

# DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA PARA USO DOMICILIAR COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Daniel Jordão de M. Rosa – djmr@usp.br

Roberto Zilles – zilles@usp.br

Maria Cristina Fedrizzi – fedrizzi@iee.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

**Resumo.** Grande parte da população rural do semi-árido brasileiro sofre com problemas de acesso à água de qualidade. A exploração da água subterrânea representa uma das principais alternativas para o abastecimento dessa parcela da população, mas muitas vezes os poços perfurados encontram-se longe da rede elétrica, dificuldade que poderia ser contornada com a utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento. Além da dificuldade de acesso a água nessa região, muitos poços apresentam água com altos níveis de salinidade, o que inviabiliza esses mananciais para o fornecimento de água potável. O presente trabalho tem como objetivo verificar se a adaptação de sistemas de dessalinização de pequeno porte disponíveis comercialmente com o acoplamento a geradores fotovoltaicos pode potencializar a difusão dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento em poços de água com alto teor de sais dissolvidos e se essa opção pode representar uma alternativa de fornecimento de água para a população rural de áreas com problemas de salinização dos mananciais de abastecimento. A opção analisada consiste em um sistema duplo de tratamento de água do tipo “ponto de uso” (SPU).

**Palavras-chave:** Dessalinização de Água Salobra, Tratamento Domiciliar, Sistemas Fotovoltaicos

## 1. INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a sobrevivência do ser humano. As pessoas se utilizam da água para beber, cozinhar, fazer higiene pessoal, limpeza doméstica e utilizar em atividades produtivas, entre outros usos. Para cada uso, além da quantidade adequada de água, existem condições mínimas de qualidade para que a água possa ser utilizada. No caso da utilização para a hidratação corporal, bem como para o preparo de alimentos, a água deve ser potável, ou seja, adequada para consumo humano, principalmente se for consumida *in natura*. A água potável não pode oferecer riscos à saúde e deve ter parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos que atendam aos padrões de potabilidade, geralmente definidos pelo Ministério da Saúde de cada país (Bernardo, L. D e Dantas, A. D. B., 2005). A falta de acesso da população à água de boa qualidade é responsável por graves problemas sanitários, nutricionais e econômicos. Pessoas sem acesso ao abastecimento de água adequado correm maior risco de adquirir doenças como diarreias, enterobíases, febres entéricas, infecções enteroviróticas, hepatite A, leptospirose e poliomielite. Segundo dados do Relatório de Desenvolvimento Humano “A Água para lá da Escassez: Poder, Pobreza e a Crise Mundial da Água”, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2006), indicam que aproximadamente 1,1 bilhão de pessoas no mundo não têm acesso à água potável no seu dia a dia, causando a morte diária de cerca de 4,6 mil crianças. O relatório afirma que “Água limpa e saneamento estão entre os mais eficientes remédios preventivos para reduzir a mortalidade infantil”. Estima-se que, no mundo e para o ano de 2004, ocorreram 1,7 milhão de mortes causadas por problemas relacionados à má qualidade da água consumida e problemas de higiene e saneamento, o que equivale a 3,1% de todos os óbitos ocorridos no ano. Desse total, 90 % das mortes foram de crianças, a maior parte causada por diarreias (Ashbolt, 2004).

Esse problema também está presente no Brasil, pois segundo o relatório da Fundação Nacional de Saúde “Impactos na Saúde e no Sistema Único de Saúde Decorrentes de Agravos Relacionados a um Saneamento Ambiental Inadequado” (FUNASA, 2010), de 1996 a 1999 foram registrados 17.719 óbitos por diarreia em menores de um ano de idade no país, o que representa uma média de 14 óbitos por dia, sendo que a região Nordeste do país foi a que apresentou as maiores taxas de mortalidade infantil por diarreia. Nas últimas décadas, o Brasil realizou uma grande ampliação de seus sistemas de abastecimento, mas dados do PNUD de 2006 indicam que 17% da população do país ainda não tinham acesso à água potável, o que corresponde a quase 29 milhões de brasileiros. Dados de 2003 para a região Nordeste indicavam que mais de 30% da população ainda não tinha acesso confiável ao abastecimento de água potável, problema que afeta de maneira mais grave a população de baixa renda do meio rural (Mejia et al., 2003). Em 2007, foi publicada no Diário Oficial da União a Lei nº 11.445, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico (Brasil, 2007). Essa lei define o abastecimento de água potável como um dos serviços públicos de saneamento básico, que devem ser prestados com base em diversos princípios fundamentais, dentre os quais podemos destacar:

- universalização do acesso;
- priorização de ações de saneamento básico para populações de baixa renda;

- garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, levando em conta suas características econômicas e sociais;
- fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico, à difusão dos conhecimentos acumulados e à adoção de tecnologias apropriadas;
- adoção de métodos, técnicas e processos que levem em conta as características locais e regionais;

