



## CONTAMINANTES EMERGENTES NA AGRICULTURA

A cobertura do solo é uma prática agrícola muito usada na linha de plantação em hortofruticultura para reduzir a competição da cultura principal com as infestantes, aumentar a eficiência do uso da água e nutrientes pela cultura principal, manter a temperatura do solo, proteger as plantas contra pragas e doenças, aumentar o rendimento da cultura, e controlar a erosão do solo. O uso de materiais plásticos na cobertura de solo tem levantado preocupações ambientais crescentes, sobretudo em relação à contaminação do solo com microplásticos (MP) secundários.

Filipe Pedra, Joana Antunes e Corina Carranca  
Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



### Introdução

Os plásticos usados na agricultura, de origem fóssil (**plásticos convencionais**), são formados por diferentes tipos de polímeros, que consistem principalmente em macromoléculas sintéticas, típicas de derivados do petróleo, variando na sua composição química. Os dois principais polímeros usados na agricultura são o **polietileno (PE)** e o **polipropileno (PP)**. O PE é normalmente usado na cobertura do solo, quer como PE de baixa densidade quer de alta densidade, enquanto o PP, mais rijo e resistente ao calor, é especialmente utilizado na tubagem de rega e recipientes (Carranca *et al.*, 2021). Estes plásticos são compostos não só por **polímeros**, como também outros componentes como **aditivos** (plastificantes) e **corantes**. Os componentes podem variar dependendo do tipo de plástico e das propriedades desejadas, consoante a aplicação específica. A combinação e a proporção destes componentes determinam então as características do plástico. Ao longo do tempo, estes resíduos degradam-se e formam partículas mais pequenas devido à exposição ao meio ambiente, à radiação ultravioleta (UV) e degradação mecânica, libertando partículas de plástico que podem ser espalhadas pelo vento e água até grandes distâncias, ou incorporadas no

solo, interferindo com a maquinaria agrícola. Isto leva à acumulação de resíduos plásticos no solo, representando um problema de gestão de resíduos, com degradação estética da paisagem rural. Estas partículas podem atingir dimensões inferiores a 5 mm, designadas por **microplásticos (MP) secundários**, ou menores dimensões, abaixo de 1 mm, designando-se por **nanoplásticos (NP) secundários**. Quando degradados, estes materiais plásticos podem também libertar aditivos (plastificantes), associados aos plásticos que podem afetar a saúde do solo e contaminar as águas subterrâneas e organismos. Como estas partículas são persistentes no solo, não sendo facilmente biodegradáveis pelos organismos, podem ser ingeridos pela meso- e macrofauna e perturbar o seu trato gastrointestinal, reduzindo a sua capacidade de alimentação, alterando o seu comportamento e, em alguns casos, provocando a morte. No caso dos seres humanos, a ingestão contínua de MP por ingestão de alimentos contaminados pode provocar inflamações, distúrbios endócrinos, entre outros.

A capacidade hidrofóbica, o elevado peso molecular e a grande área superficial das partículas de plástico favorecem a adsorção de poluentes persistentes, como os hidrocarbonetos (PA) e metais na superfície das partículas, contribuindo para a acumulação destes contaminantes no ambiente. A acumulação de MP no solo pode levar a alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, incluindo a alteração da estrutura, a redução da infiltração de água, a diminuição da atividade microbiana e a perda de fertilidade, afetando negativamente a produtividade agrícola e a sustentabilidade do sistema agrícola (Pedra *et al.*, 2024).

### Aditivos ou “plastificantes”

Para conferir maleabilidade, ou seja, flexibilidade e durabilidade aos materiais de origem fóssil adicionam-se **aditivos químicos**, que podem ser tóxicos para os organismos e plantas, como é o caso dos **ftalatos** (compostos químicos derivados do ácido ftálico, tal como o cloroftalato). Dentre os ftalatos existentes, o DEHP (ftalato de di-2-etilhexila, Figura 1) é um dos mais difíceis de serem biodegradados.

