

# Materiais Poliméricos para Tratamento de Água Oleosa: Utilização, Saturação e Regeneração

Yure G. C. Queiros, Márcia D. Clarisse, Roberto S. Oliveira, Breno D. Reis, Elizabete F. Lucas  
*Instituto de Macromoléculas, UFRJ*

Ana M. T. Louvise  
*Cenpes, Petrobrás*

**Resumo:** Resinas poliméricas vêm sendo usadas como materiais alternativos para tratamento de águas oleosas, provenientes da indústria de petróleo, as quais já tenham sido tratadas por métodos convencionais. O objetivo deste trabalho é avaliar o grau de purificação de águas oleosas sintéticas, quando tratadas em colunas de leito fixo empacotadas com resinas poliméricas constituídas por segmentos hidrofílicos e lipofílicos. Foram preparadas águas oleosas sintéticas e a fluorimetria foi utilizada para determinar o teor total de óleos e graxas (TOG) nas amostras de água recém-preparada e após eluição pela coluna. Os resultados mostraram que amostras de água tratadas com a coluna apresentaram valor de TOG não superior a 1% do valor de TOG da água oleosa preparada. Um estudo cinético mostrou que a eficiência de remoção dos contaminantes depende ligeiramente da vazão de eluição do sistema, sendo que valores de desempenho ótimos foram alcançados a uma vazão de 7,0 mL/min. A passagem de um volume de água oleosa de 11.087 vezes o volume do leito da coluna não foi suficiente para atingir a completa saturação do sistema. Ensaio preliminares de regeneração e reutilização da coluna mostraram seu potencial de uso em mais de 1 ciclo de tratamento de água oleosa.

**Palavras-chave:** *Água oleosa, material anfifílico, fluorescência, adsorção.*

## Oily Water Treatment Using Polymeric Material: Use, Saturation and Regeneration

**Abstract:** Polymeric resins have been used as alternative materials for treating oily waters from the petroleum industry, which have already been treated by conventional methods. The objective of this work was to evaluate the purification degree of synthetic oily waters when treated in fixed bed columns packed with hydrophilic/lipophilic resins. Synthetic oily waters were prepared and fluorimetry was used to determine the total grease and oil content (TGOC) of the fresh oily water and the oily water eluted by the column. The results showed that the treated oily water presented a TGOC close to zero ppm. The kinetic study showed that the contaminant removal efficiency slightly depends on the system elution flow rate; optimum removal values were reached at a 7.0 mL/min flow rate. The passage of a water volume 11,087 times the volume of the column bed was not sufficient to observe its complete saturation. Preliminary tests of column regeneration and re-use showed its potential to be used for more than 1 cycle of oily water treatment.

**Keywords:** *Oily water, amphiphilic material, fluorescence, adsorption.*

## Introdução

Estima-se que cerca de 3,2 milhões de toneladas de petróleo sejam lançadas acidentalmente nos oceanos de todo o planeta a cada ano<sup>[1]</sup>.

A produção de petróleo a partir de poços compreende tipicamente uma mistura de produtos, incluindo gás (separado quando os fluidos da produção são recebidos na superfície), partículas de areia (carreadas ao longo do fluxo da produção) e um fluxo de óleo e água. Um reservatório de petróleo em início de produção, em geral, apresenta uma razão óleo/água muito elevada. À medida que o campo se torna maduro, há a tendência dessa razão tornar-se cada vez menor. Poços em início de operação geram fluidos com

cerca de 80%, ou mais, de óleo, enquanto que os poços em campos maduros geram este percentual em água, restando somente 20%, ou menos, de óleo do total produzido<sup>[2]</sup>.

No caso da produção *offshore*, essa água produzida é geralmente descartada em um corpo de água natural ao redor da plataforma produtora. Sabe-se que a presença de impurezas oleosas na água reduz sua qualidade e as autoridades locais proíbem o descarte sem que uma separação primária seja realizada para alcançar uma quantidade de contaminantes inofensiva ao ambiente marinho<sup>[3-5]</sup>. Com relação ao teor total de óleos e graxas (TOG) presentes em águas oleosas, o CONAMA estabeleceu um limite de 20 ppm para a água a ser descartada<sup>[6]</sup>.