No Brasil, a deficiência na cobertura do abastecimento de água é um problema que não está restrito apenas às regiões com recursos hídricos reduzidos, mas é no Semiárido que se concentra a maior parte da população brasileira que vive sujeita à falta recorrente de água de qualidade adequada e aos problemas decorrentes dessa carência. A região do Semiárido brasileiro apresentada na Fig. 1-A e destacada com linha vermelha ocupa uma área de 976.743 km<sup>2</sup> distribuídos entre os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. O consumo médio diário de água por habitante para cada um desses estados é menor do que a média nacional. Dentro da realidade do Semiárido, também há uma grande desigualdade no consumo médio diário de água por habitante. Esse se concentra nas grandes cidades, o que faz com que o consumo diário médio da população rural em cada estado seja menor do que a média estadual. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada divulgou, com base na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios realizada em 2007, que “... as desigualdades no acesso aos serviços de água também são gritantes entre os habitantes das áreas urbanas e das zonas rurais” e que a água de rede de distribuição geral está disponível para menos de 28% dos moradores do campo (IPEA, 2008). Na região do Semiárido encontram-se 1.132 municípios, e vive uma população de 20 milhões de habitantes, ou seja, cerca de 12,2% da população brasileira. Desses 20 milhões, 56% correspondem à população urbana e 44% à população rural.

O Semiárido caracteriza-se por apresentar reservas insuficientes de água em seus mananciais e temperaturas elevadas durante todo o ano, com baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração. As chuvas apresentam totais pluviométricos inferiores a 900 mm anuais e geralmente são superadas pela evapotranspiração, o que resulta em taxas negativas no balanço hídrico. Podem-se encontrar áreas com precipitações caracterizadas pela isoietas de 400 mm. Além disso, há uma grande irregularidade das chuvas, causando frequentes e prolongados períodos de seca, em grande parte responsáveis pelo êxodo de parte de sua população (ANA, 2006).

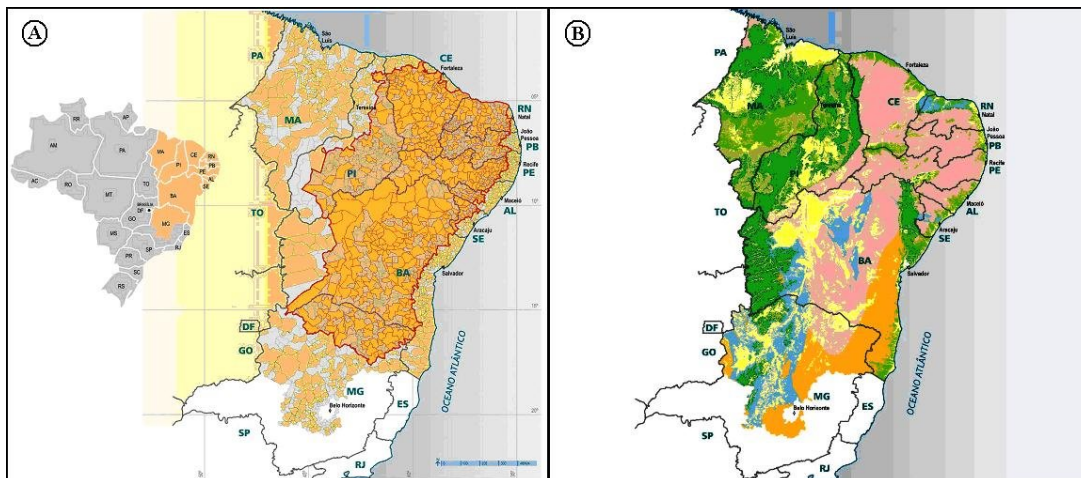


Figura 1 – Área de abrangência do Semiárido brasileiro (A) e área de ocorrência de Escudo Cristalino (B) (adaptado de ANA, 2006)

Baixos índices pluviométricos e altos índices de evaporação também levam a uma maior salinização do solo, aumentando a salinidade das águas que entram em contato com esse meio. Esse problema é ainda maior em terrenos cristalinos onde, em geral, os solos são rasos e apresentam baixa drenagem natural, com pequena capacidade de infiltração e alto escoamento superficial, sendo comum a ocorrência de rios e riachos temporários. Assim, por ocasião das chuvas mais intensas, a água causa a lixiviação do solo e dissolve grande quantidade de sais minerais, antes de conseguir infiltrar e entrar nos reservatórios subterrâneos, o que vai aumentando gradativamente sua salinidade. Como o Semiárido brasileiro encontra-se em grande parte sobre o escudo cristalino, essa questão assume grande importância. O escudo cristalino do Semiárido, mesmo reconhecido como de baixo potencial hidrogeológico e com problemas de salinização, tem um papel muito importante no abastecimento de sua população rural com água para consumo e uso na pecuária, principalmente nas regiões mais afastadas dos sistemas de abastecimento das cidades e dos grandes reservatórios superficiais presentes na região.

Na Fig. 1-B, as regiões assinaladas com as cores rosa e laranja compõem o Domínio Fraturado Cristalino, sendo que a região assinalada com a cor rosa corresponde à área desse domínio onde se encontram os maiores problemas de salinização das águas. Comparando-se as duas imagens apresentadas na Fig. 1, pode-se notar uma grande sobreposição das áreas do Semiárido e de ocorrência do escudo cristalino. A área do Semiárido que se sobrepõe ao escudo cristalino é

de 701.000 km<sup>2</sup>, sendo caracterizada por poços que apresentam uma vazão individual média de menos de 3 m<sup>3</sup>/h, profundidades entre 40 m e 80 m e reservas exploráveis totais de 43,1 m<sup>3</sup>/s, ou seja, cerca de 155.000 m<sup>3</sup>/h.

