11±0.01) g, (0.09±0.01) g, (0.10±0.01) g - de microplásticos do polímero PS. De seguida, adicionou-se uma certa quantidade de partículas de ferro (que, em contexto escolar, foi impossível pesar com exatidão, devido à reduzida massa utilizada). Esta solução foi sujeita a agitação magnética durante 20 minutos e,

posteriormente, exposta à ação do íman (Anexo 16). A solução foi depois vertida para um segundo recipiente e posta numa estufa a 60°C durante um dia, para que a água evaporasse (Anexo 17). Depois disto, os microplásticos restantes foram pesados para determinar a taxa de remoção (Anexos 18 e 19).

Este procedimento foi também replicado utilizando uma mistura de polímeros PS (>500 µm), PET (300-500 µm), PE (>250 µm) e PP (>250 µm). Nestes testes, foram adicionados (0,42±0,01) g de microplásticos à água, e o restante procedimento foi igual ao já descrito.

Testes de remoção no sistema final

Foram também realizados testes de remoção no sistema final (Anexos 20 e 21). Foi adotado o seguinte procedimento, que foi repetido 2 vezes.

Adicionaram-se ao primeiro aquário 2,5 L de água, (0,94±0,01) g de MPs dos polímeros PS (>500 µm), PVC (300-500 µm), PET (300-500 µm), PE (>250 µm) e PP (>250 µm). De seguida, adicionou-se uma certa massa de nanopartículas de ferro $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ à água (0,16 g no primeiro ensaio, 0,52 g no segundo) e a suspensão foi sujeita a agitação magnética durante 30 minutos.

Posteriormente, abrimos a válvula que liga o primeiro recipiente ao tubo e a água passou pelo tubo até chegar ao segundo recipiente, onde existe um campo magnético, criado por 4 ímanes nas faces inferiores e laterais do recipiente.

Após cerca de 15 minutos de exposição ao campo, a água foi vertida para outros recipientes e posta numa estufa a 85°C durante um dia, para que a água evaporasse. Depois disto, os microplásticos restantes (os que não foram atraídos ao íman) foram pesados para determinar a taxa de remoção.

Planeamento de métodos para testes e medições

Testes da quantidade de nano $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

A determinação da quantidade ótima de nano $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, a quantidade mais pequena que se traduz numa alta taxa de remoção, será feita efetuando testes com diversas quantidades de nano $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e averiguando as taxas de remoção para cada um dos testes, até se encontrar o ponto ótimo.

Testes com e sem efeito centrífugo

Vão ser realizados testes com e sem o tubo que cria o efeito gravítico, de modo a averiguar qual a diferença do valor da taxa de remoção induzida por este efeito, para determinar se o seu uso apresenta uma vantagem relevante na extração dos microplásticos.

Testes com diferentes tipos de agitação

A taxa de remoção vai também ser comparada quando se utiliza, no processo inicial, exposição ultrassónica, agitação física da água e sem a utilização de nenhuma das duas. Estes teste permitem averiguar se, de facto, a agitação ultrassónica conduz a uma maior taxa de remoção, conforme reportado por Wu & You (2025), ou se a condiciona por causar vibração excessiva das partículas, devido à cavitação, impedindo a sua ligação, como relatado por alguma literacia científica. Para além disso, permitem concluir qual dos dois métodos de agitação (ultrassónica ou física) conduz a uma maior taxa de remoção.

Testes com diferentes salinidades

Segundo Shi et al. (2022), que apresentou um procedimento semelhante ao aqui proposto, a taxa de remoção dos microplásticos foi maior em condições de salinidade semelhantes às da água do mar. Por isso, vamos realizar testes com diferentes graus de salinidade da água de modo a averiguar qual a salinidade ótima para a remoção dos MPs.

