

ENERGIA ALTERNATIVA USADA NUM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO¹

*Arleide Ricarte de Oliveira²
Kepler Borges França³
Hervé Michel Laborde⁴
Shefora Elisangela Henriques de Sousa⁵*

Resumo

A dessalinização de águas salobras vem crescendo a cada ano, devido à busca por água potável. Mas, infelizmente, algumas comunidades isoladas não possuem energia elétrica. Então, podemos utilizar as fontes de energia alternativa: fotovoltaica e eólica. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um sistema de dessalinização piloto (SDP) funcionando com energia alternativa em termos de quantidade, qualidade de água, consumo de energia e custo. O sistema SDP é composto dos seguintes componentes: um elemento de membrana do tipo CPA2 4040 da Hydranautic Corporation; um permeador, dois tanques, instrumentos de variáveis de medida, painéis fotovoltaicos, turbina eólica e quadro de comando. O SDP foi testado para água salobra de poço tubular de 2000mg/L sob diferentes gradientes de pressões. Foram estudadas em função das variáveis de medidas: o efeito do potencial elétrico com a pressão, a quantidade de água permeada e concentrada durante o processo, o comportamento do consumo de energia com a pressão e realizado um custo estimativo para o processo. Os resultados alcançados fazendo uso dos painéis fotovoltaicos foram: a potência elétrica varia linearmente com a pressão; a vazão do permeado cresce e a vazão do concentrado diminuiu com o aumento da pressão, ambas variam proporcionalmente; o consumo de energia durante o processo apresentou um comportamento decrescente em relação à pressão de operação. O custo da produção de água ficou em torno de US\$ 1,13/m³.

Palavras-chave: Dessalinização; Energia fotovoltaico; Energia eólica.

¹ 60º CONGRESSO ANUAL 2005, Belo Horizonte-MG, 25 a 28 de julho de 2005.

² Doutoranda - Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

³ Professor / Doutor- Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

⁴ Professor / Doutor- Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

⁵ Doutoranda- Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

1 INTRODUÇÃO

As regiões semi-áridas, localizadas principalmente nos países tropicais, têm enfrentado problemas com a escassez e a má distribuição de água em algumas regiões. Normalmente são regiões que possuem um índice de insolação elevado, índice pluviométrico baixo, conseqüentemente diminui a quantidade de água disponível na superfície e a água presente no subsolo é, na maioria das vezes, salgada, tornando-se imprópria para o consumo humano, animal e irrigação. (Barbosa, 1997).

Algumas regiões que dispõe de água no subsolo, enfrenta problemas com relação ao teor de sais. Portanto para que possa utilizá-la sem problemas é necessário diminuir o índice de concentração de sais e torná-la em água potável. Existem várias técnicas de dessalinização, sendo que osmose inversa (OI) vem sendo a mais utilizada. (Joyce *et al.*, 2001) As vantagens da OI incluem o baixo consumo energético, custos de capital e de operação relativamente baixo, necessidade de pequenos espaços e facilidades na construção, operação e manutenção, devido à natureza modular do processo. (Mohsen *et al.*, 2001)

Além do problema de salinidade, algumas comunidades se encontram isoladas, sem acesso à água de boa qualidade e sem energia elétrica. Para ultrapassar estes obstáculos, pode ser usada fontes de energia alternativa para sistemas de dessalinização. (França *et al.*, 2000) O presente trabalho concentrou-se em a energia alternativa usada em sistema de dessalinização.

2 DESSALINIZAÇÃO

De todos os processos de dessalinização o mais primoroso é o de osmose inversa, que além de tornar a água potável, ainda elimina bactérias, fungos, vírus, entre outros.

Osmose inversa: A osmose inversa ocorre quando uma pressão superior à pressão osmótica é aplicada no lado da solução mais concentrada, contra uma membrana semipermeável, devidamente projetada para aquela solução. Ao atravessar a membrana a água é purificada e perde a maior porção de sais. Além de retirar o sal da água, este sistema permite ainda eliminar vírus, bactérias e fungos (Amjad, 1993).

Em processo de grande escala a OI ocorre com um auxílio de uma bomba de alta pressão sob um fluxo contínuo passando por um permeador (vaso de pressão) onde fica situada a membrana. A pressão a ser aplicada equivale a uma pressão maior que a pressão osmótica característica da solução.

