

Área: Engenharia de Alimentos

DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO GUARANI PARA USO COMO ÁGUA POTÁVEL

Laisa Girardelli*, Vandr e Barbosa Bri o, Jonas Magoga

*Laboratório de Opera es Unitárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia e
Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS*

**E-mail: 132566@upf.br*

RESUMO – O Brasil assim como outros países tem enfrentado grandes períodos de seca. A possível soluço para esta situa o é buscar recursos de tratamento da água, a fim de torná-la potável. O Aquífero Guarani é uma grande reserva de água subterrânea, mas, no entanto, grande parte de sua extensão apresenta características físico-químicas da água classificadas como salobras. Portanto, este trabalho tem como objetivo dessalinizar a água do Aquífero Guarani para produzir água potável, através de um equipamento piloto de osmose inversa. A  gua de um poço perfurado mostrou exceder as diretrizes para a água potável, mas a água dessalinizada de osmose reversa em 2 MPa e velocidade de 1,61 ms⁻¹ mostrou rejei es em torno de 94% para sulfato, 97% para teor de sólidos e 100% para o flúor.

Palavras-chave:  gua salobra. Membrana. Osmose inversa.

1 INTRODU O

O Brasil, apesar das grandes reservas de água superficial, é um país que também sofre com estiagens sazonais. O Estado do Rio Grande do Sul passou em 2012 pelo seu maior período de seca dos últimos 50 anos. Isto mostra que se necessita de fontes alternativas de abastecimento de águas para a popula o. Uma das alternativas seria a utiliza o das águas subterrâneas do Aquífero Guarani.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG)   um agrupamento de unidades hidroestratigráficas, constituindo uma grande reserva de água subterrânea. Está localizado na região centro-leste da América do Sul, como mostra a figura 1. Ocupa uma área de 1194000 km², distribuido nos territórios do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai (ROSA et al, 2003). No Brasil, a região sul é a que possui a maior área do Aquífero Guarani, e a extra o de águas do mesmo exige poços com profundidades que variam de 200 m até 1000 m, dependendo da localiza o (GASTMANS, 2007).

As dimensões continentais do Aquífero Guarani mostram o seu potencial como reserva de água, mas, no entanto, em grande parte de sua extensão, as águas do Guarani apresentam características físico-químicas classificadas como salobras (ROSA et al, 2003). Em algumas regiões do Uruguai e Argentina, as águas do

Aquífero Guarani possuem concentrações de sólidos totais dissolvidos de 8000 mg.L⁻¹, 1200 mg.L⁻¹ de sulfatos e 3,1 mg.L⁻¹ (PESCE, 2002). É uma grande reserva de água subterrânea, mas há descontinuidade quanto à qualidade físico-química, sendo que em algumas áreas de ocorrência as águas são impróprias para consumo humano.

Segundo Reddy (2005), a dessalinização por osmose inversa é amplamente utilizada para a produção de água potável, tornando-se o principal modo não-convencional de obtenção de águas em vários países. Além disso, se a água natural tem que ser bombeada a longas distâncias, pode tornar-se tão caro como a água dessalinizada, em função das distâncias envolvidas e da quantidade de bombeamento exigida. Portanto a osmose inversa é uma das soluções possíveis para as regiões que sofrem secas.

A osmose inversa (OI) é um processo de remoção de sólidos da água utilizando-se membranas porosas e altas pressões como força motriz, removendo-se os componentes de baixo peso molecular com alta eficiência energética. A OI possui vantagens como: dispensa o uso de produtos químicos, possui grande relação entre área filtrante e espaço físico ocupado, fácil operação, entre outras.

O objetivo do trabalho foi testar duas pressões e duas velocidades tangenciais em um equipamento piloto de osmose inversa para dessalinização da água subterrânea de um poço perfurado no Sistema Aquífero Guarani para adequar esta água os parâmetros físico-químicos para consumo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

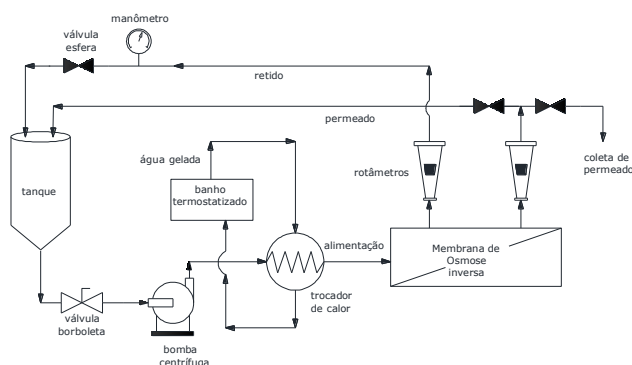
2.1 Amostra

A água de estudo foi obtida de um poço perfurado a 850 m de profundidade alcançando o aquífero guarani nas proximidades do município de Tapejara, na região norte do Rio Grande do Sul. A água foi caracterizada quanto aos parâmetros físico-químicos de potabilidade citados na portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

2.2 Procedimento experimental

O experimento foi realizado em um equipamento piloto de filtração tangencial de osmose inversa (Sistemas WGM- São Paulo). A figura 1 mostra o diagrama do equipamento, o qual é construído em aço inoxidável e possui válvulas e conexões sanitárias. A água foi alimentada no tanque, que possui capacidade de 150 L, e foi impulsionada por uma bomba centrífuga multiestágios através da membrana de OI, separando o permeado (água tratada praticamente isenta de sais) e o material retido (fração que contém os sais separados).

