



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

A UTILIZAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO NO CONTROLE DA FORMAÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS PROVENIENTES DE TORRES DE RESFRIAMENTO

H.E.P. SCHLÜTER¹, A.L. MARTINS², H.F.L. SANTOS³, C.P. BORGES⁴ E H.C. FERRAZ⁵

^{1, 2, 3} Petróleo Brasileiro S.A.

^{4, 5} Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Química da COPPE
E-mail para contato: helga@petrobras.com.br

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi avaliar a ação do campo magnético na prevenção e controle de incrustações na superfície de membranas de osmose inversa. Os experimentos foram realizados em Estação de Tratamento de Efluentes. Os principais parâmetros monitorados foram o diferencial de pressão por estágio e a vazão de permeado. Os dispositivos utilizados são ímãs permanentes (liga NdFeB) e foram dimensionados conforme recomendado pelo fabricante. Os dispositivos foram instalados a montante do primeiro e do segundo estágios. Observam-se ganhos nos dois estágios das membranas e as limpezas dos trens espaçaram de cada 4 para 15 dias. A diminuição das limpezas aumenta a vida útil das membranas, e diminui os custos com produtos químicos, energia e HH, além de gerar menos efluente para descarte. O aumento do fluxo de permeado, ou seja, de efluente tratado, contribui de forma positiva para o reúso da água e diminui a captação de água da concessionária.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são bens valiosos que fazem parte da maioria das atividades produtivas que o homem desenvolveu, cumprindo importante papel biológico e social, já que não há vida sem água. Neste contexto, a crescente escassez mundial de água potável é uma preocupação iminente neste novo milênio. Para combater essa escassez, vários países vêm tentando explorar fontes alternativas. Entre as soluções em estudo, uma tem se destacado nas últimas décadas: a dessalinização de águas salobras e da água do mar por processos de separação com membranas (PSM) (Carvalho, 2005).

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

As incrustações inorgânicas, que são depósitos de minerais sólidos, resultam da precipitação de sais parcialmente solúveis inorgânicos, que se formam sobre as superfícies. O processo é influenciado por mudanças na concentração, temperatura e no pH, que alteram a solubilidade desses cristais incrustantes presentes em um meio aquoso (Faruk et al., 2000; Donalson et al., 1987; Farshad et al., 2002; Holysz et al., 2002). Ou ainda, pela combinação dos fatores: mudança de pressão, impurezas, aditivos, variação da vazão, e vaporização de gás e mistura de águas incompatíveis.

A principal limitação para a utilização de membranas em plantas de processo de tratamento de água é a formação de incrustações (Potts et al., 1981). As incrustações provocam uma diminuição no fluxo de água através da membrana e um aumento na passagem de íons, afetando o desempenho e a vida útil das membranas (Elimelech et al., 1996). As incrustações que aparecem nas membranas de osmose inversa podem ser classificadas em quatro categorias: (1) sais pouco solúveis (2), matéria biológica (3), compostos orgânicos, e (4) partículas coloidais (Potts et al., 1981).

Como a redução do fluxo permeado por deposição de compostos inorgânicos é um dos efeitos mais nocivos para o desempenho dos sistemas de osmose inversa, o estudo de uma tecnologia atuando nas propriedades interfaciais das soluções aquosas que as tornem capazes de minimizar a possibilidade de incrustação é de grande relevância para a tecnologia dos processos com membranas.

Como forma de prevenção ao aparecimento de incrustações, a utilização do tratamento magnético é interessante porque pode diminuir ou mesmo eliminar a necessidade da utilização de produtos químicos antiincrustantes. Trata-se de uma tecnologia limpa, de baixo custo, fácil montagem e que dispensa manutenção.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi estudar a ação do campo magnético sobre o desenvolvimento de incrustações sobre a superfície de membranas no decorrer do processo de osmose inversa.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. Dispositivos Magnéticos

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO



Os dispositivos utilizados são do tipo ímãs permanentes compostos por ligas do tipo Neodímio-Ferro-Boro. O uso dessas novas ligas (os ímãs de alta energia) tem permitido alcançar níveis elevados na densidade de fluxo na região (Queiroz et al., 2011).

Os dispositivos magnéticos (Figura 1) foram colocados em diferentes pontos da tubulação, a montante do primeiro e do segundo estágios, como ilustrado na Figura 2.



Figura 1: Fotografia dos dispositivos magnéticos.

3.2 Sistema de Osmose Inversa

Os dispositivos magnéticos foram instalados no dia 02.07.2015 na Estação de Tratamento e Reúso de Água (ETRA), do CENPES. Os testes foram iniciados em 15.07.2015 e prosseguiram até 27.01.2016.