Membranas: Em conseqüência dos avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos, os processos de separação por membranas têm-se tornado cada vez mais importantes, com aplicações nos mais diversos ramos da atividade industrial. As membranas podem ser definidas como barreiras seletivas ao transporte de matéria e energia, entre duas fases; são utilizadas em processos de separação visando o fracionamento dos componentes de uma mistura, em função de suas diferentes

taxas de permeação, ou seja, restringe, total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases. (Mulder, 1991)

Energia Alternativa: As fontes de energia alternativa são recursos renováveis estratégicos capazes de contribuir substancialmente ao atendimento e a sustentabilidade das demandas energéticas presentes e futuras de populações rurais, e ao mesmo tempo preservar recursos, promover o desenvolvimento sócio econômico e proteger o meio ambiente para as gerações futuras. (Costa *et al.*, 1998) Nos países tropicais, a fonte de energia que vem ganhando espaço a cada dia é a energia solar fotovoltaica. Para a conversão de energia solar em energia elétrica é necessário a utilização de captadores denominados fotocélulas. (Palz, 1981)

O princípio de funcionamento da célula fotovoltaica se baseia na propriedade que alguns materiais (principalmente os cristais) têm, quando devidamente manuseados, de gerar uma corrente elétrica quando neles incide um feixe de luz. Dentre os semicondutores usados, o silício vem sendo o mais comercializado, devido ser o material mais barato e eficiente para a produção de eletricidade. (Childs *et al.*, 1999) Várias células são conectadas para produzir um painel fotovoltaico e muitos painéis conectados formam um "array" ou módulo fotovoltaico (Figura 1).

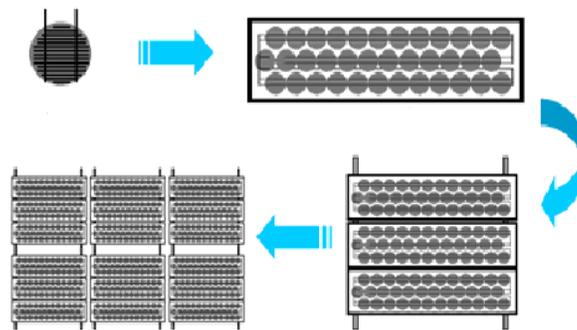


Figura 1. Módulo fotovoltaico

3 EQUAÇÕES

As equações que regem o processo de osmose inversa são:

Pressão osmótica - depende da concentração do soluto, da temperatura absoluta da solução, e da espécie de íons presentes. É dada pela seguinte equação:

$$\pi = \sum v_i c_i RT \quad [1]$$

Onde: v_i é a carga elétrica do íon i , c_i a concentração molar, R é a constante universal dos gases perfeitos e T a temperatura absoluta da solução (Amjad, 1993).

Fluxo de permeado

$$J_w = k_i(\Delta P - \Delta\pi) = Q_p/A \quad b \quad [2]$$

Onde: J_w , é a taxa de fluxo de permeado, K_w é o coeficiente de transferência de massa do solvente, ΔP é o gradiente de pressão aplicada, $\Delta\pi$ é o gradiente de

pressão osmótica, Q_p é a vazão de permeado e A é a área de permeação da membrana.

Fluxo de soluto

$$J_i = k_i \Delta C = Q_p C_p / A \quad [3]$$

Onde: J_i , é fluxo mássico do soluto, K_i é o coeficiente de transferência de massa do soluto, ΔC é o gradiente concentração e C_p é a concentração do permeado. Onde, ΔP , $\Delta \pi$ e ΔC são dados por:

$$\Delta P = (P_a + P_c) / 2 - P_p \quad [4]$$

$$\Delta \pi = (\pi_a + \pi_c) / 2 - \pi_p \quad [5]$$

$$\Delta C = (C_a + C_c) / 2 - C_p \quad [6]$$

Onde: P_a , P_c , P_p são a pressão de alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente. π_a , π_c , π_p são a pressão osmótica da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente. C_a , C_c , C_p são a concentração da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente.

Recuperação $r(\%)$ ou conversão - razão da água convertida em água purificada ou permeada. Dada pela seguinte expressão:

$$r(\%) = \left(\frac{Q_p}{Q_a} \right) \cdot 100 \quad [7]$$

r - nível de recuperação do sistema (%);

Q_p - vazão do permeado (m^3/h);

Q_a - vazão da alimentação (m^3/h).

Energia - O consumo de energia está diretamente relacionado com o nível de recuperação do sistema de dessalinização e a eficiência da bomba e do motor trabalhado, como também o número de membranas envolvidas e das soluções no interior do dessalinizador.

