

AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO VIA OSMOSE INVERSA¹

Sidinei Kleber da Silva²
Raniere Henrique Pereira Lira³
Márcia Liana Freire³
Tony Herbert Freire de Andrade⁴
Kepler Borges França⁵

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar um sistema de dessalinização de bancada, composto com três elementos de membranas em serie do tipo: 2514 HF (alta filtração), ULP (baixa pressão) e HR (alta rejeição) para diferentes níveis de concentração de sais em função do gradiente de pressão aplicado. O sistema foi avaliado para concentrações de cloreto de sódio na faixa de 1.000 mg/L a 3.197 mg/L, sob o efeito de pressão de 5,0 a 12,0 kg/cm². De acordo com os resultados observou-se que a recuperação do sistema atingiu um valor máximo de 40% de recuperação para uma pressão de 12 kg/cm² para uma concentração de 1.000 mg/L. A recuperação começou a decrescer para concentrações acima de 2.000 mg/L em função da pressão de operação. Para todos os casos estudados a concentração de sais do permeado ficou abaixo 400 mg/L.

Palavras-chaves: Dessalinização; Osmose inversa; pH; Condutividade

1 - 60º CONGRESSO ANUAL DA ABM, 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte – MG. "Gestão de Meio Ambiente"

2- Aluno de Iniciação Científica do Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande-Campus I, CEP:58-109-970, Campina Grande – PB – Brasil, Telefone: (083) 310-1366 – Fax: (083) 310-1116, Email: sidinei@labdes.ufcg.edu.br

3 Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande-Campus I, CEP:58-109-970, Campina Grande – PB – Brasil, Telefone: (083) 310-1366 – Fax: (083) 310-1116, Email: ranriere@labdes.ufcg.edu.br & mliana@labdes.ufcg.edu.br

4- Aluno de Iniciação Científica do Departamento de Química Industrial – Universidade Estadual da Paraíba - Campus I, CEP:58-100-600 , Campina Grande – PB – Brasil, Telefone: (083) 310-1366 – Fax: (083) 310-1116, Email: tony@labdes.ufcg.edu.br

5- Professor do Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande-Campus I, CEP:58-109-970, Campina Grande – PB – Brasil, Telefone: (083) 310-1366 – Fax: (083) 310-1116, Email: kepler@labdes.ufcg.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Os volumes de água armazenados nos diferentes reservatórios, naturais ou construídos pelo homem, teoricamente, são suficientes para atender às demandas globais. Assim, a problemática da escassez hídrica localizada não se fundamenta na falta de água, mas, em sua distribuição irregular, na demanda relativa e no elevado valor econômico, quando disponível para o usuário na quantidade e na qualidade desejada. A solução, dentre outros fatores, depende da aplicabilidade de tecnologias adequadas [Silva, 2001].

O Brasil detém 8% de toda água doce superficial do planeta, essa água disponível é distribuída de forma extremamente desigual, existindo regiões em que ela é abundante e em outras sua ausência é sinônimo de pobreza e morte [França, 1988].

Estatísticas apontam que há no Nordeste, disponibilidade atual de 300.000 m³ de água salinizada de poços e açudes inativos, que potencialmente, abasteceriam mais de 12 milhões de habitantes do semi-árido castigado pela seca [Pereira & Santos, 1997].

O que se tem encontrado nas mais variadas profundidades em diversas regiões, principalmente no chamado polígono das secas, constitui um fato bastante comum: a qualidade das águas, na grande maioria das vezes, é condenável pelo seu alto grau de insalubridade, tornando-as impróprias para o consumo humano, animal e irrigação.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Osmose Inversa

A osmose inversa tem se mostrado como um dos processos da atualidade mais modernos para dessalinização de águas salobras e água do mar. Além de dessalinização de águas, o processo de separação com membranas vem sendo empregado em recuperações de efluentes industriais, concentração de sucos, produtos farmacêuticos, processamento de alimentos e bebidas, soro do leite na fabricação do queijo, diálises, alimentação de autoclaves, limpeza e lavagem de frascos, obtenção de água ultrapura, produção de aminoácidos para a bioengenharia, etc [Brandt et al, 1993].