Figura 1- Esquema do sistema piloto de osmose inversa



O controle da temperatura foi realizado com o auxílio de um trocador de calor tubular, circulando-se água gelada a 1°C e mantendo-se a temperatura a 24°C±1°C. A válvula esfera na linha de retido e um inversor de frequência associado à bomba permitiram o controle da pressão e vazão de recirculação. O equipamento contém dois rotômetros para leitura das vazões de permeado e retido.

Ao término de cada experimento, foi realizada a limpeza da membrana em três etapas: a) enxágue com 100 L de próprio permeado obtido descartando-se permeado e retido; b) uma limpeza ácida foi realizada com solução de ácido nítrico com pH 2,0; c) novo enxágue com permeado.

2.3 Membranas

A membrana de osmose inversa utilizada foi o modelo 3838 HR-NYV (Koch Membrane Systems). A membrana possui configuração espiral e 7,1 m² de área de filtração, com 9,6 cm (3,8 polegadas) de diâmetro e 96,5 cm de comprimento, sendo seu material de poliamida. A permeabilidade hidráulica da membrana é de 1,9 L.h-1.m-2.bar-1 e sua rejeição a cloretos é 99,3% (medido com 2000 mg L⁻¹ solução de NaCl a 15,5 bar).

2.4 Rejeição da membrana

O coeficiente de rejeição da membrana foi calculado através da relação da concentração de cada componente do permeado e da concentração da água alimentada, como mostrado na equação 1 e avaliado como um número adimensional.

$$R = \left[1 - \frac{C_p}{C_a} \right] \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo C_p a concentração no permeado, C_a a concentração na alimentação e R o coeficiente de rejeição.

2.5 Planejamento experimental

Um planejamento experimental de duas variáveis independentes (pressão e velocidade tangencial) em dois níveis (planejamento 2²) possibilitou a combinação dos parâmetros para a otimização do fluxo permeado e rejeição dos sais.

Tabela 1- matriz do planejamento experimental

Experimento	Pressão (MPa)	Velocidade tangencial (m.s ⁻¹)
A	1.0	0.53
B	1.0	1.61
C	2.0	0.53
D	2.0	1.61

As variáveis de resposta do sistema serão eleitas devido à sua concentração em excesso na água, extrapolando os limites citados pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Utilizaram-se comparações de análise de variância dos resultados com significância de 5%, determinando-se as melhores condições de pressão e velocidade para cada parâmetro analisado no permeado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da amostra

A Tabela abaixo mostra o resultado para as características físico-químicas da água do poço perfurado no Aquífero Guarani.

Tabela 2- Características físico- químicas da água do poço perfurado no Aquífero Guarani.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Recomendável	Portaria Brasileira
STD (mg.L ⁻¹)	1321	1290	1059	1000	1000
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	326.2	314.5	285.4	250	250
F ⁻ (mg.L ⁻¹)	2.14	2.01	1.91	1.5	1.5
Zn (mg.L ⁻¹)	0.03	NP	NP	4	5
Na (mg.L ⁻¹)	159	NP	NP	200	200
Mn (mg.L ⁻¹)	0.1	NP	ND	0.1	0.1
Total Fe (mg.L ⁻¹)	0.09	NP	NP	0.3	0.3
Total Cr (mg.L ⁻¹)	ND	NP	NP	0.05	0.05
Cu (mg.L ⁻¹)	ND	NP	NP	2	20
Pb (mg.L ⁻¹)	ND	NP	NP	-	0.01
Cd (µg.L ⁻¹)	ND	NP	NP	3	5
Al (mg.L ⁻¹)	ND	NP	NP	0.1	0.2
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	ND	NP	NP	1.5	1.5
NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	ND	NP	NP	3	1

NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0.65	NP	NP	50	10
Dureza (mg.L ⁻¹)	32	NP	NP	500	500
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	85	NP	NP	250	250
CO ₃ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	2.8	NP	NP	-	-
pH	8.71	8.82	8.53	6.5 ≤ pH ≤ 8.5	6.0 ≤ pH ≤ 9.5
Cor (Hz)	0	0	0	15	15
Turbidez (NTU)	0	0	0	1.0	1.0
Condutividade elétrica (μS.cm ⁻¹)	1842	1726	1702	-	-

ND: Não detectável pelo método analítico utilizado

NP: análise não realizada

Estudos anteriores de caracterização em diversas regiões do SAG demonstraram que em geral as águas são de boa qualidade, com STD menor que 500 mg.L⁻¹. No entanto, regiões do norte do RS e no oeste de SC, as águas do SAG podem apresentar alta salinidade, excedendo os padrões de potabilidade de água, conforme demonstra a tabela 2.

