

Nas últimas décadas, a poluição por plásticos tornou-se uma das principais preocupações ambientais em escala global. Nesse contexto, estudos indicam um crescimento alarmante na produção anual de plásticos, que foi de 2 milhões de toneladas em 1950 para 400 milhões de toneladas em 2022 (com uma taxa de crescimento anual de 8,4%) [1]. Da produção total, menos de 10% é reciclado. Estima-se que cerca de 19 a 23 milhões de toneladas desses resíduos plásticos alcancem lagos, rios e mares [2].

A presença crescente dos microplásticos no ambiente aquático representa um desafio significativo para a sustentabilidade ambiental e para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) para compor a agenda 2030 [3]. Nesse contexto, a química tem papel fundamental na promoção dos ODS, por ser a área que permite compreender, identificar e controlar os contaminantes associados aos microplásticos. Por meio de análises químicas, é possível estudar a capacidade de adsorção dessas partículas, seu transporte e liberação de substâncias tóxicas ao meio ambiente. Além de avaliar seus efeitos nos organismos e métodos que possam contribuir para solucionar essas problemáticas. Assim, a química colabora para o cumprimento dos ODS relacionados à saúde e bem-estar (ODS 3), água limpa e saneamento (ODS 6), consumo e produção responsáveis (ODS 12) e vida debaixo d'água (ODS 14)[3].

O descarte inadequado desses materiais favorece sua degradação em pequenas partículas, os microplásticos (diâmetro inferior a 5 milímetros), que ocorre por processos de fragmentações físicas, químicas e foto-oxidativas, incluindo radiação ultravioleta, abrasão mecânica e atividade microbiológica.

Além de sua ampla distribuição no ambiente, os microplásticos apresentam propriedades físico-químicas que tornam essas partículas especialmente preocupantes do ponto de vista ambiental. Dentre essas propriedades, destaca-se a capacidade de adsorção de contaminantes, especialmente em ambientes marinhos. Do ponto de vista químico, esse comportamento pode ser compreendido pela grande área superficial das partículas, o que proporciona alto número de sítios de adsorção disponíveis, bem como o fato de grande parte dos polímeros plásticos apresentarem propriedades hidrofóbicas moleculares, o que significa que eles interagem, preferencialmente, com muitos contaminantes orgânicos persistentes que possuem caráter hidrofóbico. Além disso, outras propriedades físico-químicas também influenciam diretamente o comportamento dos microplásticos no ambiente, como a presença de grupos funcionais (hidroxila, carboxila e éter) na superfície que alteram a polaridade dos microplásticos e podem mudar a interação com os contaminantes, e processos de degradação ambiental, que geralmente resultam no aumento da capacidade de adsorção. Dessa forma, a interação entre microplásticos e contaminantes pode favorecer o transporte dessas substâncias no ambiente aquático, ampliando seus potenciais impactos ecológicos [4, 5]

Uma das principais problemáticas associadas aos microplásticos é sua elevada capacidade de mobilidade e redistribuição de contaminantes ao longo de cadeias tróficas e sistemas de abastecimento humano, promovendo possíveis riscos toxicológicos sistêmicos. Devido à ampla presença dessas partículas em diferentes locais, pode ocorrer a ingestão de microplásticos por diversos organismos, juntamente com os contaminantes adsorvidos em sua superfície. Em um primeiro momento, esse processo pode afetar a vida marinha, entretanto, esses contaminantes podem alcançar os seres humanos, mesmo que de forma indireta, por meio do consumo de organismos aquáticos, como peixes e crustáceos e ingestão de água contaminada. Dessa forma, como ilustrado na Figura 1, estabelece-se um efeito cascata ambiental, no qual poluentes transportados por microplásticos podem se propagar ao longo da cadeia alimentar e promover a bioacumulação de contaminantes [6].

