

## II-234 - TRATAMENTO DE CONCENTRADO DE OSMOSE INVERSA EM REATOR COM BIOFILME E PRÉ-TRATAMENTO POR PROCESSOS OXIDATIVOS

**Simone Maria Ribas Vendramel<sup>(1)</sup>**

Graduada em Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná, mestre e doutora em Engenharia Química pelo Programa de Engenharia Química da COPPE/UFRJ. Pós-doutorado pela Universidade de Barcelona. Atualmente é professora do curso técnico e tecnólogo de Meio Ambiente do Instituto Federal do Rio de Janeiro - *Campus* Rio de Janeiro.

**Ana Justo<sup>(2)</sup>**

Graduada em Engenharia Química e doutoranda no grupo de Processos Oxidativos Avançados do Departamento de Engenharia Química da Universidade de Barcelona.

**Oscar González<sup>(3)</sup>**

Doutor em Engenharia Química, pesquisador no grupo de Processos Oxidativos Avançados do Departamento de Engenharia Química e professor assistente do Departamento de Engenharia Química da Universidade de Barcelona.

**Carmen Sans<sup>(4)</sup>**

Ph.D em Química pela Universidade de Barcelona. Atualmente é professora titular no Departamento de Engenharia Química da Universidade de Barcelona e membro do CEQAP (Centro de Tecnologia pertencente a rede de transferência de tecnologia da Cataluña).

**Santiago Esplugas<sup>(5)</sup>**

Ph.D em Química pela Universidade de Barcelona. Atualmente é professor titular no departamento de Engenharia Química da Universidade de Barcelona e diretor do CEQAP. É referência mundial na aplicação das tecnologias oxidativas avançadas para a minimização da poluição no meio ambiente.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Senador Furtado, 124 - Maracanã – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20270-021 - Brasil - Tel: (21) 2566-7790 - e-mail: [simonevendramel@yahoo.com.br](mailto:simonevendramel@yahoo.com.br); [simone.vendramel@ifrj.edu.br](mailto:simone.vendramel@ifrj.edu.br)

### RESUMO

O descarte ou tratamento da linha de concentrado das unidades de osmose inversa (OI) é uma operação difícil devido às altas concentrações de substâncias orgânicas e inorgânicas nestas correntes. No presente trabalho foram utilizadas quatro técnicas de oxidação ( $O_3$ ,  $O_3/UV$ ,  $H_2O_2/O_3$ ,  $O_3/H_2O_2/UV$ ) no pré-tratamento do efluente concentrado de uma unidade de OI pertencente a “Estación Depuradora de Aguas Residuales de Calafell”, situada em Barcelona-Espanha. O concentrado previamente oxidado foi tratado biologicamente em um reator de biomassa fixa tipo MBBR (“Moving-bed Biofilm Reactor”). Sem a oxidação prévia o MBBR foi capaz de remover uma pequena fração de matéria orgânica em termos de DQO (18%) e COD (14%). Quando o concentrado foi previamente submetido aos processos de oxidação ocorreu considerável incremento na eficiência de remoção dos compostos orgânicos (COD entre 40 - 55%). Todas as técnicas de oxidação empregadas resultaram no aumento da biodegradabilidade do concentrado. O efluente tratado pelos processos combinados (oxidação + MBBR) apresentaram valores residuais de COD e DQO na faixa de 6 – 12 e 25 – 41 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Nitrificação foi observada em todas as condições testadas. Os resultados observados indicam que o concentrado após o tratamento proposto pode alcançar qualidade compatível com propósitos de reúso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concentrado de osmose inversa, MBBR, técnicas de oxidação.

