

REVISTA BRASILEIRA DE POLÍTICAS PÚBLICAS
BRAZILIAN JOURNAL OF PUBLIC POLICY

Impasses da adoção da técnica de dessalinização: benefícios para a saúde pública e danos para o meio ambiente

Impasses of the adoption of the desalination technique: benefits for public health and damage to the environment

Ivone Rosana Fedel

André Studart Leitão

Gerardo Clésio Maia Arruda

Sumário

| | |
|--|------------|
| EDITORIAL | 17 |
| Ingo Wolfgang Sarlet, Lilian Rose Lemos Rocha e Patrícia Perrone Campos Mello | |
| 1. DIREITOS FUNDAMENTAIS, HERMENÊUTICA E MEIO AMBIENTE | 19 |
| ALGUMAS NOTAS SOBRE O DIREITO FUNDAMENTAL AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A SUA DIMENSÃO SUBJETIVA E OBJETIVA..... | 21 |
| Ingo Wolfgang Sarlet e Gabriel de Jesus Tedesco Wedy | |
| EL DERECHO HUMANO AL AGUA Y AL SANEAMIENTO..... | 41 |
| Belén Burgos Garrido | |
| ATÉ ONDE VAI O DIREITO CONSTITUCIONAL AO MEIO AMBIENTE ECOLOGICAMENTE EQUILIBRADO? UMA ANÁLISE SOBRE O POSICIONAMENTO BRASILEIRO FRENTE AO NOVO CONSTITUCIONALISMO LATINO-AMERICANO | 58 |
| Mariana Bruck de Moraes Ponna Schiavetti e Maria Eugênia Bruck de Moraes | |
| EL DERECHO HUMANO AL ACCESO A LA INFORMACIÓN AMBIENTAL Y LA JURISPRUDENCIA INTERAMERICANA | 82 |
| Gonzalo Aguilar Cavallo | |
| AS MÚLTIPLAS DIMENSÕES DO DIREITO FUNDAMENTAL À CIDADE..... | 109 |
| Zenildo Bodnar e Priscilla Linhares Albino | |
| NA DÚVIDA EM FAVOR DA NATUREZA? LEVAR A SÉRIO A CONSTITUIÇÃO ECOLÓGICA NA ÉPOCA DO ANTROPOCENO | 125 |
| Patryck de Araújo Ayala e Mariana Carvalho Victor Coelho | |
| 2. DIREITOS DA NATUREZA..... | 164 |
| A SALA DE EMERGÊNCIA AMBIENTAL: A PROTEÇÃO DOS DIREITOS DA NATUREZA NA AMÉRICA LATINA | 166 |
| Lilian Rose Lemos Rocha | |
| PROCEDURAL THEORY OF THE SUBJECT OF LAW AND NON-HUMAN ANIMALS: CRITERIA FOR RECOGNITION OF LEGAL SUBJECTIVITY FROM THE PERSPECTIVE OF CRITICAL THEORY | 182 |
| Sthéfano Bruno Santos Divino | |

| | |
|--|------------|
| OS “ANIMAIS DE PRODUÇÃO” PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA E O DIREITO CONSTITUCIONAL AMBIENTAL E ECOLÓGICO: PARADOXOS ÉTICO-JURÍDICOS | 197 |
| Juliane Caravieri Martins e Cíclia Araújo Nunes | |
| 3. POVOS INDÍGENAS | 221 |
| POVOS INDÍGENAS E PROTEÇÃO DA NATUREZA: A CAMINHO DE UM “GIRO HERMENÊUTICO ECOCÊNTRICO” | 223 |
| Patrícia Perrone Campos Mello e Juan Jorge Faundes Peñafiel | |
| DEMOCRACIA DELIBERATIVA E CONSULTA PRÉVIA NA AMAZÔNIA: DIREITO COMO MEDIADOR DEMOCRÁTICO EM CONFLITO INDÍGENA E MINERAÇÃO DE POTÁSSIO EM AUTAZES, AMAZONAS | 253 |
| Acursio Ypiranga Benevides Júnior e Rafael da Silva Menezes | |
| A CONSULTA PRÉVIA AOS POVOS INDÍGENAS ENQUANTO PARTICIPAÇÃO POLÍTICA: ABERTURA CONSTITUCIONAL BRASILEIRA A ROTAS ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL | 276 |
| Laura Fernanda Melo Nascimento e Adriano Fernandes Ferreira | |
| 4. ECOFEMINISMO | 292 |
| MEIO AMBIENTE, CUIDADO E DIREITO: INTERSECÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS DESDE A DIALÉTICA DA DIFERENÇA | 294 |
| Gustavo Seferian e Carol Matias Brasileiro | |
| ECOFEMINISMO INTERSECCIONAL E DECOLONIAL NO DIREITO BRASILEIRO: A NOVA POLÍTICA ESTADUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINAS GERAIS | 313 |
| Émilien Vilas Boas Reis e Vanessa Lemgruber | |
| 5. INSTRUMENTOS E INCENTIVOS PARA A CONCRETIZAÇÃO DA PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE | 328 |
| STARTUP E O DESAFIO DO COMPLIANCE | 330 |
| Grace Ladeira Garbaccio, Alexandra Aragão, Vanessa Morato Resende e Ana Walêska Xavier Araújo | |
| EL PROTOCOLO DE NAGOYA Y LOS ACUERDOS PARA EL ACCESO A LOS RECURSOS GENÉTICOS Y LA PARTICIPACIÓN JUSTA Y EQUITATIVA EN LOS BENEFICIOS QUE SE DERIVEN DE SU UTILIZACIÓN: UNA PROPUESTA DISCUTIDA | 344 |
| Roberto Concha Machuca | |
| A NECESSÁRIA INTERFACE ENTRE DIREITO, ECONOMIA E FINANÇAS NO PROCESSO DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS | 363 |
| Fernanda Dalla Libera Damacena | |

| | |
|--|------------|
| RELEVÂNCIA E ESTRATÉGIAS PARA VIABILIZAÇÃO DA CRIAÇÃO DE CORREDORES ECOLÓGICOS EM ÁREA DA MATA ATLÂNTICA SETENTRIONAL | 384 |
| Juliana Garcia Vidal Rodrigues, Sueli Aparecida Moreira e Eliza Maria Xavier Freire | |
| AGROTÓXICOS, DOMINAÇÃO E FRONTEIRAS: SIGNIFICAÇÃO, RELAÇÃO E PERSPECTIVAS SOBRE O PACOTE TECNOLÓGICO AGRÍCOLA E A AMAZÔNIA BRASILEIRA | 418 |
| Giovanni Martins de Araújo Mascarenhas, José Antônio Tietzmann e Silva e Luciane Martins de Araújo | |
| SERÁ O SANEAMENTO BÁSICO UMA ESPÉCIE DE SERVIÇO PÚBLICO DE INTERESSE LOCAL? UM ESTUDO À LUZ DA TEORIA DAS CAPACIDADES ESTATAIS APLICADA AOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS.. | 440 |
| Thaís de Bessa Gontijo de Oliveira e Fabiana de Menezes Soares | |
| IMPASSES DA ADOÇÃO DA TÉCNICA DE DESSALINIZAÇÃO: BENEFÍCIOS PARA A SAÚDE PÚBLICA E DANOS PARA O MEIO AMBIENTE..... | 470 |
| Ivone Rosana Fedel, André Studart Leitão e Gerardo Clésio Maia Arruda | |
| AS CONTRATAÇÕES PÚBLICAS SUSTENTÁVEIS E A IMPLEMENTAÇÃO DA META 12.7 DOS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) NO BRASIL: AVANÇOS E RETROCESSOS | 492 |
| Lucas Campos Jereissati e Álisson José Maia Melo | |
| 6. ACESSO À JUSTIÇA EM MATÉRIA AMBIENTAL..... | 520 |
| DESAFÍOS DEL ACCESO A LA JUSTICIA AMBIENTAL EN CHILE..... | 522 |
| Jairo Enrique Lucero Pantoja, Gonzalo Aguilar Cavallo e Cristian Contreras Rojas | |
| CONSIDERAÇÕES SOBRE A PARTICIPAÇÃO JUDICIAL DIRETA EM DEFESA DO MEIO AMBIENTE NO BRASIL, NO EQUADOR E NA BOLÍVIA | 556 |
| Leonardo Leite Nascimento e Valmir César Pozzetti | |
| JURISDIÇÃO CONSTITUCIONAL E PATRIMÔNIO CULTURAL: UM ESTUDO DE CASO DA ADPF 206. | 575 |
| Almir Megali Neto, Flávio Couto Bernardes e Pedro Augusto Costa Gontijo | |
| A TESE DE IMPRESCRITIBILIDADE DE DANOS AMBIENTAIS EM REPERCUSSÃO GERAL DO SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL E A POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO DA TEORIA DO RISCO AGRAVADO..... | 602 |
| Vicente de Paulo Augusto de Oliveira Júnior e Daniel Pagliuca | |
| 7. MUDANÇAS CLIMÁTICAS..... | 622 |
| AGENDA 2030: EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E O PAPEL DAS INSTITUIÇÕES PÚBLICAS | 624 |
| Luiz Edson Fachin | |
| DÉFIS ET PERSPECTIVES POLITIQUES, INSTITUTIONNELLES ET NORMATIVES DES ASSEMBLÉES CITOYENNES: UNE APPROCHE DEPUIS L'EXEMPLE DE LA CONVENTION CITOYENNE SUR LE CLIMAT | 636 |
| Benoit Delooz | |

| | |
|---|------------|
| CAMBIO CLIMÁTICO E INVERSIONES: ESBOZANDO ESTRATEGIAS DE ARMONIZACIÓN PARA CHILE | 653 |
| Andrea Lucas Garín, Jaime Tijmes-Ihl e Johanna Sagner-Tapia | |

| | |
|--|------------|
| MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RESPONSABILIDADE CIVIL: UM ESTUDO DE CASO SOBRE A REPARAÇÃO DE DANOS CLIMÁTICOS | 672 |
| Sabrina Jiukoski da Silva e Thatiane Cristina Fontão Pires | |

Impasses da adoção da técnica de dessalinização: benefícios para a saúde pública e danos para o meio ambiente*

Impasses of the adoption of the desalination technique: benefits for public health and damage to the environment

Ivone Rosana Fedel**

André Studart Leitão***

Gerardo Clésio Maia Arruda****

Resumo

O aumento da demanda de água e a diminuição do suprimento de água estão exacerbando a escassez de água na maioria das regiões do mundo. A dessalinização pode mudar essa realidade, tornando abundante esse recurso. Este artigo analisa se a tecnologia da dessalinização das águas salinas e salobras é utilizada a serviço da saúde ou a desserviço do meio ambiente, em virtude do impacto ambiental causado pelo descarte do rejeito. Explica-se o processo de dessalinização, contextualizando seu histórico, sua utilização no mundo, no Brasil e no Ceará. Em seguida, discorre-se sobre o dano ambiental decorrente do processo de dessalinização, em especial o relacionado ao descarte do rejeito. Na sequência, abordam-se custos e benefícios da dessalinização e examina-se a viabilidade técnica e econômica do procedimento. Por fim, faz-se uma análise para verificar se a dessalinização é um meio de tornar a água um recurso abundante, ou se o dano ambiental decorrente das várias etapas do processamento ocasionará a escassez do meio ambiente. Para elaboração do artigo, utilizou-se de pesquisa bibliográfica e documental, orientadas por uma metodologia qualitativa e descritiva. O estudo aponta a necessidade de estudos de impacto ambiental por ocasião da implantação dos projetos de dessalinização, bem como a atuação dos órgãos de controle interno e externo para fiscalizar a adequação dos sistemas de dessalinização, de modo a viabilizar a sustentabilidade e a conservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Dessalinização. Tecnologia. Saúde. Meio ambiente.

