

Eixo Temático ET-02-015 - Saneamento Ambiental

REUTILIZAÇÃO DE REJEITO DE DESSALINIZADORES NA PARAIBAVanessa Rosales Bezerra¹, Carlos Antônio Pereira de Lima¹,
Luis Reyes Rosales Montero², Keila Machado de Medeiros³¹UEPB.²UFCG.³UFRB.**RESUMO**

A água é um recurso natural de valor inestimável. Mais que um insumo indispensável à produção, ela é vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, que mantêm em equilíbrio os ecossistemas. É, ainda, uma referência cultural e um bem social indispensável à adequada qualidade de vida da população. Diante desse cenário de dependência, são desenvolvidas técnicas físico-químico retirando sais da água, tornando-a doce e própria para o consumo, a dessalinização, então, é vista como uma das grandes alternativas para solucionar o problema de abastecimento no mundo. Porém, a destinação ambientalmente correta dos rejeitos do processo desse processo é um dos desafios enfrentados que deve ser ponderado. Isso porque a osmose reversa gera outro tipo de água, muito salina, com risco de contaminação ambiental elevado e geralmente, esse rejeito é devolvido ao solo ou até aos cursos d'água. A partir desses problemas, o presente trabalho tem como objetivo estudar as diversas forma de tratamento dos rejeitos da dessalinização da água e escolher uma técnica viável para a aplicação o sertão brasileiro, área que mais sofre com a escassez de água.

Palavras-chave: Água subterrâneas; Rejeito de dessalinizador; Semiárido.

INTRODUÇÃO

O ser humano não consegue viver longe da água que bebe e dos resíduos que produz. Essa parece ser uma preocupação que acompanha as civilizações desde as épocas mais remotas. Embora, com o passar dos tempos, a humanidade tenha aperfeiçoado muitas técnicas para coletar água e afastar os detritos, o problema permanece até os dias de hoje. Os povos primitivos utilizavam métodos simples para recolher as águas das chuvas, dos rios e dos lagos. Na sua fase nômade, em que mudava constantemente de lugar, o homem deixava restos de alimentos e dejetos acumulando-se dentro da própria habitação. (CRUZ,2013)

Com o decorrer do tempo, as necessidades humanas e o crescimento da população passaram a exigir quantidades cada vez maiores de água e facilidade de acesso às fontes existentes. Ao mesmo tempo, eram procuradas novas fontes de suprimento, inclusive no subsolo. Na América, os incas e mesmo as civilizações mais antigas já construía numerosos sistemas de canalização de águas para irrigação, principalmente nas terras áridas da costa do Peru. Os egípcios dominavam técnicas sofisticadas de irrigação do solo na agricultura e métodos de armazenamento de líquido, pois dependiam das enchentes do Rio Nilo.

Durante a Idade Média, os hábitos dos camponeses e senhores eram semelhantes àqueles praticados pelas civilizações passadas. A situação se agravou com o início do desenvolvimento industrial, em meados do século XVIII, quando as fábricas de tecidos levaram os artesãos em massa para os grandes centros urbanos. Atualmente, o desenvolvimento da ciência e da tecnologia permitiu que fontes contaminadas se tornassem potáveis após tratamento. Hoje existem métodos diversificados para que o esgoto e o lixo não afetem a saúde

e o meio ambiente. Porém, em toda a história da humanidade, a deterioração dos recursos naturais nunca atingiu tamanha proporção como nos dias atuais. (CRUZ,2013)

No Brasil, o uso dos recursos hídricos começa a ficar preocupante: falta água na maioria das bacias do Nordeste, na Grande São Paulo, certas regiões de Minas Gerais, Bahia e em algumas áreas do Rio Grande do Sul. Possuímos 16% de água doce do planeta, distribuída de modo irregular. Cerca de 68% de nossos recursos hídricos estão no Norte, onde tem menos gente; apenas 3% estão no Nordeste e 6% no Sudeste, onde a população é maior. O Aquífero Guarani se estende pelos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além da Argentina, Paraguai e Uruguai. Ocupa uma área de 1,2 milhões de km², dos quais 70% encontram-se no Brasil. É um dos maiores reservatórios subterrâneos de água do mundo.

Em qualquer situação fisiográfica a depleção dos recursos hídricos deve ser avaliada com preocupação, mas, em regiões como o Nordeste do Brasil, caracterizada por um clima semi-árido, representado por altas temperaturas, elevadas taxas de evaporação e baixas precipitações pluviais, fatores que favorecem a escassez de água, a preocupação há de ter caráter iminente. Nesta região, a disponibilidade hídrica anual de 700 bilhões de m³ pode ser considerada expressiva; entretanto, como ressaltam Rebouças & Marinho (1972), somente 24 bilhões de m³ permanecem efetivamente disponíveis, sendo que a maior parte, ou seja, 97%, é consumido pela evaporação que atinge, em média, 2.000 mm anuais.

A Região Nordeste ocupa 18,27% do território brasileiro, com uma área de 1.561.177,8 km²; desse total, 962.857,3 km² se situam no Polígono das Secas, delimitado em 1936 por meio da Lei 175 e revisado em 1951. O Polígono, que compreende as áreas sujeitas repetidamente aos efeitos das secas, abrange oito Estados nordestinos: o Maranhão é a única exceção, além de parte (121.490,9 km²) de Minas Gerais, na Região Sudeste; já o Semi-Árido ocupa 841.260,9 km² de área no Nordeste e outros 54.670,4 km² em Minas Gerais e se caracteriza por apresentar reservas insuficientes de água em seus mananciais (SUDENE, 2004). Ainda que a solução aos problemas da escassez de água no Nordeste seja uma meta há muito tempo almejada, inclusive constituindo a força motriz da primeira fase da história da irrigação no Brasil (Bernardo, 1992), continua-se verificando, atualmente, os impactos das estiagens sobre a população local, seja como reflexos econômicos substanciais na agricultura, ou como prejuízos sociais, os quais se estendem, como consequência, às demais regiões do País. Apesar da deficiência em recursos hídricos superficiais, poderiam ser extraídos do subsolo da Região Nordeste, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19,5 bilhões de m³ de água por ano (40 vezes o volume explorado hoje), segundo estudos da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS).

