

Ampliação da oferta de água no semiárido: uma revisão da redução da evaporação e dessalinização

Expanding water supply in the semi-arid region: reducing evaporation and desalination

Maria das Graças Monteiro Almeida de Melo¹; Thaís Mayane Tabosa da Silva²; Karinne Martins Batista³; Simone Rosa Silva⁴; Antonio Celso Dantas Antonino⁵; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral⁶; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva⁷

- ¹ Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru-PE, Brasil. Email: gracas.melo@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1289-2531>
- ² Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pelo PPGECAM/UFPE, Caruaru-PE, Brasil. Email: thaisa.tabosa@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7771-3039>
- ³ Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pelo PPGECAM/UFPE, Caruaru-PE, Brasil. Email: karinne.martins@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4308-6282>
- ⁴ Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE, Brasil. Email: simonerosa@poli.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546>
- ⁵ Professor Titular do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE, Recife-PE, Brasil. Email: antonio.antonino@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4120-9404>
- ⁶ Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE, Brasil. Email: jaime.cabral@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1348-8004>
- ⁷ Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV) da UFPE, Recife-PE, Brasil. Email: anderson.paiva@ufpe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3475-1454>

Resumo: Com a baixa e irregular pluviosidade e as altas taxas de evaporação, regiões semiáridas lidam constantemente com os problemas decorrentes do balanço hídrico negativo. Em diversas localizações rurais, a principal fonte de água disponível é o aquífero, contudo, em sua maioria é composta por alta concentração de sais. Assim, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão de literatura nos bancos de dados SciELO, Science Direct, Scopus e Web of Science, que apresente técnicas de inibição da evaporação das águas superficiais e de dessalinização de aquíferos. Para a diminuição da evaporação de corpos hídricos superficiais são apontados os métodos físicos, químicos e biológicos. As soluções que utilizam coberturas físicas, são as mais vantajosas por proporcionarem excelentes reduções, que podem chegar a 85%, e pela facilidade de acesso que as populações têm ao material. Para a dessalinização são apresentados os processos térmicos e por membranas, onde, para as águas salobras se destaca, a osmose reversa, uma vez que proporciona vantagens como baixo consumo energético, qualidade constante de água produzida, e alcance de redução de salinidade superior a 80%. Logo, em conjunto as técnicas de supressão da evaporação e de dessalinização mostram eficiência, destacando-se como processos de extrema relevância quanto à diminuição da salinidade das águas, fundamental para o abastecimento de comunidades difusas.

Palavras-chave: Recurso hídrico; Osmose reversa; Cobertura flutuante; Aquífero; Comunidade difusa.

Abstract: With low and irregular rainfall and high evaporation rates, semi-arid regions are constantly dealing with problems arising from negative water balance. In several rural locations, the aquifer is the primary source of available water; however, most of it is composed of a high concentration of salts. Thus, the objective of this article is to carry out a literature review in the SciELO, Science Direct, Scopus and Web of Science databases, which presents techniques for inhibiting evaporation of surface water and desalination of aquifers. Physical, chemical, and biological methods are indicated to reduce the evaporation of surface water bodies. Solutions that use physical coverings are the most advantageous because they provide excellent reductions, which can reach 85%, and because of the ease of access that populations have to the material. For desalination, thermal and membrane processes are presented, where, for brackish waters, reverse osmosis stands out since it provides advantages such as low energy consumption, constant quality of produced water, and a range of salinity reduction more significant than 80 %. Therefore, the techniques for suppressing evaporation and desalination show efficiency, standing out as processes of extreme relevance in reducing water salinity, which is fundamental for supplying diffuse communities.

Keywords: Water resource; Reverse osmosis; Floating cover; Aquifer; Diffuse community.

Recebido: 06/05/2024; Aceito: 09/04/2025; Publicado: 22/04/2025.

1. Introdução

Regiões áridas e semiáridas enfrentam dificuldades quanto à disponibilidade hídrica para o abastecimento da população. O Semiárido brasileiro, tipicamente, apresenta regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, apresentando volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população (SILVA *et al.*, 2010).

A evapotranspiração de referência média pode chegar a 2.500 mm.ano⁻¹ nesses locais, gerando elevados déficits hídricos (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2012) e significativa oscilação na disponibilidade hídrica em superfície (PBMC, 2014). Com relação às fontes hídricas subterrâneas, a região do semiárido brasileiro é composta por aquíferos aluviais e um sistema de aquíferos cristalinos de baixa potencialidade hidrogeológica, que por sua vez, esses últimos, comprometem a quantidade e a qualidade destas águas (SANTOS *et al.*, 2009). No que se refere à ocorrência dessas águas no nordeste brasileiro, o território é constituído em mais de 80% por rochas cristalinas, havendo uma predominância de águas com teor elevado de sais como condição natural (CIRILO, 2008), ou por problemas oriundos do processo de salinização (KREIS *et al.*, 2020). Assim, tem-se a técnica de dessalinização em destaque no tratamento dessas águas subterrâneas salobras, em busca de sua potabilidade.

