

1 Introdução

1.1. Considerações iniciais

O histórico de estiagens em determinadas partes do Brasil e da perspectiva de aumento da demanda por água em tais regiões nos próximos anos, forneceu a motivação para estudar alternativas que pudessem ser utilizadas como meio de amenizar o impacto do flagelo da seca. A tecnologia escolhida para tal estudo foi a de dessalinização da água do mar (“salgada”), técnica esta amplamente difundida em diversos países do mundo.

Apesar de ser uma tecnologia de energia intensiva, ou seja, que acarreta um alto consumo energético, o impacto econômico, social e ambiental decorrente da utilização da dessalinização pode ser positivo, a ponto de tornar um projeto dessa natureza viável. Desta afirmação surge o objetivo deste trabalho, que é a busca por uma combinação de fatores econômicos e técnicos que propiciem a realização de um projeto de dessalinização na costa brasileira, estabelecendo assim mais uma alternativa de abastecimento de água potável.

Apesar da possibilidade de tratar-se de um projeto viável, será visto adiante neste trabalho, que a adoção da tecnologia de dessalinização é altamente específica e de alto custo, devendo ser a última escolha dentre outros projetos de abastecimento de água. Antes de se partir para esta solução, devem ser realizados projetos de conservação dos rios e de economia de água na indústria e nas residências, especialmente quando se trata de grandes cidades. No entanto, para o caso do sertão nordestino, onde a falta de água se deve a fatores ambientais, pode-se partir diretamente para o uso dos dessalinizadores.

Desta forma, a dessalinização pode surgir como alternativa para o abastecimento de regiões menos favorecidas, bem como para indústrias de consumo intensivo de água, como a indústria de papel e celulose.

1.2. Revisão Bibliográfica

De acordo com o Relatório de Demanda Tendencial 557, divulgado pela Agência Nacional de Águas (2004), a demanda por água na região nordeste deve aumentar sensivelmente nos próximos anos. Neste estudo, que tem como horizonte o ano de 2025, foi realizada uma coleta de informações, combinada com estudos estatísticos, com o objetivo de prever a demanda por água para dessedentação animal, irrigação e abastecimento urbano em todas as cidades do nordeste.

As informações retiradas desta referência servem como uma justificativa e uma motivação para a busca de novas técnicas de abastecimento, dada a diversidade de condições ambientais, sociais e de oferta de água para as diversas cidades no nordeste.

Pode-se citar como exemplo a cidade de Santa Bárbara, localizada a 90 km de distância de Salvador, Bahia. De acordo com a Agência Nacional de Águas (2004), a demanda de água para irrigação nesta cidade, até o ano de 2025, chegará a 2.681 m³/dia, sendo que a demanda total, que inclui abastecimento urbano e dessedentação animal, pode chegar a 7.268 m³/dia. Este estudo é baseado na evolução da demanda passada. No caso de Santa Bárbara a demanda total em 2005 era de 5.761 m³/dia. Em última análise isso significa que a demanda deverá sofrer um acréscimo de 25% até 2025. Deve-se lembrar que nos últimos anos a cidade de Santa Bárbara sofreu com a estiagem, decorrente das condições ambientais, sendo pouco provável que exista um aumento de oferta de água que acompanhe a demanda esperada.

Além dos dados de demanda, outra referência de extrema relevância para justificativa do trabalho, foi o artigo de Cavalcanti (2005) com título “Transporte e Armazenamento de Água para Consumo Humano no Sertão do Nordeste em Período de Seca”. Este artigo discorre sobre os problemas decorrentes do armazenamento inadequado da água em períodos de seca. Este fator aumenta a incidência de doenças, especialmente em crianças. O uso de tecnologias mais avançadas para produção e armazenamento poderia representar um grande avanço social nessas regiões.

Ainda tratando das referências que serviram como ponto de partida para o trabalho, pode-se citar o artigo “O manejo e a conservação do solo no semi-árido baiano: desafios para a sustentabilidade” (Souza,2000), que trata das possibilidades de aproveitamento do solo do semi-árido para irrigação. Neste artigo os autores fazem um estudo dos tipos de solo encontrados no estado da Bahia, indicando as regiões mais propícias para o aproveitamento da água. Este tema foi abordado em virtude da necessidade de avaliar se a água produzida através das técnicas de dessalinização poderia ser efetivamente aproveitada nas proximidades do ponto de produção.

Apesar de tratar-se de irrigação, a água produzida pode também ser utilizada para abastecimento urbano e da indústria, que apresenta fortes sinais de expansão nos últimos anos, especialmente no estado do Ceará, com a entrada em operação do Terminal de GNL (Gás Natural Liquefeito) de Pecém-CE, e na Bahia, onde foi anunciada recentemente a construção de um novo terminal de GNL.