O uso desta água, porém, é limitado por um problema típico dos poços do interior nordestino: a concentração elevada de sais. Grande parte da região (788 mil km², ou 51% da área total do Nordeste) está situada sobre rochas cristalinas e o contato por longo tempo, no subsolo, entre a água e esse tipo de rocha, leva a um processo de salinização. Sem opção, diversas comunidades rurais nordestinas consomem água com salinidade acima do limite recomendado pela OMS, que é de 500 ppm. Nessas comunidades, a única fonte de água é o aquífero cristalino subterrâneo (Carvalho, 2000). Além de um recurso imprescindível à vida, a água também é um insumo de desenvolvimento. Associada às políticas públicas viciadas em corrupção, como historicamente praticadas na região, a escassez de água é um dos primordiais fatores de origem da miséria no Nordeste. Monteiro (2002) encontrou forte correlação entre indicadores socioeconômicos no Estado do Ceará e a salinização das águas que abastecem suas populações.

Os 10 municípios (entre 170) com piores indicadores possuem quase 70% de seus poços com altos teores de sais, enquanto nos 10 melhores classificados este percentual é de apenas 16%. Em uma tendência observada há alguns anos, os Governos Federal e Estaduais têm procurado instalar equipamentos de dessalinização das águas salobras subterrâneas, objetivando a geração de água doce para o abastecimento urbano no Nordeste.

Em 2004, conforme dados da Associação dos Geógrafos Brasileiros, mais de 3 mil dessalinizadores estavam instalados no semi-árido do Nordeste. O Governo Federal, mediante a implantação do Programa Água Doce, do Ministério do Meio Ambiente, sinaliza a ampliação desse número, indicando ainda intenção de recuperar os equipamentos atualmente parados por falta de manutenção e mau uso (Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2004).

Além do uso nos abastecimentos rural e urbano, tendo em vista a diminuição do preço dos dessalinizadores, pode-se prever sua utilização em empreendimentos agrícolas, sobretudo para aqueles implementados de forma intensiva e com culturas de alto valor. Soares et al. (2005), por exemplo, apresentam um trabalho envolvendo dessalinização de água salobra subterrânea para a produção de mudas cítricas, mostrando o crescimento significativamente superior das plantas irrigadas com água dessalinizada, em comparação com as irrigadas com a água salobra e com a água rejeito da dessalinização.

O semiárido brasileiro estende-se por oito estados da região Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) mais o Norte de Minas Gerais, totalizando uma extensão territorial de 980.133,079 km² (MEDEIROS, 2014). Este apresenta como fator de destaque o clima, responsável pela variação de outros elementos que compõem a paisagem. Ao clima estão adaptados a vegetação e os processos de formação do relevo; os solos são, em geral, pouco intemperizados em função das condições de escassez das chuvas, tornando os processos químicos mitigados (ARAÚJO, 2011). A precipitação anual média da região varia entre 500 e 850 mm com mais de 70% das chuvas concentradas em alguns dias do ano; a evaporação real anual média varia de 450 a 700 mm anuais; e seu solo é geralmente raso sobre embasamento cristalino com os principais rios intermitentes.

Desta forma, essas características climáticas, pedológicas e hidrológicas conferem à região restrições para o uso regular dos recursos hídricos. Apesar da predominância de um subsolo constituído pelo embasamento cristalino, este possui fraturas, onde ocorrem deslocamento e armazenamento de águas subterrâneas, que, estrategicamente, são protegidas de agentes poluidores e da evaporação, o que favorece na atividade de perfuração de poços, largamente utilizada pela população do Semiárido.

Porém, muitos desses poços possuem água de baixa qualidade, devido ao contato de longo tempo com as rochas cristalinas, resultando em águas com alto grau de salinidade e sodicidade, o que limita bastante o uso desse recurso (BRASIL, 2012). Mesmo com tais características, essas águas subterrâneas têm vasta utilidade, principalmente na zona rural, onde são consumidas por pessoas e animais, como também, utilizadas para irrigação na agricultura. Porém o uso indevido de uma água salina, pode ocasionar diversos impactos negativos a população e ao meio, como por exemplo causar doenças ligadas ao consumo exacerbado de sais na alimentação, como previne guias da organização mundial da saúde (WHO) indicando um valor máximo de concentração de sais em água potável em 500mg/L (WHO, 2011).

Enquanto na agricultura, os usos de águas salinas comprometem o solo e a vegetação, favorecendo a aceleração do processo de desertificação e reduzindo a produtividade das plantas submetidas a estresse salino (GUEYI et al., 2012). Uma das alternativas utilizadas para transformar as águas com alto grau de salinidade em águas propícia ao consumo é o uso de dessalinizadores. Essa tecnologia baseia-se em processos físico-químicos e mecânicos que retiram o excesso de sais minerais, microrganismos e outras partículas sólidas presentes na água salobra.

Existem diversos tipos de dessalinizadores, com diferentes processos de dessalinização. No semiárido brasileiro um dos sistemas de dessalinização mais utilizados é o de osmose reversa, este tratamento remove grande parte dos componentes orgânicos e até 99% dos sais dissolvidos (SOARES et al., 2005).

Entretanto, o processo de osmose reversa implica na geração de rejeito, uma água residuária que tem concentração salina muito maior que a água salobra submetida ao tratamento e, por conseguinte, possui alto risco de contaminação ambiental. Neste sentido, apesar de ser uma técnica de grande aplicabilidade e com resultado satisfatório, proporcionando melhores

condições para a população semiárida, está também possui seus riscos, que podem gerar impactos negativos de grande significância para o meio ambiente, como também para as pessoas diretamente e indiretamente envolvidas.

Estima-se que no semiárido brasileiro existam em torno de 400 dessalinizadores distribuídos por toda a área, gerando um volume alto de rejeitos lançados ao solo (ANDERS et al., 2015). Desta forma, deve-se ponderar o benefício da dessalinização por osmose reversa, tendo em vista o potencial de contaminação da água residuária gerada no processo. Frente a esse cenário a pesquisa tem como objetivo identificar os impactos ambientais gerados pelos rejeitos do dessalinizador lançados ao solo, analisando parâmetros físico-químicos e microbiológicos de águas dos poços e propor alternativas de mitigação dos impactos negativos gerados.

Em levantamento realizado por Amorim et al. (2004) referente aos sistemas de dessalinização de águas salobras no Estado da Paraíba, eles constataram que 85% dos sistemas de dessalinização os rejeitos são despejados no solo sem qualquer critério, ação esta que traz sérias consequências ao solo. Os efeitos causados ao solo e a vegetação são os mais diversos.

