



I-007 - EVAPORAÇÃO SOLAR COMO ALTERNATIVA DE REUSO DOS EFLUENTES DA DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA

Miriam Cleide C. de Amorim⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB-Campina Grande). Engenheira Química da Companhia Pernambucana de Saneamento-COMPESA. Conveniada com a EMBRAPA Semi-Árido.

Everaldo Rocha Porto

Eng. Agrônomo pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre pela Universidade de Utah-USA. Ph.D. pela Universidade do Arizona-USA. Pesquisador da EMBRAPA-Semi-Árido. Consultor da FAO sobre estratégia de convivência com a seca através das técnicas de captação armazenamento e utilização de água de chuva.

Luiz Gonzaga de A. Silva Júnior

Eng. Agrônomo pela Universidade Federal da Paraíba. Especialista em drenagem pelo II Curso Internacional de Drenagem de Terras Agrícolas Coordenado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Mestre em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal da Paraíba. Eng. Agrônomo da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – CODEVASF.



Endereço⁽¹⁾: Av. do Sol, 100 - apto. 302 - Ed. Príncipe de Mônaco - Caminho do Sol - Petrolina - PE - CEP: 56330-625 - Brasil - Tel: (81) 862-3761 - e-mail: luizgjr@uol.com.br

RESUMO

Há muito se vem estudando soluções para o problema de água no semi-árido nordestino, cuja população afetada pela seca não dispõe sequer de água para beber. As técnicas de dessalinização constituem uma alternativa capaz de minimizar uma parcela da demanda de água potável, nessas regiões, cujos mananciais disponíveis resumem-se a mananciais salinizados pela intensa evaporação e intemperização das rochas do embasamento cristalino. No entanto o crescente uso dessas técnicas trará impactos ambientais, devido a produção de efluentes que, embora sejam apenas águas, estas possuem elevados teores de sais e são despejadas ao solo indiscriminadamente. Diante disto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma visão geral do problema e estudar a evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da técnica de dessalinização por osmose inversa, a fim de reduzir o volume de efluentes, transformando-os em um produto sólido, e obter sais cristalizados.

PALAVRAS-CHAVE: Dessalinização, Osmose Inversa, Impactos Ambientais, Evaporação Solar, Sais, Rejeitos.

INTRODUÇÃO

A escassez de água potável é um dos principais problemas nas regiões áridas e semi-áridas do Brasil. Os fatores climáticos limitam a disponibilidade de água à mananciais salinizados. No entanto, o problema da salinização dos mananciais não torna estes recursos inexploráveis pois, a tecnologia da dessalinização permite a viabilização dos mesmos. No Nordeste do Brasil vem sendo utilizada a técnica da osmose inversa, cujo princípio operacional foi desenvolvido no final da década de 60 e suas aplicações foram iniciadas em meados de 1970.

A osmose é um fenômeno natural de caráter físico-químico, no qual ocorre espontaneamente a passagem da solução de menor concentração de sais em direção à solução de maior concentração, quando estas são separadas por uma membrana semi-permeável. O fluxo ocorrerá até que se estabeleça um equilíbrio e uma diferença de níveis entre as duas soluções, a qual dá-se o nome de pressão osmótica. Na concepção de operação dos dessalinizadores por osmose inversa, são utilizadas membranas sintéticas e o processo natural da osmose é invertido por intermédio da aplicação mecânica de uma pressão superior à pressão osmótica, do lado da solução mais concentrada, fazendo com que ocorra um fluxo no sentido da solução de menor concentração salina.



Considerando principalmente sua comprovada eficiência quanto a relação custo quantidade de água potável produzida, a dessalinização por osmose inversa é uma alternativa inovadora e eficaz na conversão de água salgada em água potável, sendo crescente sua utilização no Nordeste do Brasil. Porém, como em todas as técnicas de dessalinização, há a produção de efluentes. Os efluentes são águas com características semelhantes às da água do mar, que poderão causar danos ao ambiente devido aos seus elevados teores de sais e sua deposição no solo sem critérios pré definidos.