A osmose inversa ou hiper-filtração acontece quando uma pressão mecânica superior a pressão osmótica é aplicada no lado da solução mais concentrada invertendo-se, desta maneira, o sentido do fluxo de soluto que atravessa a membrana. Obtendo-se assim uma corrente de água purificada isenta de sais, vírus, bactérias e fungos [Silva, 2004].

A taxa de transporte de água através da membrana depende das propriedades da membrana, da temperatura da solução, da diferença de pressão aplicada na membrana e a baixa diferença de pressão osmótica entre a solução mais concentrada e a de menor concentração [Amjad, 1992].

As principais equações que regem o processo de osmose inversa são:

O fluxo do permeado através de uma membrana de osmose inversa é proporcional à área da membrana e a variação de pressão osmótica e hidráulica, e é dado pela seguinte equação:

$$Q = A.S.(P_a - \Delta\pi - \Delta P - P_p) \quad (1)$$

Onde: Q - Taxa de fluxo permeado (g/s), A - Coeficiente de permeação de água (g/cm².s.atm), S - Área da membrana (cm²), P_a - Pressão aplicada (atm), Δπ - Pressão osmótica diferencial (atm), ΔP - Perda de pressão hidráulica (atm), P_p - Pressão do permeado (atm).

A pressão osmótica é função da concentração de sais e do tipo das moléculas orgânicas contidas na água de alimentação. Quanto maior for a concentração da solução, maior será o valor da pressão osmótica dessa solução [Brandt et al, 1993].

$$\pi = \sum v_i c_i RT \quad (2)$$

Onde: π é a pressão osmótica da solução iônica (kgf/cm²), v é o n^o de íons formados na dissociação do soluto, c é a concentração molar do soluto (mol/L), R é a constante dos gases (kgf L / cm² mol K), T é a temperatura (K).

A recuperação do sistema refere-se à razão da água de alimentação convertida em água purificada e depende de vários fatores, como a formação de scalling na superfície das membranas, a pressão osmótica e a qualidade do permeado.

$$R = \frac{Q_p}{Q_a} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_r} \quad (3)$$

Onde: R - Nível de recuperação do sistema, Q_p - Vazão da água produzida, Q_a - Vazão da água de alimentação, Q_r - Vazão da água de rejeito.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais Utilizados

Água deionizada
Cloreto de sódio P. A da Merck

3.2 Instrumentação

Durante o processo de dessalinização, foram coletadas amostras da alimentação, permeado e concentrado com a finalidade de medir a variação da concentração de sais com o tempo e a variação hidrogeniônica, respectivamente, através de um condutivímetro modelo CD-21 e um pHmetro DMPH-2 ambos da Digimed.

Também foram utilizados dois rotâmetros com a finalidade de registrar o fluxo volumétrico do permeado e do concentrado durante o processo de dessalinização e um par de manômetros com capacidade máxima de 20 kgf/cm², conectados na entrada da unidade de osmose inversa e outro na saída do permeador onde se encontra o fluxo do concentrado.

3.3 Metodologia

3.3.1 Sistema de osmose inversa

O sistema de osmose inversa foi inicialmente montado com três permeadores em série, conforme mostra a Figura 1.