Testes com diferentes valores de pH

Em água pura, tanto os MPs como as nanopartículas, apresentam cargas elétricas negativas na sua superfície, pelo que se podem repelir, dificultando a sua ligação. No entanto, para certos valores de pH e para cada tipo de partícula, existe o PZC (ponto de carga zero), em que a partícula tem carga de superfície igual a zero, apresentando carga positiva para valores inferiores e negativa para valores superiores. Como os PZCs das nanopartículas (3,5-5,5) e dos MPs (5-6) diferem, poderá existir um valor intermédio de pH, em que os MPs e as nanopartículas apresentem cargas de sinais opostos, que pode ser ideal para a adsorção. Ainda assim, a proximidade destes valores condiciona a viabilidade desta abordagem.

Resultados

As partículas sintetizadas pelo procedimento transcrito apresentaram cor preta e demonstraram magnetismo bastante visível, capaz de se sobrepor à força gravítica.

Nos primeiros testes de remoção, utilizando apenas MPs de PS, os valores obtidos para **MPf** foram de (0.01 ± 0.01) g, (0.03 ± 0.01) g, (0.02 ± 0.01) g. Assim, estes dados equivalem a taxas de remoção de cerca de 90,9%, 55,5%, 80,0% nos três ensaios, respectivamente, levando a um valor médio de remoção de 75,5%. No entanto, é razoável excluir o ensaio 2, por ter sido adicionada à água uma quantidade de nano óxidos de ferro visivelmente menor que nos outros ensaios, embora não seja possível determinar quão menor foi devido à reduzida fiabilidade da balança para massas tão pequenas. Descartando este ensaio, a taxa média de remoção é de 85,5%.

No teste de adsorção com uma mistura de polímeros, o valor de MPf obtido foi de $(0,05 \pm 0,01)$ g, originando uma taxa de remoção de 88,1%

Nos testes com o sistema completo, um erro de medição envolvido no cálculo de MPi condicionou a fiabilidade dos resultados. Apesar disso, os resultados obtidos registaram-se entre os 30 e 52% para o primeiro ensaio, e entre os 27 e os 48% para o segundo ensaio (a disparidade entre valor mínimo e máximo resulta do erro de medição referido).

Discussão dos resultados

Nos testes de adsorção apenas com PS, o segundo ensaio apresentou um valor de remoção muito inferior aos restantes, provavelmente por ter sido adicionada à água uma quantidade de nano óxidos de ferro visivelmente menor que nos outros ensaios, embora não seja possível determinar quão menor foi devido à reduzida fiabilidade da balança para massas tão pequenas. Assim, é razoável descartar este ensaio, que origina uma taxa média de remoção de 85,5%.

Os valores obtidos para as taxas de remoção estão também condicionados pela fiabilidade das balanças, uma vez que os MPs também são muito leves e pouco densos, tornando difícil medir com exatidão a massa inicial e final de microplásticos na água. Por isso, apesar de, empírica e visualmente, ser visível uma considerável remoção de microplásticos pela nossa abordagem (Anexo 16), os valores percentuais de remoção apresentados podem ter fiabilidade reduzida. Por isso, pretendemos vir a fazer medições mais exatas num laboratório universitário, recorrendo a tecnologias como FTIR e Pirólise-GC/MS (Cromatografia Gasosa/Espectrometria de Massa).

Nos testes no sistema final, apesar do erro de medição, os valores mínimos obtidos nos dois ensaios foram próximos (27% e 30%), tendo se verificado o mesmo para os valores máximos (48% e 52%). Ainda assim, a execução de outros ensaios é importante para confirmar os resultados obtidos. A par disso,

Para além disso, identificamos, nos testes no sistema final, alguns motivos pelos quais podemos não estar a obter resultados como os dos testes de adsorção.

Por um lado, acreditamos que a agitação magnética não se adaptou bem à maior quantidade de água no sistema completo e à forma retangular do recipiente inicial, pelo que utilizar um recipiente cilíndrico ou uma forma de agitação mais apropriada para recipientes maiores é um ajuste em que vemos um grande potencial de acréscimo de taxa de remoção.