Os aditivos químicos podem também ser adicionados aos filmes biodegradáveis para garantirem, designadamente, uma certa durabilidade (meses a alguns anos), em função da zona geográfica, como sejam os estabilizantes da radiação ultravioleta (UV), o que permite uma maior resistência à ação da luz e durabilidade, e os aditivos antipragas, por exemplo.

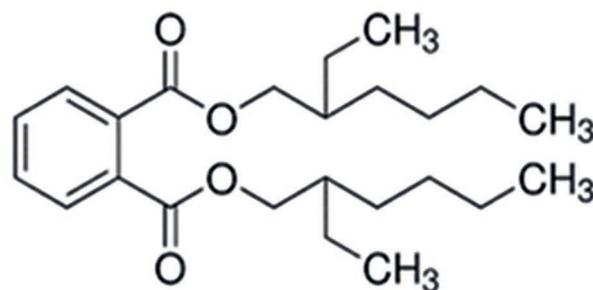


Figura 1 – DEHP (ftalato de di-2-etilhexila).

As coberturas plásticas normalmente usadas na agricultura são derivadas do PE, de baixa ou alta densidade. Dum modo geral, este material plástico não contém ftalatos, pois não é necessário amolecer o PE. Mas há exceções em algumas formulações específicas onde os ftalatos são introduzidos como aditivos.

A contaminação do solo e rizosfera com ftalatos pode ocorrer quando os plásticos se degradam e os compostos químicos são libertados, podendo ser posteriormente absorvidos pelas plantas (Ma *et al.*, 2015). A contaminação dos solos depende essencialmente de dois processos: adsorção às partículas do solo e degradação metabólica pela ação dos microrganismos. A adsorção dos ftalatos varia consoante as propriedades do solo como o tipo de argila, teor de carbono orgânico e pH. Por outro lado, a degradação microbiana dos ftalatos é influenciada por fatores como a temperatura e a humidade, que afetam a taxa de biodegradação (Cheng, 2019). Consequentemente, a dinâmica destes processos influencia diretamente o tempo de semivida dos ftalatos nos solos, que pode, portanto, variar significativamente de acordo com o tipo específico de ftalato, as condições ambientais e as característi-

cas do solo. Ma *et al.* (2015) demonstraram que a exposição das plantas a ftalatos pode resultar na formação de raízes mais curtas e menos ramificadas, limitando a sua capacidade para absorção de água e nutrientes. Sharma e Kaur (2020) observaram que os ftalatos afetavam negativamente o crescimento e a biomassa das plantas, com diminuição do teor de clorofila, provavelmente devido à formação de radicais livres que danificam a estrutura do cloroplasto. Observaram, ainda, alterações nos teores de prolina, peróxido de hidrogénio e aminoácidos livres. De salientar que a prolina desempenha um papel importante na proteção das membranas celulares, na estrutura celular e na eliminação de radicais livres durante o *stress oxidativo*. A contaminação com ftalatos é ainda uma grande preocupação na saúde humana, estando associados a disfunções endócrinas, com impacte na reprodução, e riscos de cancro e mutação genética (Sharma e Kaur, 2020).

A introdução de plásticos biodegradáveis não elimina completamente os problemas associados à contaminação com aditivos. Estudos indicam que, mesmo com a biodegradabilidade, os biofilmes podem libertar ftalatos, e outros aditivos, durante o processo de (bio)degradação, com quantidades dependentes da formulação e condições ambientais (Sharma e Kaur, 2020). Li (2023) sugeriu que coberturas do solo biodegradáveis podem libertar mais absorventes de UV no solo que os plásticos convencionais. Os absorventes de UV são contaminantes emergentes preocupantes devido à sua persistência no ambiente e pelos efeitos disruptores endócrinos quando ingeridos na alimentação.

### Alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais usados na agricultura

Apesar de ainda se verificar uma notável ausência de legislação nacional e europeia aplicada, especificamente e de forma abrangente aos MP, esta classe de **contaminantes emergentes** tem sido referida em diversas iniciativas, como é o caso do **Pacto Ecológico Europeu** para a neutralidade climática, em 2050. A FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2021) recomenda a substitui-

ção dos materiais não biodegradáveis, i.e., polímeros convencionais, por materiais biodegradáveis, de origem orgânica (*bio-based polymers*). A pesquisa de novos materiais para cobertura do solo, de-



**Figura 2** – Vista parcial do camalhão coberto com o filme biodegradável de papel “Kraft”, cultivado com mirtos (*Vaccinium virgatum* Aston cv. Centra Blue) no Polo de Inovação da Fataca (Odemira).

rivados de polímeros certificados como biodegradáveis, e a sua introdução competitiva no mercado é uma solução promissora para redução da pegada de plástico na agricultura. Daqui resulta a necessidade urgente de se investigarem alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais, como sejam os filmes biodegradáveis e os materiais orgânicos (casca de pinheiro, palha de arroz, entre outros), de modo a reduzir a contaminação dos solos, água e plantas com MP e NP, mantendo as mesmas funções dos plásticos convencionais.

Os biofilmes são, assim, considerados “alternativas verdes” aos polímeros convencionais, sendo parcialmente produzidos com matéria-prima renovável, frequentemente de origem vegetal, como o amido (polissacárido derivado do milho ou mandioca), a celulose (Figura 2), proteínas como o glúten de trigo (com a propriedade de viscosidade), o cardo, entre outros exemplos. A produção de biofilmes é baseada na dispersão ou solubilização dos biopolímeros num solvente (água, etanol ou ácidos

orgânicos), com eventual adição de aditivos (“plastificantes” ou agentes ligantes), obtendo-se uma matriz filmogénica (Silva e Nogueira, 2020). No solo, em condições reais de campo, os filmes biodegradáveis sofrem uma desintegração física e biodegradação, por ação microbiana superior a 90% do material. Durante este processo de biodegradação, o biofilme é decomposto em  $\text{CO}_2$  ou  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , biomassa microbiana e/ou compostos inorgânicos, não restando resíduos no solo. Apesar disto, estes biofilmes devem ser suficientemente resistentes para suportar todo o ciclo cultural, ou seja, podem ser de curta duração (3–6 meses) para hortícolas de ciclo curto, ou terem uma durabilidade e resistência de alguns anos para serem utilizados em culturas perenes.

No âmbito do projeto PRR: Agri-Plast, a equipa do INIAV elaborou uma primeira base de dados de caracterização dos principais materiais de cobertura do solo usados em hortofruticultura em Portugal, incluindo alguns biofilmes (Figura 3).

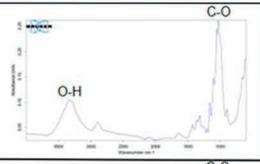
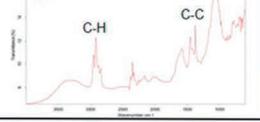
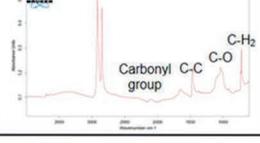
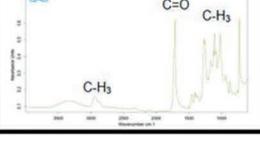
| Cobertura do solo  | Espessura          | Tipo de polímero       | Espectro  | Características após 11 meses      | Controlo de infestantes | Conservação da humidade | Aumento da temperatura |
|--|--------------------|------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| <b>T0 - Casca de Pinheiro</b><br>       | -                  | Celulose               |  | não avaliado                       | ✓                       | ✓                       | ✗                      |
| <b>T1 - Biofilme de papel Kraft</b><br> | 130 $\mu\text{m}$  | Celulose               |  | rasgado após 6 meses               | ✗                       | ✓                       | ✗                      |
| <b>T2- Geotêxtil, preto</b><br>         | ~500 $\mu\text{m}$ | Polipropileno (PP)     |  | não degradado                      | ✓                       | ✓                       | ✓                      |
| <b>T3 - Plástico preto</b><br>          | 40 $\mu\text{m}$   | Poliétileno (PE)       |  | início da degradação após 11 meses | ✓                       | ✓                       | ✓                      |
| <b>T4 - Biofilme Kritifil</b><br>       | 15 $\mu\text{m}$   | Ácido polilático (PLA) |  | degradação após 6 meses            | ✓                       | ✓                       | ✓                      |

Figura 3 – Caracterização de diversos materiais usados na cobertura do solo em hortofruticultura.

