



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76

Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – 2020

Modelagem e simulação das unidades de dessalinização CERB e PAD no interior baiano, visando sua eficácia e sustentabilidade

Poliane Kethilin dos Santos Oliveira¹; Pablo Rodrigo Fica Piras²;

1. Bolsista PROBIC/UEFS, Graduando em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: pollianykethilin@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia- DTEC Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: pafipi@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: águas salobras; osmose reversa; otimização operacional.

INTRODUÇÃO

De acordo com SEI/CEPLANTEC (1991, apud Maia, Rodrigues, Souza, 2013), a seca é algo recorrente do clima semiárido, predominante em boa parte da Bahia. Este estado que devido à sua extensão territorial e a atuação de diversos sistemas meteorológicos é continuamente atingido pela escassez de água.

Diante disso, o uso de águas subterrâneas é uma alternativa para muitos municípios baianos que sofrem com as condições edafoclimáticas e conseqüentemente com a estiagem prolongada. Segundo a base de dados do CPRM (2019), no estado a quantidade de poços artesianos registrado pelo SIAGAS - Serviço de informação de Águas Subterrâneas, chegam a vinte e cinco mil quinhentos e oitenta e cinco, sendo trezentos e cinquenta em quatro deles no município de Feira de Santana. Deste modo, tratar da qualidade deste tipo de água é imprescindível.

Nesse viés, a portaria 2419/2001 do Ministério da Saúde que foi revogada e consolidada em 2017, define através dos requisitos para o padrão de potabilidade da água que esta não pode dentre outros fatores, de exceder os 7440 mg/L de sódio. Contudo, o que se observa na hodiernidade é que muitos dos poços artesianos do semiárido possuem uma alta concentração salina, tornando essa água imprópria para o consumo.

Olhando justamente para este ponto, o Governo Federal lançou o PAD- Programa de água Doce que de acordo com o Muniz (2018), promove desde 2004 políticas públicas como intuito de oferecer permanentemente água de qualidade para o consumo humano, por meio da criação de sistemas de dessalinização. Esse programa abrange os nove estados do Nordeste, além de Minas Gerais (MUNIZ, 2018).

Tal projeto em concordância com Correio (2010), conta com uma unidade demonstrativa que é um sistema integrado, pois além de a comunidade obter a água doce para consumo ainda utiliza o remanescente da dessalinização, chamado de concentrado, na criação de

tilápia e na irrigação de erva-sal que serve para alimentar ovinos e caprinos. Por conta disso, esse mecanismo é dito, sustentável.

Diante do exposto, esse projeto de pesquisa é plenamente justificável ao fato da necessidade de se conhecer o funcionamento das unidades de dessalinização da Bahia e a partir disso contribuir com possíveis melhoras, pois se futuramente estas estiverem em pleno funcionamento e abrangência trará uma melhora significativa na qualidade de vida do sertanejo, que é castigado continuamente pelos efeitos devastadores das grandes secas. A osmose-reversa é uma tecnologia que tem despertado renovado interesse nos tempos recentes e originado vários trabalhos de revisão da tecnologia (Greenlee et alii, 2009; Lee et alii, 2011; Petersen, 1993).

A principal vantagem da osmose reversa por sobre as demais tecnologias concorrentes (destilação, evaporação e eletrodialise) é a ausência de mudança de fase, economizando energia e proporcionando modularidade, flexibilidade e condições práticas para construir plantas de pequeno porte. O crescimento da confiabilidade biológica, mecânica e química, assim como a duração das membranas, tem reduzido o curso de membrana por volume d'água produzida em mais de dez vezes nos últimos 40 anos (Du et alii, 2014). Embora o consumo de energia e o custo unitário da unidade de osmose reversa para dessalinização estejam intensamente vinculados à tecnologia da membrana, estes parâmetros estão também estreitamente vinculados à operação do processo. Incluso tendo em conta que a energia consumida na pressurização da água salobra alimentada, existe um desvínculo entre o consumo mínimo de energia e o custo mínimo de produção. Surgem também como objetivos os relacionados com os impactos ambientais da operação de uma planta deste tipo, assim como os diferentes teores de sais, dependendo do destino e quantidade necessária do permeado. Por isto, uma modelagem multi-objetivo, com método de resolução eficiente vêm cobrando importância e interesse nos momentos atuais (Du et alii, 2014).

