

REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL POR ULTRAFILTRAÇÃO. Caso de Estudo: ETA DE ALCANTARILHA

Margarida RIBAU TEIXEIRA¹; Helena LUCAS²; Maria João ROSA³

RESUMO

Estudou-se a remoção de matéria orgânica natural (MON) por ultrafiltração (UF), utilizando uma série de membranas comerciais de polissulfona de *cut-off* molecular crescente (15, 41, 47 kDa). O desempenho da UF foi avaliado em termos de fluxo e qualidade do permeado em relação à turvação e MON, expressa em carbono orgânico total (COT) e substâncias húmicas (UV_{254nm}), principais precursores de compostos organoclorados e agentes colmatantes das membranas. Testou-se a UF directa com água bruta (turvação 24–40 NTU, UV_{254nm} 0.20–0.32 cm^{-1} e COT 2.78–8.0 mgC/l) e a UF após pré-ozonização/clarificação (usando água decantada com turvação 2.92–5.11 NTU, UV_{254nm} 0.03–0.05 cm^{-1} e COT 1.74–3.47 mgC/l). Concluiu-se que a diminuição do *cut-off* está associada a uma diminuição do fluxo, mas minimiza os fenómenos de colmatação e favorece a rejeição e qualidade do permeado, especialmente para a UF directa. No entanto, enquanto que em termos de turvação a UF directa permite obter bons resultados com qualquer membrana, em termos de UV_{254nm} e COT só se atinge uma qualidade equivalente à da água filtrada quando se utiliza o pré-tratamento à UF. Os resultados evidenciam uma diminuição da distribuição do peso molecular aparente da matéria húmica após oxidação/clarificação, baixando a fracção superior a 47kDa de 68% para 34% e aumentando a fracção inferior a 15kDa de 23% para 45%.

Palavras-chave: água para consumo humano, *cut-off* molecular, matéria orgânica natural, turvação, ultrafiltração

¹ Eng.^a do Ambiente, Assistente Convidada, FCMA, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000-117 Faro, +351.289.800900, ext. 7235, mrribau@ualg.pt

² Eng.^a do Ambiente, Directora de Exploração da Águas do Algarve, SA, R. do Reposuo nº 10, 8000-302 Faro, +351.282.440000, h.lucas@aguasdoalgarve.pt

³ Eng.^a Química, Professora Auxiliar, FCMA, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000-117 Faro, +351.289.800900, ext. 7387, mjrosa@ualg.pt

1. INTRODUÇÃO

A viabilidade da ultrafiltração (UF) na produção de água para consumo humano na Estação de Tratamento de Águas (ETA) de Alcântarilha já foi anteriormente avaliada à escala laboratorial com membranas comerciais de polissulfona (RIBAU TEIXEIRA *et al.*, 2000). Nesse trabalho concluiu-se que o desempenho da UF depende da qualidade da água da origem, sendo possível a UF directa das águas quando apresentam boa qualidade (turvação < 5.6 NTU, $UV_{254nm} < 0.08 \text{ cm}^{-1}$ e carbono orgânico total (COT) < 3.7 mg/l). Para águas de pior qualidade (turvação entre 30-40 NTU, $UV_{254nm} > 0.28 \text{ cm}^{-1}$ e COT > 4.5 mg/l), seria necessário estudar mais aprofundadamente a remoção de substâncias húmicas por UF, nomeadamente testando membranas com *cut-off* moleculares inferiores a 47 kDa, uma vez que, com a membrana estudada, as perdas de fluxo foram relevantes e não foi possível obter uma água com qualidade equivalente à da água filtrada produzida na ETA, após ozonização, coagulação/floculação/decantação e filtração rápida de areia (RIBAU TEIXEIRA *et al.*, 2000).

Membranas de *cut-off* moleculares mais baixos originam normalmente menores fluxos de permeado, mas os fenómenos de polarização da concentração e de colmatção são minimizados. Para além disto, justifica-se testar membranas de menores *cut-off*, uma vez que, em águas naturais, as substâncias húmicas podem apresentar pesos moleculares que variam desde valores inferiores a 1 kDa até valores superiores a 500 kDa. Por exemplo, ERICSSON e TRAGARDH (1996) utilizaram nos seus estudos substâncias húmicas de pesos moleculares inferiores a 1 kDa e superiores a 10 kDa, enquanto que CHILDRESS e ELIMELECH (1996) e HONG e ELIMELECH (1997) utilizaram ácidos húmicos com pesos moleculares nas classes 1 – 5 kDa e 10 – 30 kDa e superiores a 500 kDa.

As substâncias húmicas são constituídas por ácidos húmicos e fúlvicos que provêm da degradação química e biológica das plantas e resíduos animais, e da actividade de síntese microbiana, e representam uma fracção importante da matéria orgânica natural (MON) dissolvida presente em ambientes aquáticos. Segundo SCHÄFER *et al.* (1998), a MON é constituída por 40% de ácidos fúlvicos, 10% de ácidos húmicos e 50% de produtos indefinidos dos quais 40% são ácidos hidrofílicos. A importância relativa da fracção húmica pode estimar-se pela absorvância específica a UV_{254nm} (SUVA), definida como a razão entre a absorvância ao UV_{254nm} , em m^{-1} (que quantifica as substâncias húmicas), por unidade de carbono orgânico dissolvido (COD), em mg C/l (que quantifica a matéria orgânica dissolvida) (EDZWALD e BENSCHOTEN, 1990).