No solo, o excesso de sais pode causar modificação da estrutura, que futuramente pode gerar erosão; os sais em altas concentrações causam aumento do potencial osmótico, que tem como consequência maior retenção de água no solo e menor disponibilidade de água para a planta; em determinados níveis de salinidade, a planta em vez de absorver poderá perder água do seu interior para o solo. Outro efeito do aumento da concentração de sais no solo é a toxicidade que podem causar às plantas. De modo geral, a toxicidade é causada pelos íons cloreto, sódio e boro, mas outros íons podem provocar toxicidade em plantas, como é o caso do nitrato, que prejudica o desenvolvimento e desordens fisiológicas em algumas espécies vegetais. Além desses efeitos, os íons salinos podem provocar deficiência ou inibir a absorção de outros íons essenciais para o desenvolvimento das plantas (DIAS & BLANCO, 2010).

Quanto ao destino dos rejeitos, constatou-se que são realizados três tipos de manejo: a) o despejo diretamente no solo; b) a sua oferta aos animais; c) e a injeção na rede coletora de esgoto municipal. Conforme pode ser observado na Figura 2, em 85% dos sistemas avaliados o rejeito é despejado ao solo sem qualquer tratamento prévio; em 10% são ofertados aos animais e em 5%, que corresponde a apenas um sistema, os rejeitos são injetados na rede coletora de esgotos do município. Aqui é importante observar que esta prática de despejos na rede de esgotos, a qual não deixa de ser um problema ambiental pois, estes rejeitos certamente encontrarão um corpo d'água receptor, e que terá suas características alteradas, está indo de encontro ao Artigo 23 da Resolução Conama 20/86 que diz que, "os rejeitos não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento", e como é sabido, os altos teores de sais do rejeito poderá aumentar a salinidade do corpo d'água receptor.

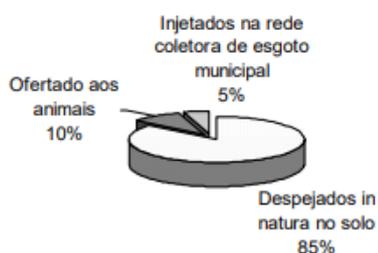


Figura 1. Destino dos rejeitos dos 20 sistemas de dessalinização avaliados e seu percentual de ocorrência na Paraíba. **Fonte:** Philippini, K.

ESTUDO DA ARTE

Tipos de dessalinizadores

Para tanto, diversas tecnologias são utilizadas para que a dessalinização de águas salgadas ou salobras aconteça:



Figura2. Fluxograma dos tipos de Dessalinizadores. **Fonte:** Younos; Tulou (2005).

a) destilação solar: utiliza-se da energia solar onde a água passa a vapor e se torna doce depois que se condensa;

b) destilação multi-estágios: a água é aquecida até o estado de vapor e através de um sistema de resfriamento é realizada a condensação da mesma sem os sais;

c) eletro-diálise: através de um sistema de cátodo e ânodo, chamado de pilha de membranas, é separado os sais da água;

d) osmose reversa: está baseada no efeito da pressão da água sobre uma membrana polimérica, através da qual a água irá passar e os sais ficarão retidos;

e) destilação a vácuo: submetendo a água salgada ao vácuo a sua temperatura de ebulição diminui, logo a água evapora a uma baixa temperatura, condensando-a em seguida sem a presença dos sais;

f) congelamento: congelando-se a água forma-se os cristais de gelo e estes são separados da salmoura.

Entretanto, todas as tecnologias existentes produzem a água doce, porém o que diferencia as mesmas são os seus custos e estes variam influenciados por fatores como custo de energia, tamanho da planta, qualidade da água abastecida, automação, controle, etc. (ZHOU, 2005). Conforme exposto por Torri (2015):

a) qualidade da água: os custos de dessalinização de água salobra é 1/3 menor que a dessalinização da água do mar;

b) localização da planta: afeta diretamente os custos de tratamento do resíduo (salmoura), uma vez que este resíduo deve ser tratado antes do descarte para não afetar o meio ambiente (solos e recursos hídricos), sendo assim, plantas de dessalinização afastadas da região costeira possuem um maior custo no tratamento de seus resíduos (HENTHORNE, 2009), pois não dispõem da possibilidade de utilizar-se do mar para captação da água salgada e diluição de seus rejeitos;

c) fonte de energia: o uso da fonte de energia afeta significativamente os custos e a energia solar em breve será a melhor escolha, pois o custo nivelado da energia solar de painéis fotovoltaicos, que agora é quase um quarto do que era em 2009, deverá baixar outros 66% até 2040. Até lá, um dólar comprará 2,3 vezes mais energia solar do que hoje. Essa energia já é pelo menos tão barata quanto o carvão na Alemanha, Austrália, EUA, Espanha e Itália e em 2021, será também na China, Índia, México, Reino Unido e Brasil (BLOOMBERG, 2017).

Atualmente o método de dessalinização predominante é a osmose reversa (PORTO et al., 2001), devido, principalmente, à simplicidade e à robustez do equipamento, aos baixos custos de instalação e operação, associados à capacidade de tratar volumes baixos ou moderados de água bruta.

Impactos causados

Em uma pesquisa em 21 municípios da Paraíba (Alcantil, Barra de Santana , Boa Vista, Camalaú, Caraúbas, Cabaceiras, Caturité, Campina Grande, Cuité, Juazeirinho, Monteiro ,Mogei, Nova Palmeira, Olivedos, Pedra Lavrada, Picuí, Santa Luzia, São José dos Cordeiros Serra Branca Belo Monte, São S. do Umbuzeiro, Queimadas) foram analisadas a qualidade de água do poço, do rejeito e da água dessalinizada, a Figura 3 mostra os valores médios em mmol/L dos cátions e ânions das águas dos poços, dos rejeitos e das águas dessalinizadas dos sistemas de dessalinização avaliados.

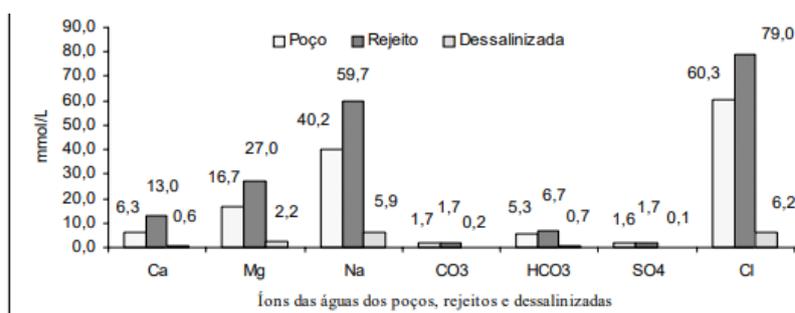


Figura 3. Valores médios em mmol/L, dos íons das águas dos poços, dos rejeitos e das águas dessalinizadas dos sistemas de dessalinização avaliados. **Fonte:** Miriam (2003).