Mesmo com a possibilidade de impactos ambientais consequentes da dessalinização, as águas salinizadas podem e devem ser aproveitadas como alternativa de suprimento de água potável nas regiões de escassez. No entanto, o manejo de seus efluentes deve ser planejado, fazendo-se mister implementar pesquisas quanto a utilização dos mesmos. Dos estudos da proposta de evaporação solar dos efluentes, com vistas a minimizar os possíveis impactos ambientais, observou-se que a redução de seu volume e a sua transformação em um produto sólido, facilitou seu manuseio, evitou seu contato com o solo e os sais obtidos pela cristalização, indicaram possível utilização tanto para o setor humano e animal, como no industrial.

A execução das pesquisas contou com o apoio da EMBRAPA Semi-Árido, da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA – Petrolina, do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal – M.M.A e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

ANÁLISE DO PROBLEMA

Segundo padrões da OMS (Organização Mundial de Saúde), a reduzida parcela de água disponível no semi-árido brasileiro, apresenta teores de sais acima do aceitável para consumo humano. Isto porque, nas circunstâncias climáticas que regem o semi-árido brasileiro, caracterizadas pela escassez de chuvas, irregularidade e má distribuição, estas favorecidas por altas temperaturas e elevados índices de evaporação resultam em grandes perdas na estocagem dos açudes e consequentemente elevação nos teores de sais. No caso dos mananciais subterrâneos, embora protegidos do intenso processo de evaporação, também estão sujeitos a salinização devido a intemperização das rochas do embasamento cristalino.

No entanto, esta parcela disponível vem sendo aproveitada através do uso de técnicas de dessalinização. Pela simplicidade e robustez do equipamento, os baixos custos de instalação e operação, incluindo o consumo de energia, de mão-de-obra na operação, além da capacidade de tratar volumes baixos a moderados de água bruta, a elevada taxa de recuperação, continuidade do processo e a excelente qualidade da água tratada, a técnica de osmose inversa vem sendo usada progressivamente no Nordeste do Brasil na produção de água potável a partir de águas salgadas. Estima-se que cerca de 1000 unidades estejam instaladas em comunidades do Nordeste.

Essa expansão do uso da dessalinização, poderá trazer impactos ambientais, devido a produção de efluentes ou rejeitos. Como em todas as técnicas de dessalinização o processo da osmose inversa produz como resultado dois efluentes. Um de água potável, chamado de permeável e outro de água com alto teor salino, chamado de rejeito, concentrado ou salmoura. Normalmente, no mínimo, cerca de 25% do volume de água bruta é lançado nos ecossistemas com teor salino bem mais concentrado do que o apresentado pela água bruta. Em alguns equipamentos este valor chega até 70%. O teor de sal no rejeito é uma função direta do teor de sal na água a ser dessalinizada, podendo ser da ordem de quatro a cinco vezes maior.

Esses rejeitos possuem potencial para contaminar mananciais, solo e até a fauna e flora da região. A ameaça de degradação dos ecossistemas deve-se aos seus elevados teores de sais e aos métodos atuais de disposição dos efluentes, que são: o uso de um corpo receptor ou simplesmente o despejo indiscriminado no solo. Esta prática irá causar danos ao ambiente, pois os sais depositados na superfície do solo, além de contaminarem mananciais subterrâneos, poderão ser transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial, e salinizar aguadas e áreas próximas. Sais como o sódio, por exemplo, poderão substituir o cálcio nos sítios de trocas de cátions, causando a dispersão dos colóides do solo, contribuindo para redução da sua condutividade hidráulica (Ilyas et al., 1993). Consequentemente, a vegetação da área seria prejudicada, devido à deterioração das características físico-químicas dos solos, e aos efeitos negativos dos sais sobre a fisiologia das plantas. Com a destruição do estrato herbáceo, os rebanhos, bem como, os animais silvestres



seriam seriamente prejudicados, pela falta da pastagem natural e abrigo. Um estudo no município de Petrolina (Amorim, 1997), confirmou a salinização do solo causada pelo despejo indiscriminado dos efluentes de dois dessalinizadores instalados em duas comunidades.