A importância do estudo da remoção de MON, designadamente das substâncias húmicas, deve-se à sua presença na água poder afectar a qualidade desta de várias formas: cor indesejável, complexação com metais e produção de concentrações de metais que excedem a solubilidade normal, e reacção com o cloro para produção de trihalometanos (THM), com implicações óbvias na saúde pública (EPA, 1999). As substâncias húmicas são, ainda, os principais agentes colmatantes das membranas de UF (CHILDRESS e ELIMELECH, 1996; ERICSSON e TRAGARDH, 1996; HONG e ELIMELECH, 1997; RUOHOMÄKI *et al.*, 1998; SCHÄFER *et al.*, 1998).

Desta forma, o objectivo do presente trabalho é avaliar o efeito da diminuição do *cut-off* molecular da membrana na remoção de matéria orgânica natural por UF, no caso de estudo da ETA de Alcântarilha. Para o efeito realizaram-se ensaios com três membranas de UF do mesmo polímero (hidrofílicas, polissulfona) e de diferentes *cut-off* moleculares (inferiores a 50 kDa). As membranas foram testadas num módulo plano que simula à escala laboratorial o escoamento através de módulos enrolados em espiral, mais utilizados à escala industrial. Efectuaram-se ensaios com águas bruta e decantada da ETA de Alcântarilha, ou seja, respectivamente, ensaios de UF directa e ensaios de UF

após as etapas de pré-ozonização, coagulação/floculação/decantação. O desempenho da UF foi avaliado em termos de declínio do fluxo e qualidade da água tratada com a taxa de recuperação de água.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Instalação de UF

Os ensaios foram realizados numa instalação comercial de pratos planos, Lab-unit M10 da DSS (Danish Separation Systems), cujo esquema se apresenta na Figura 1. Esta unidade opera em MF ou UF, permite testar dois tipos de membranas em simultâneo e tem uma área superficial de 336 cm².

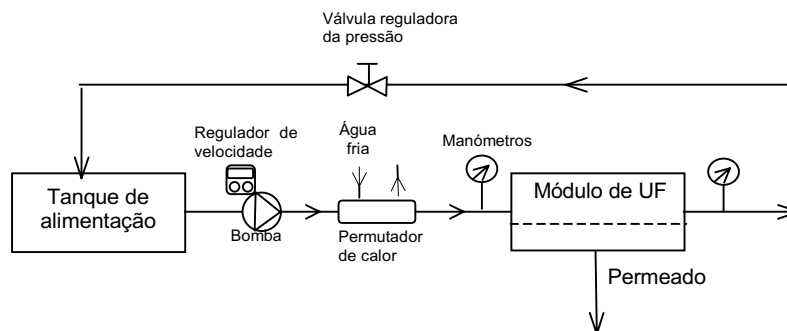


Figura 1 - Esquema da instalação

Testou-se uma série de membranas compósitas comerciais planas, hidrofílicas, de polissulfona de diferentes *cut-off* moleculares – GR40PP, GR61PP e GR81PP – cedidas pela DSS.

Os ensaios de permeação foram efectuados a 2 bar, 1.3 m/s (velocidade máxima recomendada) e 25°C. O tempo de estabilização em cada ensaio foi de 10 minutos. Após cada ensaio, as membranas eram lavadas com água desionizada até o fluxo da água atingir 90% do fluxo inicial medido depois da compactação.

2.2 Caracterização das Membranas

As membranas foram compactadas a 4 bar durante 3.5 h através da permeação de água pura (< 1 µS/cm). Depois de compactadas, a permeabilidade à água pura das membranas GR40PP, GR61PP e GR81PP era de 108.8, 79.2 e 32.9 kg/(h.m².bar), respectivamente.

Os *cut-off* moleculares das membranas foram determinados através da permeação de polietilenoglicóis (PEG), reagente p.a., Merck, e dextrans (DT), reagente p.a., Aldrich, de peso molecular crescente (PEG 6000, 10000, 20000 e 35000 Da, e DT 40000, 70000 e 110000 Da). A rejeição aparente do soluto, *f*, foi definida pela seguinte expressão:

$$f = \frac{C_b - C_p}{C_b} \quad (1)$$

em que:

- C_b - concentração na alimentação (mg/l),
- C_p - concentração no permeado (mg/l).

As amostras da alimentação eram retiradas antes e após cada ensaio, sendo a média considerada a concentração na alimentação.

A curva $\log(f/(1-f))$ versus peso molecular do soluto, interceptada pela linha de 90% de rejeição (ROSA e de PINHO, 1995; MULDER, 1997), permitiu determinar os *cut-off* moleculares aparentes (MWCO) das membranas, designadamente, 47 kDa para GR40PP, 41 kDa para GR61PP e 15 kDa para GR81PP.