## Principais características dos biofilmes para cobertura do solo

Visando a melhoria dos solos agrícolas com cobertura do solo, procura-se substituir o plástico convencional por materiais de origem orgânica, com uma certa resistência e durabilidade, com espessura variada, de modo a permitir persistir sem desintegração no campo durante o período de cultivo. Estes biofilmes de cobertura do solo, certificados como biodegradáveis, permitem os mesmos benefícios que os plásticos convencionais, e ainda podem enriquecer o solo em matéria orgânica, nutrientes, e organismos do solo. Além disso, são biodegradáveis, o que significa que podem ser completamente degradados pelos microrganismos do solo, transformando-se em biomassa microbiana, água e CH<sub>4</sub> ou CO<sub>2</sub>. Mesmo que alguns resíduos do material permaneçam no solo após a cultura, isso não representa um problema, já que serão totalmente biodegradados ao longo do tempo.

A **espessura** dos filmes (e plásticos) está diretamente relacionada com a durabilidade e propriedades mecânicas do mesmo, devendo ser adaptada de acordo com a duração específica da cultura.

A **capacidade de transmissão de UV** do filme tem influência no potencial de germinação das infestantes, devendo variar com a zona geográfica e o clima da região.

Os filmes estão disponíveis em diferentes **cores**, preto, preto e branco no verso, branco, preto e prata no verso, verde. A cor preta é a mais indicada para regiões mais frias, aumentando a temperatura do solo. Previne o crescimento das ervas daninhas, mas pode queimar as folhas jovens pelas elevadas temperaturas que provoca; o preto e branco permite as mesmas ações do material preto, mas sem a desvantagem dum aumento excessivo de temperatura do solo, pois reflete a luz incidente; o preto e prata possui as mesmas vantagens do filme preto e branco, sendo também eficiente no controlo dos insetos; o branco e o verde permitem temperaturas do solo menos elevadas que o preto, sendo recomendados para regiões mais quentes, designadamente do Mediterrâneo (ex., Portugal, sul da Espanha). ☹

## Agradecimentos

O estudo insere-se no âmbito do projeto PRR-C05-i03-I-000167: "Agri-Plast – Organização da Produção e Inovação para a Redução de Plásticos Agrícolas". Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia através dos Centros de Investigação "Green-it: Bioresources for Sustainability", do ITQB NOVA (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04551/2020>; <https://doi.org/10.54499/UIDP/04551/2020>) e do "MARE: Centro de Ciências do Mar e do Ambiente", na FCT NOVA.

## Bibliografia

- Carranca, C.; Oliveira, P.; Duarte, E. (2021). *Vida Rural*, **1866**:41–44.
- Cheng, J.; Wan, Q.; Ge, J.; Feng, F.; Yu, X. (2019). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **183**:109569. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109569.
- FAO (2021). *Assessment of Agricultural Plastics and their Sustainability. A Call for Action*. DOI: 10.4060/cb7856en.
- Li, B.; Liu, Q.; Yao, Z.; Ma, Z.; Li, C. (2023). *Environmental Pollution*, **318**:120935. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120935.
- Ma, T.; Teng, Y.; Christie, P.; Luo, Y. (2015). *Front. Environ. Sci. Eng.*, **9**:259–268. DOI: 10.1007/s11783-014-0652-2.
- Pedra, F.; Inácio, M.L.; Oliveira, P.; Pereira, P.; Carranca, C. (2024). *Pollutants*, **4**(1):16–25. DOI: 10.3390/pollutants4010002.
- Sharma, R., Kaur, R. (2020). *Environmental Sustainability*, **3**:391–404.
- Silva, G.G., Nogueira, S.L. (2020). *Revista Perquirere*, **17**(2):203–214.
- Pedra, F.; Ramos, A.C.; Inácio, M.L.; Fareleira, P.; Pereira, P.; Oliveira, P.; Carranca, C. (2024). *Resumos do Encontro Anual de Ciência do Solo*: 77, 3–8 julho 2024, Univ. Porto.