### INTRODUÇÃO

Embora a osmose inversa seja um dos mais efetivos tratamentos na remoção de uma grande faixa de poluentes orgânicos recalcitrantes, bactérias, vírus e sais inorgânicos (Wintgens *et al.*, 2006; Dialynas *et al.*, 2008; Kimura *et al.*, 2009), pode-se dizer que uma desvantagem desta técnica é o tratamento posterior da corrente de concentrado gerada. Concentrados de membrana, no caso de estações de tratamento de efluentes domésticos, possuem todas as substâncias que dificilmente são removidas nas operações de tratamento convencionais, porém, dezenas de vezes concentradas. Estas substâncias são em maioria refratárias e incluem pesticidas,

produtos de cuidado pessoal, fármacos, perturbadores endócrinos, além dos próprios resíduos dos processos de tratamento anteriores (material biológico e orgânicos parcialmente biodegradados). Tais substâncias podem representar perigo em potencial ao ambiente. Contudo, o descarte destas correntes de concentrado ainda não está regulamentado e, portanto, propostas de práticas seguras para o tratamento deste efluente concentrado antes de ser descartado devem ser cada vez mais consideradas (Westerhoff *et al.*, 2009).

Algumas tecnologias para o tratamento de concentrados de OI vem sendo investigadas tais como, coagulação/floculação, adsorção em carvão ativado, ozonização, oxidação eletroquímica, entre outras (Abdelmelek *et al.*, 2011). Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) parecem ser uma alternativa apropriada para o tratamento deste tipo de efluente altamente concentrado em substâncias poluentes recalcitrantes e micropoluentes, assim como as técnicas oxidativas propostas no presente trabalho.

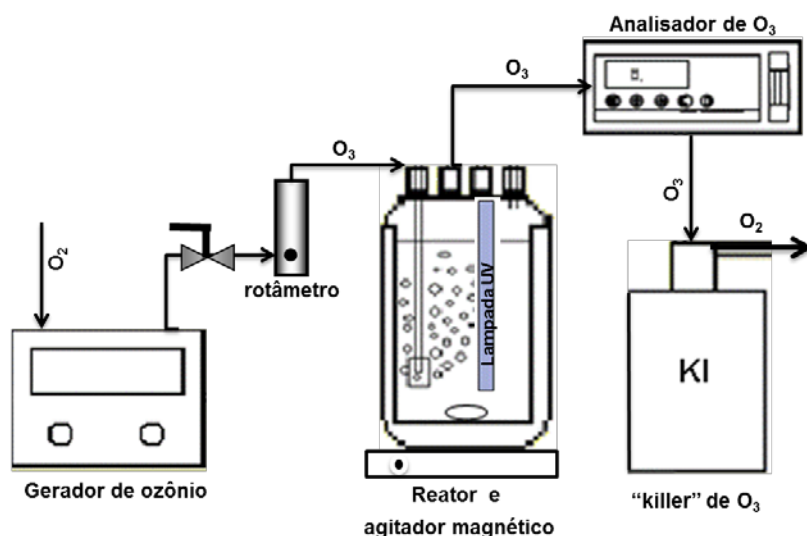
Os biofilmes são comunidades complexas de micro-organismos que se desenvolvem sobre superfícies em diversos ambientes (Stoodley e Stoodley, 2002) e apresentam maior capacidade de tolerância a constantes mudanças do seu ambiente (alterações de temperatura, pH, concentração de nutrientes e presença de substâncias tóxicas e produtos metabólicos) do que as culturas em suspensão. Por conta de suas características propícias para a retenção da biomassa de maneira simples e estável, estes biorreatores vêm sendo empregados também em nível terciário, na remoção de nutrientes como fósforo e amônia (Bernet *et al.*, 2005; Vendramel *et al.*, 2011), e compostos de difícil biodegradação (Luostarinen *et al.*, 2006). Portanto, a aplicação deste processo em conjunto com os POAs para a redução do potencial poluidor do concentrado de OI é considerada uma proposta promissora.

Neste contexto o objetivo deste trabalho foi investigar o desempenho de um MBBR alimentado com correntes de concentrado de OI previamente submetidas à oxidação, de modo a gerar água com qualidade para reúso.