2.3 Permeação da Água da ETA

A água em estudo foi recolhida na ETA de Alcantarilha, à entrada da ETA (água bruta) e após a etapa de decantação (água decantada), dependendo dos ensaios a realizar. As amostras de água eram compostas (amostradas entre as 9 h e as 15 h, de 2 em 2 h) e recolhidas semanalmente. As amostras recolhidas não podem ser conservadas durante grandes períodos de tempo em laboratório. Desta forma, o período de tempo entre a recolha das amostras e a realização dos ensaios teve de ser curto, razão pela qual não foi possível a execução de todos os ensaios com todas as amostras.

A qualidade das águas em estudo foi caracterizada em termos dos seguintes parâmetros: pH, turvação, COT e substâncias húmicas, medidas através da absorvância ao $UV_{254\text{nm}}$ (NAKATSUKA *et al.*, 1996). As características das águas utilizadas nos ensaios de permeação apresentam-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Características das águas utilizadas nos ensaios de permeação

| DATA DA RECOLHA: | TIPO DE ÁGUA | pH (a 20°C) | TURVAÇÃO (NTU) | $UV_{254\text{nm}}$ (a) (1/cm) | COT (a) (mg/l) | SUVA (b) (l/(m.mgC)) |
|------------------|---------------|-------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------------|
| 02-mai-00 | Ág. Bruta | 7.88 | 40.10 | 0.30 | 4.85 | - |
| | Ág. Decantada | 7.67 | 2.92 | 0.03 | 2.95 | - |
| 17-mai-00 | Ág. Bruta | 7.65 | 34.50 | 0.32 | 3.54 | - |
| | Ág. Decantada | 7.44 | 4.68 | 0.05 | 2.49 | - |
| 29-mai-00 | Ág. Bruta | 7.83 | 34.57 | 0.30 | 3.98 | - |
| | Ág. Decantada | 7.45 | 4.50 | 0.05 | 3.47 | - |
| 01-jun-00 | Ág. Bruta | 7.98 | 33.40 | 0.19 | 8.02 | - |
| | Ág. Decantada | 7.45 | 2.96 | 0.04 | 3.47 | - |
| 05-jun-00 | Ág. Bruta | 7.60 | 33.70 | 0.29 | 3.48 | - |
| | Ág. Decantada | 7.48 | 5.11 | 0.05 | 1.78 | - |
| 19-jun-00 | Ág. Bruta | 7.32 | 35.45 | 0.19 | 3.31 | 3.31 |
| | Ág. Decantada | 7.20 | 3.88 | 0.04 | 2.63 | 0.95 |
| 03-jul-00 | Ág. Bruta | 7.21 | 23.40 | 0.22 | 2.78 | 3.80 |
| | Ág. Decantada | 7.35 | 3.09 | 0.05 | 1.74 | 2.40 |
| 10-jul-00 | Ág. Bruta | 7.50 | 24.20 | 0.25 | 3.70 | 2.61 |
| | Ág. Decantada | 7.45 | 3.59 | 0.05 | 2.98 | 1.06 |

(a) parâmetro determinado em amostra tal-qual

(b) parâmetro determinado em amostra filtrada

Os resultados do Quadro 1 demonstram que, para a água bruta, a turvação variou entre 24 e 40 NTU, a absorvância ao $UV_{254\text{nm}}$ entre 0.20 e 0.32 1/cm e COT entre 2.78 e 8.02 mg C/l. A água decantada apresentou valores de turvação entre 2.92 e 5.11 NTU, de $UV_{254\text{nm}}$ entre 0.03 e 0.05 1/cm e de COT entre 1.74 e 3.47 mg C/l.

Os valores de SUVA, para a água bruta, variaram entre 2.6 e 3.8 l/(m.mgC). Assim e segundo EDZWALD e BENSCHOTEN (1990), está-se numa situação intermédia entre o COD ser composto por materiais não húmicos (SUVA < 3 l/(m.mgC)) e ser composto por materiais húmicos (4 l/(m.mgC) < SUVA < 5 l/(m.mgC)). Para a água decantada, os valores de SUVA variaram entre 0.95 e 2.40 l/(m.mgC), sendo o COD composto essencialmente por materiais não húmicos (EDZWALD e BENSCHOTEN, 1990).

Em face destes resultados pode concluir-se que a água bruta não deverá colocar muitos problemas de colmatação da membrana, uma vez que os valores de SUVA indicam que a matéria orgânica natural não é muito rica em material húmico. Estes resultados estão de acordo com os resultados de caracterização da água de origem apresentados por CAMPINAS e ROSA (2000).

Foram realizados ensaios de concentração, ou seja, de recuperação de permeado (TxR) com o objectivo de simular, tão próximo quando possível, o processo de separação por membranas à escala industrial, processo contínuo a operar a uma dada taxa de recuperação de permeado. Nestes ensaios o permeado era recolhido num vaso graduado e quando se atingia um volume de permeado correspondente a uma taxa de recuperação pré-definida, estabilizava-se o caudal de permeado (recicruculando o permeado ao tanque de alimentação), recolhia-se uma amostra da alimentação e uma do permeado, e deixava-se o ensaio prosseguir até à taxa de recuperação seguinte.