3.2 Determinação da melhor condição experimental de pressão e velocidade tangencial

A abaixo apresenta o fluxo de permeado e a rejeição da membrana de OI para diversos parâmetros que excediam as normativas de potabilidade de água para consumo humano.

Da Tabela 3, observa-se que a condição experimental com 1 Mpa e 0,53 m.s⁻¹ apresentou o maior valor de sólidos totais (STD), sulfato e condutividade elétrica. Do mesmo modo, nessa condição obteve-se um valor residual de fluoretos, enquanto que a concentração deste parâmetro nas demais condições foi zero. Contudo, objetiva-se a minimização destas concentrações no permeado, e esta condição experimental (p = 1 MPa e v = 0.53 m.s⁻¹) é aquela que deve ser evitada.

Tabela 3- Médias e desvios padrões das variáveis de resposta para cada condição experimental testada.

p (MPa)	V (m.s ⁻¹)	pH	Condutividade (μS/cm)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	STD (mg.L ⁻¹)	F ⁻ (mg.L ⁻¹)	Fluxo (L.m ² .h ⁻¹)
1	0.53	7.36 ^(a)	151.9 ± 14.7 ^(a)	38.0 ± 5.4 ^(a)	111.5 ± 16.3 ^(a)	0.19 ± 0.06 ^(a)	17.02 ± 0.69 ^(a)
1	1.61	7.25 ^(a)	37.0 ± 8.5 ^(b)	27.8 ± 9.8 ^(a,b)	35.0 ± 5.6 ^(b)	0.0 ± 0.0 ^(b)	17.91 ± 0.98 ^(a)
2	0.53	7.08 ^(b)	43.7 ± 10.2 ^(b)	23.4 ± 3.7 ^(a,b)	43.7 ± 26.1 ^(b)	0.0 ± 0.0 ^(b)	34.97 ± 1.03 ^(b)
2	1.61	7.05 ^(b)	34.6 ± 19.2 ^(b)	16.8 ± 4.5 ^(b)	34.5 ± 3.5 ^(b)	0.0 ± 0.0 ^(b)	36.24 ± 2.33 ^(b)

A menor concentração de sulfatos foi observada no permeado (16.8 mg.L⁻¹) quando utilizada a pressão de 2 MPa e velocidade tangencial de 1.61 m.s⁻¹, sendo esta condição operacional selecionada como ótima para separar estes constituintes. Os valores intermediários de 27,8 e 23,4 mg.L⁻¹ demonstraram ser estatisticamente iguais a estes dois extremos de concentração.

Referente ao fluxo foi observado que o mesmo não sofreu efeito significativo da velocidade tangencial, mas no entanto, a pressão demonstrou haver efeito direto nesta variável. Isto encontra-se de acordo com a literatura de Reddy et.al, (2005), a qual apresenta resultados semelhantes aos encontrados, os quais relataram que elevando a velocidade tangencial em sistemas de dessalinização por OR observava-se pequenos (ou insignificantes) incrementos de fluxo.

4 CONCLUSÃO

O processo de separação por osmose inversa reduziu a salinidade da água do aquífero Guarani, ajustando-a referente aos parâmetros de potabilidade.

Das condições experimentais testadas, aquela que aperfeiçoou o processo foi quando utilizados 2 MPa de pressão e 1.61 m.s-1 de velocidade tangencial, por proporcionar um aumento na vazão do permeado e menor concentração de sulfato na água produzida.

5 AGRADECIMENTOS

À FAPERGS pelo financiamento do projeto (Processo 12/3129-6).

6 REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade de água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011.
- GASTMANS, D. **Hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na porção ocidental da bacia sedimentar do Paraná**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2007, 194 p.
- PESCE, A. Thermal SPA's: Na Economical Development Alternative along both sides of Uruguay River. **Geo Heat Center Bulletin**, v.23, n.3 p.22-28, 2002.
- REDDY, A.V.R.; TRIVEDI, J.J.; DEVMURARI, C.V.; MOHAN, D.J. SINGH, P. RAO, A.P. JOSHI, S.V.; GHOSH, P.K. Fouling resistant membranes in desalination and water recovery. **Desalination**, v.183, p.301-306, 2005.
- ROSA FILHO, E. F. da; HINDI, E. C.; ROSTIROLLA, S. P.; FERREIRA, F. J. F.; BITTENCOURT, A. V. L. – Sistema Aquífero Guarani – Considerações Preliminares Sobre a Influência do Arco de Ponta Grossa no Fluxo das Águas Subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas** nº17; Curitiba; maio/2003, 91 – 111, 2003.