## MATERIAIS E MÉTODOS

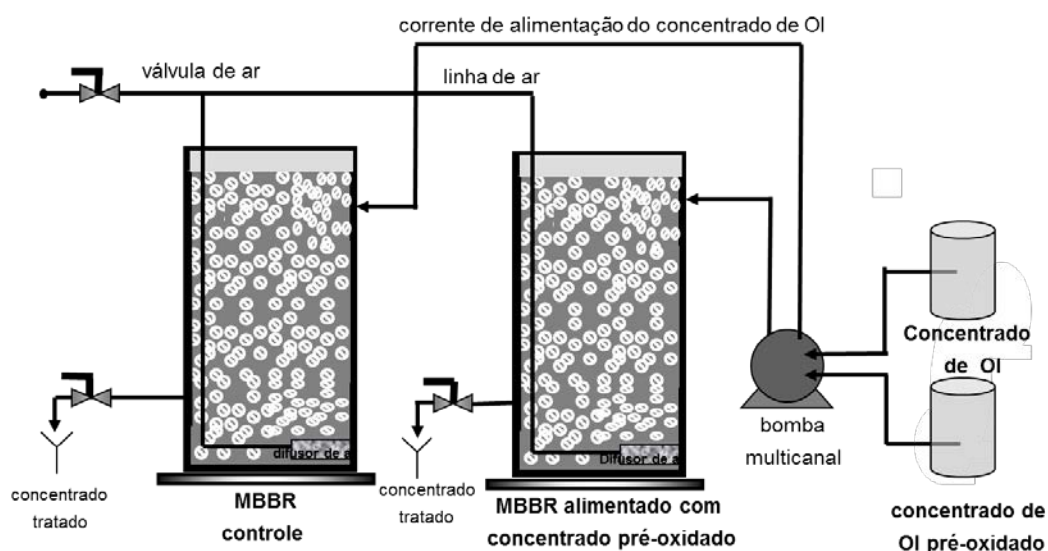
O efluente concentrado deste estudo foi proveniente da unidade de osmose inversa (OI) da “Estación Depuradora de Aguas Residuales de Calafell”, situada em Barcelona-Espanha. O efluente secundário desta unidade de tratamento passa por um filtro de areia e um sistema de microfiltração previamente a osmose inversa. O permeado da OI é direcionado para reúso e o concentrado é descartado no mar.

Para os testes de oxidação ( $O_3$ ,  $O_3/UV$ ,  $O_3/H_2O_2$ ,  $O_3/H_2O_2/UV$ ) foi utilizado um reator encamisado com capacidade de 2 L, conforme apresentado na Figura 1. Para o suprimento de radiação UV foi utilizado o mesmo reator com uma lâmpada de mercúrio de baixa pressão com comprimento de onda de 254 nm (Philips G4T5 TUV 4W) e fluxo de fóton de  $0,25 \cdot 10^{-5}$  Einstein  $s^{-1}$ . A aplicação do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) foi de 10  $mgH_2O_2 L^{-1}$  em todos os casos. O ozônio foi injetado no reator através de difusores com vazão de 133,5  $L h^{-1}$  e concentração de 10  $gO_3 Nm^{-3}$ , proporcionando doses de ozônio transferido na faixa de 9 a 11,5  $mgO_3 mg^{-1} COD$ . Todos os ensaios foram realizados em batelada e tiveram a duração de 20 min.



**Figura 1: Esquema do aparato experimental utilizado para a oxidação do concentrado de OI pelos processos de  $O_3$ ,  $O_3/UV$ ,  $O_3/H_2O_2$  e  $O_3/H_2O_2/UV$ .**

Como tratamento biológico foram monitorados dois reatores MBBR com capacidade de 0,5 L sendo um controle e outro alimentado com o efluente pré-oxidado (Figura 2). Os reatores construídos em vidro e com formato cilíndrico continham 40% do seu volume útil ocupados por suportes (biomédias) para o desenvolvimento do biofilme. As biomédias utilizadas foram do tipo AMD Bio Media™, modelo MR-01, e área superficial específica de  $650 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ , oriundas da Empresa Dynamic Aqua Science Inc. Ar foi inserido pelo fundo dos reatores através de difusores porosos para promover melhor transferência de oxigênio e adequada circulação no interior dos mesmos. Os dois MBBRs operaram em paralelo em regime contínuo e tempo de retenção hidráulico de 24h por um período de 6 meses.