Em cada ensaio foram medidos os fluxos de permeado (J) e recolhidas amostras da alimentação e permeado para análise da turvação, da absorvância ao UV_{254nm} e COT, e cálculo das respectivas rejeições f.

2.4 Materiais e Métodos Analíticos

O pH foi medido a 20°C através de um medidor de pH Crison, modelo 2001 (sistema de referência Ag/AgCl, electrólito de referência KCl 3M + Ag/Cl). O aparelho foi calibrado antes de cada utilização com padrões 7.02 e 4.00, a 20°C.

A determinação de COT foi efectuada por combustão e método de análise de CO₂ por infravermelhos não dispersivos, utilizando um analisador de carbono da marca Shimadzu, modelo 5050A, com gama 50 ppb – 4000 ppm e precisão de 1%.

A absorvância ao UV_{254nm} foi medida utilizando um espectrofotómetro na gama de UV-VIS, marca Hitachi, modelo U-1100 com comprimentos de onda entre 200 e 1100 nm e precisão fotométrica 0.2%. A resposta linear de absorvância ao UV_{254nm} com a concentração de ácidos húmicos foi verificada com padrões de 0 e 20 mg/l em ácidos húmicos da Aldrich.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relativos ao fluxo, para os diferentes tipos de água e membranas, com a taxa de recuperação encontram-se na Figura 2.

O fluxo de permeado aumenta com a permeabilidade hidráulica e com o *cut-off* molecular – em relação à membrana GR40PP, o fluxo da membrana GR61PP é cerca de 1.6 vezes inferior, enquanto que o da GR81PP é 4 vezes inferior (Figura 2). No entanto, os fluxos relativos (J/J_w), e portanto os

fenômenos de polarização de concentração, diminuem com a permeabilidade hidráulica, conforme previsto na introdução.

Para todas as membranas os fluxos de água bruta são inferiores aos fluxos de água decantada. No entanto, a diferença de fluxos entre a água bruta e a água decantada é mais significativa na membrana GR40PP, seguindo-se a membrana GR61PP e por último a GR81PP. É também com a membrana GR40PP que há maiores decréscimos do fluxo com o aumento da taxa de recuperação (Figura 2).

Os resultados da Figura 2 demonstram ainda que os fenómenos de colmatção aumentam com o *cut-off* molecular da membrana, sendo este parâmetro mais importante do que a permeabilidade hidráulica. Este resultados já seriam de esperar, uma vez que o *cut-off* molecular relaciona-se com o tamanho do poro da membrana, enquanto que a permeabilidade depende do tamanho mas também do número de poros. Da membrana GR40PP para a GR61PP, embora a permeabilidade hidráulica tenha aumentado, como o *cut-off* molecular aumentou muito pouco, o fenómeno de colmatção não se agravou significativamente. Pelo contrário, das membranas GR40PP e GR61PP para a GR81PP, a variação de permeabilidade hidráulica e *cut-off* molecular é maior.

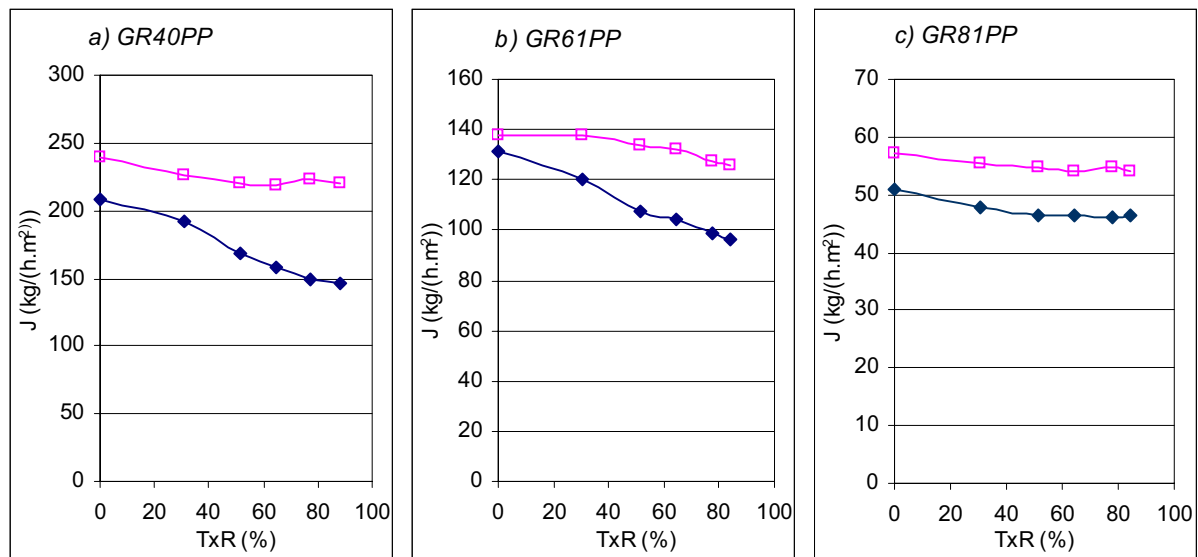


Figura 2 – Variação do fluxo de permeado com a taxa de recuperação para as membranas em estudo:
◆ - água bruta; □ - água decantada (2 bar, 1.3 m/s, 25°C)