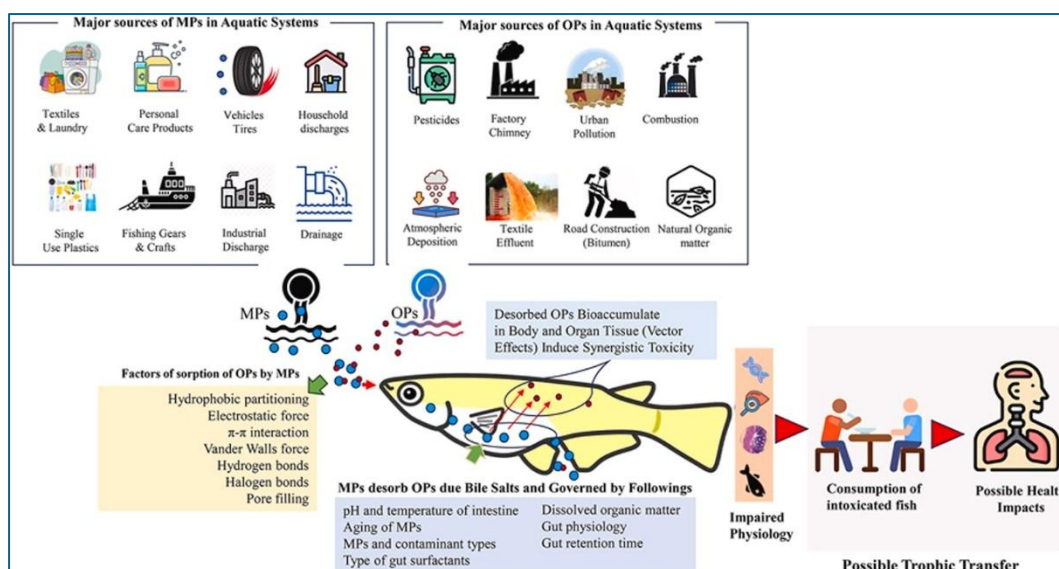


Figura 1– Principais fontes de microplásticos (MPs) e poluentes orgânicos em ambientes aquáticos, bem como sua adsorção na superfície dos MPs e a transferência ao longo da cadeia trófica. Acesso em 14/03/2026: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii>

Diante disso, após a disseminação generalizada de diferentes tipos de microplásticos (polietileno, polipropileno e poliestireno) nos ambientes aquáticos, a chance de diversos organismos ingerirem essas partículas com contaminantes cresce exponencialmente. Assim, no caso de uma possível ingestão, pode ocorrer a lixiviação dos compostos químicos adsorvidos no intestino, que se acumulam no organismo e podem produzir toxicidade combinada ou sinérgica [7].

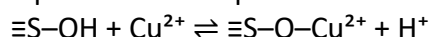
No estudo realizado pela Springer, os pesquisadores simularam os efeitos dos microplásticos com contaminantes na digestão humana em laboratório (modelo *in vitro*) [8]. O estudo foi realizado em três etapas, a fase salivar, a fase gástrica e a fase intestinal e durante esses processos, as condições do trato digestivo, como temperatura fisiológica, pH ácido do estômago e ambiente rico em lipídios, podem favorecer a liberação de substâncias químicas dos microplásticos para o meio digestivo. Isso ocorre porque muitos desses compostos não estão ligados covalentemente à matriz polimérica, podendo se desprender do material. Foram analisados diferentes microplásticos (como PE, PP, PET, PS e PVC), sendo identificadas 68 substâncias químicas associadas aos microplásticos e 29 metais presentes nesses materiais. Durante a digestão simulada, várias dessas substâncias foram liberadas para o conteúdo intestinal (quimo), ou seja, o estudo demonstrou que os microplásticos podem liberar contaminantes dentro do sistema digestivo. Após a liberação dos contaminantes, os pesquisadores testaram se essas substâncias poderiam atravessar a barreira intestinal, e para isso usaram um modelo celular de epitélio intestinal. O resultado mostrou que 22 dessas substâncias químicas conseguiram alcançar o outro lado da barreira celular, o que indica que alguns compostos liberados pelos microplásticos podem potencialmente entrar na circulação do organismo. Por último, o estudo sugeriu que alguns compostos liberados podem ter potenciais efeitos biológicos no organismo, por exemplo, processos relacionados à disfunção endócrina [8].

Assim, além dos efeitos negativos individuais observados nos seres humanos, a presença de microplásticos pode desencadear impactos ecológicos amplos ao ser classificada como uma fase particulada móvel, ou seja, uma partícula que promove a transferência de contaminantes ao longo das cadeias alimentares. Os seres humanos não são os únicos que podem ser prejudicados com esses contaminantes, mas toda uma cadeia de organismos, que por conta da bioacumulação podem sofrer consequências tão graves quanto a dos humanos. Nesse contexto, a problemática dos microplásticos não se limita apenas à poluição visível, mas reflete uma falha estrutural contemporânea de produção e consumo, no qual materiais altamente persistentes são amplamente utilizados sem estratégias químicas eficazes para mitigar seus impactos ambientais e biológicos ao longo do ciclo de vida. Assim, compreender as propriedades físico-químicas dos microplásticos

torna-se fundamental para avaliar seu comportamento no ambiente e buscar estratégias de redução eficazes.