**Figura 2: Esquema do aparato experimental utilizado para realizar o tratamento biológico (MBBR controle e MBBR alimentado com o concentrado pré-oxidado).**

Os métodos analíticos para determinação de DQO e SV seguiram os procedimentos 5220D e 2540 do Standard Methods (APHA, 2005).  $DBO_5$  foi determinada usando o sistema WTW OxiTop® (Weilheim, Germany) seguindo o procedimento 5210D do Standard Methods (APHA, 2005). COD foi determinado, após filtração simples em membrana porosa de  $0,45 \text{ }\mu\text{m}$ , em equipamento Shimadzu TOC-VCSN. A absorbância a  $254 \text{ nm}$  ( $UV_{254}$ ) foi medida em um espectrofotômetro UV-vis, Lambda 20 (Perkin-Elmer) para obter a sua variação

com a aplicação dos processos oxidativos e calcular a absorvância específica em  $UV_{254}$  (SUVA) de acordo com o método 415.3 (EPA, 2005). Concentrações de amônia, nitrato e outros íons foram determinadas em cromatógrafo de íons compacto IC Metrohm com coluna Metrosep A Supp 4-250.

## RESULTADOS

### Características da corrente de concentrado de OI

O concentrado de OI usado durante os experimentos apresentou a seguinte composição conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1: Características da corrente de concentrado de OI.**

<b>COD</b> (mgC L <sup>-1</sup> )	24 ± 6,0	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> (mgNH <sub>4</sub> L <sup>-1</sup> )	127 ± 46	<b>Cl<sup>-</sup></b> (mgCl L <sup>-1</sup> )	1.394 ± 54
<b>DQO</b> (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	83 ± 20	<b>Na<sup>+</sup></b> (mgNa L <sup>-1</sup> )	1.318 ± 103	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (mgNO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	38 ± 3,4
<b>surfactantes</b> (mg L <sup>-1</sup> )	4,4 ± 3,8	<b>K<sup>+</sup></b> (mgK L <sup>-1</sup> )	93 ± 2,0	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> (mgNO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	17 ± 0,4
<b>UV<sub>254</sub></b> (cm <sup>-1</sup> )	0,507 ± 0,016	<b>Ca<sup>2+</sup></b> (mgCa L <sup>-1</sup> )	485 ± 21	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> (mgPO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	39 ± 1,0
<b>pH</b>	7,0	<b>Mg<sup>2+</sup></b> (mgMg L <sup>-1</sup> )	199 ± 13	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> (mgSO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup> )	1.144 ± 67

Algumas amostras apresentaram valores muito variáveis de DQO, COD e amônia (representada na tabela pelo íon amônio). Os valores de desvio padrão apresentados na Tabela 1 indicam a grande variação observada para estes parâmetros. Foram obtidos coeficientes de variação de 25% para DQO e COD e de até 36% para o íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

### Remoção de matéria orgânica nos experimentos de oxidação

Todos os processos oxidativos investigados foram capazes de remover DQO e COD do concentrado de OI como mostrado na Tabela 2. Em geral, é difícil remover DQO e COD quando seus valores iniciais já são baixos (em média 80 e 24 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente).

**Tabela 2: Remoções de DQO, COD e UV<sub>254</sub> obtidas após oxidação e razões BOD<sub>5</sub>/DQO.**

Processos Oxidativos	Remoção DQO (%)	Remoção COD (%)	Remoção UV <sub>254</sub> (%)	BOD <sub>5</sub> /COD
O <sub>3</sub>	33 ± 6	15 ± 0,2	63 ± 1,8	0,15
O <sub>3</sub> UV	42 ± 5	29 ± 1,2	73 ± 1,2	0,18
O <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	48 ± 7	37 ± 1,9	67 ± 1,0	0,20
O <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> UV	54 ± 5	44 ± 0,8	74 ± 0,7	0,26

Embora os processos oxidativos aplicados tenham apresentando satisfatória eficiência na remoção de DQO e COD, eles se mostraram mais efetivos na diminuição da absorvância do concentrado quando medida a 254 nm (63 – 74 %), o que indica que a presença de compostos de carbono com dupla ligação e substâncias aromáticas foi reduzida, aumentando a biodegradabilidade do concentrado de OI. As determinações de DBO<sub>5</sub> foram feitas anterior e posteriormente a cada processo de oxidação empregado, permitindo obter as razões DBO<sub>5</sub>/DQO. Esta razão foi baixa (0,06) para o concentrado sem tratamento e aumentou na faixa de 0,15 – 0,26 após os processos oxidativos aplicados. O COD residual do concentrado tratado esteve compreendido entre 13 e 19 mgC L<sup>-1</sup>.