METODOLOGIA

O presente plano propõe a modelagem matemática de uma unidade de osmose-reversa (Figura 1), resolvida computacionalmente através da abordagem de solução difusão, que relaciona fluxos com pressões de operação e integre em um sistema de equações os coeficientes de permeabilidade de soluto e solvente, o transporte de permeado e retenção de soluto, com informações relacionadas com dependência da temperatura, energia gasta e balanço material.

Dito modelo será programado em Matlab/Simulink, tendo como base a modelagem matemática utilizada por Sarai Atab, Smallbone, Roskilly (2016) em seu trabalho sobre dessalinização por meio do sistema de Osmose Reversa, sendo as equações matemáticas as dispostas na Tabela 1.

Os parâmetros de tal modelo serão definidos após identificação e visitação de unidades de osmose reversa no semiárido, já construídas (CERB) e em construção (PAD).

Em uma primeira etapa, será realizado um estudo destas duas unidades escolhidas em estado estacionário.

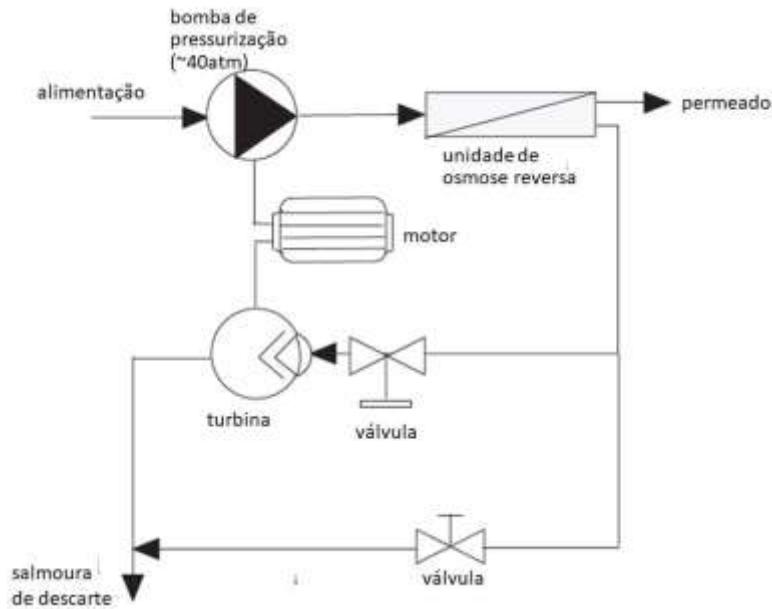


Figura 1: Esquema de uma unidade de osmose reversa (adaptado de Avlonitis *et alii*, 2007).

Tabela 1. Equações de modelagem- Osmose Reversa (Sarai Atab *et alii*, 2016).

	Equação	Nº
Fluxo do permeado	$J_w = A_w(\Delta p - \Delta \pi)$	(1)
Coefficiente de permeabilidade do Solvente	$A_w = \frac{D_w C_w V_w}{\delta_m RT}$	(2)
Transporte do Solute	$J_s = B_s(C_m - C_p)$	(3)
Coefficiente de permeabilidade do soluto	$B_s = \frac{D_s K_s}{\delta_m}$	(4)
Rejeição do Sal	$R_s = \left[1 + \frac{B_s}{A_w(\Delta p - \Delta \pi)} \right]^{-1}$	(5)
Pressão Osmótica	$\Delta \pi = RT \sum (n/v)$	(6)
Fator de Correção de Temperatura	$TCF = \exp \left[\frac{EM}{R} \left(\frac{1}{273+T} - \frac{1}{298} \right) \right]$	(7)
Energia Específica	$E = \frac{P_f Q_f (E_{pump})^{-1} - P_r Q_r E_{ERD}}{Q_r}$	(8)
Taxa de Recuperação	$R = \frac{Q_p}{Q_f}$	(9)
Balço de massa Total	$Q_f C_f = Q_p C_p + Q_r C_r$	(10)
Pressão Delta	$\Delta p = \frac{P_f + P_r}{2} - P_p$	(11)

Em ambos os casos será simulada a conveniência, em termos de capital de investimento e de custos de operação, de adicionar uma unidade de recuperação de energia

(aproveitamento mediante turbina do rejeito da osmose, pressurizado a 40ATM app (Sarai Atab et alii, 2016).