Nas Figuras 3, 4 e 5 apresentam-se as rejeições e qualidade do permeado, respectivamente, para a turvação, $\text{UV}_{254\text{nm}}$ e COT, para a água bruta e água decantada com as três membranas em estudo. Globalmente verifica-se que não há diferenças significativas entre as três membranas na rejeição e qualidade do permeado da turvação (Figura 3), enquanto que nos valores de $\text{UV}_{254\text{nm}}$ (Figura 4) e COT (Figura 5) há diferenças a assinalar.

A rejeição à turvação é muito elevada em todas as membranas, tanto para a água bruta como para a água decantada (Figura 3 a1) e b1)). A água decantada tem rejeições ligeiramente inferiores, apesar de ainda altas (Figura 3 b1)). Desta forma, pode concluir-se que os compostos constituintes da turvação têm um peso molecular elevado e são facilmente removidos por membranas de polissulfona de *cut-off* aparente de 47kDa (GR40PP). O pré-tratamento (pré-ozonização / clarificação) não favorece a rejeição da turvação para todas as membranas estudadas.

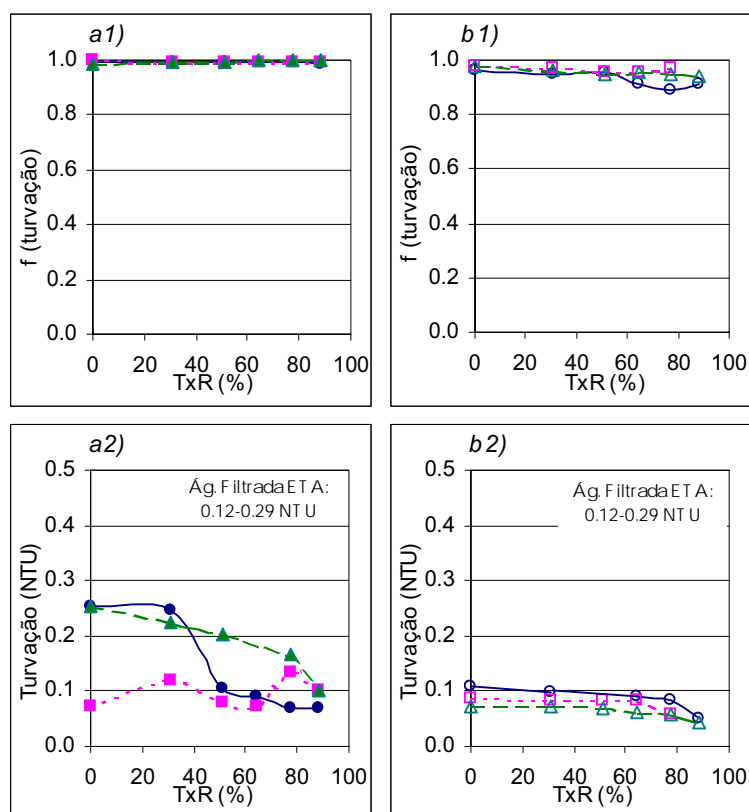


Figura 3 – Variação da turvação com a taxa de recuperação para as membranas em estudo: a) água bruta (● GR40PP, ■ GR61PP, ▲ GR81PP); b) água decantada (○ GR40PP, □ GR61PP, △ GR81PP); 1) rejeição; 2) qualidade do permeado (2 bar, 1.3 m/s, 25°C)

A qualidade do permeado, resultante do processamento quer de água bruta quer de água decantada, encontra-se dentro da gama da turvação da água filtrada na ETA (0.12 – 0.29 NTU). Existem mesmo situações em que a qualidade do permeado é superior à da água filtrada, nomeadamente o permeado resultante da água decantada, qualquer que seja a membrana utilizada (Figura 3 a2) e b2)). O pré-tratamento de clarificação favorece a qualidade do permeado, apesar de não se revelar necessário, uma vez que sem pré-tratamento é possível obter um permeado de elevada qualidade, cumprindo-se o estipulado na legislação.

A rejeição de matéria húmica (UV_{254nm}) varia com a membrana e o tipo de água utilizada. Para a água bruta, a rejeição aumenta quando o *cut-off* molecular diminui (Figura 4 a1)). Na permeação de água decantada, a membrana GR40PP tem uma rejeição menor que as membranas GR61PP e GR81PP e estas duas últimas têm rejeições semelhantes (Figura 4 b1)). Para qualquer membrana, as rejeições são maiores quando se permeia água bruta (UF directa) em vez de água decantada (UF com pré-tratamento).