Por outro lado, entre os testes de adsorção e os testes no sistema final, ficámos sem nanopartículas, levando-nos a fazer uma nova síntese. No entanto, a reduzida disponibilidade de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ no nosso laboratório escolar condicionou a quantidade que foi possível sintetizar. Por isso, os resultados mais baixos nos testes

finais podem ser resultado de um erro estrutural das partículas que resultaram desta nova síntese ou da baixa concentração de IONPs usada nos testes no sistema completo - a bibliografia refere valores ótimos de 1,3 g/L, um valor que, devido à escassez de IONPs, nos foi impossível de atingir. Assim, uma nova síntese de nanopartículas ou o uso de IONPs produzidas industrialmente devem conduzir a taxas de remoção mais elevadas no sistema final.

Considerações finais

Em suma, esta abordagem está ainda em fase de otimização, requerendo mais testes utilizando o sistema total. Não obstante, a sua viabilidade, a par da sua simplicidade e eficiência económica, são claras, conforme comprovado pelos resultados de 85,5% e 88,1% obtidos nos testes de adsorção.

Ainda assim, os resultados dos testes no sistema final mostram que este requer otimizações para aumentar a sua eficácia e diminuir a disparidade entre a taxa de remoção no sistema total e nos testes de adsorção, potencialmente equiparando-se a estes.

Pretendíamos criar um sistema que removesse os microplásticos da água, tornando potável e menos poluente para o meio ambiente. Além disso, pretendíamos que o nosso protótipo fosse facilmente escalável para níveis industriais.

O segundo objetivo foi atingido com sucesso considerável, uma vez que o sistema projetado, com ou sem as otimizações a que ainda poderá ser sujeito, é facilmente replicável a nível industrial, nomeadamente em ETAs e ETARs. O primeiro objetivo foi atingido apenas com sucesso moderado, uma vez que os testes de adsorção, funcionando como provas de conceito, revelaram a eficácia do procedimento, mas os testes de remoção finais apresentaram taxas mais baixas do que seria ideal. Assim, o primeiro objetivo, para ser totalmente atingido, está ainda dependente de testes futuros e aperfeiçoamentos do sistema, sendo que a sua viabilidade e exequibilidade foi já demonstrada pelos testes de adsorção.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao nosso professor, Pedro Jorge, pelas indicações e conselhos, o seu contributo foi essencial ao projeto. Além disso, agradecemos também ao Sr. Paulo, carpinteiro do Colégio Valsassina, pela ajuda na estrutura do projeto e às investigadoras Joana Antunes, investigadora no MARE, por nos ter fornecido microplásticos já separados por tamanho e polímero, e Catarina Santos, investigadora no IST, pelas orientações dadas que permitiram, após uma série de tentativas, sintetizar nanopartículas de ferro funcionais.

Referências Bibliográficas

APA. (2021). Microplásticos. <https://apambiente.pt/residuos/microplasticos>

APIP. (2025). Mundo dos Plásticos - Como se produzem? <https://www.apip.pt/pt/mundo-dos-plasticos/como-se-produzem>

Daniel Paciência Rodrigues. (2022). Avaliação da existência de microplásticos nos efluentes de estações de tratamento de águas residuais: caracterização dos microplásticos e abordagens verdes para a sua remoção. <https://baes.uc.pt/bitstream/10316/104669/1/disserta%C3%A7%C3%A3o%20daniel%20para%20entrega%20final.pdf>

Gouveia, R. J. dos S. (2018). Eficiência de remoção de microplásticos em quatro ETAR portuguesas (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. https://run.unl.pt/bitstream/10362/50893/1/Gouveia_2018.pdf

Nazari, M., Ghasemi, N., Maddah, H. et al. (2014). Synthesis and characterization of maghemite nanopowders by chemical precipitation method. J Nanostruct Chem 4, 99 <https://doi.org/10.1007/s40097-014-0099-9>