A questão da disposição dos rejeitos, há muito é preocupação nos países cuja utilização das técnicas de dessalinização é fator determinante na produção de água potável para o abastecimento de cidades. Na Califórnia pesquisas avaliam o uso de rejeito em sistemas construídos para serem o habitat de pássaros, peixes e plantas (“wetlands”). Nos países do Golfo Pérsico, os efluentes da dessalinização por processos térmicos são despejados no oceano e já é motivo de preocupação, devido ao aumento da temperatura e a presença de metais pesados que podem ser tóxicos a vida marinha e, pela possibilidade de contribuir par o aumento da salinidade do mar associado ao aumento da evaporação natural dos oceanos. De acordo com Buros (1994), processos de irrigação, injeção em poços profundos, descargas em águas superficiais, lagoas de evaporação e criação de ambientes paisagísticos, são alternativas de disposição que podem ser avaliadas a fim de minimizar os possíveis impactos ambientais.

Diante da demanda de água de boa qualidade e a possibilidade de suprir uma parcela desta, através da dessalinização, associada a uma possibilidade de degradação do meio ambiente, torna-se evidente a necessidade de estudos do manejo dos seus subprodutos, a fim de conciliar o fornecimento de água potável ao homem do semi-árido e a preservação do equilíbrio ambiental da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando as características químicas dos efluentes, bem como as condições climáticas da região semi-árida, uma alternativa de reaproveitamento daquelas águas pode ser a evaporação solar, objetivando inicialmente sua transformação em um produto sólido, reduzindo seu volume e facilitando seu manuseio. Posteriormente, a obtenção de sais cristalizados vem como decorrência do processo de evaporação da água, através da precipitação dos sais, quando estes atingem seus pontos de solubilidade.

Como não há metodologia para cristalização de sais de água salobras, utilizamos como base a metodologia do processo de produção de sal marinho. Nesta, a água é exposta ao sol e a medida que evapora, os sais se concentram, atingem seus pontos de saturação ou solubilidade, e se precipitam de acordo com suas características químicas. A técnica baseia-se na Tabela de J. Usiglio representada pelo diagrama da figura 1, na qual ocorre a cristalização do CaCO_3 entre 7,0 – 16 graus Baumé ($^{\circ}\text{Bé}$), a do CaSO_4 entre 16 - 25 $^{\circ}\text{Bé}$, a do NaCl entre 25 – 29 $^{\circ}\text{Bé}$, a do MgSO_4 e MgCl_2 entre 29– 34 $^{\circ}\text{Bé}$, e acima de 34 ocorre a cristalização do CaCl_2 .