Em um estudo publicado pela Royal Society of Chemistry, foram analisados como microplásticos de poliestireno (PS) interagem com contaminantes metálicos, especialmente cobre (Cu^{2+}), e como alterações na superfície dessas partículas influenciam a interação com contaminantes, a hidrofilicidade e o ângulo de contato [5]. Este último é um dos parâmetros utilizados para avaliar o comportamento de adsorção, sendo indicador da molhabilidade da superfície: valores superiores a 90° caracterizam superfícies hidrofóbicas, enquanto valores inferiores indicam caráter hidrofílico.

Estudos realizados com microplásticos de poliestireno (PS) demonstram que partículas virgens apresentam ângulo de contato em torno de 103° , evidenciando sua natureza hidrofóbica [5]. Entretanto, processos de envelhecimento ambiental, como oxidação e exposição à radiação solar, que aumentam a polaridade da superfície e reduzem o ângulo de contato, tornam o material mais hidrofílico. Essa alteração aumenta a polaridade superficial do polímero, favorecendo interações químicas com contaminantes presentes no meio aquático [5]. Íons metálicos podem por exemplo, interagir com grupos hidroxila da superfície oxidada, formando complexos superficiais representados quimicamente e simplificada por:



Assim, mudanças na química da superfície dos microplásticos podem alterar sua capacidade de adsorção e influenciar o transporte de contaminantes no ambiente [5].

A partir do estudo da Royal Society of Chemistry [9], uma alternativa promissora, inovadora e ainda pouco estudada, foi formulada, envolvendo a modificação da superfície dessas partículas por meio de revestimentos hidrofílicos *antifouling*, como o polietilenoglicol (PEG), pois essa modificação provoca uma redução no ângulo de contato da água, tornando a superfície mais hidrofílica. Como muitos polímeros plásticos apresentam natureza hidrofóbica, eles geralmente possuem ângulos de contato elevados. Entretanto, quando revestidos com PEG, os grupos éter presentes em sua cadeia polimérica interagem com moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio, promovendo a formação de uma camada hidratada na superfície e, conseqüentemente, diminuindo o ângulo de contato, como representado na Figura 2.

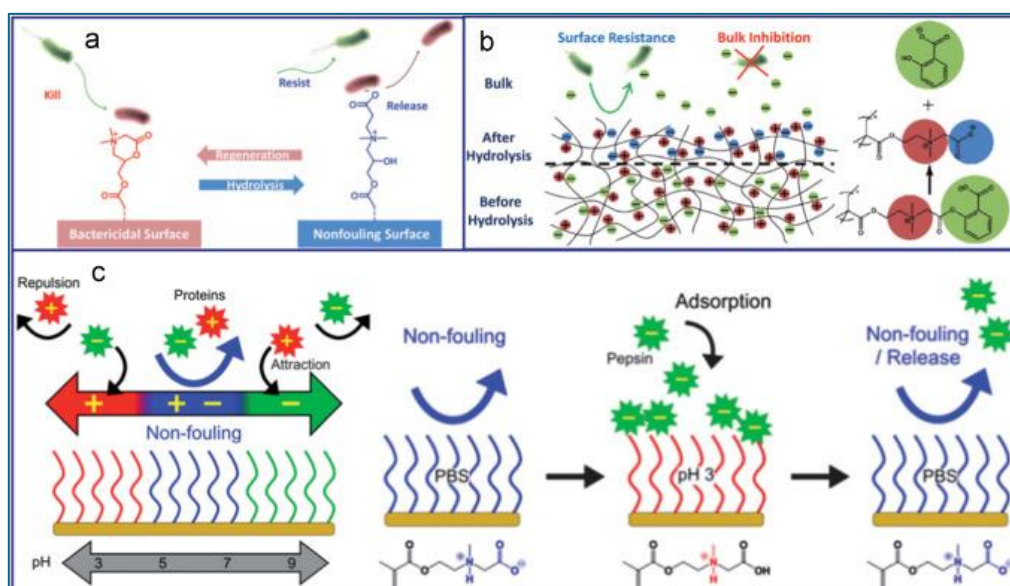


Figura 2 – Representação do mecanismo antifouling de superfícies modificadas com polímeros hidrofílicos (como PEG), nas quais a formação de uma camada de hidratação reduz a adsorção de contaminantes na superfície. Acesso em 14/03/2026: <https://www.sciencedirect.c>