Abstract

The increase in water demand and the decrease in water supply are exacerbating water scarcity in most regions of the world. Desalination can change this reality by making this resource abundant. This article analyzes whether the technology of desalination of saline and brackish waters is used in the service of health or in the disservice of the environment, due to the environmental impact caused by the disposal of waste. The desalination process

* Recebido em 22/01/2020

Aprovado em 11/06/2020

** Mestranda em Direito pela UNICHRISTUS, Fortaleza-CE. Especialista em Legislação, Perícia e Auditoria Ambiental pelo Estácio de Sá. Graduada em Direito pela Universidade de Fortaleza. Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. Graduada em Ciências Contábeis pela Universidade Estadual do Ceará. Auditora de Controle Externo do Tribunal de Contas do Estado do Ceará. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4504-7606>
E-mail: ivonefedel@yahoo.com.br.

*** Doutor e Mestre em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Pós-doutorando em Direito pela Universidade de Fortaleza. Pós-doutorando em Direito pela Universidade Presbiteriana Mackenzie e. Professor do Programa de Pós-Graduação em Direito (Mestrado) da Unichristus. Professor titular do Centro Universitário Farias Brito. Procurador Federal. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9681-943X>. E-mail: andrestudart@hotmail.com.

**** Doutor e Mestre em Sociologia, Especialista em Geografia e Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do Programa de Pós-Graduação em Direito (Mestrado) da UNICHRISTUS. Professor titular da UNIFOR.
E-mail: andrestudart@hotmail.com.

is explained, contextualizing its history, its use in the world, in Brazil and in Ceará. Then, we discuss the environmental damage resulting from the desalination process, especially that related to the disposal of waste. Then, it discusses the costs and benefits of desalination and examines the technical and economic feasibility of this procedure. Finally, an analysis is carried out to verify whether desalination is a means of making water an abundant resource or whether the environmental damage resulting from the various stages of processing will cause scarcity of the environment. To prepare the article, bibliographic and documentary research was used, guided by a qualitative and descriptive methodology. The studies indicate the need to require environmental impact studies in the implementation of desalination projects, as well as for action by internal and external control bodies to inspect the adequacy of desalination systems installed, in order to ensure the correct sustainability and conservation of the environment.

Keywords: Desalination. Technology. Health. Environment.

1 Introdução

A Organização das Nações Unidas (ONU)¹ estima que, atualmente, um bilhão de pessoas não possui acesso a um abastecimento de água suficiente para suas necessidades, ou seja, de um fornecimento de 20 litros por pessoa por dia disponível numa distância não superior a mil metros. Apesar de se tratar de um dos recursos mais abundantes da Terra, aproximadamente, 95% da água disponível no planeta é imprópria para o consumo humano. Com efeito, vastas extensões geográficas não dispõem de água doce acessível e em quantidade suficiente para uso da população. Têm-se, como alternativa para suprir essa carência, a adoção de tecnologias de tratamento de água com alta concentração de sais, quer seja ela proveniente de aquíferos subterrâneos, como no Nordeste do Brasil, quer seja a água do mar.

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos², publicado em 2014, aponta que estudos feitos, em 2013, pela ONU/UNICEF indicam que, aproximadamente, 768 milhões de pessoas permanecem sem acesso à água tratada. Nesse relatório³, consta ainda que existem 2 (dois) bilhões de pessoas sem acesso à água potável e um total estimado de 3,5 bilhões atendidos de forma insuficiente no direito à água.

Este artigo está consubstanciado na ideia de que a abundância deve ser produzida no intuito de proporcionar condições viáveis de subsistência aos habitantes. Assim como Diamandis e Kotler⁴ defendem, quando explicitam um modelo de pirâmide da abundância formada por três níveis, em que a base é constituída do fornecimento das necessidades fisiológicas simples, quais sejam: água, alimento e abrigo suficiente. Outrossim, esses pesquisadores demonstram que a abundância ocorre quando cada pessoa dispõe de três a cinco litros de água potável por dia e mais 25 litros de água para banho, cozinha e limpeza.

A Agência Nacional das Águas (ANA)⁵ sublinha que cerca de 1,1 bilhão de pessoas, em todo o mundo, não têm acesso à água potável. Além disso, nos países em desenvolvimento, esse problema aparece relacio-

¹ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *A ONU e a água*. 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/agua/>. Acesso em: 25 maio 2019.

² UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*. 2014. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1714Water%20Development%20Report%202014.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2019.

³ UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*. 2014. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1714Water%20Development%20Report%202014.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2019.

⁴ DIAMANDI, Peter H.; KOTLER, Steven. *Abundância: o futuro é melhor do que você imagina*. São Paulo: HSM, 2012.

⁵ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Falta de água potável no mundo aparece relacionada a 80% das mortes e doenças*. 2019. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias-antigas/falta-de-a-gua-pota-vel-no-mundo-aparece.2019-03-14.1777251782>. Acesso em: 25 maio 2019.

nado a 80% das mortes e enfermidades. Tais dados corroboram as assertivas de Diamandis e Kotler⁶, que afirmam ser a ausência de água de boa qualidade o fator responsável pela metade das hospitalizações no mundo.

Ainda da análise da pirâmide da abundância de Diamandis e Kotler⁷, é possível perceber que toda sua base é afetada por questões de hidrologia, já que o acesso a todos os itens que a compõem depende de água. Dessa forma, como fazer para suprir a necessidade de água num mundo em que esse recurso está cada vez mais escasso? A resposta para essa questão está na adoção da tecnologia com o fim de gerar abundância. Uma solução tecnológica que vem sendo largamente usada nos últimos anos é a dessalinização, em suma, um processo físico-químico que retira o sal da água, tornando-a doce e ideal para o consumo.

Contudo, segundo informações veiculadas pela ONU⁸, para cada litro de água potável produzido por meio do processo de dessalinização, é gerado, aproximadamente, 1,5 litro de líquidos poluídos com cloro e cobre. Assim, a água salobra tóxica retorna para o oceano, provoca a diminuição do volume de oxigênio na água do mar e impacta os organismos ao longo da cadeia alimentar. Estudos realizados pelas Nações Unidas⁹, em 2018, demonstram que existem, atualmente, quase 16 mil usinas de dessalinização operando em 177 países. Essas instalações produzem um volume de água doce equivalente a quase metade do fluxo médio que corre nas Cataratas do Niágara.

Diante disso, deve-se ponderar até que ponto há vantagens no uso do processo de dessalinização para prover abundância de água para o planeta. Isto porque é extremamente elevado o potencial de contaminação decorrente da água residual, descartada no meio ambiente, gerada nesse processo. É nessa perspectiva que se traz para o debate, neste artigo, se a tecnologia da dessalinização é adequada para ser utilizada como serviço em prol da saúde ou se trata de um desserviço para o meio ambiente.

A consecução deste artigo está assentada em pesquisa bibliográfica e documental, orientadas por uma metodologia qualitativa e descritiva. Para atender aos objetivos perquiridos, divide-se o trabalho em três seções. Na primeira, apresenta-se a base legal que visa assegurar a disponibilidade de água de qualidade às gerações presentes e futuras e promover uma utilização racional e integrada dos recursos hídricos. Na segunda, expõe-se a tecnologia da dessalinização. Enfim, na terceira, descrevem-se os impactos ambientais decorrentes do processo de dessalinização e descreve-se o potencial de custos e benefícios.

2 Dessalinização: algumas iniciativas e aspectos legais

A Dessalinização é compreendida como o processo de remoção de sais da água, quer seja ela do mar, esgotos ou de reservatórios subterrâneos. O Glossário Internacional de Hidrologia¹⁰ define dessalinização como o processo pelo qual o teor de sal da água é reduzido o suficiente para tornar a água adequada para usos específicos.

Há séculos a humanidade realiza o processo de dessalinização da água, de sorte que o primeiro registro

⁶ DIAMANDI, Peter H.; KOTLER, Steven. *Abundância: o futuro é melhor do que você imagina*. São Paulo: HSM, 2012.

⁷ DIAMANDI, Peter H.; KOTLER, Steven. *Abundância: o futuro é melhor do que você imagina*. São Paulo: HSM, 2012.

⁸ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *ONU alerta contra impactos ambientais da dessalinização para fornecimento de água doce*. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-alerta-contra-impactos-ambientais-da-dessalinizacao-para-fornecimento-de-agua-doce/> Acesso em: 25 maio 2019.

⁹ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *ONU alerta contra impactos ambientais da dessalinização para fornecimento de água doce*. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-alerta-contra-impactos-ambientais-da-dessalinizacao-para-fornecimento-de-agua-doce/> Acesso em: 25 maio 2019.

¹⁰ WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION; UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANISATION. *International Glossary of Hydrology*. 2012. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf Acesso em: 25 maio 2019.

dessa técnica remonta aos escritos de Aristóteles em 320 AC¹¹. Ehrenman¹² afirma que a primeira planta de dessalinização que transformava a água do mar em potável foi instalada, em 1861, na Florida (Estados Unidos da América). Já Pereira¹³ informa que, “em 1928, foi instalada em Curaçao a primeira planta de dessalinização, com a tecnologia que conhecemos hoje, que produzia 50 m³ de água potável pelo processo de destilação artificial.” No Brasil, segundo Torri¹⁴, o processo se iniciou em 1970, por meio de experiência realizada pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA.

Existem diversas técnicas de dessalinização e as principais são: osmose reversa, dessalinização térmica¹⁵, deionização capacitiva¹⁶ e óxido de grafeno¹⁷. Aqui será destacada a técnica de osmose reversa que é a mais utilizada atualmente e está em implementação no Brasil. A primeira utilização da osmose reversa teve por objetivo dessalinizar a água do mar. No período entre 1960 e 1970, o processo passou, também, a ser utilizado na indústria de alimentos, sendo a indústria leiteira a primeira a utilizar o sistema¹⁸. Nos dias atuais, encontra-se a utilização dessa técnica, também, para a dessalinização de águas subterrâneas salobras, principalmente no nordeste brasileiro.

Andrade¹⁹ descreve osmose reversa como o processo segundo o qual a água do mar passa sob alta pressão por membranas poliméricas, com minúsculos orifícios, no qual ficam retidos os sais existentes no líquido, sendo esse o processo mais usado no mundo. Essa técnica é, também, conhecida como hiperfiltração e ocorre quando uma pressão mecânica, maior que a pressão osmótica, é aplicada na parte que se encontra a solução mais concentrada. Dessa forma, inverte-se o sentido do fluxo de soluto que atravessa a membrana. O produto obtido é a água purificada isenta de sais, vírus, bactérias e fungos²⁰.