Na prática, o consumo de energia é dado pela razão entre a potência consumida pela bomba e a vazão do permeado:

$$E_p = \frac{P}{Q_p} \quad [8]$$

E_p - consumo de energia prático (kWh/m^3);

P - potência ativa consumida pelo sistema (W);

A potência consumida pelo sistema é dada por:

$$P = V * I \quad [9]$$

V - tensão elétrica (volt)

I - corrente elétrica (ampère)

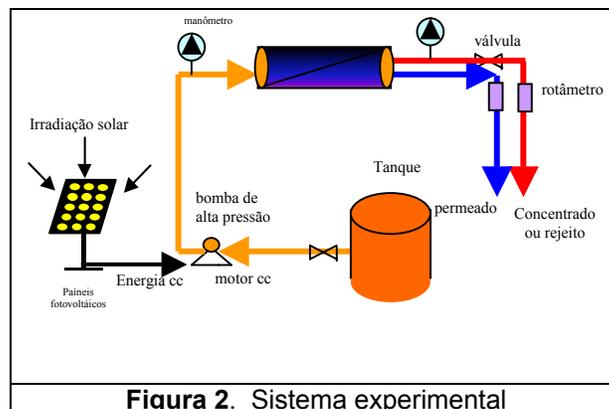
4 METODOLOGIA

O sistema utilizado é constituído por uma única membrana OI da Hydranautic Corporation cujas características encontram-se na Tabela 1 e um vaso de pressão (permeadores). Os painéis fotovoltaicos são da Kyocera Corporation, modelo KC 1101 (Tabela 2).

Material	Compósito de poliamida
Tipo	4040 – CPA2
Configuração	Enrolado em espiral
Pressão máxima aplicada	42,18 kgf / cm ²
Vazão máxima de alimentação	3,6 m ³ / h
Vazão nominal do permeado	0,33 m ³ / h
Temperatura máxima de operação	45°C
pH	3,0 – 10,0
Área nominal da membrana	7,89 m ²

Potência nominal máxima de saída	110 W
Tensão nominal com circuito aberto	21,1 V
Tensão nominal máxima de saída	76,5 V
Corrente nominal máxima com curto circuito	7,25 A
Corrente nominal máxima de saída	6,67 A
Tensão máxima do sistema	600 V
Área de célula	100 cm ²

Na Figura 2 é apresentado o sistema experimental utilizado.



O tanque de alimentação de água salobra é conectado a uma bomba de alta pressão que é acionada por um motor de corrente contínua (24V e ½ HP) e em

seguida ao reator de dessalinização, onde através do processo de OI, ocorre a separação da água potável (permeado) e do concentrado (água salobra). Os painéis fotovoltaicos, através do controlador de carga e das baterias, fornecem a energia elétrica para o acionamento da bomba.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Efeito da Pressão com a Potência Elétrica

A Figura 3 representa o comportamento da potência elétrica em função da pressão para a água de poço tubular. Observa-se que a potência elétrica do motor e da bomba de alta pressão aumentou linearmente com a pressão de operação. Isto se deve ao fato de que a motobomba depende da pressão de descarga e da alimentação. Observa-se também, que para o sistema funcionar a uma pressão de 8 kgf/cm² necessitou de uma potência elétrica de 283 W.

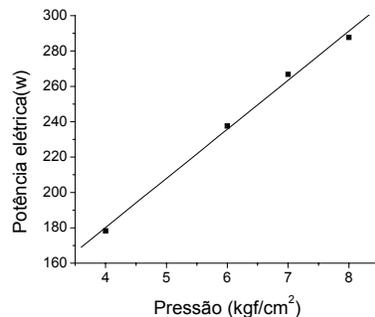


Figura 3. Comportamento da potência elétrica com a pressão do sistema.

Comportamento da vazão do permeado e do concentrado com a pressão

A Figura 4 apresenta o comportamento das vazões do permeado e do concentrado em função da pressão para as águas de poços tubulares. Observa-se que à medida que a pressão aumentou, a vazão do permeado cresceu, a vazão do concentrado diminuiu, ambas variaram proporcionalmente. A maior produção de água permeada foi obtida à pressão de 8 kgf/cm², sendo aproximadamente de 156L/h.

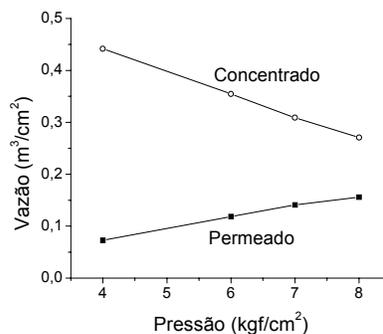


Figura 4. Comportamento da vazão com a pressão do sistema para a água.