Uma conseqüência relacionada a esta problemática en-

**Autor para correspondência:** *Elizabete F. Lucas, Laboratório de Macromoléculas e Colóides na Indústria de Petróleo, IMA, UFRJ, Centro de Tecnologia, Bloco J, Caixa Postal 68525, CEP: 21945-970, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: elucas@ima.ufrj.br*

volve o crescente interesse em pesquisa e desenvolvimento de processos de tratamento de água para reduzir, a níveis aceitáveis, a quantidade de contaminantes nas águas de descarte, principalmente em plataformas de produção de petróleo *offshore*<sup>[3,4]</sup>. Em geral, estes estudos são realizados com água oleosa sintética, isto é, uma água oleosa preparada em laboratório contendo uma concentração total de sais de 55.000 ppm, com uma relação de NaCl para CaCl<sub>2</sub> de 10:1. Estes dois sais são utilizados nesta proporção e concentração para gerar um sistema relativamente simples, porém representativo da água do mar. O uso da própria água do mar em estudos sistemáticos não é possível devido às variações de composição em função do aquífero de amostragem e do tempo de estocagem<sup>[7]</sup>.

Durante as últimas duas décadas, problemas relacionados a impacto ambiental, causados por águas contaminadas, requerem como solução a utilização de métodos sensíveis para se diagnosticar a presença de hidrocarbonetos de petróleo nestes meios. A espectroscopia de fluorescência ultravioleta é amplamente usada para medir a concentração total de produtos oleosos em água, principalmente devido à sua rapidez e simplicidade quando comparada a outros métodos, tais como cromatografia gasosa-espectrometria de massa (CG-MS) ou cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC)<sup>[8]</sup>.

Tradicionalmente, carvões ativados têm sido utilizados como adsorventes para o tratamento de água potável e para o tratamento de águas residuais. O carvão ativado é mencionado como adsorvente de amplo espectro porque ele pode remover uma variedade de compostos orgânicos. Embora o carvão ativado seja um adsorvente efetivo para alguns compostos orgânicos, tais como ácidos graxos e fenóis, a ligação de adsorção entre os grupos funcionais da superfície e algumas espécies orgânicas é normalmente tão forte que o processo de dessorção é difícil e incompleto. Este efeito indesejável limita o uso do carvão ativado como adsorvente para a purificação de águas contendo certos contaminantes onde sua regeneração torna-se problemática, inviabilizando, assim, o reaproveitamento do sistema<sup>[9-11]</sup>.

Resinas poliméricas macrorreticuladas vêm sendo utilizadas como adsorvente alternativo ao uso do carvão ativado na remoção de compostos orgânicos específicos de água contaminada<sup>[12]</sup>. Estas resinas podem adsorver, reversivelmente, compostos orgânicos de soluções ou suspensões e também podem reduzir o problema de dessorção por conta do tipo de ligação formada entre os compostos orgânicos e a superfície da resina<sup>[11]</sup>.

Copolímeros à base de estireno apresentaram alto desempenho na adsorção de compostos orgânicos presentes em águas produzidas onde sua eficiência foi mantida em ciclos superiores a 100 vezes o volume do leito<sup>[9]</sup>. Resinas do tipo Amberlite XAD-16 à base em ésteres acrílicos foram testadas em plataformas *offshore* na Califórnia, com desempenhos superiores a 77% de eficiência de remoção<sup>[13]</sup>. Resinas à base de poli(vinilpiridina) bem como resinas fenólicas vêm sendo testadas, o que comprova o alto potencial destes materiais no tratamento de efluentes aquosos da produção de petróleo<sup>[14,15]</sup>.

Este trabalho apresenta a caracterização física de copolímeros porosos à base de monômeros acrílicos e vinílicos. Os copolímeros foram usados para preparar um sistema de coluna, a fim de avaliar a cinética de adsorção de óleo, a partir de água oleosa sintética, além de realizar ensaios preliminares de saturação e potencial de regeneração dessa coluna.

## Experimental

### Materiais

Duas resinas poliméricas com graus de hidrofiliicidade distintos, à base de divinilbenzeno e metacrilato de metila, foram fornecidas pelo LMCP/IMA/UFRJ<sup>[16]</sup>.

### Caracterização dos materiais poliméricos

A densidade aparente das pérolas foi determinada usando uma modificação do método ASTM D1895. A área específica foi determinada por adsorção de nitrogênio a pressões relativas diferentes, na temperatura do nitrogênio líquido, usando o método BET. O volume de poros dos copolímeros foi determinado por porosimetria de mercúrio. O diâmetro médio de poros foi calculado utilizando os dados de área específica e volume de poros<sup>[16]</sup>.