Todavia, a qualidade do permeado em UV_{254nm} da água decantada encontra-se dentro do intervalo medido na água filtrada na ETA (0.02 – 0.04 1/cm), enquanto que o permeado resultante de água bruta encontra-se sempre acima do referido intervalo, não obstante ter-se verificado uma ligeira melhoria com a diminuição do *cut-off* molecular das membranas (Figura 4 a2) e b2)).

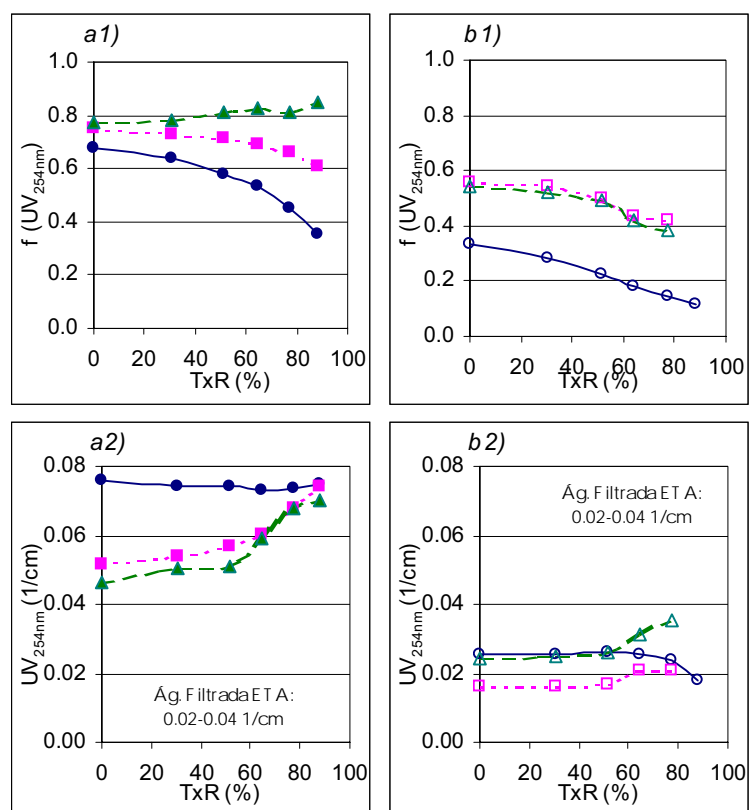


Figura 4 – Variação de UV_{254nm} com a taxa de recuperação para as membranas em estudo: a) água bruta (● GR40PP, ■ GR61PP, ▲ GR81PP); b) água decantada (○ GR40PP, □ GR61PP, △ GR81PP); 1) rejeição; 2) qualidade do permeado (2 bar, 1.3 m/s, 25°C)

Em relação ao COT (Figura 5 b1) e b2)), também há uma variação da rejeição com a membrana e o tipo de água utilizada. Com águas bruta e decantada não se verificam diferenças significativas na rejeição entre a membrana GR40PP e GR61PP, mas há uma melhoria da rejeição para a membrana GR81PP (apesar dos comportamentos com a taxa de recuperação serem bastante distintos). A UF directa permite rejeições superiores à UF com pré-tratamento.

As baixas rejeições verificadas já seriam de esperar, uma vez que o SUVA é baixo (na água bruta o SUVA varia entre 2.6 l/(m.mgC) e 3.8 l/(m.mgC); na água decantada o SUVA varia entre 0.95 l/(m.mgC) e 2.4 l/(m.mgC)). Assim, o material orgânico existente na água decantada é fundamentalmente não húmico, *i.e.* de menor peso molecular e mais hidrofílico quando comparado com o da água bruta. Esta última, tal como já analisado anteriormente, encontra-se numa situação intermédia em termos de material húmico (COD mais hidrofóbico, de maior peso molecular).

O permeado resultante da água decantada tem uma qualidade, em termos de COT, equivalente à da água filtrada na ETA (1.49 – 2.42 mg C/l), enquanto que o permeado resultante da água bruta tem qualidade inferior à da água filtrada, apesar das concentrações serem baixas. Isto independentemente da membrana utilizada (Figura 5 a2) e b2)).