Lee *et al.* (2009) observaram um incremento de 1,8 a 3,5 vezes na biodegradabilidade do concentrado de OI após ozonização, usando doses de 3 a 10 mg L<sup>-1</sup> e tempos de reação de 10 a 20 min. Estes autores também

verificaram que a ozonização gerou compostos de baixa massa molar ( $< 1$  kDa) originados da oxidação de compostos com alta massa molar presentes neste tipo de efluente. Em geral, concentrados de OI possuem compostos com massa molar superior a 100 kDa, os quais correspondem em média a 80% da matéria orgânica presente.

A absorvância específica em 254nm (SUVA), a qual corresponde a razão da absorvância ( $UV_{254}$ )/COD, diminuiu significativamente de  $2,1 \text{ L mg}^{-1} \text{ m}^{-1}$  para o concentrado sem tratamento para valores na faixa de 0,8 a  $1,1 \text{ L mg}^{-1} \text{ m}^{-1}$  para o concentrado oxidado. Conforme observado por Weishaar *et al.* (2003), SUVA está diretamente relacionada a aromaticidade orgânica da matriz. Portanto, o pré-tratamento com processos oxidativos do concentrado de OI foi efetivo em remover significativa fração de compostos aromáticos presentes originalmente neste concentrado.

## Desempenho dos reatores tipo MBBR

### Remoção de matéria orgânica

Os reatores MBBR foram alimentados com uma corrente que apresentava baixo conteúdo de matéria orgânica, consequentemente, a carga orgânica aplicada foi muito baixa (em torno de  $0,05 \text{ kgDQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ). Isto foi necessário devido a dificuldade de tratar um efluente complexo e bastante diluído por processo biológico. Operando sob estas condições o MBBR que recebeu o concentrado previamente oxidado foi capaz de remover de forma significativa a matéria orgânica residual desta matriz, como mostrado na Tabela 3

**Tabela 3: Remoções de DQO e COD obtidas nos MBBRs.**

Processos	Remoção DQO (%)	Remoção COD (%)
Controle	$18 \pm 8$	$14 \pm 9$
$O_3 + \text{MBBR}$	$27 \pm 3$	$39 \pm 0,2$
$O_3\text{UV} + \text{MBBR}$	$29 \pm 8$	$49 \pm 1,2$
$O_3\text{H}_2\text{O}_2 + \text{MBBR}$	$25 \pm 10$	$45 \pm 1,9$
$O_3\text{H}_2\text{O}_2\text{UV} + \text{MBBR}$	$36 \pm 10$	$53 \pm 0,8$

Os resultados da Tabela 3 mostram que os processos oxidativos contribuíram significativamente para a redução da matéria orgânica do concentrado. Em particular, a combinação de ozônio, peróxido e radiação UV ( $O_3\text{H}_2\text{O}_2\text{UV}$ ) levou aos melhores resultados de remoção de DQO (36%) e COD (53%), em contraste com os resultados obtidos no reator controle, o qual apresentou baixos níveis de remoção (18%, DQO e 14%, COD).

