

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA PARA USO DOMICILIAR NA REGIÃO RURAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

D. J. de M. Rosa, R. Zilles, M. C. Fedrizzi

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos
Avenida Professor Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária CEP 05508-010 - Butantã - São Paulo SP – Brasil
Tel. 05511-30912661 e-mail: djmr@ana.gov.br

Recibido 16/08/13, Aceptado 30/09/13

RESUMEN: En la región semiárida brasileña, gran parte de la población rural tiene problemas con el acceso al agua de buena calidad. El uso de las aguas subterráneas como fuente es una de las principales alternativas para el suministro de agua para este grupo, pero muchos pozos se encuentran lejos de las líneas eléctricas. Esto se puede resolver mediante el uso de sistemas de bombeo fotovoltaico. Sin embargo, la mayoría de los pozos perforados en la región tiene agua con altos niveles de sales disueltas. En este artículo se investiga si el uso de una planta de desalinización fotovoltaica por ósmosis inversa puede mejorar la difusión de los sistemas fotovoltaicos para el bombeo de los pozos de agua salobre y si esto puede representar una fuente alternativa de agua para esta población. Se analizó un sistema dual para el tratamiento de agua de tipo "punto de uso".

Palabras clave: desalación, sistemas fotovoltaicos, ósmosis inversa

INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a sobrevivência do ser humano que a utiliza, dentre outros usos, para beber, cozinhar, fazer higiene pessoal, limpeza doméstica e em atividades produtivas. Para cada uso, existem padrões de qualidade que a água deve apresentar para ser apropriada. No caso da utilização para a hidratação corporal, bem como para o preparo de alimentos, a água deve ser potável. Para ser considerada potável, a água deve apresentar parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos que atendam aos padrões de potabilidade, geralmente definidos pelo Ministério da Saúde de cada país (Bernardo e Dantas, 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 diversas doenças. 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), 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 4,9 mil crianças. O relatório afirma que "Água limpa e saneamento estão entre os mais eficientes remédios preventivos para reduzir a mortalidade infantil".

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), foram registrados 17.719 óbitos por diarreia em menores de um ano de idade no país, em quatro anos, ou seja, uma média de 14 óbitos por dia. Nas últimas décadas, o Brasil realizou uma grande ampliação de seus sistemas de abastecimento, mas dados do PNUD de 2006 indicavam que 17% da população do país ainda não tinha acesso à água potável, o que correspondia a quase 29 milhões de brasileiros. Esse problema é ainda mais pronunciado nas áreas rurais da região do país conhecida como Semiárido.

Em 2007, foi promulgada 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, o Semiárido concentra a maior parte da população brasileira que vive sujeita à falta recorrente de água em quantidade e qualidade adequadas e aos problemas decorrentes dessa carência. A região do Semiárido brasileiro está apresentada na Figura 1 e ocupa uma área de 976.743 km² 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 e se concentra nas grandes cidades. 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). Nessa região 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, 44% correspondem à população rural.

O Semiárido caracteriza-se por apresentar reservas insuficientes de água em seus mananciais superficiais e temperaturas elevadas durante todo o ano, com baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração. As chuvas apresentam totais pluviométricos geralmente inferiores à evapotranspiração, o que resulta em taxas negativas no balanço hídrico. 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). Assim, a disponibilidade hídrica superficial é reduzida, apresentando grande variação sazonal e ao longo dos anos. Uma alternativa para garantir o suprimento de água para a população rural do Semiárido é a utilização de mananciais subterrâneos.

