



## TRATAMENTO AVANÇADO DE ÁGUA E DE ÁGUAS RESIDUAIS

**Maria João Rosa, Margarida Campinas, Rui Viegas, Elsa Mesquita, Helena Costa, José Menaia**

Laboratório de Engenharia Sanitária, Núcleo de Engenharia Sanitária, Departamento de Hidráulica e Ambiente  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, [mjrosa@lnec.pt](mailto:mjrosa@lnec.pt)  
[www.lnec.pt/organizacao/dha/nes/trabalho-experimental/LABES](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nes/trabalho-experimental/LABES)

**Palavras-chave:** Água para consumo humano; reutilização de água; substâncias prioritárias; contaminantes emergentes; adsorção; biofiltros de carvão ativado; microfiltração; nanofiltração; modelação matemática

A escassez e a qualidade da água estão na agenda da União Europeia. Atualmente assiste-se a um desequilíbrio crescente entre a quantidade/qualidade de água disponível e a necessária, e a uma intensa competição entre os diferentes usos de água (agricultura, produção de energia, abastecimento público e ecossistemas) para este recurso limitado, situação que, segundo a Agência Europeia do Ambiente, tem vindo a agravar-se em muitas zonas da Europa. As alterações climáticas amplificam a pressão sobre este recurso e tornam o fornecimento de água menos previsível, sendo exetável que o aumento da intensidade e frequência das secas resulte numa variação acentuada da disponibilidade e qualidade de água, sobretudo no Sul da Europa. A adoção de medidas eficientes de gestão de água é premente, e a utilização de águas residuais tratadas surge como origem alternativa de água, viável e relevante, mas que, em função do(s) uso(s), pode exigir um aumento do nível de tratamento da água. Deste cenário, que envolve a descarga de águas residuais mais carregadas e a menor capacidade de diluição dos meios recetores, decorre um elevado potencial de deterioração da qualidade do meio hídrico recetor, incluindo as origens de água para abastecimento público.

Em simultâneo, a lista de contaminantes emergentes de grande relevância para o ambiente e para a saúde pública não para de crescer e é acompanhada dum crescente aumento do grau de exigência da legislação. Anualmente são criados ca. 120 novos químicos, com potencial de contaminação dos recursos hídricos durante a sua produção, utilização ou descarga. Muitos contaminantes emergentes não estão (ainda) regulados por não se terem identificado (ainda) os seus potenciais efeitos na saúde pública ou por limitações analíticas. Alguns são substâncias prioritárias listadas na Diretiva-Quadro da Água (2000/60/CE) e na Diretiva Normas de Qualidade Ambiental (2008/105/CE). A Comissão Europeia propõe-se acrescentar este ano 15 novas substâncias à lista dos 33 poluentes cuja presença nas águas de superfície da EU é monitorizada e controlada. As novas substâncias propostas são componentes de produtos fitofarmacêuticos e biocidas, produtos químicos industriais, subprodutos da combustão (dioxinas e PCB com propriedades toxicológicas semelhantes às das dioxinas) e fármacos. De entre ou além das substâncias prioritárias, existe um conjunto muito alargado de contaminantes com destaque pela sua potencial ocorrência e perigosidade, nomeadamente os subprodutos de oxidação química (OBP) potencialmente carcinogénicos (e.g., trihalometanos de bromo e cloro, ácidos haloacéticos, nitrosodimetilamina, bromato), outros desreguladores endócrinos (EDC) e produtos farmacêuticos (antibióticos, analgésicos, anti-inflamatórios, contraceptivos orais e esteroides, etc.), pesticidas, arsénio, cianotoxinas (microcistina-LR entre outras hepatotoxinas; neurotoxinas, cito- e genotoxinas; dermatotoxinas) e microrganismos (e.g., vírus e formas resistentes à oxidação química como os oocistos de *Cryptosporidium parvum*, cistos de *Giardia lamblia*, e *Legionella pneumophila*).

Além da perigosidade, estes contaminantes têm em comum a resistência aos tratamentos convencionais contemplados nas estações de tratamento de água para consumo humano (ETA) e de águas residuais urbanas (ETAR) construídas em Portugal nas últimas décadas. Há portanto agora que caraterizar o(s) risco(s) associado(s) aos contaminantes emergentes, a capacidade atual das instalações para o(s) controlar, e identificar eventuais necessidades de reabilitação com tecnologias de tratamento avançado.