A Figura 4 apresenta a condutividade elétrica (dS/m) da água dos poços, da água do rejeito e da água dessalinizada de todos os sistemas avaliados.

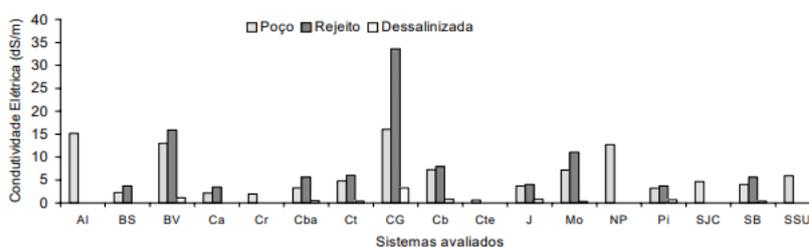


Figura 4. Condutividade elétrica (dS/m) da água dos poços, da água do rejeito e da água dessalinizada de todos os sistemas avaliados. **Fonte:** Miriam (2003).

Analisando-se a condutividade elétrica das águas dos poços, observa-se que os maiores valores ocorreram nos municípios de Campina Grande, Alcantil, Boa Vista, Nova Palmeira, e Monteiro, com valores de 16,30 dS/m; 15,60 dS/m; 13,01 dS/m; 12,72 dS/m; e 7,14 dS/m respectivamente, sendo classificadas segundo a Resolução Nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) como águas salobras, imprópria para o consumo humano, sendo portanto passíveis de dessalinização. (Cleide, 2003).

Conseqüentemente, os rejeitos dos mesmos sistemas apresentaram os maiores valores de condutividade, 33,6 dS/m para o sistema de Campina Grande; 15,94 dS/m para o sistema de Boa Vista e 11,08 dS/m para o sistema de Monteiro. Estes valores indicam que para cada litro de rejeito despejado no solo estão sendo colocados cerca de 21,5g, 10,2g e 7,09g de sais, respectivamente. A condutividade elétrica média da água do poço, do rejeito e da água dessalinizada dos sistemas foi de 6,33 dS/m, 9,15 dS/m e 0,77 dS/m respectivamente. Nos municípios de Alcantil, Caraúbas, Cuité, Mogei, Nova Palmeira, São José dos Cordeiros e São Sebastião do Umbuzeiro e Olivedos, não foram coletadas amostras de rejeito, pois os equipamentos encontravam-se parados por problemas operacionais. A Figura 6 mostra os teores dos íons (%) das águas dos poços dos sistemas de dessalinização avaliados, e revela que o íon cloreto que teve maior ocorrência conforme Figura 5, apresenta também maior teor iônico

percentual, com valores percentuais do íon cloreto de 95,2%, para os poços do sistema de Cuité; de 94,8% para Campina Grande; 93,9% em Alcantil; e 91,7% em Boa Vista, apresentando as águas mais cloretadas, porém as menos bicarbonatadas. Os íons de maiores teores que seguem o cloreto foram o sódio e o magnésio, e os menores teores foram carbonato e sulfato. (Cleide, 2003).

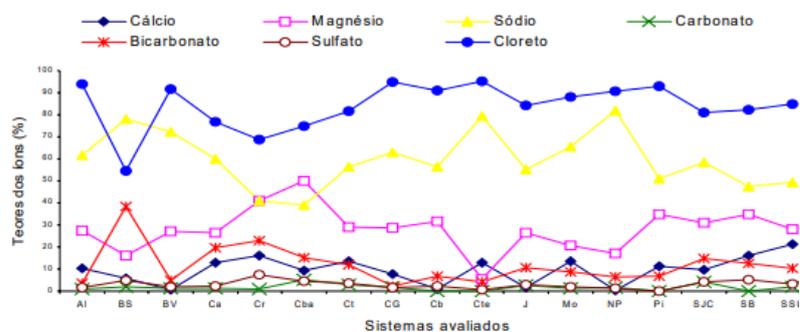


Figura 5. Teores dos íons (%) das águas dos poços dos sistemas de dessalinização avaliados. **Fonte:** Miriam, Cleide (2003).

Com base nos dados da Figura 5, a Figura 6 apresenta os teores iônicos médios para as águas dos poços. O íon cloreto apresentou um teor médio percentual de 83,9%, seguido do íon sódio com valor de 59,7%, do íon magnésio com valor de 27,9%, do íon bicarbonato com 11,8%, do íon cálcio com 9,7% e o sulfato com 1,0%.

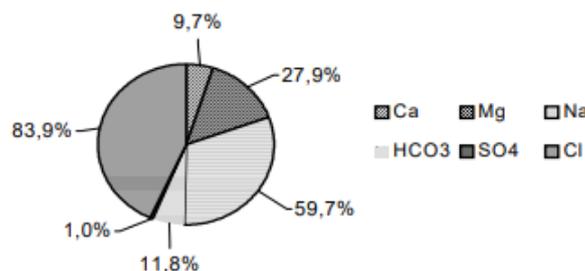


Figura 6 – Teores iônicos médios das águas dos poços dos sistemas avaliados. **Fonte:** Miriam, Cleide (2003).

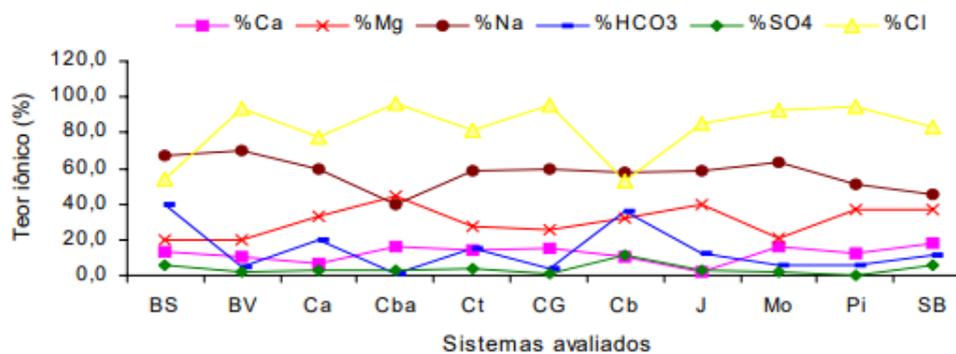


Figura 7 - Teores dos íons (%) das águas dos rejeitos dos sistemas de dessalinização avaliados. **Fonte:** Miriam, Cleide (2003).