## 2. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em áreas urbanas e densamente povoadas, o princípio da economia de escala geralmente favorece soluções centrais de abastecimento, distribuição e tratamento de água. Já o atendimento da população rural com os sistemas de saneamento tradicionais e de maior porte apresenta grandes dificuldades. Um dos complicadores que dificultam esse atendimento é o fato da população rural estar localizada em pequenos aglomerados com poucos habitantes e, muitas vezes, dispersa no território, aumentando em muito o custo de implantação e dificultando a manutenção dos sistemas de distribuição a partir de um sistema central de tratamento. Além disso, como as comunidades rurais estão afastadas dos grandes centros urbanos, muitas vezes, sofrem com uma reduzida capacidade de gestão das infra-estruturas de abastecimento de água a partir de um sistema central de tratamento. No caso da implantação de sistemas centralizados é grande o risco do mesmo falhar devido a problemas na gestão ou por conta da manutenção não especializada. Outro problema pertinente à adoção de sistemas centralizados está relacionado às elevadas perdas de água tratada nos sistemas de distribuição, da ordem de 40%. Para o atendimento de uma população dispersa no território, essas perdas podem ser ainda maiores. Assim, é necessário lançar mão de soluções alternativas de abastecimento de água para o consumo humano, ou seja, modalidades de abastecimento de água distintas do sistema central de abastecimento, incluindo, entre outras alternativas, fontes, poços comunitários, distribuição por veículo transportador, etc. (Bernardo, L. D e Dantas, A. D. B., 2005).

Em grande parte das comunidades rurais, sistemas descentralizados podem ser a única maneira de melhorar a qualidade da água obtida a partir de fonte com qualidade imprópria para consumo. Pode-se dividir os Sistemas Descentralizados em Sistemas de Pequeno Porte, Sistemas de Ponto de Entrada e Sistemas de Ponto de Uso (Peter-Verbanets et al., 2008). Normalmente, os Sistemas de Pequeno Porte - SPP tratam a água consumida por várias famílias ou mesmo por uma comunidade maior e apresentam uma capacidade de tratamento entre 1.000 e 10.000 L/dia. Já os Sistemas de Ponto de Entrada – SPE são sistemas que tratam toda a água fornecida a uma residência e cujas capacidades de tratamento são da ordem de 100 a 150 L/dia por morador. Por sua vez, Sistemas de Ponto de Uso - SPU são os de menor porte e visam o tratamento apenas da água utilizada para beber e cozinhar. Em uma residência com 5 moradores, um SPU deve tratar algo em torno de 40 L/dia. Sistemas de Ponto de Uso, em geral, são utilizados para tratamento domiciliar de água em esquemas de sistemas duplo de abastecimento, onde os moradores têm acesso a dois tipos de água: água potável para beber e cozinhar, e água com uma qualidade inferior, para uso geral.

Um exemplo de Sistemas de Pequeno Porte são os chamados Sistemas Simplificados de Abastecimento Rural - SSAR, compostos de uma captação em manancial superficial ou subterrâneo preferencialmente com potabilidade natural, seguido por transporte, reservação e distribuição através de chafariz. Esses sistemas podem representar um avanço em termos de segurança hídrica da população rural, mas por outro lado, podem apresentar riscos de contaminação da água nas etapas de transporte e reservação. Os Sistemas de Ponto de Entrada podem eliminar a possibilidade de contaminação durante o transporte, mas também apresentam a necessidade da reservação da água, no caso, em reservatórios domiciliares. Assim, trazem também o risco de contaminação da água nos reservatórios utilizados. A contaminação ocorre em virtude da ausência ou inadequação das tampas dos reservatórios, da sedimentação de material em seu fundo e da falta de limpeza periódica adequada. Em pesquisa realizada em uma cidade do Pará, por exemplo, verificou-se que a contaminação por coliformes fecais nos reservatórios domiciliares analisados, variou entre 60% e 80% (Lima e Bernardes, 2001). Para o meio rural, é grande a possibilidade de se encontrar uma situação similar ou até maior incidência de contaminação nos reservatórios domiciliares. Dessa maneira, um sistema duplo instalado nas residências com a água para o consumo humano sendo fornecida através de Sistemas de Ponto de Uso, pode constituir uma boa solução para o abastecimento de água para a população rural. Nesse caso, a água captada é fornecida à residência para uso geral e parte dela é tratada para sua potabilização.

### 2.1 Mananciais de abastecimento para sistemas descentralizados no Semiárido

Existem diversas opções para a captação de água no meio rural do Semiárido. Além de iniciativas como o Programa 1 Milhão de Cisternas Rurais desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Aliança para o Semiárido que busca, dentre outros objetivos, garantir a um milhão de famílias rurais mais carentes da região a superação de suas carências de água potável através do aproveitamento da água de chuva, as principais alternativas utilizadas para captação de água na região têm passado por duas estratégias principais:

- construção de açudes, visando o armazenamento da água superficial;
- perfuração de poços, visando o aproveitamento da água subterrânea.