O sistema de osmose inversa da ETRA está dimensionado para uma produção nominal de $21,6\text{m}^3/\text{h}$ a partir de uma vazão de alimentação de $27\text{m}^3/\text{h}$, apresentando recuperação de 80%.

O sistema é composto por três trens de osmose inversa. Cada trem apresenta dois estágios, sendo:

1^o estágio: 2 vasos x 6 elementos

2^o estágio: 1 vaso x 6 elementos

As membranas utilizadas foram fabricadas pela Empresa Dow e são do tipo BW30-400/34i-FR. As membranas de osmose inversa são confeccionadas em poliamida e dispostas em módulos do tipo espiral (Figura 2).



Figura 2 - Sistema de Osmose Inversa antes da instalação.

A água de alimentação é distribuída nos trens de osmose inversa, conforme operação. Em cada trem, a água será distribuída entre os dois vasos de osmose inversa do primeiro estágio (Z-0279.00 001 A/B), cada um deles com 6 elementos de Ø8”(Figura 3). Cada estágio gera 2 fluxos: o permeado e o concentrado (Figura 3).

O concentrado gerado nos dois vasos do primeiro estágio alimentará o vaso do segundo estágio (Z-0279.00 001 C), que também contém 6 elementos de Ø8”(Figura 2). O concentrado gerado no segundo estágio terá parte direcionada à rede coletora de esgotos da CEDAE e parte recirculada ao tanque de água filtrada de forma a proporcionar um acréscimo de vazão de alimentação e obter taxas lineares nas membranas, condizentes com a qualidade da água de alimentação e as características das membranas.

O permeado gerado nos dois vasos do primeiro estágio se somará ao permeado gerado no vaso do segundo estágio, totalizando o fluxo total de permeado de um trem, cujo destino final será o tanque de reuso industrial BBC-0279.00 011.

Ocorre dosagem de anti-incrustante com o objetivo de evitar a precipitação de sais nas membranas e dosagem de biocida para evitar a formação de bio-fouling na superfície das membranas.

Sempre que ocorrer um aumento de 15% da perda de carga, as membranas passam por um processo de limpeza química. A duração da limpeza química varia de 4 a 16 horas, conforme o tipo de contaminante depositado na superfície da membrana e o tipo de produto de limpeza escolhido.

A

Figura apresenta esquematicamente o sistema de membranas e a posição em que os dispositivos foram instalados (representados em verde). Os dispositivos instalados estão apresentados na Figura 3.

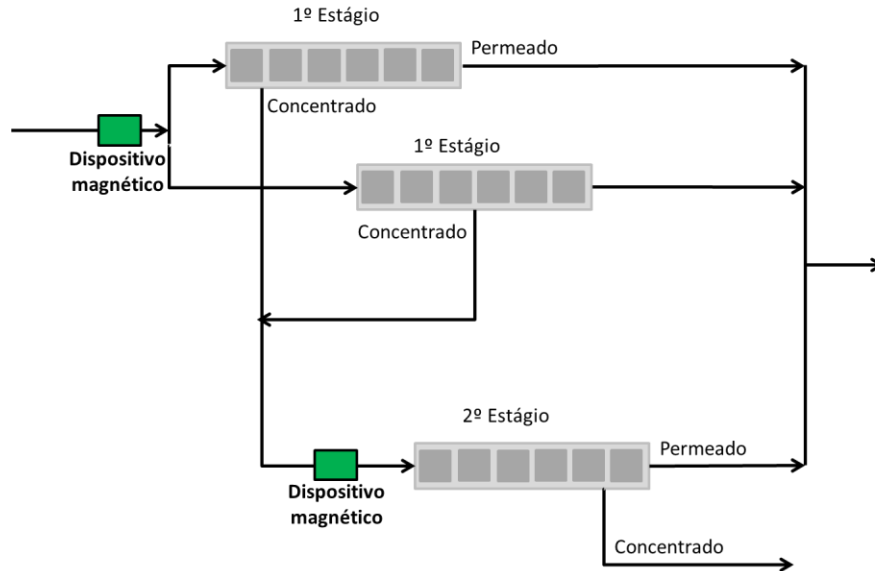


Figura 3 - Configuração do sistema de Osmose Inversa com os dispositivos magnéticos instalados.