A Figura 7 mostra os teores dos íons (%) das águas dos rejeitos dos sistemas de dessalinização avaliados, e revela que o íon cloreto que teve maior ocorrência na água dos poços conforme Figura 5, apresenta também maior teor iônico percentual, com valores percentuais de

96,52%, no sistema de Cubati; de 95,7% em Campina Grande; de 94,2% em Picuí; 93,3% em Boa Vista; e 92,8% em Monteiro. Os teores iônicos médios foram de 82,5% para o cloreto; 57,3% para o sódio; 30,5% para o magnésio; 14,01% para o bicarbonato; 12,6% para o cálcio e 3,5% para o sulfato. Estes valores são bastante próximos aos valores encontrados nas águas dos poços. (Cleide, 2003).

Diante dos dados em análise, 85% dos sistemas os rejeitos são despejados no solo sem qualquer critério, e em 90% das formas de despejo a questão ambiental não está sendo considerada visto que a prática de injetar o rejeito na rede coletora de esgotos também é uma forma de contaminação ambiental; Os solos que serviram de depósito dos rejeitos foram afetados pelo acúmulo de sais; os efeitos dos rejeitos foram bastante significativos em 93,8% dos sistemas, porém os municípios de Campina Grande, Juazeirinho, Serra Branca e São Sebastião do Umbuzeiro foram os casos mais significativos; esta forma de manejo dos rejeitos ameaça o surgimento de um novo processo de degradação do solo e meio ambiente semi-árido, fato que exige alternativas de manejo que estejam de acordo com as características do meio ambiente local, permitindo o desenvolvimento do processo de melhoria da oferta hídrica no semi-árido, sem deixar de preservar o meio ambiente. (Cleide, 2003).

Implementação com baixo custo energético

Para extrair sal da água do mar ou água salobra de reservatórios subterrâneos, a tecnologia mais utilizada atualmente é a osmose reversa. O processo é considerado de alto custo pelo material utilizado e pelo gasto com energia elétrica: uma bomba de alta pressão força a água a passar por uma membrana polimérica, que retém os sais.

Uma alternativa de dessalinização, com menor gasto de energia, é o processo de deionização capacitiva que utiliza carvões ativados com poros nanométricos (1 nanômetro equivale a 1 milímetro dividido por 1 milhão) para retirada da salinidade da água. Carvões com características diferenciadas para essa aplicação foram desenvolvidos por pesquisadores do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em São Paulo. Eles são semelhantes aos usados em filtros de água comuns, mas com uma quantidade e tamanho de poros que proporcionam uma elevada área de retenção de íons e moléculas”, explica o engenheiro químico Luís Augusto Martins Ruotolo, professor da UFSCar (o projeto teve apoio da FAPESP).



Figura 8. Dessalinização que usa carvões ativados obtidos de polímeros condutores. **Fonte:** Site Ciclo vivo.

Os carvões ativados podem ser feitos com diferentes materiais, como madeira, bagaço de cana, casca de coco e polímeros. No invento da UFSCar, o carvão foi preparado aquecendo-se um polímero condutor de eletricidade, chamado de polianilina, a 800 graus Celsius (°C), em condições adequadas para eliminar a matéria orgânica volátil.

O resultado foi um eletrodo rico em carbono. A inovação dos pesquisadores da UFSCar tornou os carvões ativados mais eficientes e com melhor capacidade de retenção de moléculas ou íons na superfície. Ruotolo e o doutorando Rafael Linzmeyer Zornitta, que são do Laboratório de Tecnologias Ambientais (Latea), inseriram dois desses eletrodos em uma célula eletroquímica composta por placas de acrílico e borrachas de vedação. Eles ficaram posicionados em lados opostos dentro da célula e separados por um canal onde escoo a água com sal (cloreto de sódio) a ser dessalinizada. Para viabilizar a dessalinização, uma tensão elétrica de 1,2 volt (V) foi aplicada na célula eletroquímica. Essa tensão é menor do que a transmitida por uma pilha comum (AA), de 1,5 V. Assim, um dos eletrodos ficou polarizado com carga negativa e o outro com carga positiva.

Processo de dessalinização

Em todo o mundo são utilizados quatro tipos de dessalinização: Osmose Reversa, Destilação Multiestágios, Dessalinização Térmica e o método por Congelamento.

Osmose reversa: Este processo ocorre quando se exerce forte pressão em uma solução salina. A água atravessa uma membrana semipermeável, dotada de poros microscópicos, responsáveis por reter os sais, os microrganismos e outras impurezas. Desta forma, o líquido se separa da solução salgada, passando para uma região com apenas água pura. As estações de dessalinização atuais utilizam tecnologia de ponta, com membranas osmóticas sintéticas.



Figura 9. Usina de dessalinização por osmose reversa. **Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

Destilação Multiestágios: Neste processo, utiliza-se vapor em alta temperatura para fazer com que a água do mar entre em ebulição. A nomenclatura “multiestágios” se justifica por conta da passagem da água por diversas células de ebulição-condensação, garantindo um elevado grau de pureza. Neste processo, a própria água do mar é usada como condensador da água que é evaporada.

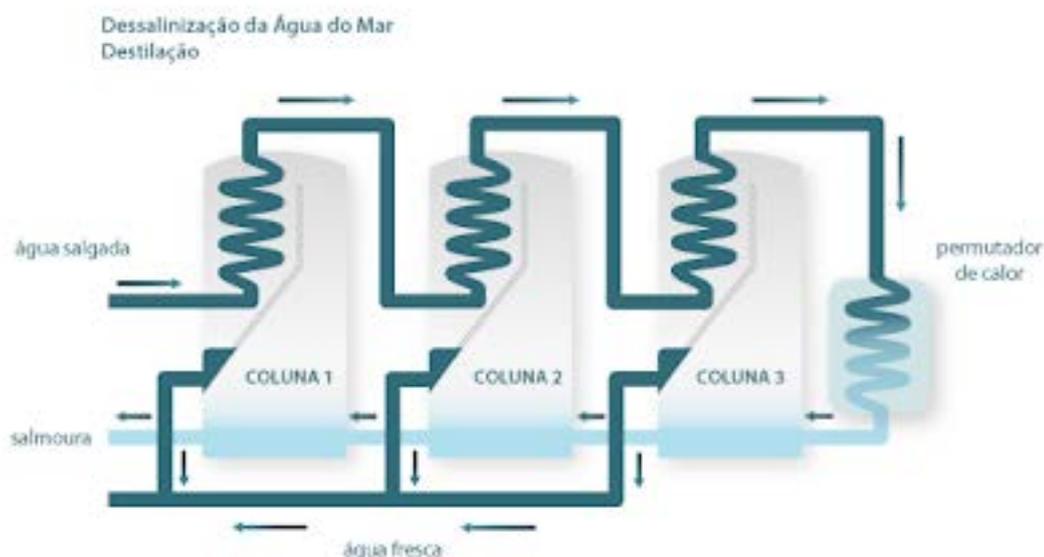


Figura 10. Processo de destilação. **Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