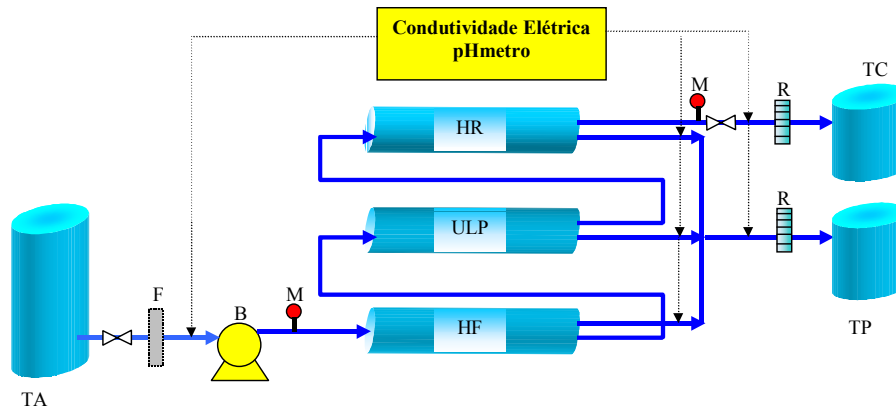


Figura 1. Sistema de osmose inversa é composto das seguintes unidades: TA-tanque de alimentação (NaCl ou água salobra), TP- tanque do permeado, TC- tanque do concentrado, F- filtro, B- bomba centrífuga, M- manômetros, R- rotâmetros, HF- membrana de alta filtração, ULP- membrana de ultra baixa pressão, HR- membrana de alta rejeição.

Os permeadores operam com três tipos de membranas de poliamida aromática com 2,5" de diâmetro e 14" de comprimento, adquiridas da Koch Membrane Systems*, assim como segue:

- Membrana de alta filtração (HF)
- Membrana de ultra baixa pressão (ULP)
- Membrana de alta rejeição (HR)

O sistema é constituído por uma bomba centrífuga de 1/4 CV, modelo B480596 da Procon, conectada a um tanque de alimentação de capacidade volumétrica de 50 litros. Antes da bomba, conectou-se um filtro de acetato de celulose com resina melamínica de 5 micra para prevenir incrustações nas membranas. O permeado e o concentrado produzido foram armazenados em tanques de capacidade volumétrica de 20 e 40litros.

3.4 Procedimento Experimental

Antes de iniciar o processo de dessalinização via osmose inversa para águas salobras, foram preparadas soluções sintéticas de cloreto de sódio, com a finalidade de observar o comportamento do sistema e a partir desta avaliação, estudar posteriormente, o seu desempenho com amostras de águas salobras de poços tubulares na melhor faixa de operações obtidas a partir das soluções de cloreto de sódio.

* As características detalhadas dos tipos de elementos de membrana utilizados neste trabalho podem ser encontrados no site do fabricante: <http://www.bigbrandwaterfilter.com/Koch-membranes.html>.

O processo de dessalinização foi efetuado de forma contínua para um dado volume de solução, ou seja, o volume da solução de alimentação do sistema foi permeado sob o efeito de uma dada pressão de forma contínua sem que ocorra o retorno dos efluentes. As bateladas foram realizadas mantendo-se as concentrações constantes e variando as pressões aplicadas no conjunto de membranas. Durante o processo foram tomadas amostras na saída do sistema das correntes do concentrado e permeado. Para as amostras das correntes do concentrado e permeado, além da condutividade elétrica foram obtidos seus potenciais hidrogeniônicos (pH).

3.5 Processo de Dessalinização

Os dados obtidos, da condutividade elétrica e do potencial hidrogeniônico dos efluentes do permeado e do concentrado, foram tomados em intervalos de 2 a 5 minutos para cada leitura. Em função do volume disponível, as bateladas duraram aproximadamente de 12 a 25 minutos.

A capacidade de produção da água potável e concentrada do dessalinizador foi observada através de dois rotômetros.

A recuperação do sistema foi determinada através dos fluxos volumétricos lidos nos rotômetros. Com o auxílio dos manômetros foram lidos os valores da pressão de alimentação, como também da pressão de saída do concentrado do permeador.