Gaio²¹ descreve, de forma bastante didática, o processo de osmose inversa, utilizando a sigla RO para fazer referência ao método, nos seguintes termos:

O processo RO utiliza uma membrana semipermeável que possui um elevado grau de permeabilidade à água, mas é uma barreira impenetrável aos sais. Esta membrana separa as duas soluções com

¹¹ HENTHORNE apud TORRI, Júlia Betina. *Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações*. 2015. Monografia (Diplomação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 maio 2019.

¹² EHRENMANN apud TORRI, Júlia Betina. *Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações*. 2015. Monografia (Diplomação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 maio 2019.

¹³ PEREIRA apud TORRI, Júlia Betina. *Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações*. 2015. Monografia (Diplomação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 maio 2019.

¹⁴ TORRI, Júlia Betina. *Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações*. 2015. Monografia (Diplomação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 maio 2019.

¹⁵ Dessalinização térmica – nesse processo a água salgada é aquecida e evapora, acumulando-se na parte interna do tanque. Em outro compartimento, o vapor é resfriado, condensa-se e transforma-se novamente em água. Técnica tem elevado gasto energético.

¹⁶ Deionização capacitiva – nesse processo eletroquímico, o líquido passa entre dois eletrodos porosos de carbono eletricamente carregados que fazem a retenção dos íons de sódio e cloro presentes na água salgada. O método ainda está em desenvolvimento.

¹⁷ Óxido de grafeno – nesse sistema de osmose reversa, a filtragem é realizada por membranas feitas de óxido de grafeno. Elas deixam passar as moléculas de água, mas retêm os íons de cloro e sódio (sais). O processo não é comercial.

¹⁸ FERRARO, Ronaldo José Silva. *Sistema de Osmose Reversa*. 2008. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade São Francisco, Campinas, 2008.

¹⁹ ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

²⁰ MOURA, J.P. et al. Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. *Revista Águas Subterrâneas*, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23343>. Acesso em: 26 maio 2019.

²¹ GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

concentrações diferentes. [...] O processo de RO não se dá de uma forma natural: para se obter um fluxo de água fresca é necessário aplicar uma pressão de forma a contrariar o processo natural. O caudal de água fresca que se obtém é proporcional ao diferencial de pressão (pressão que se aplica) que excede o diferencial de pressão osmótica em equilíbrio.

A dessalinização de águas do mar e de águas salobras é usual em países desérticos ou com pouca disponibilidade de água potável, como no Oriente Médio e na África. Embora seja um processo ainda muito caro, a dessalinização é um método cada vez mais disseminado no mundo. Conforme a Associação Internacional de Dessalinização (IDA), a tecnologia de dessalinização já é utilizada em 150 (cento e cinquenta) países, como Austrália, Estados Unidos, Espanha e Japão²².

Desde a década de 90, diversos sistemas de dessalinização foram implementados no semiárido do Brasil. Contudo, em virtude da ausência dos devidos cuidados técnicos, sociais e ambientais, muitos deixaram de operar. Ocorre que a água subterrânea muitas vezes é a única fonte disponível para as comunidades dessa região brasileira, e cerca de 70% dos poços nessa localidade apresentam águas salobras ou salinas. Nesse sentido, o Governo Federal, por meio do Ministério do Meio Ambiente decidiu estruturar uma metodologia para que essa tecnologia tivesse mais sucesso em sua implantação, e as comunidades recebessem, de forma permanente, uma água segura para beber²³.

Em 2004, foi lançado no Brasil o Programa Água Doce (PAD), uma ação do Governo Federal, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil. O objetivo do programa era estabelecer uma política pública permanente de acesso à água de qualidade para o consumo humano, por meio de recuperação e gestão de sistemas de dessalinização de águas salobras e salinas. A meta do programa era instalar e gerir 1.206 (um mil, duzentos e seis) sistemas de dessalinização até 2018, nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe²⁴.

Contudo, até a data da realização desse trabalho, do total de sistemas de dessalinização previsto (1206), estavam finalizados somente 692 (seiscentos e noventa e dois) sistemas, dos quais 87 (oitenta e sete) estavam parados. Havia, até o momento, 83 (oitenta e três) obras em execução, mas restam, ainda, 431 (quatrocentos e trinta e uma) obras a iniciar, conforme Quadro 1²⁵.

Quadro 1 – Sistemas de dessalinização do Programa Água Doce (2019)

| Estados | Obras a iniciar | Obras em execução | Obras finalizadas e Sistemas parados | Obras finalizadas e Sistemas funcionando | Meta |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|--|------|
| Alagoas | 20 | 0 | 24 | 57 | 101 |
| Bahia | 69 | 66 | 16 | 145 | 296 |
| Ceará | 2 | 0 | 7 | 239 | 248 |
| Maranhão | 30 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| Minas Gerais | 69 | 0 | 0 | 0 | 69 |
| Paraíba | 0 | 11 | 27 | 55 | 93 |

²² BRASIL. Senado Federal. Dessalinizar a água é cada vez mais viável. *Em discussão*, ano 5, n. 23, dez. 2014. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua> Acesso em: 26 maio 2019.

²³ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa Água Doce*: Documento base. 2012. Disponível em: https://www.mma.gov.br/images/arquivos/agua/agua_doce/2018/ANEXO_I_-_PAD_-_Documento_Base_Final_2012.pdf. Acesso em: 26 maio 2018.

²⁴ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa Água Doce*: Documento base. 2012. Disponível em: https://www.mma.gov.br/images/arquivos/agua/agua_doce/2018/ANEXO_I_-_PAD_-_Documento_Base_Final_2012.pdf. Acesso em: 26 maio 2018.

²⁵ BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa Água Doce*: Documento base. 2012. Disponível em: https://www.mma.gov.br/images/arquivos/agua/agua_doce/2018/ANEXO_I_-_PAD_-_Documento_Base_Final_2012.pdf. Acesso em: 26 maio 2018.

| Estados | Obras a iniciar | Obras em execução | Obras finalizadas e Sistemas parados | Obras finalizadas e Sistemas funcionando | Meta |
|---------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|--|-------------|
| Pernambuco | 170 | 0 | 0 | 0 | 170 |
| Piauí | 36 | 6 | 13 | 12 | 67 |
| Rio Grande do Norte | 35 | 0 | 0 | 68 | 103 |
| Sergipe | 0 | 0 | 0 | 29 | 29 |
| TOTAL | 431 | 83 | 87 | 605 | 1206 |

Fonte: elaboração própria, a partir de dados coletados no Programa Água Doce.

O sistema de dessalinização do Programa Água Doce utiliza o processo de osmose reversa e os principais componentes do sistema são: poço tubular profundo, bomba do poço, reservatório para água bruta (água do poço), abrigo de alvenaria, dessalinizador, reservatório para o permeado, chafariz para distribuição da água potável (água dessalinizada clorada), reservatório e tanque de contenção para o concentrado (água concentrada em sais), chafariz para distribuição da água bruta e do concentrado e bebedouro para os animais (cocho).

No estado do Ceará, além dos sistemas de dessalinização instaladas por meio do Programa Água Doce, também existem Estações Móveis de Tratamento de Água que realizam o processo de dessalinização por osmose reversa, descontaminação e purificação da água. As estações são provenientes de Israel, adquiridas pelo Governo do Ceará por meio de convênio. Cada equipamento poderá produzir até 75 mil litros de água tratada, considerando um funcionamento de 15 horas por dia. Esse volume de água é suficiente para abastecer sete cisternas com uma média de 8 mil litros cada uma²⁶. Cada sistema móvel de tratamento de água acompanha três carros pipas, com capacidade total de 26 mil litros, além de uma caminhonete tracionada para rebocar a Estação de Tratamento de Água – ETA e apoiar a operação e acessórios necessários ao funcionamento, como caixa d'água e material de análise²⁷.

Além disso, na Região Metropolitana de Fortaleza, está prevista a construção de uma usina de Dessalinização de Água Marinha por osmose reversa. Ainda em fase de licitação, a previsão é que usina de dessalinização do Ceará seja a maior do país. Contudo, essa não será a primeira a operar no Brasil²⁸. A ilha de Fernando de Noronha, que não dispõe de recursos hídricos naturais suficientes para prover água potável para população, possui, há quase duas décadas, um pequeno sistema de dessalinização capaz de produzir cerca de 720 m³ de água por dia²⁹. A produção responde por 40% da demanda hídrica do arquipélago³⁰.

A usina a ser construída no Ceará, prevista para começar a operar em 2022, terá capacidade de produção de 1 m³/s (um metro cúbico por segundo), o que equivale a mil litros de água. Essa produção pode elevar

²⁶ FILGUEIRAS, Marina. *Estações móveis de tratamento levam água potável para comunidades rurais*. Disponível em: <http://saladeimprensa.ceara.gov.br/todospelaagua/?p=27227> Acesso em: 13 jan. 2020.

²⁷ FILGUEIRAS, Marina. *Estações móveis de tratamento levam água potável para comunidades rurais*. Disponível em: <http://saladeimprensa.ceara.gov.br/todospelaagua/?p=27227> Acesso em: 13 jan. 2020.

²⁸ CEARÁ. *Governo do Ceará publica edital de dessalinização de água marinha para a Região Metropolitana de Fortaleza*. 2019. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2019/02/08/governo-do-ceara-publica-edital-de-dessalinizacao-de-agua-marinha-para-a-regiao-metropolitana-de-fortaleza/>. Acesso em: 26 maio 2019.

²⁹ ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

³⁰ ILHA DE NORONHA. A ilha. Ilha de Noronha: o site do arquipélago [site], [201?]. Disponível em: http://www.ilhadenoronha.com.br/ailha/saneamento_em_noronha.php. Acesso em: 31 maio 2019.

em 12% a oferta de água e beneficiar cerca de 720 mil pessoas³¹. A previsão é ser edificada no bairro Muricipe, próximo à região da Praia Mansa, por ser o local mais indicado para obter a captação da água e pela facilidade de devolução dos rejeitos³².

Em relação à questão da dessalinização enquanto política pública direcionada à prevenção, manutenção e recuperação da saúde, Pontes e Schramm³³ indicam que cabe ao Estado, enquanto ente promotor da saúde pública, desenvolver mecanismos que proporcionem o acesso à água em qualidade satisfatória e em quantidade suficiente para o atendimento das necessidades básicas da população. Os autores entendem que o desafio para a solução dos problemas de acesso à água potável abrange dois níveis de resolução, quais sejam: (i) considerar o caráter universal, garantindo a cada pessoa o acesso à sistemas públicos de abastecimento de água; e (ii) priorizar a solução dos problemas de infraestrutura das residências, de forma a compensar as desvantagens dos menos favorecidos, que não possuem condições de armazenagem e manejo apropriado da água em seus domicílios.