Dessalinização Térmica: É um dos processos mais antigos, imitando a circulação natural da água. O modo mais simples, a "destilação solar", é utilizada em lugares quentes, com a construção de grandes tanques cobertos com vidro ou outro material transparente. A luz solar atravessa o vidro, a água do líquido bruto evapora, os vapores se condensam na parte interna do vidro, transformando-se novamente em água, que escorre para um sistema de recolhimento. Dessa forma, separa-se a água de todos os sais e impurezas. Em lugares frios ou com carência de espaço, esse processo pode ser feito gerando-se calor através de energia. A melhor solução, neste caso, é a utilização de energia solar, que é mais barata, não consome recursos como petróleo e carvão e não agride o meio ambiente.



Figura 11. Esquema da destilação solar. **Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

Congelamento: É um processo que ainda exige estudos de viabilidade e novas tecnologias. Nele, a água do mar ou salobra é congelada. Quando a congelamos, produzimos gelo puro, sem sal. Então através do congelamento/descongelamento obtêm-se água doce. Esse método não foi testado em larga escala, porém, existem propostas para a exploração das calotas polares (onde está boa parte da água doce do planeta) para obtenção de água pura. Mas isso é demasiadamente caro e só seria utilizado como última opção.

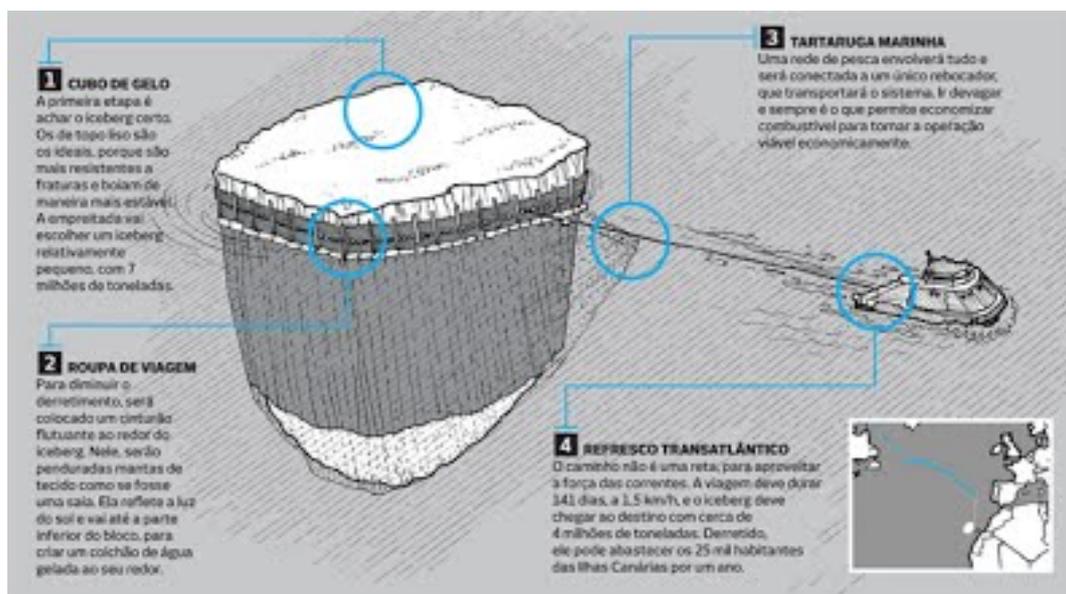


Figura 12. Retirada de pedaços de grandes blocos de gelo originados nos pólos. **Fonte:** Dessalinizadores e seus sensores.

TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE REJEITOS

3.1 Cultivo da alface

Conforme Mickley (2004), a escolha da melhor opção para se dispor o rejeito da dessalinização deve atender, dentre outros fatores, às disponibilidades locais (terra, compatibilidade das águas receptoras e distância), às disponibilidades regionais (geologia, leis estaduais, geografia e clima), ao volume de concentrado, aos custos envolvidos, à opinião pública e à permissibilidade. Riley et al. (1997) consideraram o cultivo de plantas halófitas a melhor opção para dispor o rejeito da osmose reversa.

O aproveitamento do rejeito da dessalinização em solução nutritiva em cultivos hidropônicos de hortaliças é uma opção bastante promissora para dispor esse resíduo. Isso porque, de acordo com Soares (2007), apesar da alta concentração de sais no rejeito e do seu poder de contaminação, a tolerância das plantas à salinidade em sistemas hidropônicos pode ser maior em relação ao sistema convencional, pois é menor ou inexistente o efeito do potencial métrico sobre o potencial total da água na hidroponia, o que pode reduzir a dificuldade de absorção de água e nutrientes pelas plantas com consequente aumento da salinidade limiar da cultura. Nesse sentido, em sistemas hidropônicos, espera-se que culturas, sobretudo de ciclo rápido, proporcionem o uso sustentável de águas salinas, naturais ou residuárias provenientes do processo de dessalinização.

Um grande desafio para a pesquisa seria contribuir para a solução da escassez de água para consumo humano e para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção com águas salinas para a produção de forragens e de culturas alimentares. A possibilidade de utilização de águas de qualidade marginal liberará água doce para beber e a identificação e

obtenção de genótipos tolerantes a sais abrirão perspectivas para produção de alimentos vegetais para consumo direto da população e para alimentação animal, gerando proteínas para uso humano.

Levando-se em consideração estes aspectos, objetivou-se avaliar os efeitos da utilização de água de rejeito proveniente do processo de dessalinização por osmose reversa na cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT.