### Empacotamento de coluna

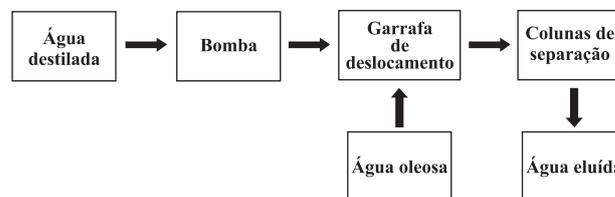
Os materiais poliméricos (R1 e R2) foram empacotados, em série, em uma mesma coluna de aço inoxidável (7,8 mm x 200 mm), usando uma bomba de HPLC<sup>[16]</sup>. Foram preparadas várias colunas iguais para ensaios distintos, uma vez que colunas já utilizadas não poderiam ser comparadas entre si.

### Preparo da água oleosa sintética

A água oleosa sintética foi preparada a partir da dispersão de petróleo em água, sob altas taxas de cisalhamento (agitador Ultra-turrax). As soluções preparadas apresentaram concentrações médias de óleo de 40 ppm, em solução salina de 55000 ppm<sup>[17]</sup>. A fim de otimizar o estudo de saturação da coluna, após passagem de 24.000 mL de água oleosa, o TOG médio foi aumentado para 200 ppm. O valor médio de TOG origina-se da média dos valores de TOG de cada água oleosa preparada a cada dia.

### Procedimento de eluição da água oleosa

A fim de eluir a água oleosa sintética através da coluna de separação, preenchida com as resinas R1 e R2, foi construído um sistema como mostrado na Figura 1.



**Figura 1.** Esquema de eluição de água oleosa através das colunas de separação

O esquema é composto por seis módulos: um vaso contendo água destilada, uma bomba de HPLC (modelo PU 1580, Jasco), uma garrafa de deslocamento de fluido, um recipiente contendo a água oleosa sintética (recém-preparada), uma coluna recheada com material polimérico (R1 e R2) e um recipiente para coleta da água eluída.

O procedimento para passar água oleosa através da coluna contendo material polimérico consiste em bombear água destilada para dentro da garrafa de deslocamento, a qual contém água oleosa, que é deslocada para dentro da coluna a uma vazão de 7,0 mL/min. A garrafa de deslocamento possui o interior esférico, com capacidade de 1.000 mL e contém um pistão de borracha que a divide em dois compartimentos: um é preenchido com água destilada, com o auxílio da bomba, e o outro, contendo água oleosa, tem seu volume reduzido, pois a água oleosa vai sendo deslocada para dentro da coluna de separação. O uso da garrafa de deslocamento tem como objetivo evitar o contato da água oleosa com a bomba de HPLC, uma vez que o contato com a elevada salinidade da água oleosa (55.000 ppm) poderia danificá-la. A água oleosa deslocada da garrafa de deslocamento permeia a coluna recheada com polímero e alíquotas da água eluída são coletadas para análise do TOG.

#### **Cinética de adsorção**

As colunas empacotadas com polímero foram avaliadas em uma faixa de vazão de 5 a 50 mL/min de água oleosa sintética previamente preparada. Foram utilizadas colunas virgens para cada uma das vazões estudadas. Para cada uma das vazões, foram eluídos 1.000 mL de água oleosa, dos quais foram retiradas alíquotas a cada 100 mL para determinação do TOG.

#### **Ensaio de saturação**

Água oleosa sintética (de concentração conhecida) foi eluída através de uma coluna a uma vazão de 7,0 mL/min. Foram eluídos um total de 11.087 vezes o volume de leito da coluna.

#### **Determinação do teor total de óleos e graxas (TOG)**

Uma alíquota de 90 mL de água oleosa é colocada em uma proveta de 100 mL de capacidade. A esta proveta são adicionados 10 mL de n-hexano e o sistema é agitado por, aproximadamente, 5 minutos, a fim de extrair a maior quantidade possível de fase oleosa para o meio contendo n-hexano. Após completa separação, a fase orgânica (que contém óleos e graxas) localizada na parte superior do tubo é extraída. A amostra é transferida para a cubeta do espectrofluorímetro, o qual é previamente calibrado com duas soluções: n-hexano puro e solução concentrada de água oleosa a 225 mg/L. O valor de concentração da amostra é, então, lido diretamente do equipamento.