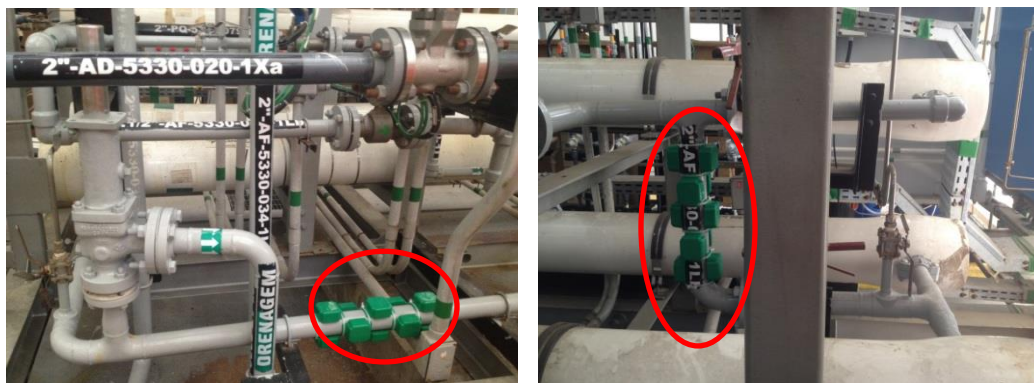
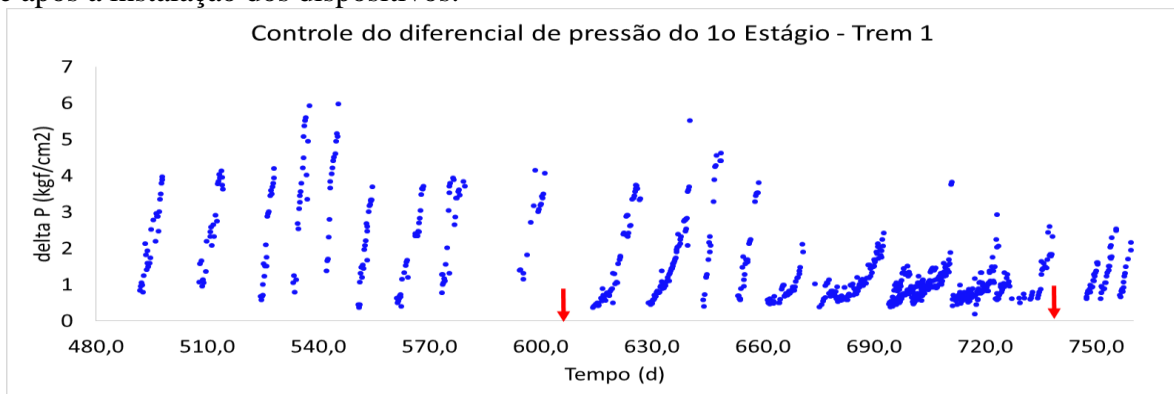


Figura 4 - Sistema de Osmose Inversa após a instalação dos dispositivos.

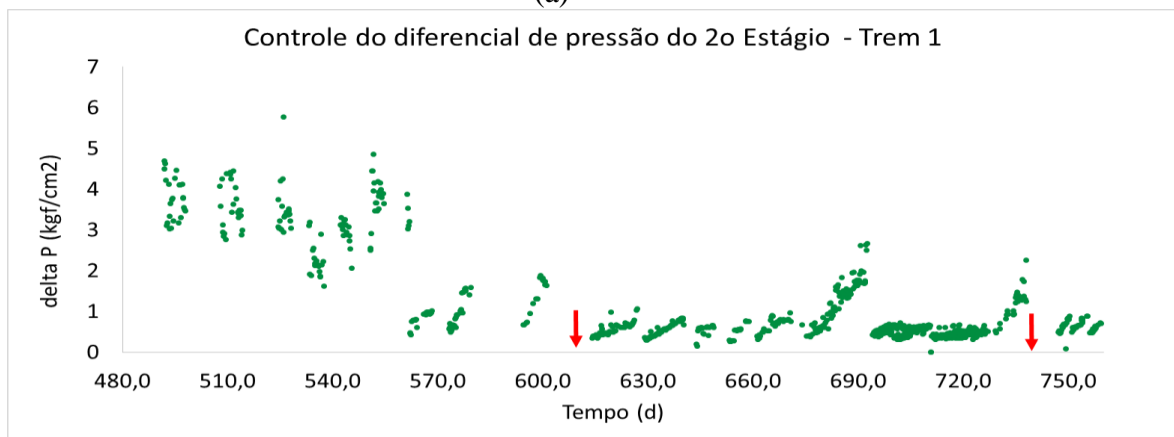
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Efeito do Campo Magnético sobre o Desempenho das Membranas de Osmose Inversa