Criação de tilápia

Como alternativas preventivas para a destinação do rejeito do dessalinizador, Amorim et al. (2004a), desenvolveram experimento utilizando rejeito de dessalinizador para a criação de tilápia do gênero *Oreochromis*, constatando que a espécie apresentou baixo índice de mortalidade durante o período de cultivo. Outros fatores positivos observados foram boas reprodução, ganho de peso, alta qualidade do pescado com relação ao sabor e à aparência do peixe, além da possibilidade de disponibilizar alimento de bom valor nutritivo às populações do semiárido, sendo uma alternativa com grande potencialidade de viabilidade econômica. A prática do uso de tanques de evaporação da água do rejeito para obtenção do sal cristalizado, também pode ser uma alternativa. Porém a destinação desse sal representa uma incerteza, pois este, em muitos casos, não pode ser consumido por seres humanos e animais devido à presença de impurezas e compostos tóxicos (AMORIM et al., 2004b).

Engorda de caprino com erva-sal

Como em outras partes do mundo, a erva-sal tem representado uma fonte de alimento para as situações de emergências. Todavia, pesquisas mais recentes têm demonstrado a importância desta planta como alimento (ARAJO & PORTO 2000). O alto teor de proteína bruta, combinando a baixa quantidade de fibra, faz da erva-sal um alimento de qualidade, podendo ser comparável, segundo O'LEARY (1986), com a alfafa, cujo teor proteico varia de 12 a 22%. Segundo o mesmo autor, o teor de proteína na erva-sal varia significativamente com a idade da planta, portanto a idade de corte é uma etapa importante no processo.

Mesmo considerando a erva-sal como um alimento de qualidade, existe a rejeição por parte de alguns animais, principalmente os bovinos, pela baixa palatabilidade em função do sabor salgado. Os caprinos e ovinos aceitam mais uma dieta contendo feno da erva-sal. Todavia, não é recomendável o estabelecimento de uma dieta para estes animais com base na erva-sal. Isto pode manifestar no animal sintomas de deficiência mineral, como também pode proporcionar ganho de peso (CAMPBELL & MATHEWSON, 1992; e HOPKINS & NICHOLSON, 1999).

Na dieta alimentar para ovinos é de fundamental importância o teor de proteína nas forragens. No semi-árido brasileiro o sistema de criação extensivo. É praticado para a maioria dos animais.

Nos períodos de estiagem o animal sobrevive com base na ingestão de materiais lenhosos encontrados na caatinga seca, os quais são alimentos de baixa qualidade em função dos seus baixos níveis de proteína. O feno da erva-sal ajuda na correção dessa desnutrição por seu alto valor proteico, variando de 14 a 18% de proteína, de acordo com estudos realizados na Embrapa Semi-árido (ARAJO & PORTO, 2000). SOUTO et al., (2002) trabalhando com engorda de ovinos, com dietas tendo como fonte proteica o feno da erva-sal, produzido através de cultivo irrigado usando o efluente da dessalinização de água no semi-árido brasileiro, encontraram os melhores ganhos de peso nos animais quando a participação da erva-sal na dieta foi entre 38,3 e 64,57%.

Utilização de macrófitas aquáticas

Hoje existem várias técnicas de descontaminação de solos e águas, mas muitas delas de alto custo ou que trazem de certa forma algum impacto ambiental, porém uma técnica que tem ganhado bastante prestígio nos últimos anos por apresentar excelentes resultados em uma série

de trabalhos na literatura é a fitorremediação. Segundo Singh, Tiwari e Gupta (2012), fitorremediação é um novo conceito de limpeza que envolve o uso de plantas para limpar ambientes contaminados. Apesar de toda a tecnologia presente de hoje, parece que folhagens e árvores podem ser a melhor forma de melhorar a qualidade da água. Com esta técnica, é possível recuperar ambientes poluídos por diversos tipos de substâncias como, por exemplo, metais (Na, K, Ca, Mg, Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos (NO_3^- , NH_4^+), elementos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas, explosivos (TNT, DNT), dentre várias outras (COUTINHO e BARBOSA, 2007; OVERALL e PERRY, 2004; LESAGE et al, 2007; SOARES et al, 2007).

Mas, para que a fitorremediação seja aplicada em uma determinada área, alguns padrões devem ser considerados, como o tipo de poluente presente naquele ambiente, sua concentração, e a capacidade fitorremediadora da espécie de planta a ser utilizada (COUTINHO e BARBOSA, 2007). Algumas plantas absorvem determinadas substâncias a mais que outras, dependendo do tipo de substância encontrada em determinado ambiente. Entre as espécies utilizadas em processos de fitorremediação, algumas se destacam por sua alta capacidade de remoção de diferentes classes de substâncias dentre elas destaca-se macrófitas flutuantes, da espécie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (Pontederiaceae) que é conhecida popularmente como aguapé. Esta macrófita aquática possui grande capacidade de retenção de nutrientes, metais, sedimentos e, por esse motivo, é uma espécie considerada despoluidora de água (POTT e POTT, 2000). Essa planta tem-se apresentado como uma opção viável para aplicação da técnica, tendo em vista os bons resultados obtidos por vários pesquisadores.

Tratamento microbiológico

Existem fatores biológicos que contribuem com o aumento do desenvolvimento vegetal, em termos de absorção de água e nutrientes. Esse fator, deve-se à associação de fungos micorrízicos arbusculares que constituem parte significativa da biomassa microbiana do solo e estão envolvidos diretamente em processos essenciais da interface solo-planta. Essa associação ocorre devido a planta suprir o fungo com energia para o crescimento e manutenção por meio de produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê à planta água e nutrientes (RODRIGUES; BARROSO; FIGUEIREDO, 2018). Diante disso, este trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito da associação de fungos micorrízicos arbusculares com rejeito proveniente de dessalinizador no desenvolvimento de *Atriplex nummularia* Lind.

Processos de separação com membranas

A composição físico-química da água subterrânea apresenta menor índice de variação, durante as estações climáticas, do que a água superficial. As águas superficiais (rios, lagos e do mar) são caracterizadas pelo nível de sólidos suspensos, atividades microbiológicas e variações climáticas. Em função destas observações, antes de projetar um sistema de dessalinização, se faz necessário obter uma boa análise da água de alimentação. (Moura, et al, 2012).