#### **Regeneração da coluna**

Em uma coluna parcialmente saturada e seguindo a mesma metodologia de passagem de água oleosa, 5.000 mL de uma

mistura de solventes (etanol/n-hexano – 30/70) foi eluída pela coluna no sentido inverso ao da passagem de água oleosa.

#### **Ensaio de re-saturação**

A coluna regenerada foi submetida a um novo processo de saturação, seguindo a mesma metodologia utilizada na primeira saturação, onde a vazão utilizada foi de 7,0 mL/min. O valor médio de TOG da água oleosa sintética utilizada neste teste foi de 200 ppm.

#### **Avaliação da integridade mecânica da resina (microscopia ótica)**

Para avaliar a integridade estrutural das resinas de tratamento de água contaminada quando submetidas a altos valores de pressão em colunas de purificação, foi lançado mão do recurso de microscopia, onde a coluna na qual a resina foi submetida à maior vazão (50 mL/min) foi desempacotada e duas amostras (referentes ao topo e ao fundo da coluna) foram separadas e analisadas com auxílio de microscópio ótico Olympus, modelo SZH10 com câmera fotográfica da marca Olympus acoplada.

### **Resultados e Discussão**

#### **Caracterização dos materiais poliméricos**

A Tabela 1 mostra os resultados de caracterização dos materiais poliméricos R1 e R2, os quais apresentaram estruturas morfológicas distintas, provavelmente devido a variações nas condições reacionais utilizadas para obtenção de cada uma das amostras.

Resultados preliminares mostraram que a estrutura morfológica e o grau de hidrofobicidade dos materiais poliméricos influenciam no seu desempenho em reter óleos e graxas e os materiais poliméricos R1 e R2, empacotados em série na coluna de separação, apresentaram elevado potencial de retenção de óleo<sup>[16]</sup>. Baseado nestes resultados, foi realizado um estudo mais sistemático tanto da cinética de remoção de contaminantes, a partir de água oleosa sintética, quanto de saturação e regeneração da coluna recheada com material polimérico.

#### **Estudo da cinética de retenção de óleo**

O estudo cinético foi realizado com o objetivo de demonstrar a relação entre a eficiência de remoção de contaminantes e a vazão de eluição da água oleosa pela coluna. Neste estudo, a vazão de água oleosa a ser eluída pela coluna foi variada entre 5 e 50 mL/min. A Tabela 2 lista os valores de TOG

**Tabela 1.** Dados de caracterização dos materiais poliméricos

Polímero	A (m <sup>2</sup> /g)	Vp (cm <sup>3</sup> /g)	Dp (Å)	dap (g/cm <sup>3</sup> )
R1	646	0,86	146	0,33
R2	70	0,56	463	0,34

A = Área específica; Vp = Volume de poros; Dp = Diâmetro médio de poro; dap = Densidade aparente

**Tabela 2.** Desempenho das colunas de purificação em função da vazão da água oleosa eluída

Coluna	Vazão (mL/min)	TOG inicial (ppm ± 0,01)	TOG final médio <sup>(a)</sup> (ppm)	Redução de óleo (%)
1	5,0	29,67	0,37 (± 0,10)	98,75
2	6,0	24,83	0,08 (± 0,24)	99,67
3	7,0	22,16	0,00 (± 0,00)	100,00
4	9,0	15,00	0,22 (± 0,05)	98,53
5	10,0	27,49	0,45 (± 0,10)	98,36
6	15,0	24,87	0,45 (± 0,10)	99,32
7	20,0	24,85	0,17 (± 0,07)	99,50
8	50,0	50,02	1,04 (± 0,60)	97,92

<sup>(a)</sup> Valor médio das 10 alíquotas de água eluída analisadas

da água oleosa recém-preparada e da água eluída da coluna, bem como a porcentagem de redução de óleo na água.