Este procedimento de simulação computacional irá auxiliar na definição dos parâmetros de operação mais apropriados para ambas as unidades supracitadas.

Com isto desenvolvido o Plano considera-se realizado. Em caso de ter avanço maior ao previsto, poderá ser feito o estudo transiente dessas mesmas duas unidades, otimização da operação (consumo de energia, seletividade, durabilidade da membrana) e contribuir com as companhias envolvidas na revisão dos POPs das unidades e emissão de sugestões

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após viagem às comunidades de Umburanas e Santa Bárbara onde foi visitada três e cinco unidades, respectivamente, as três de Umburanas em funcionamento, sendo a de Buracos um de seus povoados operada pela Empresa Baiana de águas e saneamento EMBASA e as outras duas no povoado de São José e Federal, operadas por um líder local. Já em Santa Bárbara de todas localidades apreciadas: Malhada nova, Azeitona, Candeal Pequeno, Mata Grande e Noventinha a dessalinização já não mais acontecia devido ao sucateamento das unidades, que ocorreu ao longo dos anos por diversos fatores. Esse primeiro contato foi fundamental para conhecer os problemas vividos por cada localidade, bem como em função de que parâmetro algumas conseguiam obter êxito.



Figura 2. Unidade de dessalinização da comunidade de Buracos – Umburanas. Operada atualmente pela EMBASA



Figura 3. Unidade de dessalinização do povoado de São José- Umburanas. Operada por um líder local.



Figura 4. Unidade de dessalinização da comunidade de Malhada Nova- Santa Bárbara. Inoperante.

Tabela 2. Valores das variáveis necessárias na implementação do código matemático em matlab.

Variável	Valor	Unidade
Vazão de alimentação (Qf)	7862,4	m ³ /dia
Vazão de permeado (Qp)	3537,6	m ³ /dia
Espessura da membrana (δm)	$3,2 \cdot 10^{-4}$	m
Concentração de água na membrana (Cw)	0,0107	mol/g
Difusividade da água (Dw)	0,025	m ² /s
Volume molar da água (Vm)	55,55556	mol/L
Difusividade do soluto (Ds)	$2,78 \cdot 10^{-10}$	m ² /s
Pressão de alimentação (Pf)	64	bar
Pressão de Rejeito (Pr)	62	bar
Pressão de permeado (Pp)	1,5	bar
Temperatura (T)	25	°C

Em seguida, iniciou-se a aprendizagem da linguagem computacional para realizar a transcrição das equações matemáticas (tabela 1) do modelo para o Matlab. Posteriormente o trabalho seguiu para a procura das variáveis de processo para que a simulação ocorresse. Desse modo, foi escrito em linguagem computacional um primeiro ensaio com o objetivo de analisar a rejeição de sal pela membrana que de acordo com Sarai Atab, Smallbone, Roskilly (2016), essa é uma medida apropriada para medir a seletividade membranas. Portanto, a temperatura foi fixada em 25°C e a pressão variou de 25 a 60 bar e depois a pressão foi fixada em 25 bar e a temperatura variou de 25°C a 65°C. Em posse desses dados foi implementado as condições operacionais no programa para que no fim esse gerasse gráficos que permitiria inferir como mudanças no binômio temperatura x pressão interferiria na rejeição de sal e conseqüentemente qual impacto isso representaria na

seletividade da membrana. Para tanto, foram consultados diversos trabalhos, Farrel (1993), Dow (n.d.), Sarai Atab *et alii* (2016), para encontrar os valores dessas variáveis necessárias na implementação da equação 5 (tabela 1), estes estão dispostos na tabela abaixo:

Os dados implementados geraram os seguintes gráficos:

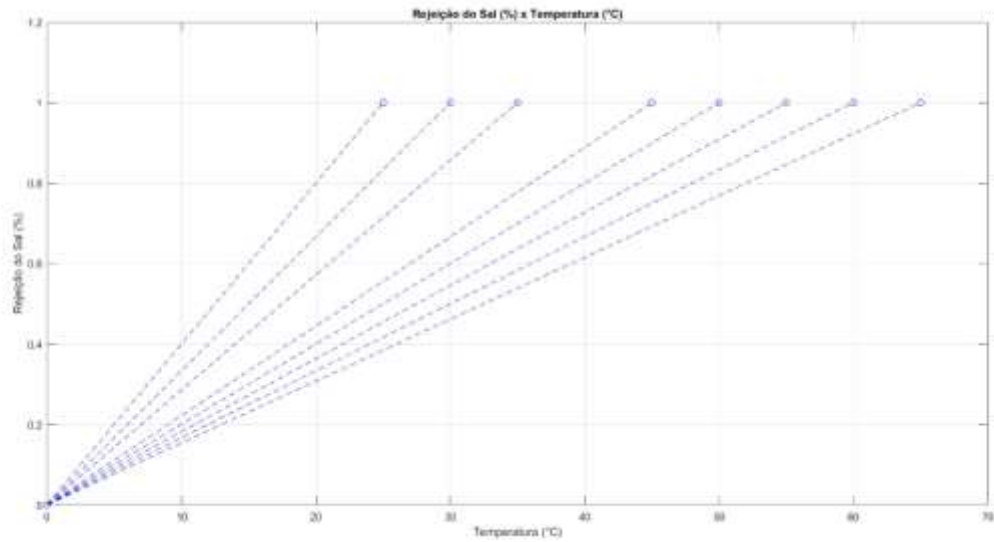


Figura 5. Rejeição de sal em função da temperatura mantendo a pressão constante em 25 bar. Gráfico gerado pelo matlab.

Fonte: Os autores

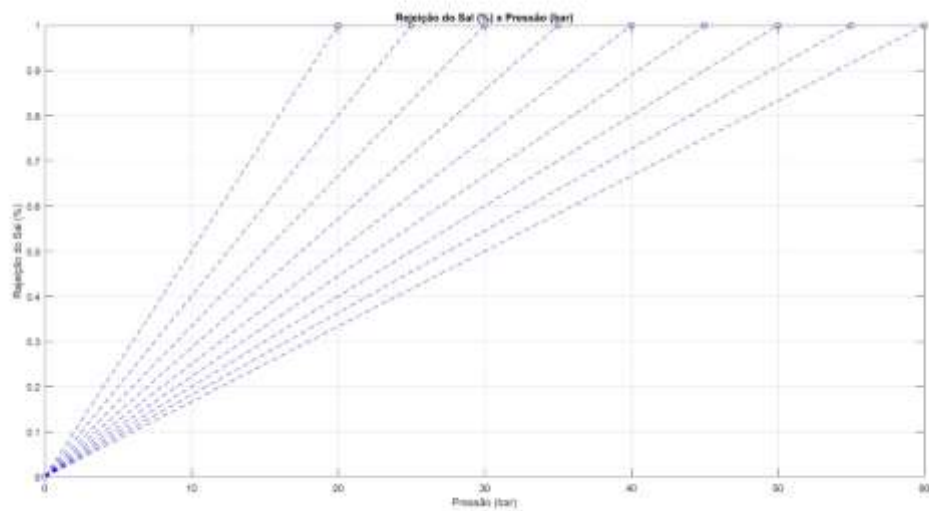


Figura 6. Rejeição de sal em função da pressão mantendo a temperatura constante em 25 °C. Gráfico gerado pelo matlab.

Fonte: Os autores

Diferente do esperado, pode-se perceber que houve uma divergência no comportamento obtido pelo estudo de Sarai Atab, Smallbone, Roskilly (2016), como pode ser visto nas figuras 7 e 8. De acordo com esse estudo citado o aumento da pressão reduz a concentração do permeado e que a rejeição de sal aumenta com a diminuição da temperatura, pois os compostos estão menos dissolvidos e, portanto, o solvente menos viscoso. Para um melhor desenvolvimento do plano de trabalho seria necessário um aprofundamento maior no comportamento das variáveis de estudo, para então perceber os erros e então corrigi-los, portanto, demandaria de mais tempo.

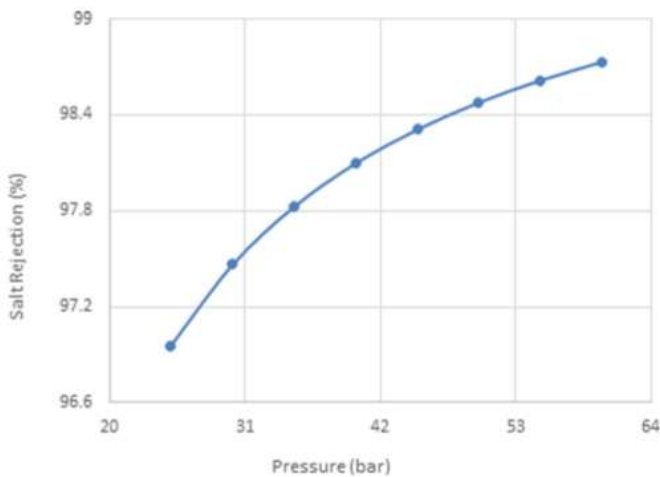


Figura 7. Rejeição de sal em função da pressão mantendo a temperatura fixa.