A edição da Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, também conhecida como Lei das Águas, teve por objetivo cumprir o papel do Estado enquanto garantidor da saúde pública, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). Segundo essa lei, a Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se em seis fundamentos, dentre os quais, a água que é considerada um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico.

A Lei prevê que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Também determina que, em situações de escassez, o uso prioritário da água deve se destinar ao consumo humano e para a dessedentação de animais. O artigo 2º da referida Lei estabelece os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, dentre eles, o de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Em março de 2019, foi publicada a Portaria n.º 888, do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), que instituiu o Programa de Apresentação de Unidades de Dessalinização e Purificação de Águas Salobras e Salinas para teste e análise de desempenho. Objetiva-se, com esse instrumento, reunir as diversas soluções tecnológicas de dessalinização e purificação de águas salobras e salinas existentes e criar um cadastro único que sistematize informações das diversas tecnologias existentes. Essa medida governamental intenciona alargar o escopo das ações direcionadas para a convivência da população do semiárido brasileiro com as severas condições climáticas e de recursos hídricos da região. Tais informações servirão para auxiliar o MCTIC a identificar todas as soluções tecnológicas disponíveis para dessalinização e purificação de água e as melhores aplicações de cada uma para, em momento futuro, aplicá-las na gestão de políticas públicas correlatas ao acesso à água potável.

Essa iniciativa demonstra que é necessário convergir às ações de Estado, das Instituições de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e da Iniciativa Privada no intuito de obter os melhores resultados com foco nos programas de acesso à água potável. Assim, não basta desenvolver as melhores tecnologias, é necessário mobilizar a sociedade e envolver os diversos setores em âmbito regional e local para juntos encontrarem a melhor forma de proporcionar a disponibilização abundante de água potável para população.

³¹ ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

³² CAVALCANTE, Irna. *Contrato da usina de dessalinização é de R\$ 3 bilhões*. 2019. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/jornal/economia/2019/02/30680-contrato-da-usina-de-dessalinizacao-e-de-r--3-bilhoes.html>. Acesso em: 13 jan. 2020.

³³ PONTES, C. A. A.; SCHRAMM, F. R. I. Bioética da proteção e papel do Estado: problemas morais no acesso desigual à água potável. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 1319-1327, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v20n5/26.pdf>. Acesso em: 6 out. 2019.

3 A tecnologia da dessalinização: abundância ou escassez

A importância da água para a manutenção da vida e de todas as espécies do planeta é indiscutível. Basta lembrar que esse recurso natural cobre, aproximadamente, 70% da superfície terrestre, dos quais apenas 3% desse volume corresponde à água doce. Contudo, do total de água disponível no planeta, 97% corresponde à água salgada, 2%, água doce congelada e temos, apenas, 1% de água doce disponível para os mais diversos consumos³⁴.

Segundo a Organização Mundial da Saúde³⁵, a quantidade de água por pessoa por dia é de, aproximadamente, 50 litros, de forma a garantir o suprimento das necessidades mais básicas, mantendo-se em patamar de baixo riscos para a saúde pública. Considerando-se que a população mundial girava em torno de 7,7 bilhões, em 2018, e deverá chegar, aproximadamente, ao total de 11 bilhões, em 2100, segundo dados publicados pela ONU, a quantidade de água existente no planeta não será suficiente para a sobrevivência da humanidade³⁶.

Dados do Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos³⁷, de 2019, já demonstram que mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países que sofrem de grave escassez de água, e cerca de 4 bilhões de pessoas sofrem de grave escassez de água por, pelo menos, um mês por ano. Se a população mundial, em 2019, gira em torno de 8 bilhões, esses valores representam, respectivamente, 25% (um quarto) e 50% (metade) do universo. Dessa forma, em 2100, o crescimento exponencial da população, aliado à diminuição da disponibilidade de água e a crescente poluição das fontes potáveis de água, provocará um colapso dos recursos hídricos disponíveis, se não ocorrer uma mudança radical, com grande dose de inovação para que toda população tenha acesso à água.

Diamandis e Kotler³⁸ afirmam que a escassez é um problema mundial desde que a vida surgiu no planeta e o crescimento exponencial da população ocasionará um colapso na vida terrestre se não forem ampliados os recursos consumidos pela população. Apesar dos indicadores de escassez, os autores acreditam que a abundância está ao alcance de todos se tecnologias forem usadas para desenvolver novas formas de obtenção de alimentos, energia, água, saúde etc.

Os autores³⁹ enfatizam que todos os fatores que proporcionarão abundância para a humanidade estão afetados pela temática hidrológica. Pesquisas apresentadas pelos autores demonstram que a educação é prejudicada em virtude dos dias de aulas perdidos decorrentes de doenças relacionadas à água; a tecnologia, que pode proporcionar abundância de informação, depende da água para se desenvolver, assim como a energia requer água em todas as etapas de sua cadeia de produção. Demonstra-se que a escassez de água provoca guerras e há dados que comprovam que na África os conflitos diminuem quando as chuvas aumentam. Além disso, 3,5 milhões de pessoas morrem por anos em virtude de doenças ligadas à água.

Nada obstante, segundo a Teoria de Diamandis e Kotler⁴⁰, o avanço da tecnologia será capaz de trans-

³⁴ A ÁGUA no planeta. *Só Biologia* [site], 2008. Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Agua/>. Acesso em: 30 maio 2019.

³⁵ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. *Informe Mundial de Nações Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*: no dejara nadie atrás. 2019. p.37. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304> Acesso em 30 maio 2019.

³⁶ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU*. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/> Acesso em: 9 jan. 2019.

³⁷ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019*: não deixar ninguém para trás, fatos e dados. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276_por?posInSet=2&queryId=fa5e9bfb-2f91-44ad-8dab-065598a7cadf. Acesso em: 9 jan. 2020.

³⁸ DIAMANDI, Peter H.; KOTLER, Steven. *Abundância: o futuro é melhor do que você imagina*. São Paulo: HSM, 2012.

³⁹ DIAMANDI, Peter H.; KOTLER, Steven. *Abundância: o futuro é melhor do que você imagina*. São Paulo: HSM, 2012.

⁴⁰ DIAMANDI, Peter H.; KOTLER, Steven. *Abundância: o futuro é melhor do que você imagina*. São Paulo: HSM, 2012.

formar a escassez em abundância e o aumento da velocidade dessas mudanças atingirá um novo nível em 25 anos. Portanto, disponibilizar água consumível é a única forma de preservar e manter vivo o planeta terra, já que todos os aspectos da vida do planeta têm relação com a água. A água é necessária para viver, para plantar, para comer, para limpar e produzir. O mercado dispõe de diversas soluções tecnológicas para purificar a água e, entre as opções existentes, a dessalinização da água do mar e da água altamente salobra é uma das mais viáveis economicamente para atender, principalmente, às necessidades domésticas e industriais. “O tratamento da água através da dessalinização permite o acesso em abundância a água própria para consumo e permite um crescimento econômico e social da região”⁴¹.

Segundo informações disponíveis na Bluevision⁴², até o fim de 2018 existiam mais de 20 mil usinas de dessalinização espalhadas pelo mundo. A produção total diária de água tratada de todas essas usinas era de, aproximadamente, 105 milhões de metros cúbicos de água, o que corresponde a 105 bilhões de litros de água. Essa quantidade de água utilizável é capaz de suprir as necessidades de 950 milhões de pessoas diariamente, tanto para consumo humano, como para utilização na agricultura, indústria etc. Estima-se que a produção de água potável por esse método cresça cerca de 9% ao ano até 2022.

Pesquisas realizadas, em 2019, por Jones *et al.*⁴³, indicam que existem 15.906 usinas de dessalinização operacionais que produzem cerca de 95 milhões de m³/dia de água dessalinizada para uso humano. A vantagem dessa tecnologia de dessalinização é poder fornecer água potável em áreas onde não há qualquer fonte de água, como a Ilha de Curaçao, Caribe, onde não existe nenhum rio ou lago e, desde 1928, a população utiliza da dessalinização para obter quase toda a água potável da ilha⁴⁴.

Outro exemplo é a Arábia Saudita que, com uma população estimada de cerca de 25 milhões de pessoas, crescimento populacional anual de 3% e com uma área de 2,15 milhões de metros quadrados, tem o maior mercado de dessalinização do mundo e obtém 70%⁴⁵ de sua água doce por meio da dessalinização⁴⁶. Mesmo em países onde a água doce é abundante, as usinas de dessalinização podem fornecer água para áreas mais secas ou em épocas de seca. Os Estados Unidos, por exemplo, usam 6,5% do suprimento mundial de água dessalinizada. Verifica-se que, por meio da tecnologia da dessalinização, é possível tornar a água um recurso abundante para a população terrestre. Contudo, o processo de dessalinização envolve uma série de fatores que podem causar dano ao meio ambiente, que vai desde a fase da construção da usina de dessalinização, perpassa pela própria captação da água, chegando ao produto que resulta em água potável e água salobra contendo, além do próprio sal, diversos produtos químicos.

Segundo Gaio⁴⁷, os impactos estão relacionados à: fase de construção, fase de operação e manutenção

⁴¹ GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

⁴² BLUEVISION BRASKEM. *Dessalinização da água é a melhor resposta para a crise hídrica?* 2019. Disponível em: <https://bluevision-braskem.com/inovacao/dessalinizacao-da-agua-e-a-melhor-resposta-para-a-crise-hidrica/> Acesso em: 31 maio 2019.

⁴³ JONES, Edward *et al.* The state of desalination and brine production: a global outlook. *Science of the Total Environment*. v. 657, p. 1343–1356, mar. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718349167?via%3Dihub> Acesso em: 31 maio 2019.

⁴⁴ ILHA no mar do caribe sem rios ou lagos usa água do mar dessalinizada. *G1 Globo*, abr. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2015/04/ilha-no-mar-do-caribe-sem-rios-ou-lagos-usa-agua-do-mar-dessalinizada.html> Acesso em: 13 jan. 2020.

⁴⁵ ARAIA, Eduardo. Dessalinização: você ainda vai beber dessa água. *Planeta*, n. 455, ago. 2010. Disponível em: <https://www.revistaplaneta.com.br/dessalinizacao-voce-ainda-vai-beber-dessa-agua/>. Acesso em: 31 maio 2019.

⁴⁶ BAHLAS apud GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

⁴⁷ MILLER *et al.* apud GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

e fatores socioeconômicos. Os aspectos negativos relacionados aos fatores socioeconômicos referem-se à sensação de acessibilidade fácil da água, dando a sensação de que há disponibilidade imediata e farta da água, o que pode provocar um uso incorreto desse recurso. Já os impactos da fase de construção provêm das obras civis que envolvem alterações no solo, devido ao uso de máquinas pesadas, construção de infraestruturas de apoio, como estrada, linha de energia etc.

Na fase de operação e manutenção, os impactos envolvem a captação da água, descarga dos produtos químicos e de concentração e o uso de energia e qualidade do ar. Miller, citado por Gaio⁴⁸, assevera que, no caso da captação de águas marinhas,

Um dos principais problemas na captação de água de zonas costeiras é o arrastamento, colisão e aprisionamento de organismos aquáticos para além de sólidos em suspensão [...] este processo tem um potencial impacto na fauna e na flora marinha da zona.