Pode ser observado que as porcentagens de remoção de contaminantes foram bem elevadas para todas as vazões testadas, demonstrando a alta eficiência do sistema desenvolvido (produtos e processo). Entretanto, o valor máximo de retenção de óleo foi alcançado na vazão de 7,0 mL/min, a qual foi considerada como a vazão ótima para eluição da água oleosa. Esta vazão ótima foi, então, utilizada nos ensaios posteriores, contudo pode-se destacar também que à medida que vazões superiores são impostas à coluna seu desempenho se mantém razoavelmente estável, visto que na maior vazão alcançada (50mL/min.), a eficiência do sistema foi superior a 97%.

### Saturação da coluna

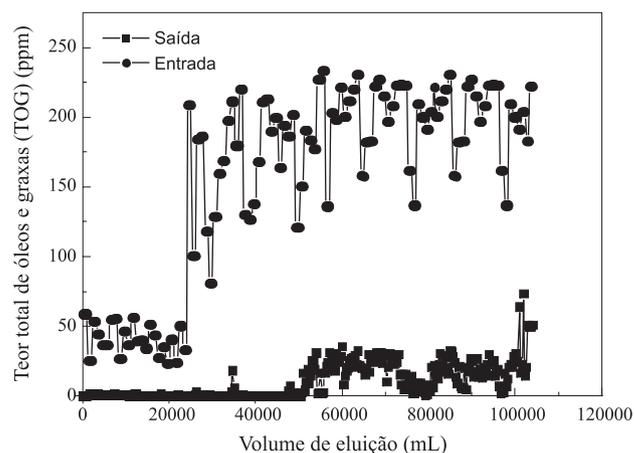
O processo de saturação da coluna de purificação teve como objetivo observar o comportamento do sistema, quanto à remoção de óleo, frente à passagem contínua de água oleosa. O estudo foi realizado em duas etapas: inicialmente, foram eluídos 25.000 mL de água oleosa de valores de TOG médios de 40 ppm; em seguida, foram eluídos 80.000 mL de água oleosa de valores de TOG médios de 200 ppm, a fim de acelerar o processo de saturação da coluna. Na Figura 2 pode-se observar a elevada capacidade do sistema de remoção de óleo. O perfil de desempenho da primeira etapa (TOG da água oleosa de 40 ppm, simulando uma água oleosa já tratada por métodos convencionais) mostrou elevado desempenho, onde os valores de TOG da água eluída ficaram em torno de 0,36 ppm. Nesta primeira etapa, a capacidade de remoção de óleo pelo polímero foi em torno de 99,14%. Na segunda etapa, quando os valores de TOG da água oleosa de entrada foram bem maiores (~200 ppm), foram observados comportamentos distintos em função do tempo de eluição: durante os primeiros 25.000 mL desta etapa, o sistema exibiu o mesmo perfil de retenção observado na primeira etapa, com valores médios de TOG da água eluída de 0,65 ppm e capacidade de retenção de 99,65%. A partir de então, a água eluída do sistema começou a exibir valores de ~21,6 ppm e capacidade de remoção de contaminantes de 88,30%, até um volume total de 73.000 mL. A partir deste

volume de eluição até o final do teste com 85.000 mL eluídos, o perfil da curva de retenção foi modificado novamente, com valores de TOG da água eluída em torno de 11,94 ppm e capacidade de retenção média de 93,54%. Após passagem de 102.000 mL de água oleosa pela coluna, a água passou a eluir com TOG médio superior a 40 ppm, que é superior ao limite estabelecido pelas normas brasileiras<sup>[6]</sup>, e, por isso, foi considerado que a coluna atingiu seu limite de aproveitamento (saturação relativa), apesar do TOG de saída ainda não ser o mesmo que o TOG de entrada. Dessa forma, após eluídos cerca de 11.087 vezes o volume do leito, o sistema ainda poderia continuar sendo utilizado, tendo em vista que a saturação do meio não fora atingida de fato e que a eficiência média após 100.000 mL é de 75%.

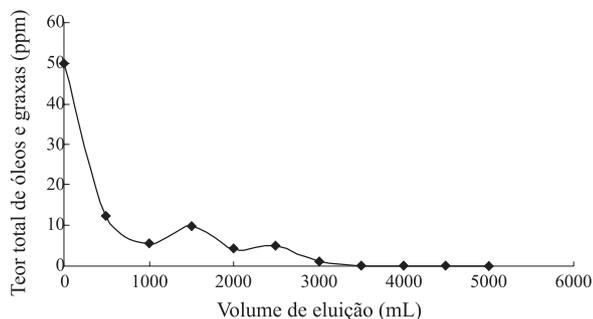
Vale a pena ressaltar que, para aplicação do tratamento de água produzida, o valor de volume eluído antes de atingir a saturação da coluna tende a ser muito maior que 102 litros, uma vez que os valores de TOG das águas oleosas a serem tratadas estão em torno de 20 ppm, bem inferiores aos utilizados neste estudo.