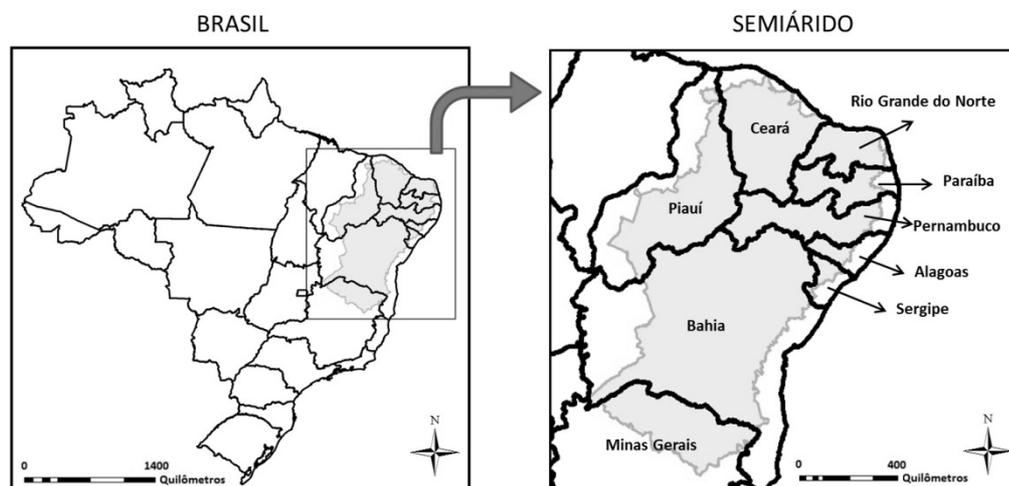


Figura 1 – Área de abrangência do Semiárido brasileiro.

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. Além disso, grande parte do Semiárido brasileiro encontra-se sobre escudo cristalino, reconhecido como de baixo potencial hidrogeológico. A área do Semiárido que se sobrepõe ao escudo cristalino é de cerca de 700.000 km², sendo caracterizada por poços que apresentam uma vazão individual média de menos de 3 m³/h, profundidades entre 40 m e 80 m e reservas explotáveis totais de 43,1 m³/s, ou seja, cerca de 155.000 m³/h. Mesmo assim, com manancial subterrâneo de baixo potencial para exploração e com problemas de salinização, os mananciais subterrâneos do Escudo Cristalino tem um papel muito importante no abastecimento da população 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.

SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em geral, nas áreas urbanas e com maiores concentrações populacionais, é vantajosa a utilização de soluções centrais de abastecimento, distribuição e tratamento de água. Isso já não acontece no caso do atendimento da população rural. Um dos complicadores que dificultam esse atendimento é o fato da população rural estar localizada em pequenos aglomerados com poucos habitantes ou mesmoresidências unifamiliares dispersas no território, o que causa grande aumento no custo de implantação e dificuldade na manutenção dos sistemas de distribuição de água. Além disso, por conta da distância entre os grandes centros urbanos e as comunidades rurais, estas muitas vezes sofrem com uma reduzida capacidade de gestão das infraestruturas de abastecimento de água e, assim, é grande o risco de um sistema de distribuição que necessite atravessar longas áreas para alcançar o consumidor 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 opções, fontes, poços comunitários, distribuição por veículo transportador, etc. (Bernardo e Dantas, 2005).

Em grande parte das comunidades rurais, sistemas descentralizados podem ser a única maneira de melhorar a qualidade da água obtida a partir de manancial com qualidade imprópria para consumo. Os Sistemas de Tratamento Descentralizados podem ser classificados em Sistemas de Pequeno Porte, Sistemas de Ponto de Entrada e Sistemas de Ponto de Uso (Peter-Verbanetset 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.

No Semiárido brasileiro, 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 com potabilidade natural, seguido por transporte, reservação e fornecimento à população através de chafariz. Esses sistemas podem representar um avanço em termos de segurança hídrica da população rural, mas por outro lado, apresentam riscos de contaminação da água nas etapas de transporte e reservação. Os tratamentos por 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 contaminação por coliformes fecais de até 80% dos reservatórios domiciliares analisados (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 de tratamento 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.

MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PARA SISTEMAS DESCENTRALIZADOS NO SEMIÁRIDO

Existem diversas opções para a captação de água no meio rural do Semiárido. As principais alternativas utilizadas para captação de água na região têm passado por três estratégias principais:

- * Construção de açudes, visando o armazenamento da água superficial;
- * Captação de água de chuva e reservação em cisternas;
- * 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 no transporte e na sua reservação para uso posterior. A utilização da água de chuva é uma alternativa que vem sendo cada vez mais usada na região e tem se mostrado uma boa opção, apesar do risco de contaminação da água reservada nas cisternas. Essa alternativa é eficaz para o fornecimento de água durante os meses de seca com o que foi captado nos meses chuvosos, mas não apresenta a mesma efetividade para os períodos de seca prolongada. Por sua vez, 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, até 21 bilhões de metros cúbicos de água poderiam ser extraídos por ano do subsolo nordestino sem o risco de esgotamento dos mananciais (ABAS, 2003). 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 mais da metade dos poços está a uma distância de mais de 1 km da rede elétrica. Dessa maneira, a utilização do bombeamento fotovoltaico surge como boa opção, já que a região do Semiárido apresenta abundante recurso solar. Assim, o bombeamento da água dos poços pode ser feito utilizando um recurso renovável de energia e com geração no próprio local de consumo, suprimindo gastos com compra e transporte de combustível e sem causar poluição sonora e atmosférica na geração. A tecnologia fotovoltaica apresenta-se como de alta confiabilidade e consolidada tecnicamente, com mais de 25 anos de vida útil do gerador e, comparando-se com a utilização de bombas a diesel, apesar de apresentar um alto custo de investimento inicial, é economicamente competitiva quando se analisa para toda a vida útil da instalação. O bombeamento fotovoltaico 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 salobra 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 no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (de acesso gratuito e 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-intensivos, 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.

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). A pressão osmótica é proporcional à temperatura e concentração do soluto. Na Osmose Reversa, o fluxo é invertido através da aplicação de pressão maior do que a pressão osmótica, do lado da solução mais concentrada. Ou seja, a Osmose Reversa é um processo que se utiliza da pressão hidráulica como força motriz para promover a dessalinização. Assim, uma bomba deve manter pressurizada a água a ser dessalinizada, forçando a passagem da mesma através de uma 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. Deve-se evitar a presença de matéria orgânica na água de entrada, de maneira a diminuir a formação de biofilme na superfície da membrana. 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 (*Atriplexnummularia*), 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.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

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 ou para sistemas de grande porte, com alta potência e altas vazões, ou para sistemas de pequeno porte indicados para a produção de água ultrapura a partir da água de abastecimento, 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;
- * 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;
- * Bomba pressurizadora do tipo diafragma, com motor 24-29 Vc.c.;
- * Transformador 220 Vc.a. / 29 Vc.c..

Para se 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 Polipropileno com 25/1 µm, para impedir que partículas em suspensão maiores que 1µm possam alcançar a membrana e causar danos à mesma. Como a pressão hidráulica mínima exigida na entrada do equipamento é igual a 0,2 bar, o reservatório da água de entrada, com 100 litros de capacidade, foi instalado 2 metros acima do equipamento de dessalinização.