Foram utilizadas diversas fontes de referência que tratam especificamente das técnicas de dessalinização. O primeiro artigo usado como base para o presente trabalho foi “Desalination: present and future”, apresentado por Semiat (2000). Neste artigo, o autor dá uma breve explicação sobre as técnicas de dessalinização, abrangendo a osmose reversa e a dessalinização térmica, informando também os avanços dessa tecnologia em Israel.

Após análise introdutória das diferentes técnicas foi possível obter maior conhecimento sobre o avanço das tecnologias disponíveis em Ebensperger (2005). No artigo publicado por Safar (1999), com título “Multieffect desalination plant, state of the art”, foi possível encontrar a lista completa com todas as plantas de dessalinização térmica em operação até a data de publicação do artigo, tornando possível obter alguns parâmetros de referência que possibilitaram uma análise prévia da possibilidade de implantação de um sistema similar no Brasil.

Mais informações a respeito das técnicas de dessalinização foram encontradas na Davis (2003), com título “Water Desalination Findings and Recommendations”, publicado pelo DWSC (*Department of Water Resources of State of Califórnia*). Este documento é um registro de aprendizagem obtida no

projeto de implantação de um sistema de dessalinização de grande porte para abastecimento de uma cidade localizada no estado da Califórnia.

Outra parte fundamental deste trabalho, além do conhecimento geral das técnicas de dessalinização, é a estimativa de custos deste tipo de sistema de modo que seja possível realizar uma análise de viabilidade econômica preliminar utilizando valores de referência publicados.

A principal referência para obtenção dos valores de custo na presente dissertação foi o artigo publicado por Ettouney (2002), com título “Evaluating the Economics of Desalination”, publicado pela IAEA (*International Atomic Energy Agency*). O artigo fornece o custo unitário de diversos itens da planta de dessalinização térmica, permitindo a formação de praticamente toda a estrutura de custos do sistema real.

Para os cálculos de viabilidade econômica foi utilizada a obra de Rêgo (2007) com título “Viabilidade Econômico-Financeira de Projetos”.

A modelagem de uma planta de dessalinização exige o conhecimento dos fenômenos termodinâmicos que caracterizam este sistema. No artigo de Hatzikioseyan (2003), com título “Modelling and Thermodynamic Analysis of a Multi-effect Distillation (MED) Plant for Seawater Desalination”, os autores apresentam o modelo computacional desenvolvido para descrever os parâmetros termodinâmicos de uma planta de dessalinização existente na Grécia. A referida planta utiliza energia solar para fornecer o calor necessário para a destilação da água.

Aqui, os balanços de energia, de massa e de concentração foram analisados com base nos conceitos apresentados por Wylen (2009), utilizados para fundamentação técnica e compreensão das premissas e restrições do modelo utilizado.

Uma das maiores peculiaridades deste tipo de sistema é o fato do fluido utilizado ser a água do mar, uma solução de água e sais minerais. Por se tratar de uma solução, existe a necessidade de um tratamento diferenciado das entalpias utilizadas nos balanços de energia. Para obtenção dos valores de entalpia das soluções de água e sal foi utilizado o estudo de Dittman (1977).

Além da entalpia da solução, no presente trabalho chamada de concentrado, outro fator de extrema relevância é a determinação da entalpia da

água nas fases de líquido e vapor. Para definição de tais entalpias foi utilizado o modelo publicado pela IAPWS IF-97 (*International Association for the Properties of Water and Steam*) (1997), cuja formulação será melhor explicada adiante.

As plantas de dessalinização térmica funcionam com o princípio de purificação através da vaporização da água repetidas vezes. O calor utilizado para este processo pode ser proveniente de plantas industriais ou usinas termoelétricas. Considera-se neste trabalho que o calor seja proveniente dos gases de exaustão de uma planta termoelétrica que pode funcionar com motores diesel ou turbinas a gás. A fonte de energia térmica utilizada, neste caso, não exerce influência na metodologia utilizada. Para estimativa da temperatura dos gases de exaustão e de sua vazão foi utilizado o artigo de Braga (2008), com título “O GNV muito além dos automóveis – uso no transporte ferroviário”.

Outro ponto de extrema relevância para o trabalho é a estimativa da potência de bombeio. Ao longo do trabalho foi possível notar a importância da energia de bombeio para o custo operacional do sistema como um todo. A estimativa da potência de bombeio foi realizada com base nas formulações apresentadas por Stuckenbruk (2008) e resumidas no Apêndice deste trabalho.