Para avaliar a efetividade do sistema dos dispositivos magnéticos para prevenir incrustação, foram avaliados os seguintes parâmetros de operação: teor de cálcio na corrente de alimentação, teor de magnésio na corrente de alimentação, sólidos dissolvidos na corrente de alimentação, sólidos suspensos na corrente de alimentação, dureza total na corrente de alimentação, TOC na corrente de alimentação, turbidez na corrente de alimentação, SDI na corrente de alimentação, pH na corrente de alimentação, condutividade elétrica na corrente de alimentação, temperatura na corrente de alimentação, vazão da corrente de alimentação alcalinidade na corrente de alimentação, teor de bário na corrente de alimentação, teor de cloreto na corrente de alimentação, teor de sílica na corrente de alimentação, teor de sulfato na corrente de alimentação, vazão da corrente de permeado, diferencial de pressão no 1º estágio, diferencial de pressão no 2º estágio, a queda de pressão e a frequência das limpezas químicas das membranas antes e após a instalação dos dispositivos.



(a)



(b)

Figura 5 - Diferencial de pressão no trem 1 antes e depois da instalação do dispositivo:

(a) Primeiro estágio, (b) Segundo estágio.



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

Pode-se observar que, para igual período de operação da membrana:

- O número de limpezas realizadas diminuiu de 5 para 2, o que corresponde a um aumento de 150% no tempo médio de operação;
- O perfil de crescimento de pressão se mostrou mais suave (Figura 5 (a) e (b)).

Observando-se cada estágio separadamente, verifica-se que para o primeiro estágio (Figura 5 (a)), embora o diferencial de pressão tenha aumentado, ocorreu de uma forma mais lenta, prolongando o tempo de uso das membranas e diminuindo a frequência de limpezas.

Observando-se o segundo estágio (Figura 5 (b)), verifica-se que melhorou seu desempenho, pois o diferencial de pressão está muito menor, mostrando que se ocorreu incrustação, foi muito menor do que ocorria anteriormente. É interessante destacar que o segundo estágio das membranas é o estágio que mais sofre com incrustações de difícil remoção.

Prolongar a campanha das membranas e diminuir a frequências das limpezas significa aumentar a vida útil das membranas, uma vez que a cada limpeza, as membranas sofrem desgaste de sua superfície ativa.

5. CONCLUSÕES

As seguintes considerações finais podem ser destacadas:

- ✓ Foi observado que embora o campo magnético tenha alterado o fluxo do permeado, não alterou a rejeição, que se manteve;
- ✓ Foram observados aumento de campanha de operação das membranas e o espaçamento nas limpezas químicas;
- ✓ Foi verificada redução de custos com relação às limpezas químicas, custos de bombeio e HH, assim como na redução do custo o m³ de água tratada;
- ✓ Se houve algum depósito no decorrer do experimento, este composto provavelmente foi depositado de forma mais friável e arrastado pelo fluxo contínuo;
- ✓ Com a diminuição da formação de depósitos sobre a superfície da membrana visa-se a diminuição do uso de inibidores e intervenções nas unidades contendo as

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



membranas, que são fatores que oneram muito o processo devido às paradas e gastos com produtos químicos;

- ✓ Deve ser ressaltado que a eficiência anti-incrustante dos dispositivos magnéticos depende da intensidade do campo magnético atuante, da velocidade da solução incrustante passando através desse campo magnético, assim como das características de projeto desses dispositivos: geometria, campo, arranjo, entre outros;
- ✓ Os resultados obtidos foram considerados promissores com relação à inibição de incrustação.

6. REFERÊNCIAS

Carvalho, R.B., 2005, *Fibras ocas compostas para nanofiltração e osmose inversa preparadas pela técnica de precipitação por imersão de duas soluções poliméricas extrudadas simultaneamente*.

Donalson, J. D., and Grimes, S. M., *Control of scale in Sea Water Applications by Magnetic Treatment of Fluids*, Society of Petroleum Engineers, SPE paper 16540, 1987.

Elimelech I., Childress A. E., 1996. *Zeta Potential of Reverse Osmosis Membranes: Implications for Membrane Performance*.

Faruk, C., *Reservoir Formation Damage: Fundamentals, Modeling, Assessment, and Mitigation*, Gulf Publishing Company, 2000, Houston, Texas, USA.

Farshad, F.; Linsley, J.; Kuznetsov, O. and Vargas, S., *The effects of magnetic treatment on calcium sulfate scale formation*, SPE paper 76767, 2002.

Holysz, L.; Chibowski, M. *Time- dependent changes of zeta potential and other parameters of in situ calcium carbonate due to magnetic field treatment Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* v.208 p.231-240(2002).

Potts, D.E., Ahlert, R.C., and Wang, S.S. (1981). *A Critical Review of Fouling of Reverse Osmosis Membranes*. Desalination, 35, 235-364.

Queiroz, J.C., *Controle da Incrustação através do uso de Campo Magnético*. RT IRF 002/2011.