Após o término das bateladas, as membranas passaram por um processo de lavagem durante 5 minutos, com água destilada, com o objetivo de expulsar toda a solução remanescente, nas membranas, evitando, assim, a precipitação dos sais na sua superfície e possível proliferação de microorganismos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

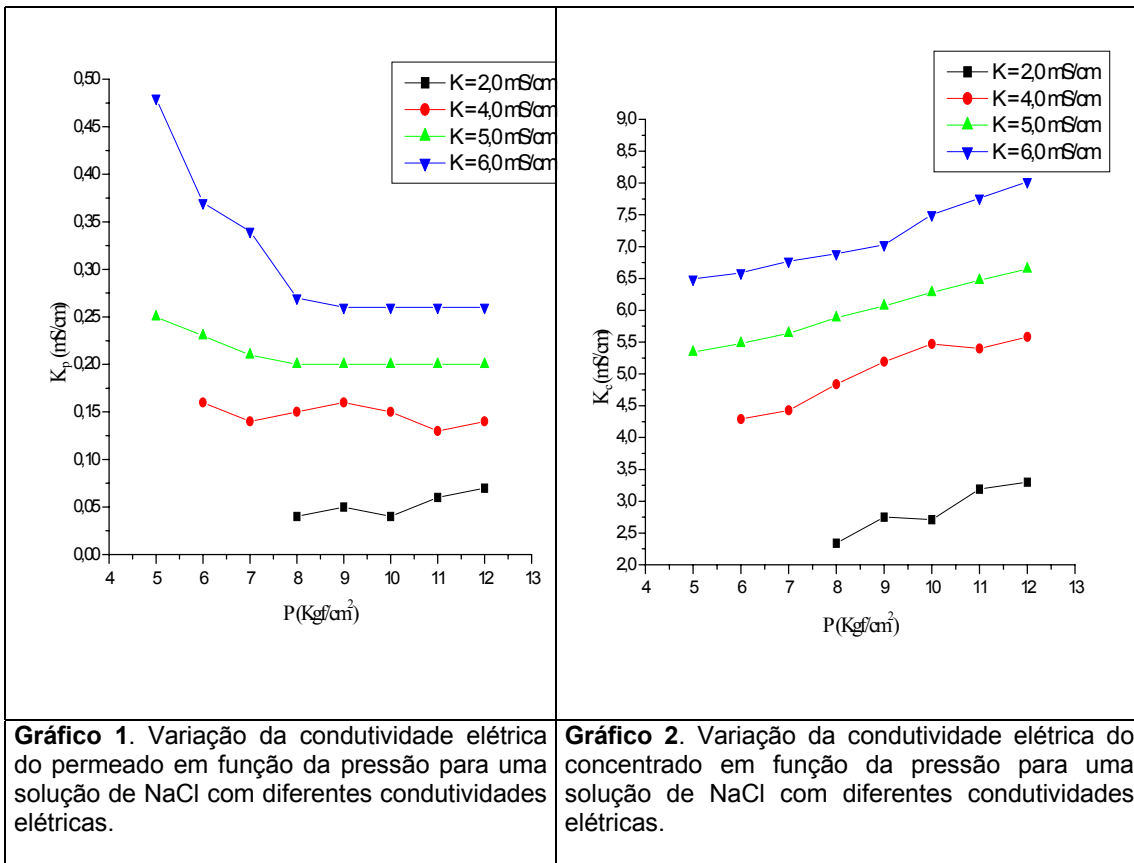
4.1 Comportamento da Condutividade Elétrica

Os resultados obtidos são pertinentes ao processo de dessalinização via osmose inversa para soluções de cloreto de sódio.

As Figuras 1 e 2 apresentam a variação da condutividade elétrica em função da pressão de operação, do permeado e do concentrado, respectivamente.

Observam-se variações da condutividade elétrica do permeado com o aumento da pressão, tendendo permanecer constante. Uma maior pressão de operação conduz a uma menor condutividade elétrica do permeado, porém seus valores não sofrem alterações significativas.

A Figura 2 demonstra que a passagem de sais pela membrana depende do gradiente de concentração estabelecido, e do tipo de membrana utilizada. Com o aumento da pressão, mais água atravessa a membrana, diminuindo a vazão da água concentrada, conseqüentemente faz com que haja um aumento da concentração de sais dissolvidos nesta corrente.



4.2 Efeito da Recuperação do Sistema

Os resultados da recuperação foram obtidos através da Equação (3), conforme mostra no item 2.1.