Organização das Nações Unidas. (2025). Entenda como microplásticos representam riscos à saúde das pessoas e do planeta. UN News: Português. <https://news.un.org/pt/story/2025/06/1849181>

RTP. (2019). Consumimos por semana uma colher de chá cheia de microplásticos. https://www.rtp.pt/noticias/mundo/consumimos-por-semana-uma-colher-de-cha-cheia-de-microplasticos_v1153719

Shi, X., Zhang, X., Gao, W., Zhang, Y., & He, D. (2022). Removal of microplastics from water by magnetic nano-Fe₃O₄. Science of the Total Environment, 802, 149838. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149838>

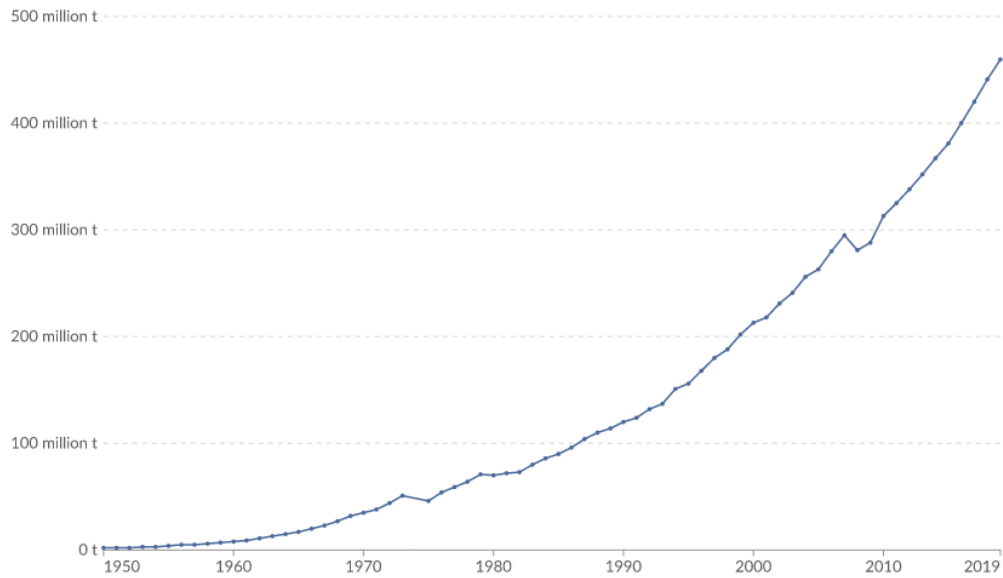
Vohl, S., Kristl, M., & Stergar, J. (2024). Harnessing magnetic nanoparticles for the effective removal of micro- and nanoplastics: A critical review. Nanomaterials, 14(14), 1179. <https://doi.org/10.3390/nano14141179>

Wu, M. P., & You, X. (2025). Removal of microplastics from water by bare magnetic nano-γ-Fe₂O₃ under ultrasound (Entry to the Stockholm Junior Water Prize 2025) <https://watertank.stockholmwaterfoundation.org/wp-content/uploads/2025/07/china.pdf>

Anexos

Global plastics production

Annual production of polymer resin and fibers.



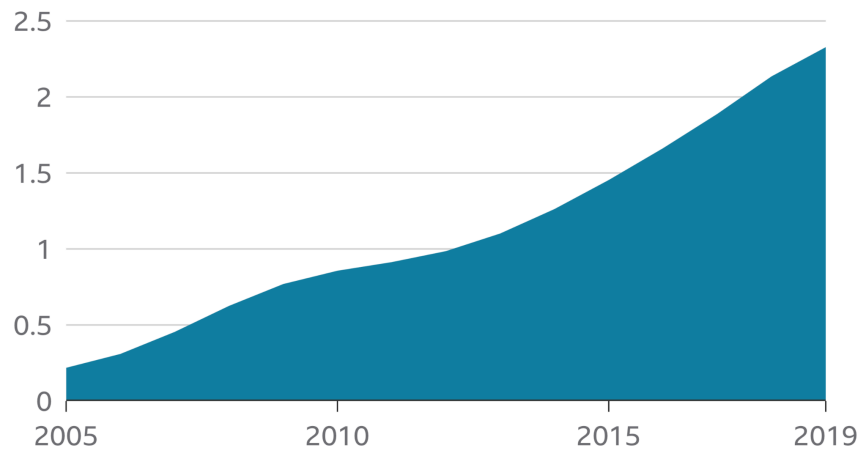
Data source: Geyer et al. (2017); OECD (2022)