A opção pela construção e utilização de açudes apresenta inúmeros problemas como uma grande perda de água pela evaporação, já que as extensas superfícies dos açudes ficam expostas ao sol e ao vento, salinização da água armazenada causada por essa evaporação e contaminação da água por dejetos humanos e de animais. Assim, a água encontrada nos açudes não costuma estar em conformidade com os padrões determinados pela Organização Mundial da Saúde – OMS e, mesmo assim, é consumida por grande parte da população rural do Nordeste sem prévio tratamento. Além disso, é comum a população ter de percorrer longas distâncias para buscar água dos açudes o que, além de ser

trabalhoso e consumir bastante tempo, traz o risco de contaminação e na sua reservação para uso posterior. Assim, a utilização da água de poços representa uma excelente alternativa para captação de água para Sistemas Descentralizados de Abastecimento. De acordo com dados da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, pelo menos 19,5 bilhões de metros cúbicos de água poderiam ser extraídos por ano do subsolo nordestino sem o risco de esgotamento dos mananciais (SBPC, 1995). Com apenas 5% desse montante, seria possível fornecer cerca de 134 litros diários de água por habitante do Semiárido, considerando uma população de 20 milhões de habitantes.

Estima-se que existam em todo o Nordeste mais de 150.000 poços tubulares perfurados, quase sempre construídos sem acompanhamento de profissional habilitado e sem registros adequados de perfis construtivos, qualidade da água, vazões, etc. (CPRM, 2001). A partir desse diagnóstico, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM definiu como prioridade fazer um amplo cadastramento dos poços existentes na região. Em 2003, em um trabalho realizado em convênio com o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios - PRODEEM, foram estudados o número, distribuição e características, além de ser feito um diagnóstico da situação dos poços existentes nos estados do Nordeste (CPRM e PRODEEM, 2003). O objetivo do programa era “*Localizar poços não instalados ou paralisados no Semiárido brasileiro para promover o aumento da oferta de água utilizando bombeamento com energia gerada através de células fotoelétricas (energia solar)*”. Os poços tubulares cadastrados e estudados totalizavam 21.662, dentre os quais, somente pouco mais da metade se encontrava em operação. Mais de 3.700 poços encontravam-se paralisados e outros 3.651 poços ainda não haviam sido instalados, enquanto mais de 2.330 estavam abandonados. Assim, pode-se concluir que, apenas colocando em funcionamento poços já perfurados, já poderia ser aumentada em muito a oferta de água para a população da região. Para tanto, é necessário saber quais os problemas que impedem ou dificultam a colocação dos poços em funcionamento e em condições de fornecer água de qualidade adequada.

O trabalho realizado pela CPRM e PRODEEM também mostrou que cerca de 29% dos poços não instalados estudados estão a menos de 100 metros da rede de distribuição de eletricidade e pouco mais de 20% estão a uma distância entre 100 metros e 1 km, enquanto mais da metade estão a uma distância de mais de 1 km da rede elétrica. Dessa maneira, a utilização do bombeamento fotovoltaico surge como boa opção, principalmente para a região do Semiárido, que apresenta abundante recurso solar. Nos sistemas fotovoltaicos de bombeamento, a energia elétrica necessária para o funcionamento das bombas é fornecida por geradores fotovoltaicos adequadamente dimensionados e instalados no local.

O bombeamento fotovoltaico apresenta inúmeras vantagens, como se utilizar de um recurso renovável de energia e a possibilidade de geração no local de consumo. Além disso, suprime gastos com compra e transporte de combustível, não causa poluição sonora e atmosférica na geração e constitui uma tecnologia de alta confiabilidade e consolidada tecnicamente, com mais de 25 anos de vida útil do gerador. Comparando-se com a utilização de bombas a diesel, por exemplo, essa opção apresenta um alto custo de investimento inicial, mas analisando-se para toda a vida útil de cada projeto, o bombeamento fotovoltaico torna-se economicamente competitivo. É indicado para localidades não atendidas pela rede elétrica convencional, tanto mais quanto maior for a distância entre o poço, a rede de distribuição de energia elétrica e os pontos de venda de diesel.

Por conta dos problemas de salinização frequentemente encontrados nos poços perfurados em terreno cristalino do Semiárido brasileiro, o trabalho feito pela CPRM em conjunto com o PRODEEM também realizou um diagnóstico das concentrações de sais encontradas na água dos poços estudados. A classificação das águas em termos de salinidade se dá pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Ministério do Meio Ambiente, 2005), conforme os seguintes parâmetros de Sólidos Dissolvidos Totais - SDT:

- águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰ (500 mg/L);
- águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ (500 mg/L) e inferior a 30 ‰ (3.000 mg/L);
- águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰ (3.000 mg/L).

Apesar de ser considerada água salobra, a água com SDT entre 500 mg/L e 1.000 mg/L é considerada potável, de acordo com o padrão de potabilidade (Ministério da Saúde, 2004). Mas o teor de sais acima do limite de 500 mg/L pode levar a população a recusar seu consumo pelo seu sabor e odor e buscar outras fontes de abastecimento, muitas vezes, poluídas ou contaminadas.