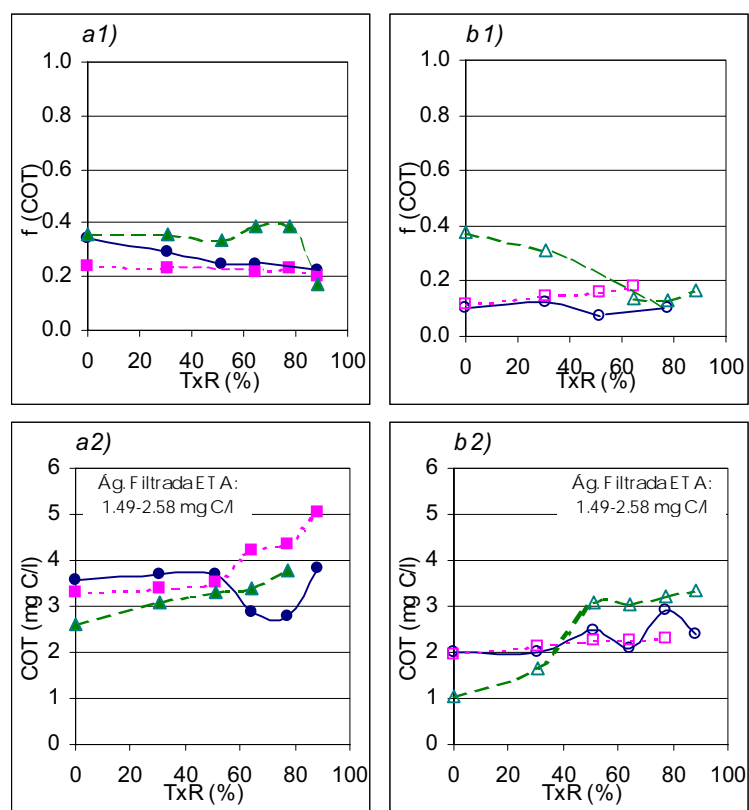


Figura 5 – Variação de COT com a taxa de recuperação para as membranas em estudo: a) água bruta (● GR40PP, ■ GR61PP, ▲ GR81PP); b) água decantada (○ GR40PP, □ GR61PP, △ GR81PP); 1) rejeição; 2) qualidade do permeado (2 bar, 1.3 m/s, 25°C)

Com estes resultados é possível determinar o peso relativo das várias fracções moleculares dos compostos presentes nas águas bruta e decantada (Figura 6). Porque a rejeição dos compostos não é devida unicamente a impedimentos estereoquímicos, o fraccionamento dos compostos das águas bruta e decantada é um fraccionamento aparente (*i.e.*, com base em tamanhos moleculares aparentes).

Verifica-se que os compostos da turvação com tamanho molecular aparente superior a 47 kDa representam, respectivamente, 99% e 96% nas águas bruta e decantada (Figura 6 a)).

Relativamente às substâncias húmicas, os tamanhos moleculares aparentes dos compostos são distintos consoante a água em análise. Na água bruta, 68% das substâncias húmicas têm peso molecular aparente superior a 47 kDa e 23% inferior a 15 kDa. Na água decantada os compostos distribuem-se por 34% e 45%, respectivamente, pelo peso molecular aparente superior a 47 kDa e inferior a 15 kDa (Figura 6 b)).

No que respeita ao COT a água bruta tem 64% dos compostos com peso molecular inferior a 15 kDa e 34% superior a 47 kDa. Na água decantada há uma distribuição mais equitativa dos compostos: 64% têm peso molecular inferior a 15 kDa, 26% entre 15 e 41 kDa, 1.5% entre 41 e 47 kDa e 10% superior a 47 kDa (Figura 6 c)).

Isto significa que, a água decantada tem maiores frações de substâncias húmicas e MON em geral (COT) de baixo peso molecular relativamente à água bruta, uma vez que passou pela etapa de pré-oxidação com ozono seguida de coagulação/ floculação/ decantação.

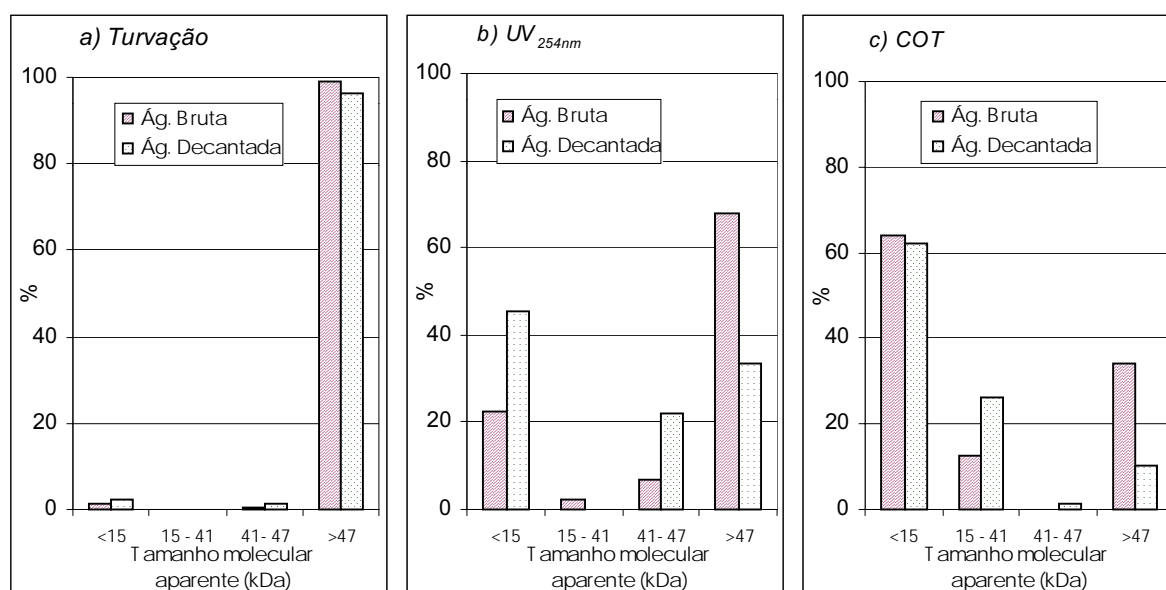


Figura 6 – Fraccionamento dos compostos das águas bruta e decantada por tamanho molecular aparente

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho permitiram verificar que a diminuição do *cut-off* molecular originou melhores resultados em termos de rejeição e qualidade do permeado; os decréscimos de fluxo, com a taxa de recuperação, são menos significativos em membranas de menor *cut-off* molecular e os fenómenos de colmatção aumentam com o *cut-off* molecular, sendo este parâmetro mais importante do que a permeabilidade hidráulica.