Comportamento da recuperação com a pressão

Na Figura 5 é apresentado o perfil da recuperação do sistema em função da pressão de operação. Observa-se um aumento linear da recuperação em função da pressão. Isto se deve ao fato de que ao aumentar a pressão, mais água permeia a área efetiva da membrana. Para a pressão de 8 kgf/cm², a recuperação obtida é de 37,5%.

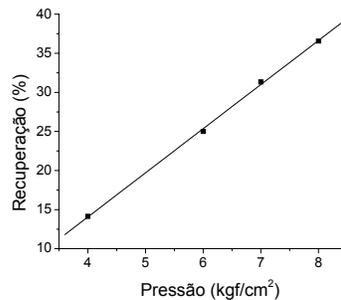


Figura 5. Comportamento da recuperação do sistema com a pressão para a água.

O efeito da recuperação do sistema está relacionado com vários parâmetros como: condutividade elétrica da água de alimentação, pressão, área efetiva de transferência de massa e tipo de membrana utilizada.

Comportamento do consumo de energia com a pressão

Na Figura 6 é apresentado o consumo de energia, por metro cúbico de água permeada, em função da pressão de operação. O consumo de energia durante o processo apresentou um comportamento decrescente em relação à pressão de operação. O consumo de energia pode ser relacionado diretamente com potência elétrica requerida para um dado tipo de membrana e água.

Observa-se que o consumo de energia diminuiu à medida que a pressão de operação aumentou para uma dada concentração de sais dissolvidos. Ou seja, quanto maior a concentração de sais presente na solução o consumo de energia aumentou para uma dada produção de água permeada. Verificou um consumo de energia de 1,84 kWh/m³ para 8,0 kgf/cm².

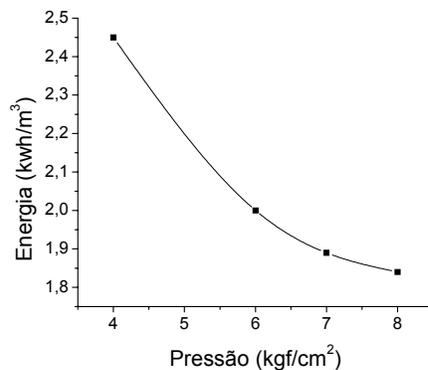


Figura 6. Variação da energia consumida com a pressão do sistema.

CUSTO ESTIMATIVO

A partir desses resultados, o custo para um sistema de dessalinização via OI usando painéis fotovoltaicos para uma água de 2.000 mg/L de concentração foi estimado (Tabela 3). O custo foi calculado, estimando-se em 20 anos a vida útil dos painéis fotovoltaicos. As membranas e baterias devem ser trocadas a cada 5 anos.

Tabela 3. Custo estimativo do sistema de dessalinização via OI usando painéis fotovoltaicos.

Sistema	US\$
Dessalinizador	900,00
Painéis fotovoltaicos (6 unidades) e acessórios	3.940,00
Instalação (10% do valor do Dessalinizador + painéis)	484,00
Manutenção e operação (2% ao ano)	1.936,00
Troca de membrana (3 vezes)	750,00
Troca de baterias (3 vezes)	120,00

Considerando uma produção média de 0,2 m³/h a uma pressão de 10 kgf/cm² e uma concentração da água de alimentação de 2.000 mg/L de sais dissolvidos, o custo da água dessalinizada pode ser calculado da seguinte forma. Estimando o tempo de operação (6 horas por dia e 300 dias por ano), a produção diária será de 1,2 m³/d. Considerando o custo total do sistema (Tabela 3), o custo da produção de água dessalinizada (potável) será de cerca de US\$ 1,13/m³. Esse valor encontrado se enquadra abaixo do custo de água dessalinizada a partir da água do mar. (Childs *et al.*, 1999) A partir das análises do sistema estudado, o uso de energia solar para operar dessalinizadores de pequeno porte parece técnica e economicamente atrativo para atender pequenas comunidades desprovidas de energia elétrica e água de boa qualidade. Este pequeno sistema geralmente operará em áreas remotas. Por isto, eles necessitam ser projetado tanto quanto rigoroso quanto possível para garantir um suficiente tempo de vida com o mínimo de manutenção.