De 15.338 poços cuja água teve teor de sais determinado, apenas 3.851 foram classificados como água doce. Os demais poços apresentaram água com concentrações de sais acima de 500 mg/L. A água com essas características pode ser empregada para diversos usos, mas não é adequada para consumo humano. Com isso, passa a ser importante o estudo de alternativas para a redução da salinidade, de maneira que a população possa ser mais beneficiada pela água desses poços.

Em pesquisa realizada em 2010 pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (serviço desenvolvido pela CPRM e que possui versão online de acesso gratuito para realização de consultas e pesquisas, disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>), verificou-se que a situação não sofreu grande modificação, pois somente 27% dos quase 120 mil poços então cadastrados estavam em funcionamento, com bombeamento de água em operação. Além disso, a pesquisa mostrou que 60% dos poços que tiveram determinados parâmetros de salinidade apresentaram água com índices acima de 500 mg/L.

A dessalinização é a única solução para que as águas salobras e salinas possam ser consumidas pela população. A dessalinização pode se dar de diversas formas, como por exemplo:

- processos térmicos, baseados na mudança de estado da água, onde se destacam a destilação convencional, a destilação por efeito múltiplo ou por aplicação de baixas pressões e o congelamento. Os processos térmicos

para dessalinização de água são altamente energo-intesivos, mas também podem ser adaptados para se utilizarem de recursos energéticos renováveis, como é o caso da destilação térmica solar. Uma das desvantagens dos destiladores solares são as grandes áreas necessárias para seu funcionamento. Usualmente, para países tropicais, encontram-se produções médias diárias de água entre 3 e 5 litros por metro quadrado de destilador;

- processos de membrana, baseados na capacidade dessas membranas separarem seletivamente os sais da água. Dentre os processos de separação por membranas, destaca-se a eletrodialise e a osmose reversa. A eletrodialise se fundamenta na passagem da água por um recipiente contendo polos eletricamente carregados, além de sucessivas membranas semipermeáveis. Na Osmose Reversa, o processo se baseia em pressurizar a água a ser tratada, fazendo-a passar através da membrana semipermeável, separando a água do soluto.

As membranas semipermeáveis vêm sendo cada vez mais utilizadas em aplicações industriais. A maior escala de produção e o crescente desenvolvimento tecnológico têm causado uma contínua redução de preços e consequente aumento de competitividade econômica. Os sistemas de dessalinização de menor escala empregam processos de membrana semelhantes aos utilizados em aplicações industriais ou de grande escala, o que facilita a utilização dessa tecnologia em escala não industrial, como em pequenos sistemas de dessalinização para comunidades e residências.

### 2.3 Osmose reversa

A osmose é um fenômeno natural que ocorre quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana semipermeável, ou seja, uma membrana que dá passagem a moléculas de água, mas impede a passagem de outras moléculas. Como o potencial químico da água em uma solução é menor do que no estado puro, haverá uma passagem da água pura através da membrana, sempre do meio hipotônico (menos concentrado em soluto) para o meio hipertônico (mais concentrado em soluto). Na Fig. 2, está apresentado um esquema representativo do fenômeno da osmose. Na Fig. 2, em A, ilustra uma situação inicial onde duas soluções aquosas com concentrações diferentes encontram-se separadas por uma membrana semipermeável. Em B, ocorre a passagem do soluto do meio hipotônico para o meio hipertônico. Em C, o equilíbrio é alcançado e a diferença entre a pressão de cada coluna de solução representa a pressão osmótica. A pressão osmótica é proporcional à temperatura e concentração do soluto. Na Osmose Reversa, o fluxo é invertido através da aplicação de uma pressão do lado da solução mais concentrada maior do que a pressão osmótica.

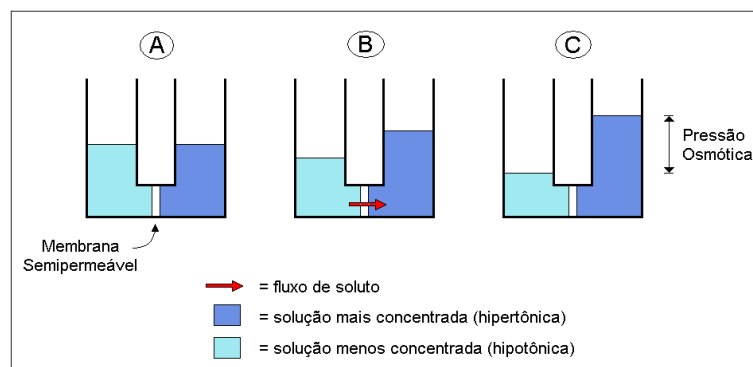


Figura 2 - Osmose e Pressão Osmótica.