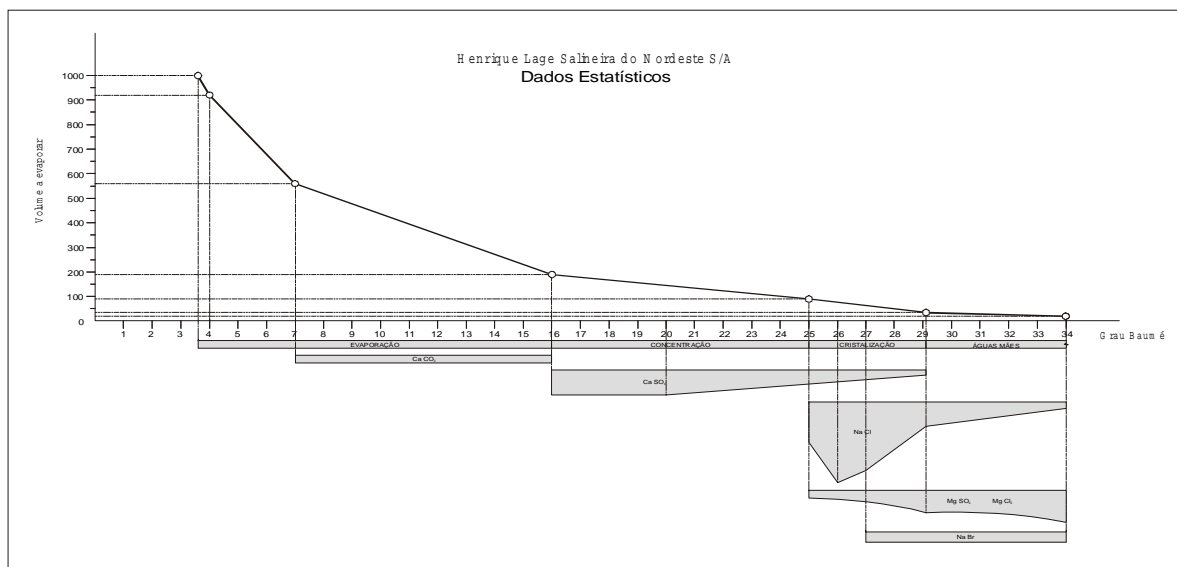


Figura 1: Diagrama de evaporação solar utilizado na produção de sal marinho.



A partir das características químicas do efluente que, através da confecção do Diagrama Colunar de Cederstron, indicaram a presença de sais magnesianos, sódicos e cálcicos, estimamos ocorrer o processo da seguinte forma: a água fica exposta ao sol em um tanque até atingir a concentração de 16 °Bé e precipitar o CaCO_3 , e ser então transferida para um tanque seguinte; neste, a água permanece até os 25°Bé precipitando o CaSO_4 e passa para um terceiro tanque, quando neste, dá-se a precipitação do NaCl até os 29°Bé. Ao atingir os 29 °Bé, a água segue para um quarto tanque, e neste precipita o MgCl_2 , até atingir 32°Bé quando segue para um quinto tanque, onde permanece até 44°Bé. Partindo-se de um volume de 5,0 m³ de rejeito foram construídos cinco tanques com as seguintes dimensões: 5,0 x 4,0 x 0,25; 2,0 x 2,0 x 0,15; 2,0 x 1,0 x 0,15; 2,0 x 1,0 x 0,15 e 0,5 x 0,5 x 0,15 .

Foram realizadas cinco repetições, sendo cada uma composta por cinco etapas ou cinco faixas de cristalização de forma que, ao fim de cada repetição totalizaram-se cinco sais. Os pontos de saturação foram identificados utilizando-se o aerômetro de Baumé, sendo a densidade inicial do rejeito de 0,5°Bé e as faixas de cristalização de 0,5 – 16 °Bé (1ª faixa), de 16 - 25 °Bé (2ª faixa), de 25 – 29 °Bé (3ª faixa), de 29 – 32 °Bé (4ª faixa) e de 32 – 44 °Bé (5ª faixa). Os sais obtidos foram analisados conforme metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, MB-603 e os rejeitos conforme metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na condutividade elétrica (CE) do efluente, antes de iniciar o processo de evaporação e, sabendo-se que todos os experimentos partiram de um volume de 5,0 m³ do efluente, utilizou-se a relação $\text{CE (mmhos/cm)} \times 0,64 = \text{g/l}$ para prever a quantidade provável de sais cristalizados. Com uma condutividade média das cinco repetições de 11,36 mmhos/cm estimou-se que seriam obtidos uma média de 36,35 kg de sal. Com uma evaporação média de 9,59 mm, medida em tanque Classe A, obteve-se a cristalização dos sais num tempo total médio de 71 dias. Os sais cristalizados foram recolhidos, identificados e pesados. A tabela 1 mostra o peso de cada sal obtido em cada repetição, o peso total dos sais ao fim de uma repetição e a média do peso total por faixa de cristalização.