A Figura 3 apresenta a variação da recuperação do sistema em função da pressão de operação, para diferentes condutividades elétricas. Observa-se que o aumento da pressão provoca um aumento da vazão de permeado, portanto, um aumento na recuperação do sistema. De acordo com os resultados observou-se que a recuperação do sistema atingiu um valor máximo de 40% de recuperação para uma pressão de 12 kg/cm² para uma concentração de 1.000 mg/L. A recuperação começou a decrescer para concentrações acima de 2.000 mg/L em função da pressão de operação. Para todos os casos estudados a concentração de sais do permeado ficou abaixo 400 mg/L.

Em função do aumento da concentração da solução de alimentação, a taxa de acúmulo de sais na superfície da membrana aumenta, formando assim uma camada, a qual oferece resistência à permeação da água, conseqüentemente ocorre um decréscimo da recuperação do sistema. Isto demonstra que a recuperação do sistema depende da quantidade de sais dissolvidos na solução, como no nosso caso se trata somente de cloreto de sódio dissolvido, não consideramos outros fatores como impurezas, matéria orgânica e outros.

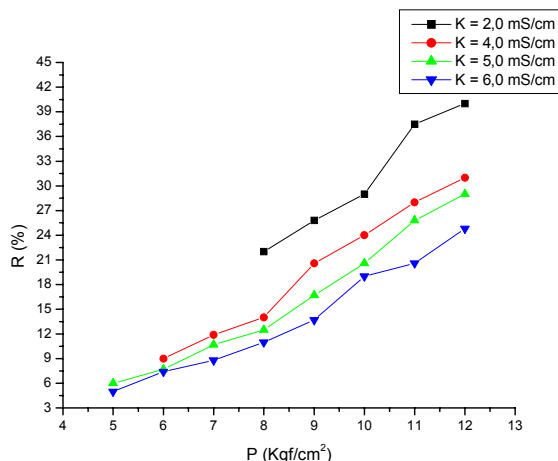


Figura 3. Variação da recuperação do sistema em função da pressão para uma solução de NaCl com diferentes condutividades elétricas.

4.3 Variação do Potencial Hidrogeniônico (pH)

As Figuras 4 a 7 representam a variação do potencial hidrogeniônico dos efluentes do permeado e do concentrado em função do tempo. Observou-se pequenas variações do pH do permeado e do concentrado. Para o permeado o pH diminuiu e para o concentrado aumentou, este fato é devido à transferência dos sais de uma corrente para outra durante o processo. Além de parâmetros como: tipo de membrana, pressão de operação, temperatura da solução de alimentação a diferença do pH entre o permeado e concentrado depende da concentração de íons presentes na solução.