OurWorldinData.org/plastic-pollution | CC BY

Anexo 1 - Massa de plástico produzida no mundo ao longo dos anos

Sharp increase in marine plastics

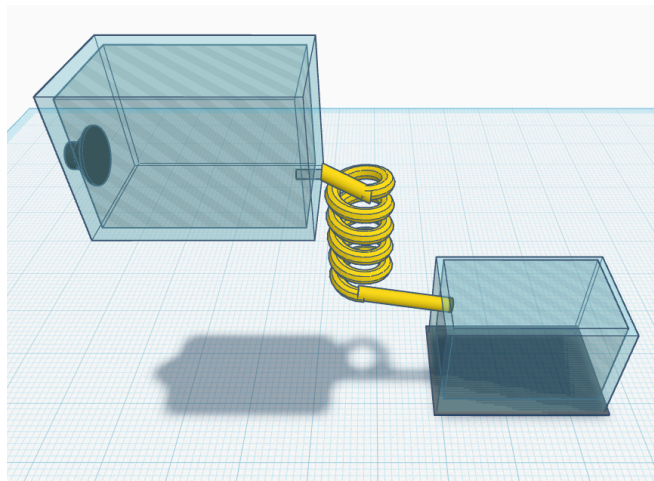
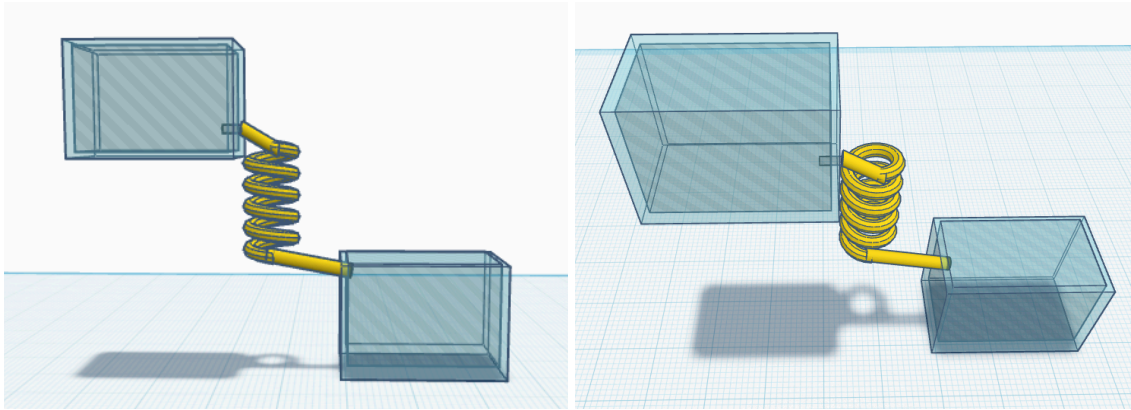
Estimated global mass of floating plastics, in million metric tonnes, 2005 to 2019