A pesquisa realizada no SIAGAS indicou que para o total de poços que tiveram o parâmetro *sólidos dissolvidos totais* – SDT determinado e apresentaram água salobra ou salina, 74,3% continham água salobra com concentrações entre 500 mg/L e 2.000 mg/L. 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, para permitir fácil acesso às conexões elétricas e hidráulicas. A água de entrada teve sua salinidade ajustada com a adição de NaCl, de maneira a simular água salobra. Em um primeiro momento, o equipamento foi colocado em funcionamento acoplado à rede elétrica convencional, para obtenção dos parâmetros necessários para o dimensionamento do sistema fotovoltaico de dessalinização, como potência de operação, fluxo do permeado, fluxo de rejeito, sólidos dissolvidos totais - SDT do permeado e do rejeito. Esse procedimento foi repetido para os seguintes valores de SDT na água de entrada: 50 mg/L (água da rede de abastecimento), 500 mg/L, 1.000 mg/L, 1.500 mg/L e 2.000 mg/L. Apesar das especificações do equipamento indicarem um SDT máximo de 2.000 mg/L na água de entrada, também foram realizados testes para as concentrações de 3.000 mg/L, 4.000 mg/L e 5.000 mg/L. A potência de operação apresentou variação entre 24 W e 27 W para cada concentração. Não foi verificada relação entre a variação da potência de operação e as diferentes concentrações da água de entrada. O fluxo de concentrado apresentou pouca variação e foi de aproximadamente 20 L/h. A Tabela 1 apresenta os valores médios de fluxos de permeado e sólidos dissolvidos totais para cada valor de SDT da água de entrada.

SDT na água de entrada	50 mg/L	500 mg/L	1000 mg/L	1500 mg/L	2000 mg/L	3000 mg/L	4000 mg/L	5000 mg/L
Fluxo de Permeado	20,8 L/h	20,4 L/h	19,7 L/h	19,4 L/h	16,2 L/h	13,1 L/h	9,0 L/h	6,9 L/h
SDT do permeado	1 mg/L	7 mg/L	19 mg/L	31 mg/L	49 mg/L	89 mg/L	141 mg/L	217 mg/L

Tabela 1 – Fluxos de Permeado e Sólidos Dissolvidos Totais Obtidos para diferentes concentrações na água de entrada

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.

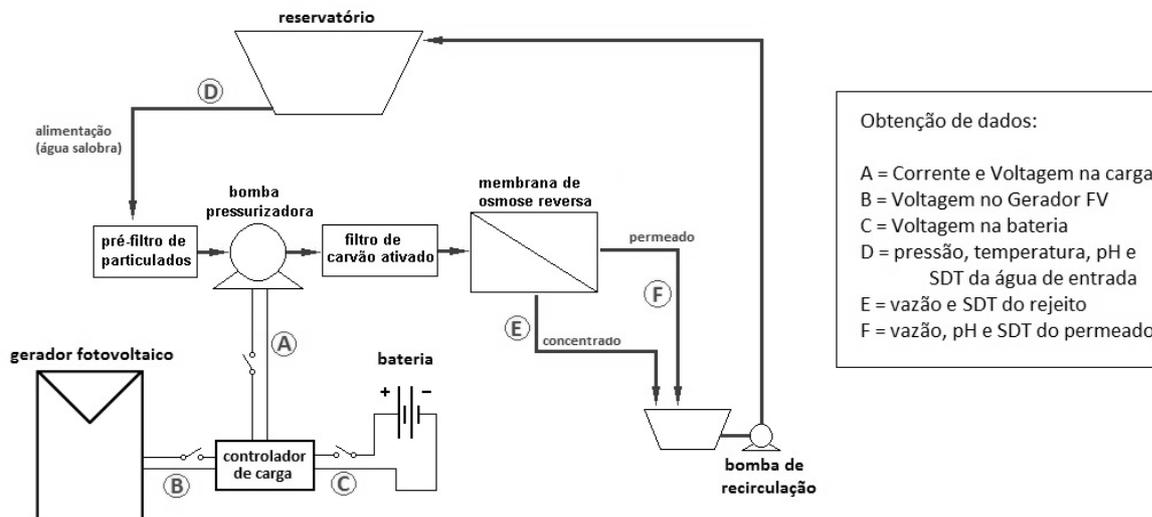


Figura 2 – Diagrama esquemático do Sistema Fotovoltaico de Dessalinização.