A osmose reversa é um processo que se utiliza da pressão hidráulica como força motriz para promover a separação e assim, uma bomba deve manter pressurizada a água a ser dessalinizada, forçando a passagem da água através da membrana que retém os solutos em quase sua totalidade. As pressões de trabalho variam entre 4 e 80 bar. Em geral, a dessalinização da água por osmose reversa se dá por um processo contínuo em que o fluxo de alimentação é tangencial à membrana e em que nem todo o fluido de alimentação atravessa a mesma, produzindo um fluxo de concentrado e outro de permeado, que é a água dessalinizada. A unidade operacional na qual as membranas são mantidas para uso é conhecida como “módulo” e é constituída pela membrana, pela estrutura para suportar as pressões de trabalho e pelos dispositivos de entrada e saída. Os módulos devem ser compactos e fornecer a maior superfície de membranas por unidade de volume, sendo projetados para assegurar a vazão de circulação da água a ser dessalinizada, além de evitar vazamentos. Para o funcionamento de sistemas de osmose reversa, a água de alimentação não deve conter sólidos em suspensão, pois esses podem incrustar na superfície da membrana e causar danos irreversíveis à mesma. Quanto maior for o teor de matéria orgânica na água, maior deverá ser a frequência das operações de limpeza e sanitização das membranas, de maneira a diminuir a formação de biofilme e reduzir o biofilme já formado. Assim, se esse for o caso, deve-se realizar um pré-tratamento da água com filtros cartucho para a retirada dos sólidos em suspensão e filtros de carvão ativado para retirada de matéria orgânica.

Um dos problemas associados à utilização de dessalinizadores refere-se ao descarte do rejeito. Esse rejeito, também chamado de concentrado, apresenta alta salinidade e seu descarte inadequado pode acarretar sérios problemas como a salinização do solo. Em projetos de grande porte, é possível a integração dos dessalinizadores em um sistema produtivo integrado, com produção aquícola (por exemplo, tilápia rosa e camarão) e posterior irrigação de culturas de plantas halófitas, como a erva-sal (*Atriplex nummularia*), para a produção de feno para o gado. No caso de um sistema de pequeno porte como o proposto no presente trabalho, pode-se utilizar o rejeito em conjunto com a água salobra extraída do poço para a irrigação de pequenas culturas da erva-sal.

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O presente trabalho tem como objetivo a adaptação de um sistema de dessalinização de pequeno porte disponível no mercado nacional através de seu acoplamento a um gerador fotovoltaico para sua utilização em um sistema de tratamento domiciliar do tipo SPU/*dual-system*, ou seja, sistemas duplos com tratamento do tipo ponto de uso para disponibilizar água potável para beber e cozinhar. Outra opção de configuração seria um sistema de tratamento de água do tipo SPE com o acoplamento direto dos geradores à bomba de corrente contínua, eliminação das baterias e acumulação em um reservatório da água tratada nas horas de maior incidência solar. Mas por conta do risco de contaminação da água do reservatório, optou-se pela utilização das baterias no sistema do tipo SPU/*dual-system*. Foram adotados os seguintes critérios para a seleção do equipamento de dessalinização a ser acoplado ao gerador fotovoltaico:

- componentes do equipamento de dessalinização disponíveis no mercado nacional;
- equipamento de baixo custo;
- equipamento de dessalinização de baixa potência.

No Brasil, diversas empresas comercializam sistemas de osmose reversa. Mas o mercado de sistemas de dessalinização no Brasil está mais maduro para os dois casos a seguir:

- sistemas de grande porte, alta potência e altas vazões;
- sistemas de pequeno porte indicados para a produção de água ultrapura para laboratórios e hospitais.

Assim, a opção considerada mais adequada foi a de trabalhar com um equipamento de pequeno porte desenvolvido para a produção de água ultrapura e realizar algumas adaptações no mesmo. A seguir, estão apresentadas algumas características técnicas do Sistema de Osmose Reversa selecionado:

- valor máximo de sólidos dissolvidos na água de entrada: 2.000 mg/L;
- capacidade para produzir 10 a 20 litros de água dessalinizada por hora;
- pré-tratamento com cartucho de carvão ativado 10" x 2,5", para remoção de matéria orgânica;
- membrana de osmose reversa 1,8" x 11, 75";
- pressão mínima de entrada = 0,2 bar;
- potência média de operação informada pelo fabricante = 100 W;
- bomba pressurizadora do tipo diafragma, com motor 24-29 Vc.c.;
- transformador 220 Vc.a. / 29 Vc.c..

Como se pretende configurar um sistema de dessalinização para tratamento de água de poços com água salobra, faz-se necessário acrescentar um filtro de particulados como pré-tratamento, de maneira a proteger e preservar a integridade da membrana e aumentar sua vida útil. Assim, foi acoplado na entrada do equipamento um filtro rápido com elemento filtrante em PP com 25/1 µm, impedindo assim que partículas em suspensão maiores que 1 µm possam alcançar a membrana de osmose reversa e causar danos à mesma. A pressão hidráulica mínima exigida na entrada do equipamento é igual a 0,2 bar. Assim, optou-se pelo levantamento da caixa d'água para proporcionar uma pressão de entrada de 0,4 bar, ou seja, 4 metros de coluna de água. Em um primeiro momento, pretende-se tratar água com 2.000 mg/L de sais dissolvidos. A pesquisa realizada no SIAGAS em outubro de 2010 indicou que para o total de poços que tiveram o parâmetro *sólidos dissolvidos totais* – SDT determinado, 25,6% dos poços apresentaram água salobra com concentrações entre 500 mg/L e 2.000 mg/L, o que corresponde a 74,3% dos poços que apresentaram água salobra ou salina. Assim, a utilização de um equipamento de dessalinização com a limitação do SDT da água de entrada em 2.000 mg/L ainda permite trabalhar com pelo menos cerca de 75% dos poços que poderiam ser foco de um projeto de dessalinização.