Source: Plastic Marine Pollution Global Dataset



Anexo 2 - Massa de plástico a flutuar no oceano

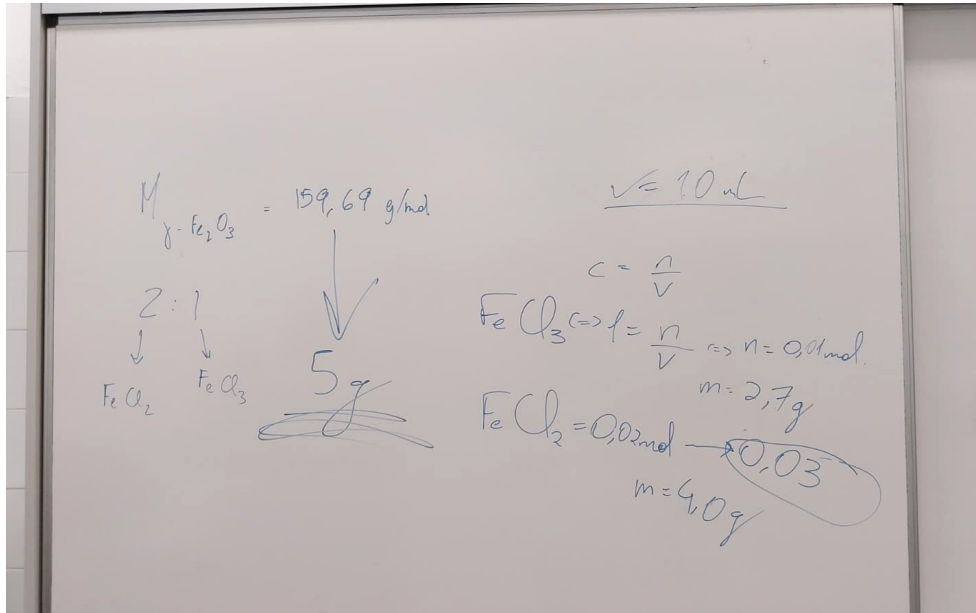


Anexos 3, 4 e 5 - Estrutura planeada

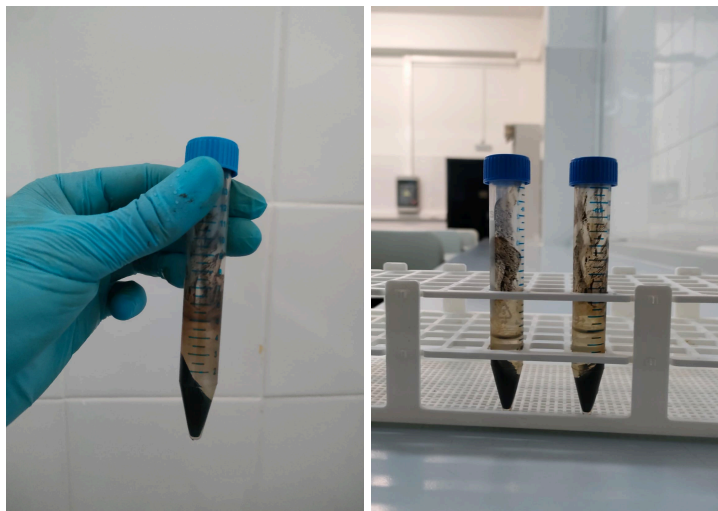


Anexo 6 - Estrutura provisória montada. Na fotografia acima, a fase inicial decorrerá no recipiente em cima da cadeira e o que está no chão é onde ocorrerá a fase final.

Nesta fotografia, utilizámos uma cadeira para fixar o tubo, mas, a longo prazo, pretendemos fixá-lo num suporte, de modo a que este fique em espiral. Este tubo será a fase intermédia, de “centrifugação gravítica”.



Anexo 7 - Cálculos estequiométricos para medir as quantidades corretas dos reagentes



Anexos 8 e 9 - Partículas obtidas após a centrifugação

 1 PET	 2 HDPE	 3 PVC	 4 LDPE	 5 PP	 6 PS	 7 OUTRO
POLIETILENO TEREFALATO	POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE	POLICLORETO DE VINILO	POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO	OUTROS
GARRAFAS; JARROS; CHAPÉUS	CHAMPÔ; GARRAFAS; SACOS	LIMPEZA; PRODUTOS; LENÇÓIS	SACOS DO PÃO; FILMES DE PLÁSTICO	COPOS DE IOGURTE; PALINHAS; CABIDES	EMBALAGENS RIJAS; BRINQUEDOS	BIBERÕES; NYLON; CDS

Anexo 10 - Tipos de polímeros definidos pela APIP (Associação Portuguesa da Indústria de Plásticos) e as suas utilizações mais comuns.