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. Foi conectado um sistema de aquisição de dados para obtenção dos valores de tensão no gerador, bateria e dessalinizador, além da corrente no dessalinizador. Um interruptor horário foi configurado e instalado no sistema, de maneira a ligar e desligar automaticamente o dessalinizador, programando 9 horas diárias de funcionamento, divididas em 9 períodos de 1 hora cada. O permeado e o rejeito, após o ponto onde eram aferidos valores de SDT e vazões, eram misturados e bombeados para a caixa de entrada, de maneira a ser possível a operação contínua do equipamento, para verificação da queda da produção de permeado ao longo do tempo. A cada duas semanas, a água do sistema era trocada e se realizava a limpeza dos reservatórios de água. A Figura2 apresenta um diagrama esquemático desse arranjo.

O sistema com configuração descrita acima e ilustrada na Figura 2 foi colocado em operação para tratar uma água de entrada com SDT = 2.000 mg/L. Pelo período de 13 meses, o Sistema Fotovoltaico de Dessalinização totalizou cerca de 2.300 horas de operação. Ao longo desse período, o fluxo de concentrado manteve-se entre 19 L/h e 20 L/h e o valor de SDT do permeado variou entre 50 mg/L e 44 mg/L ao longo do período. Já o valor do fluxo de permeado foi diminuindo gradativamente ao longo das horas de operação, caindo a 11,7 L/h, ao término do período. A Figura 3 traz o gráfico da variação do fluxo de permeado ao longo do tempo.

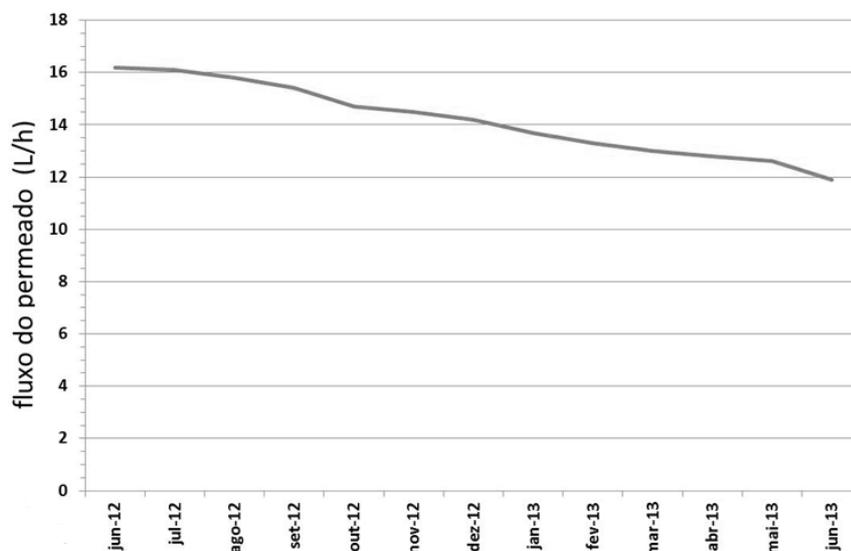


Figura 3–Variação do fluxo de permeado ao longo de 13 meses de operação(2.300 horas)

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Com a análise do funcionamento desse sistema, foi 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 Ministério de Desenvolvimento Sustentável (MDS, 2007) verificou que o tamanho médio de famílias da zona rural da região Nordeste do país é igual a 4,43 pessoas. 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 e Bartram, 2003). Em um estudo de campo feito no meio rural do Semiárido (Jalfim, 2001), verificou-se um consumo médio de água para beber e cozinhar de 6 L/pessoa.dia. Assim, um cálculo preliminar pode ser realizado a partir das seguintes premissas:

- * Litros diários necessários = 30 litros;
- * Potência de operação considerada para o dessalinizador = 27 W;
- * Concentração de sais na água de entrada = 2.000 mg/L;
- * Eficiência do conjunto baterias/controlador = 0,85;
- * Substituição da bomba por uma similar de 12 Vc.c.;