1.3. Justificativa do Trabalho

De acordo com Silva (2011), o Governo Federal busca solucionar o problema da estiagem no semi-árido nordestino há décadas. Inicialmente foi criada, em 1909, a Inspeção de Obras Contra as Secas (IOCS) transformada posteriormente no Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), que tinha entre as suas prioridades o desenvolvimento das zonas semi-áridas e a elevação de sua produtividade do ponto de vista agrícola e industrial.

Atualmente, a Agência Nacional de Águas (ANA) realiza um projeto de mapeamento da demanda por água nos nove estados do nordeste brasileiro. O estudo realizado pela ANA possibilita a busca por alternativas para melhorar as condições de vida no meio rural, seguindo os objetivos estabelecidos no início do século XX. Os resultados encontrados no mapeamento de demandas foi

sintetizado no Relatório de Demanda Tendencial (2004), onde são indicadas as demandas por água para abastecimento urbano, rural e dessedentação animal em todos os estados da região do nordeste e parte de Minas Gerais.

Dentre as soluções mais utilizadas para combater o impacto das secas no semi-árido brasileiro está a instalação de cisternas que armazenam a água das chuvas. No entanto, Cavalcanti (2005) mostra que as condições de transporte e armazenamento de água nas cisternas muitas vezes não atendem às legislações sanitárias, levando a problemas de saúde da população. Além disso, a irregularidade das chuvas faz com que a instalação de cisternas não seja uma medida capaz de promover o desenvolvimento sustentável da região. Deve-se, portanto, buscar novas alternativas que elevem a qualidade de vida do homem rural, que impulsionem a agricultura familiar da região, que estimulem a chegada da indústria e que, por fim, promovam o crescimento e desenvolvimento de regiões flageladas pelas secas.

De acordo com o “Relatório de Sustentabilidade publicado pela Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA)” (2011), a pegada hídrica, ou seja, o impacto causado por essa indústria nos recursos hídricos, deverá se transformar em fator de competitividade para os negócios, diante da potencial escassez em vários lugares do mundo. O uso da água tem sido objeto de preocupação cada vez maior. De acordo com esta referência, para produzir uma tonelada de papel são utilizados, em média, 25 mil litros de água. Para a produção do mesmo volume de celulose são necessários 30 mil litros. A dessalinização pode surgir como alternativa para o abastecimento de indústrias com alta pegada hídrica.

Atualmente países como Estados Unidos da América, Espanha, Israel e China utilizam as técnicas de dessalinização para atender ao aumento de sua demanda urbana. Apesar de ser uma tecnologia bastante difundida nesses países a dessalinização ainda apresenta restrições do ponto de vista energético e ambiental. Entretanto, não existem estudos que apontem um prejuízo ao meio ambiente, especialmente pelo descarte dos resíduos de sal.

Uma possível fonte de receita é o aproveitamento do lítio presente no sal descartado. O lítio é utilizado em baterias de carros elétricos, sendo reconhecido como um artigo estratégico para as próximas décadas. Os oceanos possuem uma

reserva de 230 bilhões de toneladas de lítio. A estimativa da quantidade de lítio disponível nos resíduos produzidos não faz parte do escopo deste trabalho.

De acordo com Davis (2003), os projetos de dessalinização devem ser conduzidos de tal forma que se reduza ao máximo o impacto ambiental e que se maximize os benefícios sociais, alavancando a economia da região favorecida. Dentre as tecnologias de dessalinização mais utilizadas estão a osmose reversa (Figura 2) e a dessalinização térmica. A osmose reversa é uma técnica que se baseia no fenômeno de osmose encontrado nas plantas, onde a água escoar sempre no sentido da menor concentração de determinada solução. Na osmose reversa uma pressão é aplicada de tal forma que o processo ocorra no sentido inverso, ou seja, da região de menor concentração para aquela que apresenta maior concentração.

A dessalinização térmica consiste na vaporização da água através da energia térmica proveniente de gases de exaustão expelidos por plantas industriais. Semiat (2000) aponta esta técnica como uma das mais utilizadas do mundo, favorecendo o aproveitamento racional da energia proveniente dos gases de exaustão. O objetivo do presente trabalho é estudar as técnicas de dessalinização térmica, observando os principais fenômenos termodinâmicos.

Deste modo, o ponto central do trabalho é a apresentação e o estudo das técnicas de dessalinização térmica, especialmente dos aspectos termodinâmicos presentes em uma planta térmica. As informações colhidas nas referências supracitadas foram reunidas em um programa computacional desenvolvido no ambiente *Microsoft Excel*, de forma que seja possível avaliar rapidamente diferentes cenários de abastecimento em função da distância do ponto de produção até o ponto de abastecimento, da vazão de abastecimento, do consumo energético.