Tabela 1: Peso (kg) dos sais obtidos em cada faixa de cristalização nas cinco repetições.

Repetições	0,5 – 16 °Bé	16 - 25 °Bé	25 – 29 °Bé	29 – 32 °Bé	32 – 44 °Bé	Peso Total
1	10,00	17,00	9,00	3,00	0,60	39,60
2	4,00	9,00	17,00	4,10	0,75	34,85
3	5,50	4,50	10,00	8,50	0,78	29,28
4	13,50	13,50	7,50	3,50	0,83	38,83
5	10,00	10,00	13,00	3,90	0,83	37,73
Média do Peso	8,60 kg	10,80 kg	11,30 kg	4,60 kg	0,76 kg	36,06 kg

Pode-se observar que o peso total médio obtido após pesagens foi de 36,06 kg, sendo o erro na estimativa dos sais obtidos de 0,79% .

Analisando-se cada sal conforme metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, MB-603, determinou-se a composição centesimal provável em cada faixa de cristalização, expressando-se na forma dos seguintes compostos químicos: sulfato de cálcio (CaSO_4), sulfato de magnésio (MgSO_4), cloreto de sódio (NaCl), cloreto de magnésio (MgCl_2) e cloreto de cálcio (CaCl_2). A tabela 2 apresenta para cada sal, a média da composição centesimal por faixa nas cinco repetições e a média por repetição.

Tabela 2: Média da Composição Centesimal nas cinco repetições, dos sais obtidos em cada faixa de cristalização (%).

Sais	Faixas de cristalização					Média por repetição
	0,5 – 16 °Bé	16 - 25 °Bé	25 – 29 °Bé	29 – 32 °Bé	32 – 44 °Bé	
CaSO_4	9,30	7,32	3,66	2,40	2,20	4,99
MgSO_4	15,40	4,56	3,66	0,00	0,00	4,72
NaCl	74,70	88,16	89,82	78,66	63,80	79,03
MgCl_2	0,00	0,00	2,66	12,90	27,78	8,67
CaCl_2	0,00	0,00	0,00	6,04	6,20	2,45



Dos sais encontrados vemos que o NaCl ocorreu em todas as faixas, diferenciando do esperado pelo diagrama da figura 1, onde só aparece a partir dos 25°Bé. Seu percentual cresceu da faixa de 0,5 – 16 °Bé (1ª faixa), para a de 25 – 29 °Bé (3ª faixa), e decresceu desta para a última, estando o maior percentual ocorrendo sempre na de 25 – 29 °Bé, de acordo com o diagrama. O NaCl foi o sal de maior ocorrência.

O MgCl₂ foi o sal de maior ocorrência após o NaCl, e aparecendo apenas a partir dos 25 °Bé, crescendo desta, para a última faixa, também em acordo com a figura 1. O MgSO₄ cristalizou-se na de 0,5 – 16 °Bé (1ª faixa), na de 16 - 25 °Bé (2ª faixa), e na de 25 – 29 °Bé (3ª faixa), sendo esta sua ordem de maior ocorrência e foi o sal que predominou após o MgCl₂, porém seu aparecimento foi diferente do diagrama, no qual sua precipitação só ocorre a partir dos 25°Bé.