Já no caso de águas oriundas de aquíferos ou poços, não há problemas relacionados a estes, mas sim à sustentabilidade física e qualidade desses recursos, deve-se avaliar o recurso hídrico e analisar a quantidade de água que pode ser dessalinizada assegurando a sustentabilidade e renovação desse recurso⁴⁹.

Outro problema relacionado à fase de operação e manutenção decorre da necessidade de utilização de energia para funcionamento do sistema. A fonte de energia pode ser de diversas formas, rede local, existem aqueles que produzem sua própria energia, mas o maior impacto ambiental é quando se utiliza energia proveniente da queima de combustíveis fósseis. Nesse sistema há emissão de gases que poluem a atmosfera, o que causa grande impacto ambiental. A mitigação desse problema pode se dar, por exemplo, por meio da substituição da energia convencional por energia renovável⁵⁰.

Porém, o maior impacto ambiental do processo de dessalinização decorre das descargas de produtos químicos e de concentrados, relacionados à fase de operação. Conforme supracitado, mediante osmose reversa se tem a água dessalinizada como produto, mas também um subproduto, ou seja, o rejeito. Nesse processo, a cada dois mil litros de água salobra que entram no sistema, produzem-se mil litros de água potável e outros mil litros de água muito salgada (salmora), que é o rejeito⁵¹. A salmoura é um líquido com altíssima concentração de sais, além de produtos químicos decorrentes da dessalinização, que provocam grande impacto ambiental.

A água é a essência da vida. A água potável e o saneamento são reconhecidos como direitos humanos básicos, uma vez que são essenciais para sustentar meios de subsistência saudáveis e são fundamentais para manter a dignidade de todos os seres humanos.⁵²

Os direitos humanos à água e ao saneamento estão inextricavelmente ligados à gestão dos recursos hídricos e ao meio ambiente como um todo. Alicerçada nessa ideia, a Agenda 2030 da ONU tem como compromisso “não deixar ninguém para trás” e está centrada no Desenvolvimento Sustentável, que visa

⁴⁸ GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

⁴⁹ GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

⁵⁰ GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

⁵¹ ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

⁵² ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. *Informe Mundial de Nações Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: no dejara nadie atrás*. 2019. p.37. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304> Acesso em 30 maio 2019.

permitir que todas as pessoas em todos os países se beneficiem do desenvolvimento socioeconômico e alcancem a plena realização dos direitos humanos, sem discriminação com base em gênero, idade, raça, idioma, religião, opiniões políticas (ou outras), origem nacional ou social, propriedade, deficiência, status de residência (incluindo cidadania, residência, imigração, refugiado, apatridia etc.) ou qualquer outro estado social, econômico ou político

Assim, apesar de a dessalinização estar associada à abundância, também está vinculada a impactos ambientais negativos. O desafio, portanto, é conciliar o benefício proporcionado por essa tecnologia com o impacto do descarte dos subprodutos produzido que podem danificar o meio ambiente e tornar escassos outros recursos ambientais como o solo para agricultura, o oxigênio na água do mar, dentre outros.

Estudos feitos por Jones *et al.*⁵³ revelam que, atualmente, a produção de salmoura gira em torno de 142 milhões de m³/dia, uma quantidade, aproximadamente, 50% maior que as quantificações anteriores. Segundo as pesquisas realizadas pelos autores, a produção de salmoura na Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Kuwait e Catar correspondem a 55% do total da participação global.

Em geral, nos países desenvolvidos, o rejeito está sendo transportado para os oceanos ou injetados em poços de grande profundidade; todavia, outras alternativas estão sendo estudadas, como: bacias de evaporação, redução de volume do rejeito por plantas aquáticas, bacias de percolação e irrigação de plantas halófitas^{54 55}.

Em declaração à revista da Agência EFE, edição Brasil, o doutor Manzoor Qadir, vice-diretor do UNU-INWEH, afirmou que “é necessário transformar um problema ambiental em uma oportunidade econômica. Isto é particularmente importante em países que produzem grandes quantidades de salmoura, como Arábia Saudita, EAU, Kuwait e Qatar”⁵⁶. Dessa forma, com base na necessidade de utilizar a tecnologia em prol da abundância, deve-se procurar estratégias de manejo da salmoura para diminuir os impactos ambientais e reduzir o custo econômico do descarte, de forma a estimular a ampliação nas instalações de mecanismos de dessalinização das águas salgadas e salobras para proteger o abastecimento de água para as atuais e futuras gerações.

Há estudos que demonstram que o manejo da salmoura, apesar de tecnicamente difícil, é economicamente rentável. A utilização da água do rejeito da dessalinização tem como principal enfoque a redução dos riscos ambientais. Dentre as utilizações que se comprovou a utilização viável dos rejeitos da dessalinização, pode-se citar: uso para produção de alimentos como na criação de tilápia e camarão, na agricultura para irrigação de plantas tolerantes à salinidade e geração de eletricidade.

O vice-diretor do UNU-INWEH destacou que, por exemplo, a salmoura já foi utilizada em aquicultura para aumentar a biomassa de peixes em até 300%, e para cultivar o suplemento alimentar espirulina, que é produzido a partir de algas azuis⁵⁷. Amorim *et al.*, citado por Soares *et al.*⁵⁸, afirmam que na Califórnia há

⁵³ JONES, Edward *et al.* The state of desalination and brine production: a global outlook. *Science of the Total Environment*. v. 657, p. 1343–1356, mar. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718349167?via%3Dihub> Acesso em: 31 maio 2019.

⁵⁴ PORTO, Everaldo Rocha; BRITO, Luiza Teixeira de Lima; SOARES, José Monteiro. Influência no solo da salinidade do rejeito da dessalinização usado para irrigação. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Semiárido. [S.l.]: [S.n.], 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/154247/influencia-no-solo-da-salinidade-do-rejeito-da-dessalinizacao-usado-para-irrigacao>. Acesso em: 27 maio 2019.

⁵⁵ SOARES, Tales M. *et al.* Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 730–737, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf> Acesso em: 25 maio 2019.

⁵⁶ AGÊNCIA EFE. *Estudo adverte para ameaça ambiental de usinas de dessalinização de água*. 2019. Disponível em: <https://www.efe.com/efe/brasil/patrocinada/estudo-adverte-para-amea-a-ambiental-de-usinas-dessaliniza-o-agua/50000251-3866809>. Acesso em: 28 maio 2019.

⁵⁷ AGÊNCIA EFE. *Estudo adverte para ameaça ambiental de usinas de dessalinização de água*. 2019. Disponível em: <https://www.efe.com/efe/brasil/patrocinada/estudo-adverte-para-amea-a-ambiental-de-usinas-dessaliniza-o-agua/50000251-3866809>. Acesso em: 28 maio 2019.

⁵⁸ SOARES, Tales M. *et al.* Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista*

pesquisas para analisar o uso de rejeito em sistemas construídos para serem o habitat de pássaros, peixes e plantas. Águas hipersalinas (> 40.000 mg L⁻¹) são usadas para irrigar, com sucesso, plantas halófitas, segundo Glenn *et al.*, citado por Soares *et al.*⁵⁹. Dados comprovam que a irrigação com água salgada pode desenvolver agricultura de plantas halófitas, em especial a *Atriplex nummularia*, de 50 milhões de hectares.

O jornal Estadão divulgou, em outubro de 2003, que pesquisas realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, na busca por uma utilização adequada para os rejeitos do processo de dessalinização, desenvolveram um sistema integrado de produção de peixes e caprinos. Nesse processo, utilizaram a erva sal (*Atriplex nummularia*), planta originária da Austrália, que é uma planta halófitas⁶⁰ e foi introduzida no sertão nordestino na década de 30 como forrageira, por sua resistência à seca. Esta planta chega a um teor de proteína de até 24%, semelhante à alfafa, uma das melhores forrageiras para o gado. Como resultado da pesquisa, obteve-se que o rejeito de um dessalinizador abastece dois tanques de peixes de 330 m³, cada, que irrigam um hectare de erva-sal, que por sua vez alimenta de 60 a 80 caprinos. Além disso, a erva-sal, ainda, pode ser armazenada como feno, alimentando os caprinos em plena época seca.

Percebe-se, portanto, que, apesar do grande dano ambiental decorrente do processo de dessalinização, há meios de mitigar o impacto ambiental, transformando os rejeitos resultantes da dessalinização em fontes de recursos para agricultura e pecuária, e tornando rentáveis o produto que seria descartado, causando dano ambiental. Contudo, apesar de demonstrado que o produto que causa dano ambiental pode se tornar uma fonte econômica rentável, ainda há sistemas de dessalinização que descarta o rejeito no meio ambiente sem qualquer critério. Para tanto, faz-se necessário que os agentes de controle interno e externo realizem fiscalizações nas usinas de dessalinização no sentido de garantir a correta destinação dos dejetos.

O Tribunal de Contas da União – TCU, por meio de Auditoria de Natureza Operacional realizado, em 2000, no Programa Implantação de Dessalinizadores de Água em Poços Tubulares no Semiárido Nordeste, constatou que, na maioria dos locais examinados, o rejeito estava apenas sendo jogado no solo, sem qualquer tratamento ou utilização. Verificou que os efeitos da salinização do solo ocorriam em médio e longo prazo, provocando a esterilização das terras e a salinização dos mananciais de água, situação que poderia levar à desertificação da região em longo prazo⁶¹.

Contudo, nos locais onde o TCU constatou a utilização do rejeito para criação de peixe, mesmo que de forma improvisada, bem como onde a água era dada para o gado beber, os resultados se mostravam positivos. Verificou-se, ainda, que em regiões onde o rejeito foi utilizado para irrigar, o capim estava mais verde e as frutíferas irrigadas com esse produto produziam bons frutos. A constatação final da auditoria apontou pela necessidade de realizar a disseminação das técnicas de reaproveitamento do rejeito em todas as localidades onde existiam dessalinizadores, para que elas fossem implementadas, diminuindo o impacto do rejeito sobre o solo e proporcionando o aproveitamento econômico do material⁶².

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 730–737, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf> Acesso em: 25 maio 2019.

⁵⁹ SOARES, Tales M. *et al.* Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 730–737, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf> Acesso em: 25 maio 2019.

⁶⁰ São plantas que suportam viver em locais de alta concentração de sal no solo e que acumulam significativas quantidades em seus tecidos, sem sofrer nenhum tipo de dano. Essas plantas absorvem, entre outros sais, o cloreto de sódio em altas taxas, acumulando-o em suas folhas, ao mesmo tempo em que realizam a extração dos íons tóxicos presentes no solo e aumentam a concentração de cálcio no solo. ALVES, Ananda Crisóstomo; BONILLA, Oriol Herrera; CHAVES, Bruno Edson. *Potencialidade das plantas halófitas*. 2015. Disponível em: <http://www.oestadoce.com.br/cadernos/oev/potencialidades-das-plantas-halofitas>. Acesso em: 01 jun. 2019.