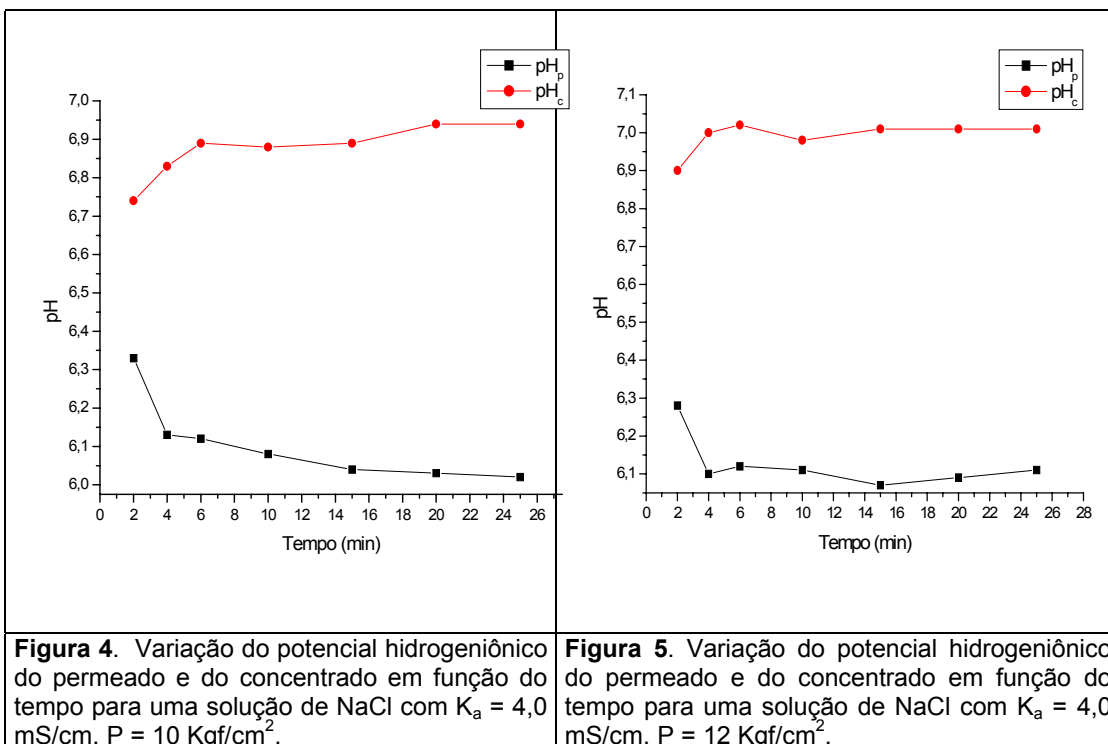


Figura 4. Variação do potencial hidrogeniônico do permeado e do concentrado em função do tempo para uma solução de NaCl com $K_a = 4,0$ mS/cm, $P = 10$ Kgf/cm².

Figura 5. Variação do potencial hidrogeniônico do permeado e do concentrado em função do tempo para uma solução de NaCl com $K_a = 4,0$ mS/cm, $P = 12$ Kgf/cm².

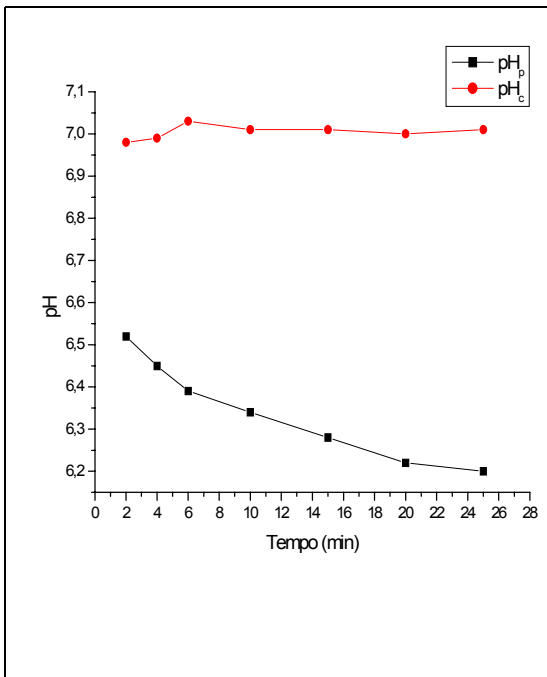


Figura 6. Variação do potencial hidrogeniônico do permeado e do concentrado em função do tempo para uma solução de NaCl com $K_a = 5,0$ mS/cm, $P = 10$ Kgf/cm².