O equipamento de dessalinização e o pré-filtro foram instalados em uma bancada de madeira, de maneira a permitir fácil acesso às conexões elétricas e hidráulicas. A entrada de água se deu a partir da caixa d'água instalada a 4 metros de altura e alimentada com água da rede de abastecimento. Após descanso, a água teve sua salinidade ajustada com a adição de NaCl, de maneira a simular água salobra. O equipamento de dessalinização foi mantido em funcionamento ligado à rede elétrica convencional e, após decorrida 1 hora para estabilização das condições de trabalho, foi realizada a aquisição de dados de tensão de trabalho e corrente de alimentação. Esse procedimento foi repetido para diferentes concentrações de sal na água de entrada (500 mg/L, 1.000 mg/L, 1.500 mg/L e 2.000 mg/L). Foram medidos também os fluxos de concentrado e permeado na saída do equipamento. A potência de operação foi de 40 W, não sendo apresentada variação significativa para as diversas concentrações. O mesmo aconteceu com o fluxo de concentrado, aproximadamente 20 L/h. Já o fluxo de permeado apresentou valores decrescentes na medida em que se

aumentava a concentração de sais na água de alimentação, sendo obtidos fluxos de 20,4 L/h; 19,7 L/h; 19,4 L/h e 16,2 L/h para as concentrações citadas. Para água de entrada com 2.000 mg/L, o permeado apresentou SDT variando na faixa entre 45 mg/L e 53 mg/L.

Após essa etapa, foi instalado um sistema de geração fotovoltaico constituído pelos seguintes componentes:

- 2 módulos fotovoltaicos de 50 Wp;
- 2 baterias automotivas de 95 Ah em série;
- 1 controlador de carga modelo Phocos CX-10;
- 1 disjuntor bipolar instalado entre o controlador de carga e o equipamento de dessalinização.

O equipamento de dessalinização teve retirado seu transformador 220 Vc.a. – 24 Vc.c. e foi acoplado ao sistema fotovoltaico de geração para testar seu funcionamento com essa configuração e calcular a profundidade de descarga das baterias por hora de funcionamento do equipamento. A Fig. 3 apresenta um diagrama esquemático desse arranjo.

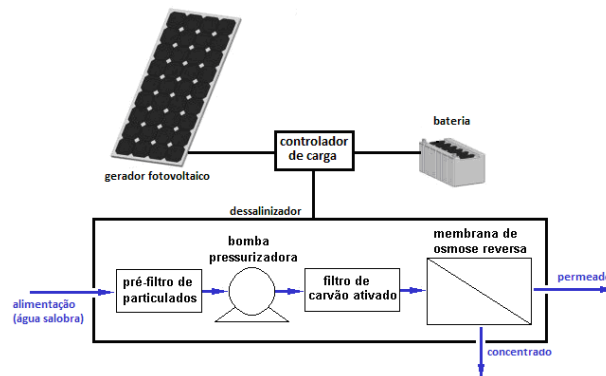


Figura 3– Diagrama esquemático do Sistema Fotovoltaico de Dessalinização.

Com a análise do funcionamento desse sistema, será possível o dimensionamento dos diversos componentes do sistema fotovoltaico de geração de maneira a se configurar um tamanho mínimo que garanta as necessidades básicas de água de uma família média, para beber e cozinhar. Em 2007, o Catálogo de Indicadores de Monitoramento dos Programas do Ministério de Desenvolvimento Sustentável (MDS, 2007) verificou que o tamanho médio das famílias beneficiárias do Programa Bolsa Família na zona rural da região Nordeste do país é igual a 4,43. Assim, foi considerado um tamanho de família igual a 5 pessoas. Uma família constituída por um casal e 3 filhos e para o caso de maior consumo (mulher amamentando e homem que desenvolva trabalhos manuais, exposto ao sol), deve consumir entre 22 L e 32,5 L para beber e cozinhar, dependendo das atividades desenvolvidas pelos filhos (Howard, G., e Bartram, J., 2003). Em um estudo de campo feito no meio rural do semi-árido (Jalfim, F.T., 2001), verificou-se um consumo médio de água para beber e cozinhar de 6 L/pessoa.dia. Um cálculo preliminar pode ser realizado a partir das seguintes premissas:

- Litros diários necessários = 30 litros;
- Potência de operação do dessalinizador = 40 W;
- Concentração de sais na água de entrada = 2.000 mg/L;
- Produção de água (fluxo de permeado) = 16,2 L/h;
- Eficiência do conjunto baterias/controlador = 0,85;
- Substituição da bomba por uma similar de 12 Vc.c.;

Para a produção de 30 L diários de água, seriam necessárias 1,85 horas de funcionamento do dessalinizador por dia o que corresponde a uma demanda diária de energia elétrica de 74 Wh. Considerando-se a eficiência do conjunto bateria/controlador e calculando-se para dois dias de autonomia e 50% de profundidade de descarga, uma bateria com capacidade de 30 Ah atende estas condições. E a utilização do sistema proposto na região do Semiárido, que possui níveis de irradiação solar  $\geq 5 \text{ kWh/m}^2$ .dia, um gerador fotovoltaico de 20 W garante a operação do sistema.