⁶¹ BRASIL. Tribunal de Contas da União (Tribunal Pleno). Acórdão. *Processo nº 014.990/2000-9*. Número da ata 17/2001 – Plenário. Relator: Valmir Campelo, 02 de maio de 2001. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/1499020009.PROC/%2520/DTRELEVANCIA%2520desc%252C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/4/%2520?uuiid=283f8d70-3a5b-11ea-af2e-87077d8c6d21> Acesso em: 01 jun. 2019.

⁶² BRASIL. Tribunal de Contas da União (Tribunal Pleno). Acórdão. *Processo nº 014.990/2000-9*. Número da ata 17/2001 – Plenário. Relator: Valmir Campelo, 02 de maio de 2001. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/1499020009.PROC/%2520/DTRELEVANCIA%2520desc%252C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/4/%2520>

Em 2009, o Tribunal de Contas da União – TCU, em uma auditoria operacional sobre políticas públicas e mudanças climáticas, identificou o Programa como uma iniciativa a ser ampliada, pelo amplo e destacado viés de melhorias da qualidade de vida da população da região do Semiárido. Contudo, já se passaram 10 anos desse procedimento e não se evidenciou, durante a realização desses estudos, nenhum outro processo de fiscalização por parte desse órgão de controle e nem pelos órgãos estaduais ou municipais de controle interno e externos. Dessa forma, não foi possível dimensionar o impacto que o descarte do rejeito está provocando nas regiões onde estão instalados equipamentos de dessalinização no Brasil, o que é preocupante e evidencia a necessidade de atuação dos órgãos de controle e de envolvimento da sociedade no combate aos danos ambientais.

Assim, no caso do Ceará, o Tribunal de Contas do Estado do Ceará (TCE) estabeleceu competência para a Gerência de Fiscalização de Obras de Engenharia e Meio Ambiente para realizar auditorias e inspeções relacionadas à gestão ambiental. Nesse sentido, faz-se necessária a atuação efetiva desse órgão de controle externo, com a finalidade de fiscalizar as 239 usinas de dessalinização já instaladas e em funcionamento no Ceará, no que diz respeito à correta destinação do rejeito da dessalinização, sob pena de estarmos usando a tecnologia em desfavor do meio ambiente em contraponto do seu uso em benefício da saúde.

4 Custos, benefícios e danos ao meio ambiente

O alto custo da produção da água dessalinizada vem diminuindo com os avanços tecnológicos e com o aumento da quantidade de equipamentos instalados no mundo. Santos⁶³ afirma que, enquanto o custo de dessalinização por osmose reversa está diminuindo, o de produção de água convencional está aumentando em virtude da crescente poluição e do difícil acesso à água. A EOS Organização e Sistemas Ltda.⁶⁴ divulgou que o valor estimado do m³ de água dessalinizada nos Estados Unidos, por osmose reversa, varia entre US\$ 0,75 a US\$ 1,50.

Em relação às técnicas existentes para o processo de retirada do sal da água, a osmose reversa é a mais econômica, segundo estudos técnicos e econômicos realizados na região semiárida mexicana. Esse fato é decorrente das novas tecnologias que permitem menor custo de energia e utilização de membrana mais moderna e econômica. Os estudos apontam que os valores chegam a US\$ 0,32/m³ de água tratada a partir de água salobra. Contudo, o investimento inicial, ainda, é alto em virtude de necessitar de pessoal capacitado e dos gastos para manutenção das membranas⁶⁵.

Estudos realizados no sertão nordestino apontam que o custo médio para instalação de dessalinizadores é de R\$ 278 mil por unidade, enquanto o valor anual de manutenção do equipamento é de aproximadamente R\$ 18 mil. Ressalte-se que cada equipamento produz 4 m³ de água tratada, quantidade suficiente para atender 400 pessoas⁶⁶.

?uuid=283f8d70-3a5b-11ea-af2e-87077d8c6d21 Acesso em: 01 jun. 2019.

⁶³ SANTOS, Aristides Antônio Monteiro. *Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf> Acesso em: 29 maio 2019.

⁶⁴ EOS Organização e Sistemas Ltda é uma empresa especializada em desenvolvimento de software de gestão, que atua nos segmentos de Saneamento Básico e Meio Ambiente. In: EOS. Os custos da dessalinização da água. EOS [blog], Postado em: 5 dez. 2018. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/os-custos-da-dessalinizacao-da-agua/>. Acesso em: 28 maio 2019.

⁶⁵ DIAZ; GONZÁLEZ apud PORTO, Everaldo Rocha *et al.* *Influência no solo da salinidade do rejeito da dessalinização usado para irrigação*. 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/154247/influencia-no-solo-da-salinidade-do-rejeito-da-dessalinizacao-usado-para-irrigacao>. Acesso em: 27 maio 2019.

⁶⁶ ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.

Cabe destacar que o conceito de custo do valor da água dessalinizada é relativo e depende do referencial adotado. Por exemplo, para países do Médio Oriente, os conceitos de preço não são aplicáveis, em virtude da escassez de água que assola a região, assim, a dessalinização é a única maneira de garantir sustentabilidade da vida e das indústrias nesse local⁶⁷.

Para Torri⁶⁸, além do custo da energia e do preço da membrana, diversos outros fatores influenciam o valor da água tratada por meio desse processo, tais como: tamanho e tipo de planta de dessalinização, fonte e qualidade da água de alimentação, necessidade ou não de pré-tratamento, automação e controle do sistema, localização do equipamento, condições do lugar, qualidade do laboratório e vida útil do equipamento. Segundo Gaio⁶⁹, o avanço tecnológico permitiu uma diminuição do consumo de energia utilizada no sistema de osmose inversa de 3 kWh/m³, em 2000, para 2 kWh/m³ em 2010. O gasto energético desse processo chega a 4 quilowatts-hora (kWh) por m³ de água purificada.

No estudo sobre dessalinização realizado por Santos⁷⁰, por ocasião de sua dissertação de mestrado que tratou do tema, o mestre em engenharia civil concluiu que, nas duas últimas décadas, a redução dos custos no processo de dessalinização por osmose reversa decorreu dos avanços tecnológicos, especialmente devido à significativa melhora no desempenho da membrana Seawater Reverse Osmosis (SWRO) utilizada no processo e a redução do preço desse produto, bem como no progresso da capacidade de recuperação da energia. Segundo Ghaffour⁷¹, “o custo da água dessalinizada atinge valores inferiores a 0,5 US\$/m³ para instalações de SWRO de grande capacidade”.

Segundo Torri⁷², “o custo para a dessalinização da água salobra é tipicamente um terço do custo para dessalinizar água do mar”. Em comparação à dessalinização de água salobra, cujo custo é de 0,32 US\$/m³, esse valor, ainda, é alto e está estimado em 1,50 US\$/m³. Contudo, levando em consideração que, nos dias de hoje, os sistemas de tratamento convencionais produzem água ao custo total de 0,50 US\$/m³, o valor do tratamento de águas salobras ou marítimas mostra-se viável para resolver o problema da escassez de água no mundo⁷³.

pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

⁶⁷ SANTOS, Aristides António Monteiro. *Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf> Acesso em: 29 maio 2019.

⁶⁸ TORRI, Júlia Betina. *Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações*. 2015. Monografia (Diplomação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 maio 2019.

⁶⁹ GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica*. 2016. 90f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf. Acesso em: 26 maio 2019.

⁷⁰ SANTOS, Aristides António Monteiro. *Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf> Acesso em: 29 maio 2019.

⁷¹ GHAFLOUR apud SANTOS, Aristides António Monteiro. *Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf> Acesso em: 29 maio 2019.

⁷² TORRI, Júlia Betina. *Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações*. 2015. Monografia (Diplomação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 maio 2019.

⁷³ MOLINA, Verónica García; CASANAS, Antonio apud GOUVEA, Carlos Alberto Klimeck; BERRETTA-HURTADO, Ana Lucia; BORZIO, Rivelino; FOLLETTTO, Marchiel Augusto. Uso de água tratada por osmose reversa para a Geração de vapor em indústria de tabaco. *Revista Produção Online*, Florianópolis, v. 12, n. 2, p. 522-536, jun. 2012. ISSN 16761901. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/941>. Acesso em: 25 mai. 2019. doi:<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v12i2.941>.

Ghaffour⁷⁴ apresenta os custos comparativos entre os processos de dessalinização por osmose reversa para água do mar e para água salobra, onde fica claro que transformar água salobra em potável tem custo bem inferior comparado ao tratamento da água do mar, conforme apresentado no quadro abaixo:

Quadro 2 – consumo de energia e custo de água dessalinizada em grande escala

| Processo de dessalinização | Energia Elétrica (Kwh/m ³) | Custo Investimento (U\$S/m ³ /dia) | Custo Total da Água (U\$S/m ³ /dia) |
|----------------------------|--|---|--|
| Água do mar | 3 – 4 | 900 – 2500 | 0,5 – 1,2 |
| Água salobra | 0,5 – 2,5 | 300 – 1200 | 0,2 – 0,4 |

Fonte: Ghaffour⁷⁵.

No Ceará, o “Programa Água Doce tem como meta a implantação, recuperação e gestão de 277 sistemas de dessalinização, o que beneficiará cerca de 100 mil pessoas, com investimentos no valor de R\$ 47.087.618,07”⁷⁶.

As principais vantagens referentes à utilização do processo de osmose reversa para dessalinização de água do mar destinados ao abastecimento são: aumento da oferta hídrica, diminuição da demanda dos reservatórios de água e produção de água com qualidade superior ao produzido em sistemas convencionais de tratamento de água⁷⁷.

A técnica de dessalinização da água pode ser considerada como benéfica para a saúde, quando se tem a noção de que a água obtida por meio desse sistema é a única fonte segura para a continuidade do fornecimento de água potável em comunidades que vivem em regiões desérticas, assoladas pela seca ou cujas águas existentes são salobras. Nesses locais, além da água potável, o rejeito é utilizado para a irrigação de plantas, a criação de peixes e a dessedentação animal, contribuindo para o desenvolvimento da atividade produtiva da região. Nessas comunidades, o processo de dessalinização da água com a utilização sustentável do rejeito promove o benefício social com a ocorrência de sustentabilidade sob as perspectivas ambiental e econômica, o que oportunizará autonomia e liberdade para o desenvolvimento da população, contribuindo, consequentemente, para a saúde⁷⁸.

Andrade⁷⁹ assevera, apoiado na fala do cientista de alimentos Ângelo Paggi Matos, do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que 2 mil litros de

⁷⁴ GHAFfour apud SANTOS, Aristides António Monteiro. *Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf> Acesso em: 29 maio 2019.

⁷⁵ GHAFfour apud SANTOS, Aristides António Monteiro. *Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf> Acesso em: 29 maio 2019.

⁷⁶ CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Programa água doce*. SRH entrega sistemas de dessalinização na zona rural de Caridade. 2018. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/programa-agua-doce-srh-entrega-sistemas-de-dessalinizacao-na-zona-rural-de-caridade/> Acesso em: 28 maio 2019.