### Remoção de Amônia

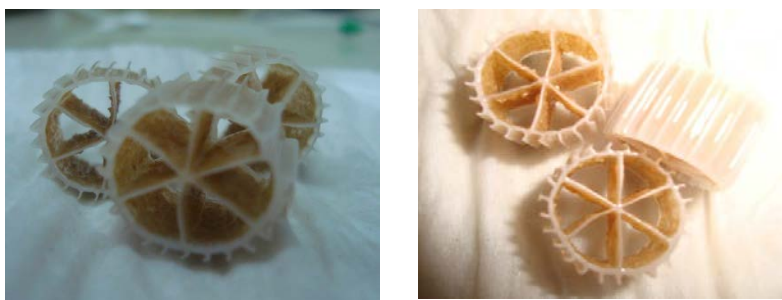
Em contraste com os resultados observados para a matéria orgânica, a remoção de amônia foi mais efetiva no MBBR controle quando comparada com a remoção observada no MBBR alimentado com o concentrado pré-oxidado (Tabela 4). Deve-se salientar que o MBBR controle foi alimentado durante todo o período dos experimentos com o mesmo influente (concentrado de OI), enquanto o outro MBBR foi alimentado com influentes diferentes no mesmo período (produzidos por diferentes processos oxidativos). Portanto, infere-se que o MBBR controle teve mais tempo para a adaptação e desenvolvimento da comunidade microbiana nitrificante. Por outro lado, o aumento da biodegradabilidade no concentrado previamente oxidado pode ter favorecido a implantação das bactérias heterotróficas no reator. Como consequência, estes organismos que competem por espaço e oxigênio com as nitrificantes promoveram a inibição do processo de nitrificação. De todo modo, a concentração do íon amônio residual no reator alimentado com o concentrado pré-oxidado foi menor do que  $30 \text{ mg L}^{-1}$  (em média). Este resultado sugere que um aumento no tempo de retenção hidráulica do MBBR poderia favorecer a nitrificação e assegurar menores níveis de amônia no efluente tratado.

**Tabela 4: Resultados da nitrificação.**

Processos	Remoção $\text{NH}_4^+$ (%)	Influente $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Residual $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Produzido $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )
Controle	$91 \pm 9$	$109 \pm 50$	$12 \pm 13$	$299 \pm 11$
$\text{O}_3 + \text{MBBR}$	$64 \pm 9$	$83 \pm 10$	$29 \pm 5$	$156 \pm 3$
$\text{O}_3\text{UV} + \text{MBBR}$	$66 \pm 4$	$83 \pm 8$	$26 \pm 5$	$157 \pm 29$
$\text{O}_3\text{H}_2\text{O}_2 + \text{MBBR}$	$69 \pm 7$	$72 \pm 3$	$24 \pm 3$	$134 \pm 13$
$\text{O}_3\text{H}_2\text{O}_2\text{UV} + \text{MBBR}$	$73 \pm 4$	$69 \pm 2$	$19 \pm 3$	$145 \pm 11$

#### *Características da biomassa aderida*

O conteúdo de biomassa aderida (biofilme), expresso como sólidos voláteis (SV), foi determinado e obteve-se valores médios de  $1.500 \text{ mg L}^{-1}$  para o reator controle e  $960 \text{ mg L}^{-1}$  para o reator alimentado com o concentrado pré-oxidado. Em termos de remoção de DQO específica os seguintes resultados médios foram obtidos:  $0,013 - 0,017 \text{ mgDQO}_{\text{removida}} \text{ mg}^{-1}\text{SV}$  (MBBR alimentado com o concentrado oxidado) e  $0,010 \text{ mgDQO}_{\text{removida}} \text{ mg}^{-1}\text{SV}$  (MBBR controle). Os baixos valores de remoção da DQO específica são consequência da baixa carga orgânica aplicada aos reatores e elevada recalcitrância dos poluentes encontrados em concentrados de osmose inversa. Como consequência, o biofilme que se desenvolveu sobre as biomédias foi bastante fino como pode ser observado na Figura 3.