Em pesquisa de mercado realizada em abril/2012, foram obtidos os seguintes valores médios, para o cálculo preliminar do custo de investimento inicial de um sistema fotovoltaico de dessalinização dimensionado dessa maneira:

- Dessalinizador = R\$ 2.000,00;
- Filtro Rápido para particulados = R\$ 250,00;
- Gerador Fotovoltaico (20 W) = R\$ 135,00;
- Controlador de Carga = R\$ 100,00;
- Bateria (12 V e 30 Ah) = R\$ 120,00;

Assim, tem-se um valor de R\$ 2.605,00. Ao serem considerados outros custos como o do disjuntor, fiação, etc., pode-se considerar um investimento inicial em equipamentos da ordem de R\$ 3.000,00. Para um período de 10 anos, produção de 30 litros diários de água, substituição das baterias a cada 2 anos e dos elementos filtrantes e membrana de

dessalinização a cada ano, temos um custo de 4 a 5 centavos por litro de água dessalinizada. Esse custo é o relativo apenas ao equipamento de dessalinização, considerando que a água a ser tratada já se encontra disponível em reservatório instalado à altura adequada.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou a possibilidade de utilização de pequenos sistemas comerciais de dessalinização por Osmose Reversa para fornecimento de água potável. Para uma demanda de 30 L/dia de água potável são necessários o fornecimento de 74 Wh/dia. Esta demanda não é excessiva e poderia ser considerada no dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares. Esta inclusão representa um incremento de 20 W na unidade de geração e 30 Ah na unidade de acumulação. Também se pode optar pela montagem de um sistema fotovoltaico dedicado a unidade de dessalinização. A forma de introdução do sistema, incluído na demanda de um sistema fotovoltaico domiciliar ou dedicado exclusivamente a dessalinização, dependerá do contexto do programa de universalização do atendimento elétrico e sua associação com as políticas públicas de suprimento de água potável.

#### REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas, 2006. Atlas Nordeste - Abastecimento Urbano de Água: alternativas de oferta de Água para as Sedes Municipais da Região Nordeste do Brasil e do Norte de Minas Gerais, Brasília-DF.
- Ashbolt, N. J., 2004. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions, *Toxicology*, n.198, p. 229–238.
- Bernardo, L. D., Dantas, A. D. B., 2005. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, Rima Editora, São Carlos-SP.
- Brasil, 2007. Lei Nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, Diário Oficial da União, Brasília-DF.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2001. Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste - Programa Anual de Trabalho, Brasília-DF.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil e PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios, 2003. Água Subterrânea e Energia no Semiárido (apresentação da palestra), Rio de Janeiro-RJ.
- FUNASA - Fundação Nacional de Saúde, 2010. Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado, Brasília-DF.
- Jalfim, F.T., 2001. Considerações sobre a viabilidade técnica e social da captação e armazenamento da água da chuva em cisternas rurais na região semi-árida brasileira, Simpósio de Captação de água de chuvas no semi-árido, Campina Grande-PB.
- Howard, G., Bartram, J., 2003. Domestic Water Quantity, Service and Health, Organização Mundial de Saúde, Suíça.
- IPEA - Fundação Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2008. PNAD-2007: Primeiras Análises, volume 5 – Saneamento Básico e Habitação, Brasília-DF.
- Lima, A. S., Bernardes, R. S., 2001. Levantamento Epidemiológico das Condições Sanitárias da Água para Abastecimento Público na Cidade de Redenção (PA), 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa-PB.
- MDS - Ministério do Desenvolvimento Sustentável, 2007. Catálogo de Indicadores de Monitoramento dos Programas do Ministério de Desenvolvimento Sustentável, Brasília-DF.
- Ministério da Saúde, 2004. Portaria nº 518, Brasília-DF.
- Ministério do Meio Ambiente, 2005. Resolução CONAMA nº 357, Brasília-DF.
- Mejia, A., Azevedo, L. G. T., Gambrell, M. P., Baltar, A. M., Triche, T., 2003. Série Água Brasil: Água, Redução de pobreza e Desenvolvimento Sustentável, Brasília-DF.
- Peter-Verbanets, M., Zurbrugg, C., Swartz, C., Pronk, W., 2009. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology, *Water Research*, n.43, p. 245-265.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2006. Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) - A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água EUA.
- SBPC - Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 1995. Água Potável via Energia Solar, *Revista Ciência Hoje*, vol.19, n.110.

#### WATER DESALINATION FOR HOME USE WITH PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

**Abstract:** Much of the rural population in semi-arid region suffers from problems of access to water with adequate quality. The exploitation of water wells is a major alternative for water supply for the population, but many times, the wells are drilled away from power lines. This difficulty could be overcome with the use of photovoltaic pumping systems. On the other hand, many wells have water with excessive salinity, making it impossible to be used for human consumption. The present study aims to determine if the adaptation of small and commercially available desalination systems with photovoltaic generators can enhance the diffusion of photovoltaic pumping systems in wells with high content of dissolved salts and if this option may represent an alternative water supply for the rural areas with problems of salinization of water sources. The option is analyzed in a dual water treatment of type "point of use".

**Key words:** Brackish Water Desalination, Residential Treatment, Photovoltaic Systems