⁷⁷ BARROS, Natanael. *Dessalinização da água do mar e a crise hídrica no Ceará*. 2016. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/pode-dessaliniza%C3%A7%C3%A3o-da-%C3%A1gua-do-mar-ser-solu%C3%A7%C3%A3o-para-crise-barros>. Acesso em: 31 maio 2019.

⁷⁸ PINHEIRO, L. G. *et al.* Avaliação da sustentabilidade do processo de dessalinização de água no semiárido potiguar: estudo da comunidade Caatinga Grande. *Revista Sociedade & Natureza*, v. 30, n. 1, p. 132-157, jul. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-6-X> Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/37175> Acesso em 16 jun. 2020.

⁷⁹ ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

água salobra dessalinizadas produzem mil litros de água potável e mil litros de água salgada, que é o rejeito. Por isto, o pesquisador é peremptório na sua afirmação de que o descarte é um dos problemas associados à dessalinização no país.

Importa observar que o meio ambiente está inserido na Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 como um dos direitos de terceira geração, caracterizada por sua indisponibilidade, de modo que deve este ser garantido pelo Estado, assegurando aos cidadãos o gozo do meio ambiente sustentável e protegido. Nesse sentido, é necessário assegurar que a tecnologia utilizada para dessalinização da água mantenha o meio ambiente ecologicamente equilibrado.

No sistema de dessalinização por meio de osmose reversa, além do produto obtido de água limpa e potável, há a produção do rejeito, que é uma água residuária do processo e que tem concentração iônica majorada. Nesse processo, 25% do total da água é considerada rejeito, sendo os outros 75% da água (já dessalinizada) utilizada para consumo⁸⁰.

Soares *et. al*⁸¹ afirmam que, apesar de essa tecnologia oferecer o bem-estar das populações pobres do Nordeste, proporcionando o desenvolvimento da região, deve-se ponderar pela dualidade do benefício da dessalinização por osmose reversa, tendo em vista o potencial de contaminação da água residuária gerada. Quando a dessalinização é da água do mar, o rejeito, ou concentrado salino, é devolvido ao oceano. No caso das unidades que purificam as águas salobras do semiárido, o descarte inadequado do rejeito compromete a qualidade do solo, tornando-o improdutivo, caso não seja tratado antes⁸².

Não há dúvida de que a água é um insumo fundamental para o desenvolvimento. Contudo, o processo de purificação ocasiona risco à natureza em decorrência das etapas que envolvem a geração do rejeito decorrente do processo. A utilização indevida do rejeito ou seu despejo inadequado acarreta impactos negativos ao meio ambiente. Estudos apontam que, em quase todos os sistemas de dessalinização, os rejeitos são despejados no solo sem qualquer tipo de cuidado, modificando a estrutura do terreno e gerando erosão. Além disso, a alta concentração de sais causa aumento do potencial osmótico e provoca a retenção de água no solo. Dependendo do nível de salinidade, as plantas perdem água e sofrem com a toxicidade causada pela concentração salina, na medida em que íons cloreto, sódio, boro e nitrato prejudicam o desenvolvimento e desordens fisiológicas em algumas espécies vegetais. Tais fatores favorecem a aceleração do processo de desertificação e reduz a produtividade das plantas submetidas à alta concentração salina⁸³.

Os rejeitos descartados nas águas do mar também causam dano ambiental. Conforme divulgado em janeiro de 2019, pela revista da Agência EFE, estudo realizado pelo *Institute for Water, Environment and Health* – UNU-INWEH⁸⁴ em parceria com pesquisadores da Universidade de *Wageningen* (Holanda) e do Instituto

⁸⁰ RODRIGUES, Alyson da Luz Pereira *et al*. Proposta de recuperação da água proveniente do processo de dessalinização por osmose reversa: um estudo de caso em uma indústria de papel e celulose. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 26., João Pessoa, 2016. *Anais [...]*. João Pessoa: ABEPRO, 2016. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_234_366_29996.pdf. Acesso em: 31 maio 2019.

⁸¹ SOARES, Tales M. *et al*. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 730–737, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.

⁸² ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

⁸³ BEZERRA, Vanessa Rosales *et al*. Reutilização de rejeito de dessalinização na Paraíba. *Revista MIX Sustentável*, v. 5, n. 1, p. 105–116, mar-jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.105-116>. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em: 18 jun. 2020.

⁸⁴ O *Institute for Water, Environment and Health* – UNU-INWEH atua como o “*Think Tank* da ONU na Água” e contribui para a resolução do desafio global da água através de um programa único de pesquisa aplicada e educação. Ele concebe, desenvolve e gerencia iniciativas hídricas que ajudam os países em desenvolvimento a construir sua capacidade de melhorias duradouras na saúde humana e dos ecossistemas e na redução geral da pobreza. UNITED NATIONS UNIVERSITY. *Who we are*. 2019. Disponível em: <https://inweh.unu.edu/who-we-are/>. Acesso em: 28 maio 2019.

Gwangju de Ciência e Tecnologia (Coreia do Sul), as mais de 16 mil usinas de dessalinização de água que funcionam no mundo produzem 142 milhões de metros cúbicos de salmoura por dia, quantidade que representa 50% a mais que a quantia estimada em estudo anterior⁸⁵. Segundo o estudo, essa quantia de salmoura é suficiente para cobrir o estado da Flórida com 30,5 centímetros de espessura desse rejeito.

Segundo Qadir⁸⁶, um dos autores do estudo realizado e vice-diretor do UNU-INWEH, “o impacto potencial da salmoura é muito grande. Ela aumenta a temperatura da água do mar e reduz sua quantidade de oxigênio na mesma, o que causa graves danos à vida aquática”. O referido autor afirmou, ainda, que, além desse dano, a salmoura provoca outros impactos negativos ao meio ambiente marítimo, quais sejam: o aumento da temperatura da água do mar; a redução da quantidade de oxigênio; e a eliminação de muitos animais marítimos no processo de captação da água do mar, os quais são apanhados nas redes para evitar que sejam sugados pelas bombas de sucção.

Contudo, há regras para se realizar o descarte de efluentes no meio ambiente, as quais se obedecidas podem eliminar ou minimizar os impactos ambientais. No Brasil, a Resolução CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011, regulamenta as condições padrões para lançamento de efluentes no meio ambiente. Nesse sentido, o art. 16 do referido normativo estabelece parâmetros admissíveis de temperatura, PH e matérias sedimentáveis existentes na água para que possa ser lançada diretamente no corpo receptor. Assim, para que a ampla disponibilidade de água seja uma realidade no mundo e possa contribuir para um ambiente de abundância, é necessário que os responsáveis pelo descarte dos rejeitos cumpram a legislação vigente, bem como haja efetividade para a fiscalização dos órgãos de controle.

5 Considerações finais

A importância da água para a sobrevivência do planeta é incontestável, basta considerar-se que ela compõe 70% da superfície terrestre, mas, apenas, 1% é de água doce e nem sempre está apropriada para as necessidades dos homens. A adoção da tecnologia visando soluções para tornar a água potável é a solução para tornar abundante esse recurso e proporcionar uma vida de possibilidade em larga escala.

Neste artigo, estudaram-se as tecnologias disponíveis para dessalinização da água e as principais técnicas de retirada do sal da água: osmose reversa, dessalinização térmica, deionização capacitiva e óxido de grafeno. Sublinhou-se que a mais utilizada, em virtude da viabilidade técnica e econômica é a osmose reversa, constituída das seguintes variações, osmose inversa e hiperfiltração.

Constatou-se que a dessalinização da água é única forma de prover água à alguns países que não dispõem de nenhuma fonte hídrica, bem como para regiões semiáridas do Brasil e alhures, onde esse recurso é escasso e, quando extraído por meio de poços profundos, a água produzida é salobra. Evidenciou-se que, até o fim de 2018, existiam mais de 20 mil usinas de dessalinização por osmose reversa espalhadas pelo mundo e a produção total diária de água tratada era de aproximadamente 105 bilhões de litros. Essa quantidade é capaz de suprir as necessidades de 950 milhões de pessoas diariamente, tanto para consumo humano como para utilização na agricultura, indústria etc. Há estimativas de que a produção de água potável por esse método cresça cerca de 9% ao ano até 2022.

O custo para a dessalinização da água salobra por osmose inversa é, aproximadamente, um terço do valor para dessalinizar água do mar. Enquanto o tratamento da água salobra importa, aproximadamente, 0,32

⁸⁵ AGÊNCIA EFE. *Estudo adverte para ameaça ambiental de usinas de dessalinização de água*. 2019. Disponível em: <https://www.efe.com/efe/brasil/patrocinada/estudo-adverte-para-amea-a-ambiental-de-usinas-dessaliniza-o-agua/50000251-3866809>. Acesso em: 28 maio 2019.

⁸⁶ AGÊNCIA EFE. *Estudo adverte para ameaça ambiental de usinas de dessalinização de água*. 2019. Disponível em: <https://www.efe.com/efe/brasil/patrocinada/estudo-adverte-para-amea-a-ambiental-de-usinas-dessaliniza-o-agua/50000251-3866809>. Acesso em: 28 maio 2019.

US\$/m³, a dessalinização da água do mar alcança 1,50 US\$/m³. O processo de dessalinização, ainda, é caro se comparado com o método tradicional de tratamento da água que, nos dias de hoje, produz água ao custo total de 0,50 US\$/m³. Apesar dos custos ainda elevados, o tratamento de águas salobras e marítimas mostram-se viáveis, uma vez que, essa tecnologia permitirá resolver o problema da escassez de água no mundo. Ressalte-se que o avanço tecnológico e o aumento do uso dessa tecnologia têm contribuído para diminuir os custos desse procedimento. Entretanto, ainda se trata de um procedimento pouco dispendioso se tomado como referência diversas regiões, tais como o Médio Oriente, em que a dessalinização é a única maneira de garantir a sustentabilidade da vida humana e das indústrias.

A dessalinização da água pode ser considerada benéfica para a saúde. Por meio dela, garante-se uma fonte segura de água potável em comunidades instaladas em regiões desérticas ou assoladas pela seca. O benefício à saúde também é percebido se considerado que o rejeito pode ser utilizado para a irrigação de plantas, criação de peixes e dessedentação animal, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e econômico que oportunizará autonomia, liberdade e prosperidade da população.

Outrossim, o processo de dessalinização gera, além de água potável, uma grande quantidade de rejeito. Por meio desse processo, a cada dois mil litros de água salobra que entram no sistema, obtêm-se mil litros de água potável e outros mil litros de água muito salgada (salmora), que é o rejeito. Estudos comprovam que as 16 mil usinas de dessalinização de água existentes no mundo, em 2019, produzem 142 milhões de metros cúbicos de salmoura por dia, volume esse que é suficiente para cobrir o estado da Flórida com 30,5 centímetros de espessura desse rejeito.