O comportamento do CaSO₄ também foi diferente do esperado, pois de acordo com o diagrama ele só ocorre nas faixas de 16 - 25 °Bé e de 25 – 29°Bé (3ª faixa), estando seu maior percentual entre 16 e 20°Bé (segunda faixa), enquanto que nos experimentos observamos que sua ocorrência deu-se em todas as faixas e seu percentual decresceu da faixa de 0,5 – 16 °Bé (1ª faixa), para a de 29 – 32 °Bé (4ª faixa) e a de 32 – 44 °Bé (5ª faixa), sendo sua maior ocorrência na de 0,5 – 16 °Bé e na de 16 - 25 °Bé. O CaCl₂ foi o sal de menor ocorrência dentre todos, estando presente apenas nas faixas de 29 – 32 °Bé (4ª faixa) e de 32 – 44 °Bé (5ª faixa), em percentuais semelhantes.

Assim, a partir dos resultados da tabela 2, agrupando o sal NaCl em sódicos, o MgCl₂ e o MgSO₄ em magnesianos e o CaSO₄ e CaCl₂ em cálcicos, observamos que os sais sódicos predominaram com um percentual médio de 79,03 %, seguidos dos magnesianos com 13,39% e dos cálcicos, com 7,44 %.

Com isso, pode-se observar que o processo de cristalização dos sais dos efluentes teve diferenças em relação ao da água do mar, não só devido aos percentuais, pois estes são uma função da água do rejeito, mas pela mistura de sais nos tanques, e pela diferença nas faixas de ocorrência. No geral pode-se concluir que o processo é semelhante, porém há a necessidade de se estabelecer um diagrama específico para os efluentes dos dessalinizadores, enquadrando as cristalizações às devidas faixas de graus Baumé, no intuito de orientar os processos de evaporação.

A curto prazo, a transformação do efluente líquido em um produto sólido, trará a redução de seu volume e maior facilidade de manuseio evitando o seu contato com o solo. É objetivo futuro, o estudo da viabilidade de utilização dos sais, devido a sua importância fundamental, tanto para o setor humano e animal, como no industrial, principalmente pela predominância do NaCl. Para isso é necessário avaliar as normas e padrões para o consumo humano, assim como para insumo animal deva ser observado a tolerância de sais de magnésio que, segundo Pallas (1986), organismos de caprinos e ovinos têm o seu limite máximo de 0,5 mg/l de magnésio, e Queiroz (1986) afirma que uma das principais impurezas do sal obtido por evaporação solar nas salinas, são o MgCl₂ e o MgSO₄, como observamos nos sais obtidos da evaporação dos rejeitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, Cloreto de Sódio-Ensaio Analítico de Sal para Alimentação Humana-MB-603.
2. AFHA. American Public Health Association Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16 th. Ed. American Public Health Ass. Washington, 1985.
3. AMORIM, M.C.C.; SILVA JÚNIOR, L.G.A.; PORTO, E. Efeito de Sais no Solo Provenientes de Rejeitos da dessalinização por Osmose Inversa no Semi-Árido Pernambucano. Trabalho Apresentado no XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola; de 21 a 25 de Julho/97 - Campina Grande - PB.
4. BUROS, O.K. Desalting as na environmentally friendlly water treatment process, Water Treatment Technology Report No. 13, sep.1994.
5. CEDESTRON, D. J. Águas Subterrâneas: uma introdução. Centro de Publicações Técnicas da Aliança, Rio de Janeiro, 1964.
6. IYAS, M., MILLER, R. W., QURESHI, R. H. Hydraulic conductivity of saline-sodic soil after gypsum application and cropping. Journal of the Soil Science Society of America, v. 57, p.1580-1585, 1993.
7. PORTO, E.R, AMORIM, M.C.C. de, ARAÚJO, O. J., SILVA JÚNIOR, L.G.A. Aproveitamento dos Rejeitos da Dessalinização. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 1., 1997.Petrolina, PE. Anais... Petrolina; EMBRAPA Semi-Árido.
8. PALLAS, P. Water for Animals. Rome, Italy: FAO, 1986. p 5 – 8. (FAO AGL/MISC/4/85)
9. QUEIROZ, G. P. Lavagem do Sal Bruto, Revista de Química Industrial, No. 634, p 36-37, fevereiro, 1985.