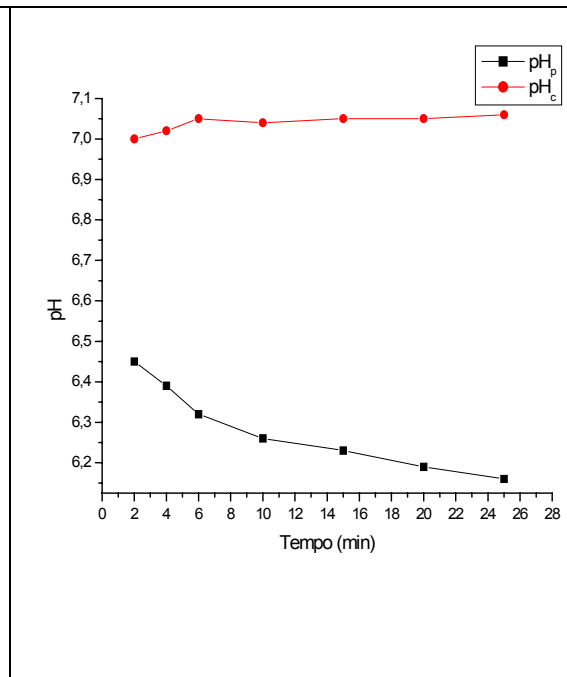


Figura 7. Variação do potencial hidrogeniônico do permeado e do concentrado em função do tempo para uma solução de NaCl com $K_a = 5,0$ mS/cm, $P = 12$ Kgf/cm².

5 CONCLUSÕES

Em função dos estudos realizados até o presente momento, para o sistema de dessalinização via osmose inversa estudado, foram obtidas as seguintes conclusões:

- A condutividade elétrica do permeado diminuiu e a do concentrado se mantém praticamente constante durante o processo de dessalinização.
- A condutividade elétrica do permeado diminuiu e a do concentrado aumentou com o aumento da pressão.
- A vazão do permeado aumentou e a do concentrado diminuiu com o aumento da pressão.
- A recuperação do sistema é função da pressão de operação, como também da concentração de sais dissolvidos na corrente de alimentação.
- A variação do pH depende da concentração da solução de alimentação.
- O pH diminuiu nos elementos de membranas à medida que a pressão de operação aumenta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 FRANÇA, D. O planeta água está secando. **Globo Ciência**, v. 85, p.54-61, 1998.
- 2 PEREIRA, R.B.; SANTOS, J.A. Projeto de dessalinizador por osmose inversa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9., 1997.
- 3 BRANDT, D.C; LEITNER, G.F.; LEITNER, W.E. Reverse osmosis membrane states of the art. In: AMJAD, Z. (ed.) **Reverse osmosis-membrane technology, water chemistry and industrial applications**. New York: Van Nostrand-Reinhold, 1993. p. 1-3.
- 4 SILVA, S.K. **Aumento da vida útil de sistemas de dessalinização do campo: análise, manutenção e monitoramento remoto**. Relatório de Iniciação Científica em Engenharia Química, Campina Grande-PB, CT-Hidro, UFCG, 2004. p. 10.
- 5 AMJAD, Z. (ed.) **Reverse osmosis-membrane technology, water chemistry and industrial applications**. New York: Van Nostrand- Reinhold, 1992.
- 6 SILVA, S. K. **Montagem e avaliação de um sistema de dessalinização via osmose inversa para águas salobras de poços tubulares**. Relatório de Iniciação Científica em Engenharia Química, Campina Grande-PB. Pibic – CNPq, UFPB, 2001. p. 3-4.

EVALUATION OF A SMALL DESALINATION SYSTEM ARCHETYPE BY REVERSE OSMOSIS

*Sidinei Kleber da Silva
Raniere Henrique Pereira Lira
Márcia Liana Freire
Tony Herbert Freire de Andrade
Kepler Borges França*

Abstract

The present work has as objective to evaluate a small system of desalination, formed of three elements of membranes in series of the type: 2514 HF (high filtration), ULP (low pressure) and HR (high rejection) for different levels of concentration as a function of the gradient of pressure applied. The system was evaluated for sodium chloride solution of concentrations range of 1.000 mg/L to 3,197 mg/L, under the effect of the pressure of 5,0 the 12,0 kg/cm². In accordance with the results were observed that the recovery of the system reached a maximum value of 40% of recovery for a pressure of 12 kgf/cm² for a concentration of 1.000 mg/L. The recovery started to decrease to concentration of 2.000 mg/L as a function of the operation pressure. For all the studied cases it was obtained a permeate concentrate below 400 mg/L.

Key-Words: Desalination, Reverse Osmosis, pH, Conductivity.