Assim, se o descarte do rejeito não for realizado corretamente, provocará graves danos ambientais. Dentre as lesões ocasionadas ao ecossistema, pode-se citar: erosão do solo; maior retenção de água no solo e menor disponibilidade de água para a planta; toxicidade nas plantas, decorrente da alta concentração de íons cloreto, sódio, boro e nitrato. Por outro, se descartado bruto no mar, o rejeito ocasiona aumento da temperatura da água do mar e reduz a quantidade de oxigênio, causando danos à vida aquática.

Além do dano decorrente do descarte do rejeito, há aqueles resultantes das demais etapas do processo de dessalinização. A captação da água do mar provoca a eliminação de muitos animais marítimos, os quais são capturados por meio de redes para evitar que sejam sugados pelas bombas de sucção. Há aspectos negativos relacionados aos fatores socioeconômicos decorrentes de uma falsa percepção de fartura de água que tem como consequência o consumo incorreto desse recurso.

Destarte, a tecnologia que deveria ser utilizada para proporcionar abundância pode estar causando um desserviço ao meio ambiente. Não há evidências de mudanças no cenário atual, de sorte que não se observou dados de mensuração do dano ambiental ocasionado pelos mecanismos de dessalinização existente nos diversos países em que há equipamentos instalados. No Brasil, somente em 2000, foi realizada auditoria operacional no Programa Implantação de Dessalinizadores de Água em Poços Tubulares no Semiárido Nordeste; e, em 2009, procedeu-se auditoria operacional concernente às políticas públicas e às mudanças climáticas. Contudo, já se passaram mais de dez anos desses procedimentos e nenhuma outra atuação de controle foi realizada, quer seja por parte dos órgãos de controle externo, quer seja pelos controles internos. Tanto na auditoria realizada em 2000, como na realizada em 2009, foi constatado o descarte inadequado dos rejeitos da dessalinização.

A ausência de instrumentos de mensuração dos impactos ambientais, bem como a completa falta de atuação dos órgãos de controle, interno e externo, denunciam o descaso no tratamento desse assunto, atualmente, no Brasil. Nesse sentido, é imprescindível a necessidade de atuação dos órgãos fiscalizadores do país, visando à exigência da sistematização e publicação de dados relativos ao impacto ambiental, bem como determinando o correto descarte dos dejetos da dessalinização.

Também é indispensável que a implementação de sistemas de dessalinização seja precedida por estudos de impacto ambiental que demonstrem a viabilidade técnica, econômica e sustentável do mecanismo utiliza-

do. Impõe-se, outrossim, a demonstração social dos benefícios proporcionados em contraponto aos danos causados, por meio de audiências públicas que envolvam a sociedade em todo o processo de elaboração e implementação do sistema de dessalinização.

Referências

A ÁGUA no planeta. *Só Biologia* [site], 2008. Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Agua/>. Acesso em: 30 maio 2019.

AGÊNCIA EFE. *Estudo adverte para ameaça ambiental de usinas de dessalinização de água*. 2019. Disponível em: <https://www.efe.com/efe/brasil/patrocinada/estudo-adverte-para-amea-a-ambiental-de-usinas-dessaliniza-o-agua/50000251-3866809>. Acesso em: 28 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Falta de água potável no mundo aparece relacionada a 80% das mortes e doenças*. 2019. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias-antigas/falta-de-a-gua-potavel-no-mundo-aparece.2019-03-14.1777251782>. Acesso em: 25 maio 2019.

ALVES, Ananda Crisóstomo; BONILLA, Oriel Herrera; CHAVES, Bruno Edson. *Potencialidade das plantas halófitas*. 2015. Disponível em: <http://www.oestadoce.com.br/cadernos/oev/potencialidades-das-plantas-halofitas>. Acesso em: 01 jun. 2019.

ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. Para tirar o sal da água. Ceará planeja construir primeira grande usina de dessalinização do país; novas tecnologias são pesquisadas no Brasil e no exterior para reduzir o custo do processo. *Revista pesquisa FAPESP*, n. 279, maio 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2019/05/064-068_Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o_279.pdf. Acesso em: 25 maio 2019.

ARAIÁ, Eduardo. Dessalinização: você ainda vai beber dessa água. *Planeta*, n. 455, ago. 2010. Disponível em: <https://www.revistaplaneta.com.br/dessalinizacao-voce-ainda-vai-beber-dessa-agua/>. Acesso em: 31 maio 2019.

BARROS, Natanael. *Dessalinização da água do mar e a crise hídrica no Ceará*. 2016. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/pode-dessaliniza%C3%A7%C3%A3o-da-%C3%A1gua-do-mar-ser-solu%C3%A7%C3%A3o-para-crise-barros>. Acesso em: 31 maio 2019.

BEZERRA, Vanessa Rosales *et al.* Reutilização de rejeito de dessalinização na Paraíba. *Revista MIX Sustentável*, v. 5, n. 1, p. 105-116, mar-jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n1.105-116>. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel> Acesso em: 18 jun. 2020.

BLUEVISION BRASKEM. *Dessalinização da água é a melhor resposta para a crise hídrica?* 2019. Disponível em: <https://bluevisionbraskem.com/inovacao/dessalinizacao-da-agua-e-a-melhor-resposta-para-a-crise-hidrica/> Acesso em: 31 maio 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa Água Doce*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce>. Acesso em: 26 maio 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa Água Doce*. Documento base. 2012. Disponível em: https://www.mma.gov.br/images/arquivos/agua/agua_doce/2018/ANEXO_I_-_PAD_-_Documento_Base_Final_2012.pdf. Acesso em: 26 maio 2018.

BRASIL. Senado Federal. Dessalinizar a água é cada vez mais viável. *Em discussão*, ano 5, n. 23, dez. 2014. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua> Acesso em: 26 maio 2019.

BRASIL. Tribunal de Contas da União (Tribunal Pleno). Acórdão. *Processo nº 014.990/2000-9*. Número da ata 17/2001 – Plenário. Relator: Valmir Campelo, 02 de maio de 2001. Disponível em: <https://pesquisa>.

apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/1499020009.PROC/%2520/DTRELEVANCIA%25-20desc%252C%2520NUMACORDAOINT%2520desc/4/%2520?uuiid=283f8d70-3a5b-11ea-af2e-87077d8c6d21 Acesso em: 01 jun. 2019.

CAVALCANTE, Irna. *Contrato da usina de dessalinização é de R\$ 3 bilhões*. 2019. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/jornal/economia/2019/02/30680-contrato-da-usina-de-dessalinizacao-e-de-r--3-bilhoes.html> Acesso em: 13 jan. 2020.

CEARÁ. *Governo do Ceará publica edital de dessalinização de água marinha para a Região Metropolitana de Fortaleza*. 2019. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2019/02/08/governo-do-ceara-publica-edital-de-dessalinizacao-de-agua-marinha-para-a-regiao-metropolitana-de-fortaleza/>. Acesso em: 26 maio 2019.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Programa água doce*: SRH entrega sistemas de dessalinização na zona rural de Caridade. 2018. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/programa-agua-doce-srh-entrega-sistemas-de-dessalinizacao-na-zona-rural-de-caridade/> Acesso em: 28 maio 2019.

DIAMANDI, Peter H.; KOTLER, Steven. *Abundância: o futuro é melhor do que você imagina*. São Paulo: HSM, 2012.

FERRARO, Ronaldo José Silva. *Sistema de Osmose Reversa*. 2008. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade São Francisco, Campinas, 2008.

FILGUEIRAS, Marina. *Estações móveis de tratamento levam água potável para comunidades rurais*. Disponível em: <http://saladeimprensa.ceara.gov.br/todospelaagua/?p=27227> Acesso em: 13 jan. 2020.

GAIO, Susana Sofia Marques. *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica*. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf Acesso em: 26 maio 2019.

ILHA no mar do caribe sem rios ou lagos usa água do mar dessalinizada. *G1 Globo*, abr. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2015/04/ilha-no-mar-do-caribe-sem-rios-ou-lagos-usa-agua-do-mar-dessalinizada.html> Acesso em: 13 jan. 2020.

JONES, Edward *et al.* The state of desalination and brine production: a global outlook. *Science of the Total Environment*. v. 657, p. 1343–1356, mar. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718349167?via%3Dihub> Acesso em: 31 maio 2019.

MOURA, J.P. *et al.* Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. *Revista Águas Subterrâneas*, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23343>. Acesso *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los* em: 26 maio 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. *Recursos Hídricos 2019: no dejara nadie atrás*. Paris: UNESCO, 2019. p. 41. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>. Acesso em: 30 maio 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: não deixar ninguém para trás, fatos e dados*. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276_por?posInSet=2&queryId=fa5e9bfb-2f91-44ad-8dab-065598a7cadf. Acesso em: 9 jan. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: no dejara nadie atrás*. 2019. p.37. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304> Acesso em 30 maio 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *A ONU e a água*. 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org>.

org/acao/agua/. Acesso em: 25 maio 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *ONU alerta contra impactos ambientais da dessalinização para fornecimento de água doce*. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-alerta-contra-impactos-ambientais-da-dessalinizacao-para-fornecimento-de-agua-doce/> Acesso em: 25 maio 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU*. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/> Acesso em: 9 jan. 2019.

PINHEIRO, L. G. *et al.* Avaliação da sustentabilidade do processo de dessalinização de água no semiárido potiguar: estudo da comunidade Caatinga Grande. *Revista Sociedade & Natureza*, v. 30, n. 1, p. 132-157, jul. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-6-X> Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/37175> Acesso em 16 jun. 2020.

PONTES, C. A. A.; SCHRAMM, F. R. I. Bioética da proteção e papel do Estado: problemas morais no acesso desigual à água potável. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 1319-1327, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v20n5/26.pdf>. Acesso em: 6 out. 2019.

PORTO, Everaldo Rocha *et al.* *Influência no solo da salinidade do rejeito da dessalinização usado para irrigação*. 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/154247/influencia-no-solo-da-salinidade-do-rejeito-da-dessalinizacao-usado-para-irrigacao>. Acesso em: 27 maio 2019.

RODRIGUES, Alyson da Luz Pereira *et al.* Proposta de recuperação da água proveniente do processo de dessalinização por osmose reversa: um estudo de caso em uma indústria de papel e celulose. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP*, 26., João Pessoa, 2016. *Anais [...]*. João Pessoa: ABEPRO, 2016. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_234_366_29996.pdf. Acesso em: 31 maio 2019.

SANTOS, Aristides António Monteiro. *Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf> Acesso em: 29 maio 2019.

SOARES, Tales M. *et al.* Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 730–737, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf> Acesso em: 25 maio 2019.

TORRI, Júlia Betina. *Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações*. 2015. Monografia (Diplomação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 maio 2019.

UNITED NATIONS UNIVERSITY. *Who we are*. 2019. Disponível em: <https://inweh.unu.edu/who-we-are/> Acesso em: 28 maio 2019.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*. 2014. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1714Water%20Development%20Report%202014.pdf> Acesso em: 13 jan. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION; UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANISATION. *International Glossary of Hydrology*. 2012. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf Acesso em: 25 maio 2019.

Para publicar na revista Brasileira de Políticas Públicas, acesse o endereço eletrônico www.rbpp.uniceub.br
Observe as normas de publicação, para facilitar e agilizar o trabalho de edição.