A produção de água (fluxo de permeado) considerada foi de 14,6 L/h, que foi o fluxo de permeado aferido após 4 meses de funcionamento do sistema. Esse valor se justifica, pois o número de horas de operação para esse período de 4 meses é equivalente a uma utilização do equipamento 2 horas por dia durante 1 ano, que é o tempo recomendado pelo fabricante do dessalinizador para a troca da membrana. Para a produção de 30 L diários de água, seriam necessárias 2,05 horas (cerca de 2 horas e 3 minutos) de funcionamento do dessalinizador por dia o que corresponde a uma demanda diária de energia elétrica de 55,4 Wh. Considerando-se a eficiência do conjunto bateria/controlador e calculando-se para dois dias de autonomia e 50% de profundidade de descarga, é necessária a utilização de uma bateria de 12 V com capacidade de 22 Ah. E para a utilização do sistema proposto na região do Semiárido brasileiro, que possui níveis de irradiação solar ≥ 5 kWh/m².dia, um gerador fotovoltaico de 18 W garante a operação do sistema.

Em pesquisa de mercado realizada em junho/2013, 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 (18 Wp) = R\$ 110,00;
- * Controlador de Carga = R\$ 120,00;
- * Bateria (12 V e 22 Ah) = R\$ 100,00;

Com a soma desses valores, chega-se a um total de R\$ 2.580,00. Ao serem considerados outros custos como o do disjuntor, fiação, instalação, 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.

CONCLUSÕES

Foi avaliada 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 55,4 Wh/dia. Esta demanda não é excessiva e poderia ser considerada no dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares. Esta inclusão representa um incremento de 18 Wp na unidade de geração e 22 Ah na unidade de acumulação. Também se pode optar pela montagem de um sistema fotovoltaico dedicado apenas à unidade de dessalinização. A forma de introdução do sistema, incluído na demanda de um sistema fotovoltaico domiciliar ou dedicado exclusivamente à dessalinização, dependerá do contexto do programa de universalização do atendimento elétrico e sua associação com as políticas públicas de suprimento de água potável. O sistema dimensionado no presente trabalho também pode ser utilizado para tratamento de água salobra com valores de sólidos dissolvidos totais – SDT abaixo de 2.000 mg/L, podendo aumentar a produção diária de água ou diminuir as horas diárias de operação e, conseqüentemente, o tamanho da bateria e a potência do gerador fotovoltaico. A utilização do sistema para tratamento de água salobra com valores de SDT acima de 2.000 mg/L também pode ser considerada, por exemplo, para uma água de entrada com 3.000 mg/L. Nesse caso, seria necessário que o equipamento fosse operado por 3 horas diárias, o que acarretaria na necessidade do incremento de cerca de 50% da potência do gerador fotovoltaico e da capacidade da bateria. Já para as concentrações de 4.000 mg/L e 5.000 mg/L, é mais adequada a utilização de um sistema com uma membrana de maior capacidade de separação, além de uma bomba pressurizadora de maior potência, capaz de proporcionar maiores pressões de trabalho.

Do ponto de vista técnico, foi demonstrada a viabilidade de um Sistema Fotovoltaico de Dessalinização por Osmose Reversa para uso domiciliar. A operação do dessalinizador simulou sua operação por um período equivalente a três anos, com duas horas diárias de funcionamento e sem troca ou reposição de qualquer elemento do sistema. Os valores apresentados podem servir como referência, mas para cada caso de aplicação em campo, devem ser analisadas as características do local de instalação. Um correto dimensionamento do sistema só poderá ser feito de posse dos dados de irradiação solar e da caracterização da água de entrada, bem como da variação desses valores ao longo do ano. Em relação à água de entrada,

deve-se salientar que, mesmo para dois poços que apresentem valores de sólidos dissolvidos totais – SDT equivalentes, é importante a distinção das diferentes espécies químicas presentes, bem como de suas respectivas concentrações.