No entanto, relativamente à qualidade do permeado para a turvação é possível obter uma qualidade equivalente à água filtrada da ETA, quer se permeie água bruta ou água decantada; a diminuição do *cut-off* molecular não é vantajosa, uma vez que é possível obter um permeado de qualidade com a membrana de maior *cut-off* (GR40PP) e os fluxos são superiores. Para o COT e UV_{254nm} só é possível obter uma qualidade equivalente à da água filtrada quando se permeia água decantada, *i.e.*, água pré-oxidada e clarificada; a diminuição do *cut-off* molecular estudada não proporciona grandes vantagens na permeação de água decantada e, desta forma, a pré-clarificação e a UF com *cut-off* molecular aparente de 47 kDa conseguem remover a MON.

Assim, é possível concluir que a diminuição do *cut-off* molecular é vantajosa na clarificação das águas por UF, especialmente para águas de pior qualidade, ou seja, para a UF directa. No entanto, em termos de remoção de MON há necessidade de pré-tratamento. A oxidação/clarificação (pré-tratamento) diminui a quantidade de matéria orgânica natural húmica (de 0.20 – 0.32 cm^{-1} para 0.03 – 0.05 cm^{-1}), a distribuição de pesos moleculares é menor e, como tal, a diminuição do *cut-off* molecular não traz vantagens na qualidade do permeado. Para se obter um permeado de melhor qualidade, recomenda-se o estudo de membranas de nanofiltração e/ou de outro pré-tratamento.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela empresa Águas do Algarve, S.A., no âmbito do Acordo Específico de Cooperação AdA/UAlg sobre "Optimização do Sistema de Tratamento da ETA de Alcantarilha".

BIBLIOGRAFIA

CAMPINAS, M. & ROSA, M.J. – "Relatório de caracterização da qualidade da água da Barragem do Funcho". *Acordo Específico ABA/UAlg: "Optimização do Sistema de Tratamento da ETA de Alcantarilha"*. Relatório de Dezembro. Unidade de Ciências e Tecnologia dos Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve. Faro, 2000.

CHILDRESS, A.E.; ELIMELECH, M. – "Effect of solution chemistry on the surface of polymeric reverse osmosis and nanofiltration membranes". *Journal of Membrane Science* **119**, 1996, pp. 253-268.

EDZWALD, J.K. & VAN BENSCHOTEN J.B. – "Aluminium coagulation of natural organic matter", in *Chemical Water and Wastewater Treatment*. H.H. Hahn and R. Klute (Eds.). Springer-Verlag. Berlin., 1990, pp. 341-359.

EPA – "Alternative Disinfectants and Oxidants. Guidance Manual". Office of Water (4607). EPA 815-R-99-011. April 1999.

ERICSSON, B. & TRAGARDH, G. – Treatment of surface water rich in humus - Membrane filtration vs. conventional treatment". *Desalination*, **108**, 1996, pp.117-128.

HONG, S.; ELIMELECH, M. – "Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes". *Journal of Membrane Science* **132**, 1997, pp. 159-181.

MULDER, M. – "*Basic Principles of Membrane Technology*". 2nd Edition. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 1997.

NAKATSUKA, S., NAKATE, I. & MIYANO, T. – "Drinking water treatment by using ultrafiltration hollow fiber membranes". *Desalination*, **106**, 1996, pp. 55-61.

RIBAU TEIXEIRA, M.; LUCAS, H. & ROSA, M.J. – "Viabilidade da Ultrafiltração no Tratamento de Águas na ETA de Alcantarilha". *Revista Recursos Hídricos*, **21**, 3, Novembro 2000, pp. 13 – 19.

ROSA M.J. e DE PINHO M.N. – "The role of ultrafiltration and nanofiltration on the minimisation of the environmental impact of bleached pulp effluents". *Journal of Membrane Science*, **102**, 1995, pp. 155-161.

RUOHOMÄKI, K., VÄISÄNEN, P., METSÄMUURONEN, S., KULOVAARA, M. & NYSTRÖM, M. – "Characterization and removal of humic substances in ultra- and nanofiltration". *Desalination*, **118**, 1998, pp. 273-283.

SCHÄFER, A.I., FANE, A.G. & WAITE, T.D. – "Nanofiltration of natural organic matter: Removal, fouling and the influence of multivalent ions". *Desalination*, **118**, 1998, pp. 109-122.