Estes resultados corroboram o bom desempenho dos copolímeros à base de divinilbenzeno-metacrilato de metila frente aos já apresentados na literatura. Os compostos à base de estireno apresentaram boa eficiência somente até 100 vezes o volume de seus leitos e os de base meramente acrílica tiveram eficiência de partida de 77%, próxima ao teor de 75% do sistema em estudo após a eluição de 102.000 mL. Esta diferença não é causada pela variação na concentração da água oleosa em cada um dos estudos, visto que estas se encontram em uma mesma ordem de grandeza (200 ppm neste estudo e 300 ppm na literatura<sup>[13]</sup>). O resultado de 77% de eficiência para as resinas de base acrílica se mantém nos primeiros 10 litros de água eluída e ao final de 50 litros este valor cai para próximo de 60%, ratificando a melhor eficiência dos compostos contendo polidivinilbenzeno.

A composição da resina aliada ao seu volume de poros constituem o diferencial entre a eficiência do material utilizado neste estudo e aqueles apresentados na literatura<sup>[9,13]</sup>.



**Figura 2.** Perfil de remoção de contaminantes em função do volume de água oleosa eluída pela coluna. Entrada representa o TOG da água oleosa sintética recém-preparada. Saída representa o TOG da água oleosa após eluição pela coluna.



**Figura 3.** Variação do TOG do fluido eluído da coluna em função do volume de solvente de regeneração

O comportamento oscilatório do perfil de retenção de contaminantes deve-se, provavelmente, ao fenômeno de adsorção e dessorção do material polimérico. Determinadas partes do sistema podem adsorver uma grande quantidade de óleo, entretanto, em função do arraste proporcionado pelo fluxo de água oleosa, ocorre o fenômeno de dessorção e, por isso, uma certa quantidade de óleo é removida da superfície do polímero.

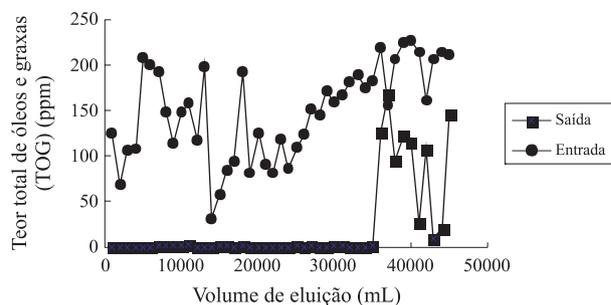
#### Regeneração da coluna

A remoção dos contaminantes presentes na coluna após sua saturação foi realizada com o auxílio de um par de solventes de polaridades variadas: etanol, que é bem polar, e n-hexano, que é essencialmente apolar. Esta mistura foi utilizada com o intuito de remover um amplo espectro de contaminantes, os quais devem ter ficado retidos na coluna. Após passagem de, aproximadamente, 3.500 mL da mistura de solventes, o TOG total do fluido eluído caiu de ~47 ppm para zero ppm (Figura 3). Estes resultados são preliminares, pois ainda não é possível afirmar que todos os contaminantes adsorvidos na coluna foram dessorvidos, uma vez que elementos não detectados pela técnica utilizada (espectrofluorimetria) e nas condições estabelecidas podem ainda estar eluindo da coluna ou adsorvidos na mesma.

#### Ensaio de re-saturação

A Figura 4 apresenta os valores de TOG das amostras de água oleosa sintética e o TOG das alíquotas eluídas da coluna regenerada. Após a eluição de 35.000 mL de água oleosa, isto é, 3.646 vezes o volume do leito, as frações eluídas mantiveram-se em 0 ppm. Este processo foi conduzido até o volume de 45.000 mL, onde a coluna iniciou o processo de saturação, com valores de TOG eluído oscilando entre 150 e 10 ppm. Isso reflete claramente o início do processo de adsorção/dessorção do sistema que, a julgar pela análise realizada na saturação a partir da resina virgem, este ainda seria capaz de manter condições de purificação de meios oleosos por mais algum tempo. Contudo, o processo de re-saturação foi considerado concluído por ter ultrapassado os valores máximos de óleo em água exigidos pela legislação.