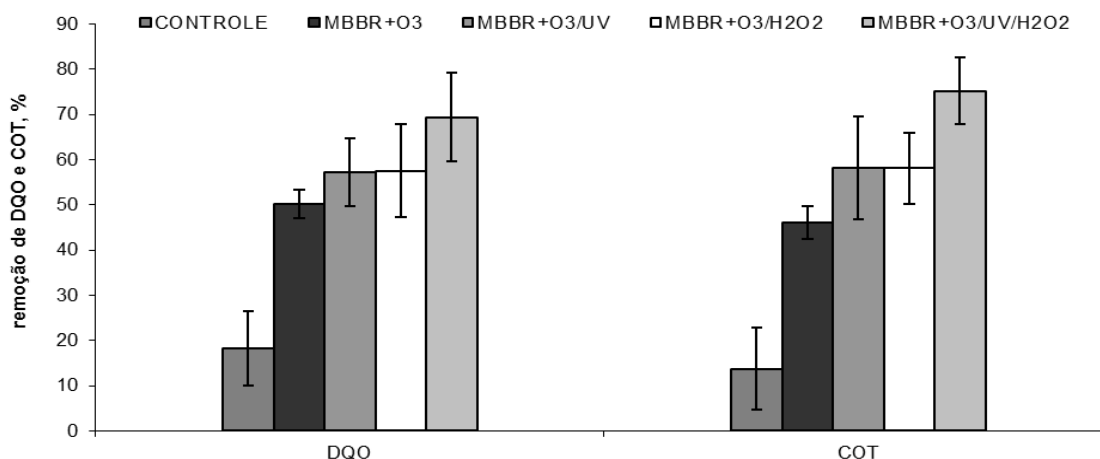
**Figura 3: Fotografias das biomédias utilizadas nos reatores MBBR recobertas com uma fina camada de biofilme.**

#### **Desempenho Global (processos oxidativos+MBBR)**

Analisando os resultados globais obtidos pela combinação dos processos oxidativos com ozônio, peróxido e radiação UV com o tratamento biológico em reator tipo MBBR, foi possível verificar que a oxidação contribuiu efetivamente para alcançar elevados níveis de remoção de matéria orgânica em termos de DQO e COD, como apresentado na Figura 4, na qual os resultados do reator controle foram apresentados somente para comparação.

Quando o concentrado foi previamente tratado por processos oxidativos, o COD do efluente final esteve compreendido entre 6 e  $12 \text{ mg L}^{-1}$ , enquanto para o reator controle o COD não ultrapassou o limite inferior da faixa de 21 a  $68 \text{ mg L}^{-1}$ .





**Figura 4 : Valores comparativos de eficiência de remoção de DQO e COD, com seus respectivos desvios padrão, para os reatores MBBR controle e MBBR+processos oxidativos.**

## CONCLUSÕES

O concentrado de osmose inversa, objeto de estudo deste trabalho, continha um conteúdo de matéria orgânica relativamente baixo e variável ( $24 \pm 6 \text{ mg L}^{-1}$ , COD e  $83 \pm 20 \text{ mg L}^{-1}$ , DQO) assim como concentração de amônia relativamente alta e também variável ( $127 \pm 46 \text{ mg L}^{-1}$ ). Ademais, apresentava moderados níveis de  $\text{Cl}^-$  ( $1.394 \pm 54 \text{ mg L}^{-1}$ ),  $\text{Na}^+$  ( $1.318 \pm 103 \text{ mg L}^{-1}$ ) e  $\text{Ca}^{2+}$  ( $485 \pm 21 \text{ mg L}^{-1}$ ). Adicionalmente, levando em consideração a razão  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  do concentrado (0,06) pode ser considerado não suscetível ao tratamento biológico.

O tratamento do concentrado pelas técnicas de oxidação foi efetivo na remoção de DQO, COD e  $\text{UV}_{254}$ . Como esperado, os resultados obtidos com a ozonização foram mais eficientes quando esta técnica foi combinada com radiação UV ( $\text{O}_3/\text{UV}$ ) e peróxido ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ), sendo que a redução mais efetiva da matéria orgânica foi observada para a combinação com radiação UV e peróxido ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ). A ozonização, principalmente quando aplicada com UV e peróxido promoveu a oxidação de compostos aromáticos e outras substâncias geralmente encontradas em concentrados de osmose. Como consequência, SUVA diminuiu significativamente de 2,1 para  $0,8 - 1,1 \text{ L mg}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , indicando uma queda considerável na aromaticidade da matriz orgânica e um aumento da biodegradabilidade, neste caso expresso pelo aumento da razão  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  de 0,06 (concentrado) para 0,15 – 0,26 (concentrado oxidado).