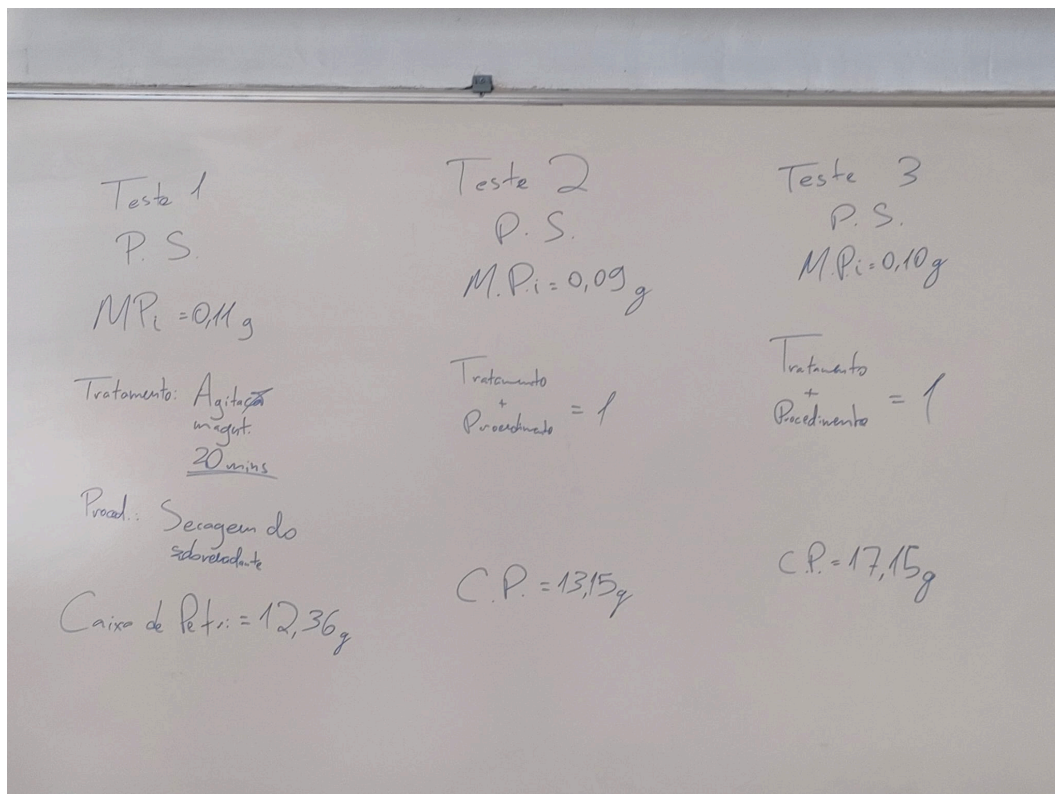
Anexos 11 e 12 - Microplásticos de PET, PP e HDPE obtidos numa fase inicial (corte manual)



Anexo 13 - Microplásticos de PET, PP, PS e PVC fornecidos pelo MARE

<https://photos.app.goo.gl/wDSyDqwtRv6Ki4Nt6>

Anexo 14 - Vídeo da realização de parte dum teste de remoção



Anexo 15 - Medições dos microplásticos utilizados nos 3 testes realizados



Anexo 16 - Microplásticos retirados com um íman



Anexo 17 - Microplásticos que não foram retirados, após evaporação da água



Anexos 18 e 19 - Pesagem dos microplásticos que não foram retirados



<https://photos.app.goo.gl/EyY3rpAAacgWqvGu9>

Anexos 20 e 21 - Testes no sistema com agitação magnética