Do ponto de vista econômico, o crescente uso das membranas semipermeáveis em aplicações industriais nos últimos anos causou uma grande diminuição no preço dos sistemas que se utilizam dessa tecnologia e um Sistema Fotovoltaico de Dessalinização por Osmose Reversa para uso domiciliar apresenta um custo cada vez mais compatível com outras alternativas descentralizadas de abastecimento dessa população, como as cisternas rurais. Esse custo pode diminuir por ganho de escala, no caso de adoção dos mesmos como alternativa para políticas públicas de abastecimento de água da população dispersa do Semiárido. Os sistemas fotovoltaicos de dessalinização podem ser complementares a outras opções como as cisternas para captação de água de chuva e contribuir para aumentar a segurança hídrica da população rural do Semiárido, ou seja, assegurar que cada pessoa da região tenha acesso à água potável suficiente para levar uma vida saudável e produtiva, além de estar protegida contra os riscos relacionados à água, sem depender de apenas uma fonte de água potável.

As maiores dificuldades para adoção dessa tecnologia como mais uma alternativa para as políticas públicas que visam a garantia de fornecimento de água potável para a população rural dispersa do Semiárido brasileiro estão relacionadas a questões políticas, como a necessidade de uma grande articulação institucional entre as diversas esferas do poder público, organizações não governamentais e demais instituições da sociedade civil. Assim, é importante que se determine fontes de financiamento e responsabilidades para a implementação desse tipo de sistema, prevendo manutenções periódicas e/ou emergenciais. Além disso, é necessário o estabelecimento de critérios e procedimentos para seleção e capacitação de usuários. Um programa de instalação de sistemas fotovoltaicos domiciliares de dessalinização de água salobra como alternativa para o fornecimento de água potável na região rural do Semiárido brasileiro só poderá ser bem sucedido se houver grande atenção com a formação de pessoal especializado, criação de uma rede de assistência técnica e capacitação e treinamento dos usuários.

REFERÊNCIAS

- ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (2003) - Água Subterrânea - Minimização das Consequências da Seca no Nordeste, pp. 4-6, 33. São Paulo-SP.
- 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, pp. 15-17. Brasília-DF.
- Bernardo L. D. e Dantas, A. D. B. (2005). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rima Editora, pp. 9-25. 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, pp. 6-7. 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, pp. 111-126. 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 semiárida brasileira. Simpósio de Captação de Água de Chuva no Semiárido, pp. 1-4. Campina Grande-PB.
- Howard G. e Bartram J. (2003). Domestic Water Quantity, Service and Health, pp. 3-7. Organização Mundial de Saúde, Suíça.
- IPEA - Fundação Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2008). PNAD-2007: Primeiras Análises, volume 5 – Saneamento Básico e Habitação, pp. 4-6. Brasília-DF.
- Lima A. S. e 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, pp. 2-4. João Pessoa-PB.
- MDS - Ministério do Desenvolvimento Sustentável (2007). Catálogo de Indicadores de Monitoramento dos Programas do Ministério de Desenvolvimento Sustentável, pp. 88-89. Brasília-DF.
- Ministério da Saúde (2004). Portaria nº 518, pp. 20-22. Brasília-DF.
- Ministério do Meio Ambiente (2005). Resolução CONAMA nº 357, pp. 1-2. Brasília-DF.
- Peter-Verbanets M., Zurbrugg C., Swartz C. e Pronk W. (2009). Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. Water Research 43, pp. 245-253.
- 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, pp. 5, 80, 43-44. EUA.

ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, much of the rural population has problems with access to good quality water. The use of groundwater as a source is one of the main alternatives to supply water to this group, but many wells are located away from power lines. This problem can be solved through the use of photovoltaic pumping systems. However, most wells drilled in the region have water with high levels of dissolved salts. This article investigates whether the use of a photovoltaic desalination plant by reverse osmosis can improve dissemination of photovoltaic systems for pumping brackish water wells and whether this may represent an alternative source of water for this population. A point of use dual system was analyzed for water treatment type.

Keywords: Water Desalination, Reverse Osmosis, Photovoltaic Systems