Fonte: Sarai Atab, Smallbone, Roskilly (2016)

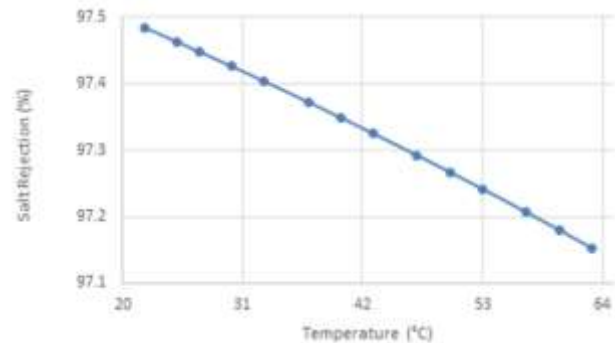


Figura 8. Rejeição de sal em função da temperatura mantendo a pressão constante.

Fonte: Sarai Atab, Smallbone, Roskilly (2016)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das condições sanitárias atuais, por conta da pandemia causada pelo vírus COVID-19, as atividades da pesquisa foram prejudicadas. No entanto, verifica-se apesar de o desenvolvimento do projeto não ter acontecido de forma plena, melhorias e otimização nesse tipo de sistema é algo de extrema importância, visto que diversas comunidades do semiárido não contam com água potável para o consumo. Tais fatores são influenciados inicialmente pela seca, mas são consolidados pela falta de políticas públicas escassas ou ineficientes. Desse modo, as comunidades ficam desassistidas e unidades de dessalinização como as visitadas, acabam ficando inutilizadas devido à falta de monitoramento e manutenção.

REFERÊNCIAS

Avlonitis, S. A., Pappas, M., & Moutesidis, K. (2007). A unified model for the detailed investigation of membrane modules and RO plants performance. *Desalination*, 203(1-3), 218–228. doi:10.1016/j.desal.2006.04.009

- Brasil. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- Correio, Jornal. Bahia lança programa que transforma água salgada em doce. Salvador, 2010. Disponível em: <<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/bahia-lanca-programa-que-transforma-agua-salgada-em-agua-doce/>> Acesso em: 14 de março de 2019.
- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php> Acesso em: 15 de março de 2019.
- Dow – Dow Chemical Company (n.d.), Water Solutions. Filmtec™ Reverse Osmosis Membranes , Technical Manual.
- Du, Y., Xie, L., Liu, J., Wang, Y., Xu, Y., & Wang, S. (2014). Multi-objective optimization of reverse osmosis networks by lexicographic optimization and augmented epsilon constraint method. *Desalination*, 333(1), 66–81. doi:10.1016/j.desal.2013.10.028
- Farrel, C.P., Babb, L.A. (1973). Estimation of the permeability of cellulosic membranes from solute dimensions and diffusivities. *Departments of Chemical and Nuclear Engineering, University of Washington, Seattle J. biomed Mater.* vol. 7, pp. 275-300.
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317–2348. doi:10.1016/j.watres.2009.03.010
- Lee, K. P., Arnot, T. C., & Mattia, D. (2011). A review of reverse osmosis membrane materials for desalination—Development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370(1-2), 1–22. doi:10.1016/j.memsci.2010.12.036
- Maia, P.H.P.; Rodrigues, S.R.; Souza, N.. Estratégias para Ampliar a oferta de Água no Semiárido Baiano. *Cadernos de Geociências*, V. 10, n. 2, p. 116-132, 2013.
- Petersen, R. J. (1993). Composite reverse osmosis and nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 83(1), 81–150. doi:10.1016/0376-7388(93)80014-o
- Sarai Atab, M., Smallbone, A. J., & Roskilly, A. P. (2016). An operational and economic study of a reverse osmosis desalination system for potable water and land irrigation. *Desalination*, 397, 174–184. doi:10.1016/j.desal.2016.06.020