

1 INTRODUÇÃO

Os processos de separação por membranas vêm crescendo e se desenvolvendo muito nas últimas décadas. Sua capacidade de adequação às mais diversas aplicações explica a atenção dispensada e os tornam especialmente atraentes quando o objetivo é o tratamento de água e/ou efluentes.

A cada dia que passa, as previsões pessimistas relacionadas à escassez de água se mostram mais próximas de nossa realidade. A necessidade de água doce é inerente à vida humana, por esta razão, todos os processos que geram água com características satisfatórias para utilização nas mais diferentes atividades são de interesse prioritário.

Recentemente, a nanofiltração, processo de separação por membranas (PSM) cuja força motriz é o gradiente de pressão, e que apresenta uma seletividade diferenciada a íons em solução, passou a ser encarada como uma tecnologia econômica e ambientalmente viável para o tratamento de água do mar, águas salobras e efluentes com salinidade variada.

Independente da finalidade, a NF, geralmente, não é encarada como um processo alternativo, e sim como um coadjuvante quando se deseja alcançar uma melhoria na qualidade do tratamento ou ainda uma diminuição de custos de produção. (Mulder, 1991)

Uma aplicação em que a eficiência da NF vem se mostrando interessante, é a dessulfatação de água do mar para injeção em poços de extração de petróleo, principalmente em poços *off shore*, onde a água do mar é a opção viável, até mesmo por fatores logísticos.

O sulfato presente em qualquer tipo de corrente a ser tratada, pode significar um alto potencial de problemas relacionados a incrustações, por essa razão, se torna conveniente despender uma atenção especial à eliminação deste composto. (Yuan, 1994)

Os processos convencionalmente utilizados para separação de íons divalentes da água do mar são: precipitação química, troca iônica,

eletrodiálise, osmose inversa e mais recentemente nanofiltração (Van der Bruggen, 2002).

A tecnologia de membranas de nanofiltração, para dessulfatação de água do mar com objetivo de utilização desta como fluido de injeção, foi pioneiramente utilizada pela firma americana Marathon Oil, que instalou a primeira unidade de remoção de sulfato em 1988, na plataforma Brae A, no Mar do Norte e a segunda em uma plataforma no Golfo do México.

Em um esforço conjunto da Marathon Oil com a Film Tec Corporation, subsidiária da Dow Chemical Company, foi desenvolvida uma membrana cuja característica principal era a capacidade de remover seletivamente íons sulfato da água do mar, mantendo em níveis mais altos a salinidade na forma de íons Cl⁻ e Na⁺.

Os relatos da experiência citada mostraram que a nanofiltração pode ser uma eficiente ferramenta no tratamento de água de injeção, pois, além de eliminar o sulfato que de forma geral é um composto potencial gerador de incrustações, é possível manter a salinidade da água de injeção, fato que garante a manutenção da injetividade do poço.

Um problema que sempre surge quando se utilizam membranas é a diminuição da eficiência do processo em função do tempo. Na maioria dos casos, o principal causador desta perda de eficiência é o fenômeno conhecido como *fouling* (Knyazkova, 1999; Lian-Shin, 1999(a)). Apesar de não haver uma tradução exata para este termo, no decorrer deste texto utilizaremos a palavra incrustação para definir tal fenômeno.

Embora a etapa de nanofiltração seja precedida por outros processos de tratamento, a água do mar tem características singulares com relação à concentração e variedade de espécies presentes. Por essa razão, a incrustação é sem dúvida um “gargalo” do processo.

A incrustação é um fenômeno que consiste na adsorção ou deposição de material na superfície da membrana ou ainda no interior dos poros da mesma (Tromper, 1983; Rodriguez, 2002; Palacio, 1998). Esta adsorção cria uma resistência adicional ao fluxo de massa através do meio levando, em consequência, a uma queda no fluxo de permeado que é o produto final da operação (Her, 2000).

Os mecanismos relacionados ao *fouling* nas membranas são complexos e ainda não são bem entendidos, especialmente no caso de

membranas “com poros menores” de nanofiltração (NF) ou densas como as utilizadas em processos de osmose inversa (OI), (Dydo, 2003; Kogutid, 2002; Yebra, 2004).

Em função da importância do assunto, revisões abrangentes e numerosos estudos experimentais têm sido conduzidos por diversos grupos de pesquisa pelo mundo (Fyles, 2000; Jarusutthirak, 2002; Kogutid, 2002; Lipp, 1990; Sheikholeslami, 1999; Tromper, 1983). O problema vem sendo atacado por diferentes ângulos, pois, para que seja possível minimizar a perda de eficiência das membranas, decorrente das incrustações, é necessário (Kogutid, 2002):

- Conhecer a extensão e o mecanismo de formação do *fouling*;
- Estudar a composição e características dos depósitos na superfície e nos poros das membranas;
- Analisar as mudanças causadas nas membranas em decorrência de tratamentos físicos e químicos de limpeza;
- Desenvolver instrumentos matemáticos capazes de auxiliar no entendimento do fenômeno;
- Melhorar as técnicas de tratamento e/ou remediação;
- Propor possíveis mudanças estruturais dos polímeros que compõem as membranas visando adequar a membrana a objetivos de separação cada vez mais específicos.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o desenvolvimento de incrustação inorgânica em membrana comercial de NF, dando ênfase a dessulfatação de soluções salinas simples, binárias e multicomponentes (água do mar sintética).

Como o foco do estudo é a incrustação inorgânica, conhecer os mecanismos de formação e analisar a influência dos parâmetros de operação, bem como as interações iônicas capazes de interferir neste processo são importantes instrumentos para solução de problemas operacionais.

Para o estudo proposto, as correntes efluentes do processo foram monitoradas através do acompanhamento de suas condutividades ao longo dos experimentos e das variações de fluxo com tempo, a quantificação dos íons presentes ao longo do tempo foi feita por cromatografia iônica.

O desenvolvimento de incrustação na superfície da membrana será acompanhado através da observação da variação do fluxo permeado com o tempo, caracterização da membrana por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e ainda qualificação do material depositado por EDS.

Com base em estudos desenvolvidos na área, e em função da disponibilidade, a membrana comercial selecionada para o desenvolvimento da parte experimental do trabalho foi a SR-90-400 (Dow/Filmtec).