A coluna regenerada atingiu a saturação com um volume eluído bem inferior ao da coluna virgem. De qualquer modo, estes resultados preliminares mostram o alto potencial de regeneração da coluna, pois moléculas contaminantes puderam



**Figura 4.** Perfil de remoção de contaminantes em função do volume de água oleosa eluída pela coluna após sua regeneração. Entrada representa o TOG da água oleosa sintética recém-preparada. Saída representa o TOG da água oleosa após eluição pela coluna.

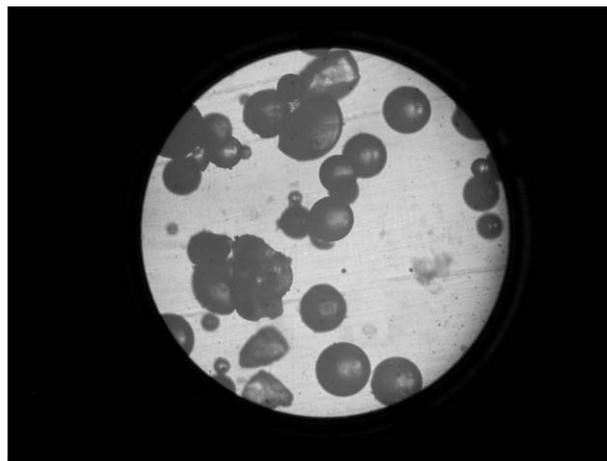
ser dessorvidas da estrutura do polímero. Isto indica que a coluna, após processo adequado de regeneração, poderá ser reutilizada, revertendo em economia para o processo global. Dessa maneira, este tipo de resina é mais vantajoso frente aos tradicionais adsorvedores à base de carvão ativo, que além de serem pouco eficientes para alguns compostos orgânicos de baixa massa molar são de difícil regeneração.

#### Avaliação da integridade mecânica da resina (microscopia ótica)

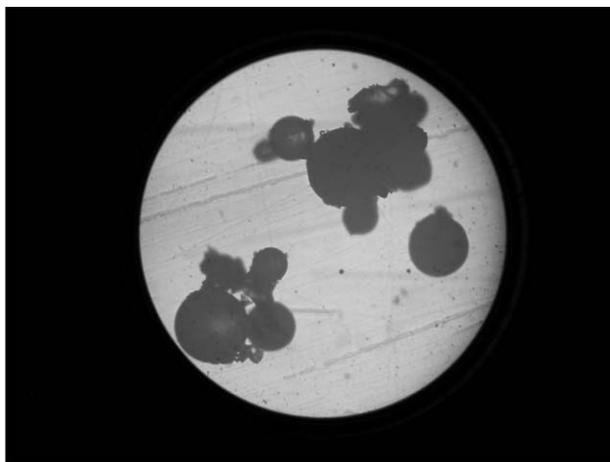
A Figura 5 mostra a microscopia ótica da resina retirada da parte superior da coluna (saída de água oleosa) e submetida a uma vazão de água de 50 mL/min. Observa-se, de forma bastante nítida, a resistência mecânica do material uma vez que a maior parte das partículas mantiveram sua esfericidade. Este resultado era, de certa forma, esperado visto que esta parte da coluna possui a tendência de sofrer menos os impactos das variações de vazão e, por conseguinte, de pressão.

A Figura 6 mostra que apesar de bastante contaminadas com petróleo, a ponto de estarem muito escuras e em forma de grumos, as esferas retiradas da parte inferior da coluna (entrada de água oleosa) permanecem preservadas em sua maioria.

Estes resultados evidenciam a boa resistência mecânica da resina ao longo de toda a coluna.



**Figura 5.** Microscopia ótica da resina após passagem de água oleosa em vazão de 50 mL/min. (parte superior da coluna)



**Figura 6.** Microscopia ótica da resina após passagem de água oleosa em vazão de 50 mL/min. (parte inferior da coluna)

Os estudos realizados até então mostram que este sistema polimérico pode ser empacotado em colunas de dimensões maiores para testes em escala industrial, devido ao seu bom rendimento na retenção de óleo, a uma vazão elevada, ao potencial de reutilização e à boa estabilidade mecânica observada.