A água problema é de um poço artesiano localizado na comunidade de Uruçu zona rural de São João do Cariri-PB, próximo a campina grande. Essa água apresenta uma grande quantidade de sal, que de acordo com as normas do ministério do meio ambiente, essa água é considerada como salobra. O processo de separação por membranas é caracterizado pelo fato da corrente de alimentação ser dividida em duas correntes, a de concentrado e a de permeado, o que implica que ou a corrente de concentrado ou a de permeado será o resultado da separação (produto). As partículas e os solutos retidos na superfície da membrana são continuamente removidos no concentrado que flui tangencialmente ao longo da superfície da membrana, denominado de fluxo cruzado. A solução purificada flui através da membrana como permeado conforme mostra a Figura 5 (ALMEIDA, 1999).

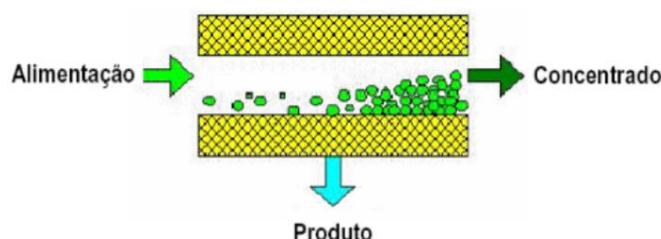


Figura 13. Correntes no processo de separação por membranas. **Fonte:** Almeida (1999).

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Entre os vários tipos de dessalinizadores apresentado, pode-se utilizar energia limpa, como os sistemas fotovoltaicos, entretanto, são tecnologias caras, o que inviabiliza o uso em regiões mais pobres, como o sertão do Nordeste brasileiro. Por isso, entre os métodos de purificação da água acessíveis a regiões com menor poder aquisitivo uma implementação interessante seria a destilação solar.

A destilação solar, que é feita via destilador solar do tipo tanque raso, é uma tecnologia muito simples que imita um processo natural: a radiação solar aquece a água contida num recipiente raso de concreto revestido por uma cobertura negra, a água se transforma em vapor, o vapor se condensa na cobertura de vidro (que tem uma temperatura mais baixa) e a lâmina de água destilada é então coletada em um duto metálico meia-cana localizado na parte lateral do destilador.

A energia solar é aprisionada dentro da câmara, pois o vidro comum é transparente para a radiação solar mas opaco para a radiação térmica emitida pela água (efeito estufa). Quando a água evapora, as impurezas são deixadas para trás na água salobra. O sal necessitaria de uma temperatura de 1400°C para evaporar. Não é necessário, como alguns acreditam que a água ferva para que ela seja destilada. O processo realizado pelo destilador solar realiza o mesmo trabalho que a fervura, produzindo uma água até mesmo mais pura, pois quando as bolhas da fervura estouram, elas podem contaminar a água destilada com pequenas porções de água contaminada sendo lançadas no vapor.

Para o tratamento do efluente do dessalinizador, seria necessário esquematizar todo um processo, inicialmente bombear todo o rejeito proveniente do dessalinizador para tanques de piscicultura para a criação de tilápia, fonte de proteínas para a comunidade. Posteriormente, o efluente dessa criação, enriquecido em matéria orgânica, seria aproveitado na produção vegetal (horta comunitária orgânica, irrigação de mudas de essências florestais para revegetação e irrigação de espécies forrageiras. E por último temos a forragem, com teor de proteína entre 14 e 18%, para utilizar como engorda de caprinos e/ou ovinos que, juntamente como a produção de tilápia e hortaliças garante a segurança alimentar e nutricional das famílias e, ainda a o aumento da renda com a venda do excedente, fechando assim o sistema de produção ambientalmente sustentável.

Para implementação mais sofisticada de um dessalinizador solar,, pode-se desenvolver um que possua placas que captem energia solar para alimentar o seu funcionamento.O sistema de dessalinização não utiliza energia elétrica. Dessa forma, economiza com custos de manutenção, além de fazer um sistema totalmente sustentável, que pode ser copiado tanto em outras comunidades rurais quanto em outras cidades com realidade parecida.

REFERÊNCIAS

BASÍLIO, F. O. *Avaliação físico-química do o rejeito do processo de dessanilização de águas salobras de comunidades rurais do Oeste Potiguar*. 2015.

BENFER, S.; POPP, U.; RICHTER, H. ; SIEWERT, C. ; TOMANDL, G. Development and characterization of nanofiltration membranes. **Separation and Purification Technology**, v. 22, p. 231-237, 2001.

BHAVE R. R. **Inorganic membranes-synthesis, characteristics and applications**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

COELCE - Companhia Energética do Ceará. **Suprimento de água para pequenas comunidades via energia solar fotovoltaica**. Fortaleza: DFACE, 1995. (Relatório final).

DESTILADORES SOLARES NO BRASIL. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_alexandre.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2018.

DESSALINIZADORES E SEUS SENSORES. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=100>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

CRUZ, F. A água na história do homem. 2013. Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/historia/a-agua-na-historia-do-homem>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

MARQUES, H. G. Fitorremediação da água do rejeito de dessalinizadores utilizados no Oeste Potiguar por *Pistia statiotes*. 2015.

IMPORTÂNCIA DA ÁGUA. Disponível em: <<https://www.mundovestibular.com.br/articles/569/1/IMPORTANCIA-DA-AGUA/Paacutegina1.html>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

BRAULLIO, E. **Impactos da destinação do rejeito da dessalinização de água subterrânea em uma comunidade de Juazeirinho-PB**. 2013.

SANTOS, R. S. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT. **Ciênc. Agrotec.**, v. 34, n. 4, p. 983-989, 2010.

MIRIAM, C. **Sistema de produção usando o rejeito da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro**. 2003.

MIRIAM, C. **Sistemas de dessalinização de água salobra subterrânea em municípios do Estado da Paraíba - Brasil**. 2013.

TECNOLOGIA PARA GASTAR MENOS ENERGIA NA DESSANILIZAÇÃO. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/brasileiros-inventam-tecnologia-de-dessalinizacao-de-agua-que-gasta-menos-energia/>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

VAN GERPEN, J. Biodiesel processing and production. **Fuel Processing Technology**, v. 86, n. 10, p. 1097-1107, 2005.

WANG, P.; XU, N.; SHI, J. A pilot study of the treatment of waste rolling emulsion using zircônia microfiltration membranes. **Journal of Membrane Science**, v. 173, n. 2, p. 159-166, 2000.

MOURA, J.P.; MONTEIRO, G.S.; SILVA, J.N.; PINTO, F.A.; FRANÇA, K.P. Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. 2012.