6 CONCLUSÕES

A partir das análises do sistema estudado, o uso de energia solar para operar dessalinizadores de pequeno porte parece tecnicamente e economicamente atrativo para atender pequenas comunidades desprovidas de energia elétrica e água de boa qualidade. Uma vantagem importante dos dessalinizadores OI é a excelente qualidade da água produzida.

Observou-se que a potência elétrica varia linearmente com a pressão. Logo, com o aumento da pressão, há um aumento da potência elétrica requerida pelo conjunto motobomba.

O consumo de energia diminuiu com o aumento da pressão para todos os casos estudados.

O custo da produção de água de US\$ 1,13/m³ é razoável, tornando um fator estimulante para o desenvolvimento de novos projetos que venha produzir mais água a baixo custo.

Agradecimento

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao LABDES(Laboratório de Referência em Desalinização) pelo desenvolvimento da pesquisa

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AMJAD, Z. **Reverse osmosis**: membrane technology, water chemistry and industrial applications. New York: Editora, 1993.
- 2 BARBOSA, A. Venda de água vira bom negócio na Paraíba. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 12/11/1997.
- 3 COSTA, H. S.; ECK, M.; SILVA, G. F. Sustentabilidade de sistemas fotovoltaicos residenciais: a experiência do NAPPER no semi-árido. **Revista Ciência e Engenharia da Universidade Federal de Uberlândia**, v. 7, n.2, p. 105-112, 1998.
- 4 CHILDS, W.D.; DABIRIS, A.E.; AL-HINAI, A.; ABDULLAH, H.A. VARI-RO Solar-powered desalting technology. **Desalination**, v.125, n.1-3, p. 155-166, Nov. 1999.
- 5 FRANÇA, K.B.; LABORDE, H.M.; NEFF, H. Design and performance of small scale solar powered water desalination systems, utilizing reverse osmosis. **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 122, n.4, p. 170-175, Nov. 2000.
- 6 JOYCE, A.; LOUREIRO, D.; RODRIGUES, C.; CASTRO, S. Small reverse osmosis units using PV systems for water purification in rural places. **Desalination**, v. 137 n.1-3, p. 39-44, May 2001.
- 7 MALLEVIALLE, J.; ODENDAAL, P. E.; WIESNER, M. R. **Water treatment membrane processes**. American Water Works Association Research Foundation; Lyonnaise des Eaux; Water Research Comossion of South Africa. Washington: McGraw-Hill, 1996.
- 8 MOHSEN, M.S.; JABER, J.O. A photovoltaic-powered system for water desalination. **Desalination**, v. 138, n.1-3, p. 129-136, Sept. 2001.
- 9 MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1991.
- 10 PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1981.
- 11 TAYLOR, J. P.; JACOBS, E. P. Reverse osmosis and nanofiltration. In: Joel Mallevalle, J. et al. (eds.) **Water treatment membrane processes**. New York: McGraw-Hill, 1996.

ENERGIA ALTERNATIVA USADA NUM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO¹

Arleide Ricarte de Oliveira²

Kepler Borges França³

Hervé Michel Laborde⁴

Shefora Elisangela Henriques de Sousa⁵

Abstract

The dessalination of brackish waters comes growing to each year, due to search for drinking waters. But, unhappily, some isolated communities do not possess electric energy. Then, we can use the alternative power plants: wind-powered and photovoltaic. The objective of this work is to evaluate the performance of a dessalination system pilot (SDP) functioning with alternative energy in terms of amount, quality of water, consumption of energy and cost. System SDP is composed of the following components: an element of membrane of type CPA2 4040 of the Hydranautic Corporation; a permeated, two tanks, instruments of measure variable, photovoltaic panels, wind-powered turbine and picture of command. The SDP was tested for brackish water of tubular well of 2000mg/L under different gradients of pressures. They measure studied in function of the variable of measures: the effect of the potential electric with the pressure, the amount of permeated and intent water during the process, the behavior of the consumption of energy with the pressure and carried through an estimative cost for the process. The reached results making use of the panels photovoltaic had been: the electric power varies linearly with the pressure; the outflow of the permeated one grows and the outflow of the concentrate diminished with the increase of the pressure, both varies proportionally; the consumption of energy during the process presented a decreasing behavior in relation to the operation pressure. The cost of the water production was around $\text{US\$ } 1,13/\text{m}^3$.

Key-words: Dessalination; Photovoltaic energy; Wind-powered.

¹ 60º CONGRESSO ANUAL 2005, Belo Horizonte-MG, 25 a 28 de julho de 2005.

² Doutoranda - Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

³ Professor / Doutor- Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

⁴ Professor / Doutor- Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

⁵ Doutoranda- Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.