Para o efeito, no Laboratório de Engenharia Sanitária (LABES) do LNEC realizam-se estudos de otimização dos tratamentos convencionais e desenvolvem-se tratamentos avançados essencialmente baseados em separações físicas e/ou biodegradação (com menores consumos de reagentes e formação de subprodutos), nomeadamente nas opções tecnológicas que integram adsorção a carvão ativado em pó (PAC) ou biofiltros de carvão ativado (BAC), membranas de baixa pressão (micro- e ultrafiltração; MF e UF), média pressão (nanofiltração; NF) e processos híbridos (PAC/MF ou PAC/UF).

Os filtros BAC removem a matéria orgânica através de fenómenos de adsorção, redução química, filtração e biodegradação. A aplicação destes filtros está direcionada para a remoção de matéria orgânica natural, micropoluentes orgânicos (e.g., cianotoxinas, fármacos, EDC e cianotoxinas) e inorgânicos (bromato, perclorato, cianeto, arsénio, etc.). Tem como vantagens o acréscimo do tempo de vida dos filtros (por biorregeneração contínua) (Figura 1), a remoção dos OBP biodegradáveis da ozonização, e o controlo do desenvolvimento de biofilmes nas redes de abastecimento de água. O crescimento biológico excessivo no leito é normalmente apontado como a principal desvantagem, porque traduz-se num acréscimo da frequência de lavagem dos filtros e pode conduzir à libertação de microrganismos para a água efluente.

As tecnologias de separação por membranas usuais em ETA e ETAR têm como força motriz o gradiente de pressão através da membrana e distinguem-se pelo tamanho dos poros e pela pressão aplicada. A MF (0,1-2  $\mu\text{m}$ ; 0,1-1 bar) e UF (2-200 nm; 0,5-5 bar) estão direcionadas para a remoção de partículas (turvação, SST) e microrganismos, incluindo os resistentes à oxidação química, e.g. (oo)cistos de protozoários, sendo que a UF é mais eficaz no controlo de vírus. Ambas apresentam limitações na remoção de compostos orgânicos dissolvidos. Portanto, quando estes constituem os compostos alvo deverão ser utilizadas membranas mais apertadas, como as de NF, ou processos híbridos PAC/MF ou PAC/UF. A NF (0,5-5 nm; 5-40 bar) garante uma desinfecção segura e uma elevada remoção de compostos orgânicos de peso molecular baixo-moderado (e.g., cianotoxinas, pesticidas, OBP), sais multivalentes (dureza, metais, etc.) e a remoção parcial de sais monovalentes, naturais da água (sódio, cloreto, brometo, arsénio, etc.) ou formados no tratamento (e.g., bromato, perclorato). Os processos híbridos integram a capacidade de adsorção do PAC para micropoluentes orgânicos (e.g., pesticidas, cianotoxinas, EDC, OBP) e material colmatante das membranas (o que minimiza a perda de fluxo das membranas) com a elevada capacidade de remoção de microrganismos e partículas da MF ou UF. As principais vantagens são a utilização de membranas de baixa pressão e a flexibilidade do processo, ajustando o tipo e dose de carvão ao contaminante-alvo e à qualidade da água a tratar.

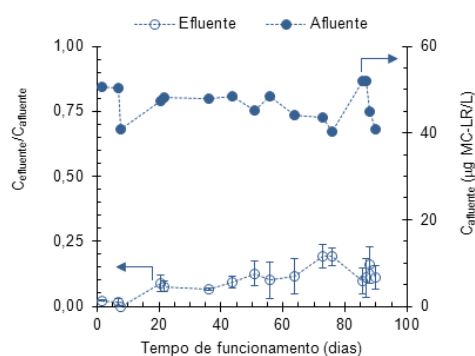


Figura 1. Ensaios laboratoriais de remoção de microcistina-LR por BAC



Figura 2. Pilotos de PAC/MF (1,5 m<sup>3</sup>/h) e NF (4,5 m<sup>3</sup>/h)

Nesta comunicação apresentar-se-ão os estudos, em curso no LABES, de investigação (processos, modelação matemática, qualidade da água), demonstração e avaliação técnico-económica (Figura 2), para desenvolvimento de soluções à medida e *benchmarking* de tecnologias de tratamento avançado para produção segura de água para consumo humano e reutilização de água ([www.lnec.pt/organizacao/dha/nes/trabalho-experimental/LABES](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nes/trabalho-experimental/LABES)) e que poderão ajudar as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água e de águas residuais a superar eficaz e eficientemente os atuais desafios técnicos, ambientais e económicos.