O tratamento biológico do concentrado de OI no MBBR controle resultou em baixos níveis de remoção para DQO e COD, 18 e 14%, respectivamente. Quando o MBBR foi alimentado com o concentrado pré-oxidado as eficiências de remoção aumentaram, alcançando 36 e 53% para DQO e COD, respectivamente, no caso da utilização do processo combinado  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ . Contudo, a remoção do íon amônio foi mais efetiva no reator controle (91%) do que no reator alimentado com o concentrado pré-oxidado, mesmo quando aplicado o processo  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  (73% de remoção de amônio). Menor tempo para a adaptação das bactérias nitrificantes e condições mais favoráveis para o crescimento das heterotróficas, provavelmente, contribuíram para uma nitrificação menos efetiva no reator alimentado com o concentrado previamente oxidado.

A oxidação do concentrado contribuiu para a obtenção de resultados satisfatórios em termos de redução de matéria orgânica e especialmente na redução da aromaticidade da matriz orgânica. O concentrado de osmose tratado no processo de oxidação e posteriormente biológico (MBBR) apresentou valores residuais de COD na faixa de 6 a  $12 \text{ mgC L}^{-1}$ , indicando que a partir dos tratamentos propostos o concentrado pode alcançar qualidade compatível com propósitos de reúso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDELMELEK, S.B., GREAVES, J., ISHIDA, K.P., COOPER, W.J., SONG, W. Removal of Pharmaceutical and Personal Care Products from Reverse Osmosis Retentate Using Advanced Oxidation Processes. *Environmental Science Technology*, v.45, p.3665–3671, 2011.
2. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup> ed., Washington D.C, 2005.
3. BERNET, N., SANCHEZ, O., CESBRON, D. Modeling Control of Nitrite Accumulation in a Nitrifying Biofilm Reactor, *Biochemical Engineering Journal*, v. 24, p. 173–183, 2005.
4. DIALYNAS, E., MANTZAVINOS, D., DIAMADOPOULOS, E. Advanced treatment of the reverse osmosis concentrate produced during reclamation of municipal wastewater. *Water Research*, v. 42, p. 4603–4608, 2008.
5. EPA Method 415.3. Determination of total organic carbon and specific UV absorbance at 254 nm in source water and drinking water, 2005.
6. KIMURA, K., IWASE, T., KITA, S., WATANABE, Y. Influence of residual organic macromolecules produced in biological wastewater treatment processes on removal of pharmaceuticals by NF/RO membranes. *Water Research*, v. 43, n. 15, p. 3751–3758, 2009.
7. LEE, Y.L., NG, H.Y., ONG, S.L., HU, J.Y., TAO, G., KEKRE, K., VISWANATH, B., LAY, W., SEAH, H. Ozone-biological activated carbon as a pre-treatment process for reverse osmosis brine treatment and recovery. *Water Research*, v. 43, n. 15, p. 3948–3955, 2009.
8. LUOSTARINEN, S., LUSTE, S., VALENTIN, L. Nitrogen Removal from on-site Treated Anaerobic Effluents Using Intermittently Aerated Moving Bed Biofilm Reactors at Low Temperatures. *Water Research*, v. 40, p. 1607–1615, 2006.
9. STOODLEY, L. H. AND STOODLEY, P. Developmental regulation of microbial biofilms. *Biotechnology*, v. 13, p. 228–233, 2002.
10. VENDRAMEL, S., DEZOTTI, M., SANT'ANNA, G. L. Nitrification of an industrial wastewater in a moving-bed biofilm reactor: effect of salt concentration. *Environmental Technology*, v. 32, n. 8, p. 837 – 846, 2011.
11. WESTERHOFF, P., MOON, H., MINAKATA, D., CRITTENDEN, J. Oxidation of organics in retentates from reverse osmosis wastewater reuse facilities. *Water Research*, v. 43, n. 15, p. 3992–3998, 2009.
12. WEISHAAR, J.L., AIKEN, G.R., BERGAMASCHI, B.A., FRAM, M.S., FUJII, R., MOPPER, K.M. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environmental Science Technology*, v. 37, p. 4702–4708, 2003.
13. WINTGENS, T., MELIN, T., SCHAFER, A., KHAN, S., MUSTON, M., BIXIO, D., THOEYE, C. The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. *Desalination*, v. 187, p. 271–282, 2006.