## Conclusões

Sistemas de purificação de águas oleosas, constituídos de colunas recheadas com material polimérico, apresentam excelente desempenho no tratamento de águas já tratadas por métodos convencionais, isto é, águas oleosas com TOG  $\leq$  a 20 ppm. A água, após tratamento, apresenta um TOG inferior a 1,0 ppm. O desempenho máximo é alcançado a uma vazão de 7 mL/min, entretanto, na faixa de vazão de 5,0 a 50,0 mL/min, a eficiência da coluna não é inferior a 98% de redução de óleo, tomando como referência a água oleosa preparada para o ensaio.

A passagem de um volume de 11.087 vezes o volume de leito da coluna leva à eluição de água com TOG em torno de 40 ppm (valor superior ao limite estabelecido pelo CONAMA), entretanto ainda está longe da completa saturação do sistema.

Resinas à base de divinilbenzeno e metacrilato de metila (DVB-MMA) apresentam uma estrutura satisfatória no que diz respeito à adsorção de contaminantes provenientes de águas produzidas, onde sua estrutura anfifílica foi capaz de reter, com grande eficiência, tanto componentes polares quanto apolares.

Ensaio preliminares de regeneração e reutilização da coluna, associados a resistência mecânica da resina, evidenciam seu potencial de uso em mais de 1 ciclo de tratamento de água oleosa, o que reverte em economia para o processo global.

Devido ao seu bom rendimento na retenção de óleo (a uma vazão elevada), ao potencial de reutilização e à boa estabilidade mecânica, o sistema polimérico estudado pode ser empacotado em colunas de dimensões maiores para testes em escala industrial.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CENPES/PETROBRÁS, CNPq, CAPES e FAPERJ.

## Referências Bibliográficas

1. Nicodem, D. E.; Guedes, C. L. B. & Correa, R. J. - *Marine Chemistry*, 63, p.93 (1998).
2. Morrow, L. R.; Miranda, N. R.; Mártir, W. K. & Aghazeynali, H. USPTO 5,804,078 (1998).
3. Frankiewicz, T. C. & Gerlach, J. USPTO 6,117,333 (2000).
4. Kenawy, F. A.; Kandil, M. E.; Fouad, M. A. & Aboarab, T.W. - *SPE Production & Facilities*, p.112 (1997).
5. Meijer, D. Th. - "Field-proven removal of dissolved and dispersed hydrocarbons at commercial scale from offshore produced water by the macro porous polymer-extraction technology", in: *Produced Water Workshop, Conference in Canada, 26-27 March (2003)*.
6. CONAMA - "Resolução do conselho nacional do meio ambiente", CONAMA Nº 20 (1986).
7. Lopes, H.E.; Oliveira, R.C.G.; Teixeira, C.L.S. - 28º Relatório parcial do CENPES, Divisão de Exporação (1999).
8. Filippova, E. M.; Chubarov, V. V. & Fadeev, V.V. - *Can. J. Appl. Spectr.*, 38(5), p.139 (1993).
9. Ali, S. A.; Darlington, L. W.; Occapinti, J- *Oil & Gas Journal*, Nov. 2, p. 73-78 (1998).
10. Fox, C. R. - *Chem. Eng. Prog.*, 75 (8), p. 70-77 (1979).
11. Cornel P.; Sontheimer, H. - *Chem. Eng. Sci.*, 41 (7), p. 1791-1800 (1986).
12. Weber, W. J. Jr.; Vliet, B. M. - *J. AWWA*, 73(8), p. 420-426 (1981).
13. Means, C. M.; Braden, M. L. USPTO 5,135,656 (1992).
14. Darlington, L.W.; Yuchs, S.E. USPTO 5,922,206 (1999).
15. Gallup, D.L. USPTO 5,614,100 (1997).
16. Carvalho, M. S.; Clarisse, M. D. & Lucas, E. F. - "Evaluation of the polymeric materials (DVB copolymers) for produced water treatment", in: *Proceedings of 10<sup>th</sup> Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, SPE 78585*, p. 645, Emirados Árabes (2002).
17. Clarisse, M. D. - "Síntese e caracterização de resinas porosas e avaliação do potencial de utilização no tratamento de água oleosa", Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil (2005).

Enviado: 24/10/05

Reenviado: 13/03/06

Aprovado: 18/03/06