Essa camada de hidratação desempenha papel fundamental na redução da adsorção de contaminantes [9]. Ao atrair e reter moléculas de água, o PEG cria uma barreira física que dificulta a aproximação de poluentes até a superfície do microplástico. Além disso, como muitos contaminantes orgânicos presentes no ambiente aquático apresentam caráter hidrofóbico, o

aumento da hidrofiliidade da superfície reduz a afinidade química entre essas substâncias e o material plástico. As cadeias flexíveis do PEG também geram um efeito estérico que dificulta a aproximação de moléculas externas. Dessa forma, a aplicação do PEG pode reduzir significativamente a capacidade dos microplásticos de adsorver e transportar contaminantes no ambiente aquático.

Além disso, o PEG é economicamente viável, uma vez que apresenta um custo relativamente baixo, produzido em grande escala industrial e já utilizado na indústria. Também é considerado biocompatível e pouco tóxico, já que é solúvel em água e quimicamente estável. Assim, essa solução pode ser aplicada em escala global, ao ser utilizada como estratégia preventiva e diminuir o risco toxicológico sistêmico e não exige nova estrutura radical, ao utilizar um aditivo já existente na indústria.

A crescente presença de microplásticos nos ambientes aquáticos representa um desafio significativo para a sustentabilidade ambiental e bem-estar dos seres vivos, especialmente devido à sua capacidade de adsorver e transportar contaminantes ao longo de cadeias tróficas. Nesse contexto, a química desempenha papel essencial, pois o conhecimento das propriedades físico-químicas dessas partículas, como hidrofobicidade, área superficial e interações intermoleculares, torna-se fundamental para compreender seu comportamento ambiental. A partir dessa compreensão, torna-se possível desenvolver estratégias de mitigação, como a modificação da superfície dos microplásticos por meio de revestimentos hidrofílicos *antifouling*, como o polietilenoglicol (PEG), capazes de reduzir a adsorção de contaminantes ao formar camadas de hidratação que dificultam interações com poluentes [9].

Assim, é fundamental reconhecer que, ao mesmo tempo em que os plásticos representam uma das maiores revoluções tecnológicas da sociedade moderna, proporcionando avanços significativos em áreas como medicina, conservação de alimentos e desenvolvimento industrial, seu uso indiscriminado e descarte inadequado transformaram esse material em uma das mais complexas ameaças químicas ambientais da atualidade. Desta forma, aquilo que foi concebido pelo ser humano como símbolo de progresso passou também a representar um desafio global, exigindo que a própria ciência, especialmente a química, seja capaz não apenas de compreender esses processos em nível molecular, mas também de transformá-los em soluções tecnológicas capazes de, no futuro, reconciliar progresso e sustentabilidade.

Por fim, a aplicação do conhecimento químico não apenas contribui para o desenvolvimento de tecnologias mais seguras de tratamento e prevenção da poluição, como também fortalece iniciativas globais voltadas à proteção ambiental. Em um cenário internacional marcado por discussões sobre sustentabilidade, como as promovidas pelas Nações Unidas em eventos como a COP30, que teve como sede o Brasil, a ciência química assume papel fundamental na construção de soluções que conciliem desenvolvimento e preservação ambiental. Dessa forma, investir em pesquisa e inovação química é investir na proteção da vida, contribuindo diretamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Referências Bibliográficas:

- [1] <https://www.nature.com/articles/s43247-025-02169-5> (Acesso em 14/03/2026).
- [2] <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/ecosystem-degradation-pollution/plastic-pollution-marine-litter> (Acesso em 14/03/2026).
- [3] <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> (Acesso em 14/03/2026)..
- [4] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277241662200047X> (Acesso em 14/03/2026).
- [5] <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/em/d3em00354j> (Acesso em 14/03/2026).
- [6] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10543225/> (Acesso em 14/03/2026).
- [7] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653525006460> (Acesso em 14/03/2026).
- [8] <https://link.springer.com/article/10.1186/s43591-021-00022-y#:~:text=As%20most%20of%20these%20chemicals,different%20approaches%20in%20our%20studies> (Acesso em 14/03/2026).
- [9] <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/va/d5va00034c> (Acesso em 14/03/2026).