Dessa forma, pesquisadores têm estudado maneiras de suprir a demanda de água a partir do emprego de técnicas como a exploração de água subterrânea (OYEYEMI *et al.*, 2018; KOUADIO *et al.*, 2020; AMATO *et al.*, 2021), conservação das águas doces superficiais (GALLEGO-ELVIRA *et al.*, 2011; HAAS *et al.*, 2020; LOPES *et al.*, 2020), dessalinização de água salobra, de água do mar, de águas residuárias e aplicação de efluentes domésticos tratados na agricultura (BEJANKI *et al.*, 2021; BLAZYTE *et al.*, 2021; MOHARRAM *et al.*, 2021; STEIN *et al.*, 2021).

Ademais, os corpos hídricos podem ter suas características de salinidade modificadas pelos processos de evaporação (CARTWRIGHT *et al.*, 2013; RAJMOHAN *et al.*, 2021), pelo intemperismo mineral (GAMBOA *et al.*, 2019; RAJMOHAN *et al.*, 2021), pela troca iônica (RAJMOHAN *et al.*, 2009), pela intrusão de água salina (RAJMOHAN *et al.*, 2009; HAN *et al.*, 2011), pelos fatores antropológicos, por meio do despejo e contaminação por resíduos (MONDAL; SINGH, 2011), pela atividade agrícola (ZIADI *et al.*, 2019), pela transpiração da vegetação com raízes profundas, influência do tipo de solo e também devido à dinâmica hidrogeológica do aquífero. Vale ressaltar que a transpiração da vegetação com raízes profundas não surte impacto na salinidade de águas subterrâneas e de aquíferos profundos, devido ao comprimento e distribuição limitados das raízes (LIU *et al.*, 2018).

Dos fatores citados anteriormente, a evaporação e o processo de intemperismo mineral são alguns dos principais mecanismos que alteram a salinidade de um aquífero em clima é semiárido e árido (SUN *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2018; RAJMOHAN *et al.*, 2021). Assim, Tan *et al.* (2020) destacam o processo de intemperismo como uma das possíveis origens da salinização em águas subterrâneas, que pode influenciar a crescente demanda por água doce. A qualidade da água é influenciada pelas frações de água que percolam as diversas rochas que sofrem o intemperismo, ou seja, as características das rochas atuam na composição final da água.

Além disso, Pereira *et al.* (2006) afirmam que nos açudes da região semiárida do Brasil, as águas estão se tornando mais salinas e em alguns casos, apresentando concentrações de sais que tornam o seu uso impróprio para consumo humano e agricultura, esse fato se dá no período de estiagem devido às elevadas taxas de evaporação. Em relação às águas superficiais, sabe-se que estas são recarregadas pela água da chuva e que são posteriormente afetadas pela evaporação, que altera tanto a concentração de íons quanto os isótopos estáveis desses corpos hídricos (YANG *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar as técnicas de redução da evaporação das águas de reservatórios a céu aberto e de dessalinização por membrana de aquíferos, visando a redução da salinidade para atender às comunidades difusas do semiárido brasileiro.

2. Metodologia

A metodologia se constitui de uma revisão de literatura, sendo realizada com a finalidade de atualizar o estado da arte sobre os métodos para mitigação da evaporação e as técnicas para a dessalinização da água em reservatórios de regiões áridas e semiáridas.

O presente estudo foi realizado a partir de um compilado de 62 trabalhos da literatura nacional e internacional, englobando periódicos, revistas, teses e dissertações dos bancos de dados disponíveis (SciELO, Science Direct, Scopus e Web of Science), publicados no período do ano de 2002 a 2025. Para o tratamento dos dados na realização da pesquisa, utilizamos as palavras: recurso hídrico, qualidade da água, águas salobras, dessalinizadores, osmose reversa, semiárido, cobertura flutuante, aquífero e comunidade difusa.

Destaca-se que se consideraram as vantagens e desvantagens de cada método de barreira física utilizado e técnicas de dessalinização, de modo a se identificar quais as melhores características e possibilidades para a ampliação da oferta da água no semiárido brasileiro.

3. Redução da evaporação como técnica de prevenção à alta concentração de sais

As técnicas de supressão da evaporação começaram a ser aplicadas na década de 1960, em que filmes moleculares de monocamada foram empregados como camada de proteção da superfície da água contra a evaporação. Posteriormente outras técnicas começaram a ser usadas, sendo elas classificadas em métodos: físicos, químicos e biológicos.

Os métodos físicos se subdividem em coberturas flutuantes e coberturas suspensas (HASSAN *et al.*, 2015; SIMON *et al.*, 2016; TABOADA *et al.*, 2017), à qual proporcionam as maiores taxas de reduções na evaporação (Tabela 1); os métodos químicos, como os filmes moleculares de monocamada (GALLEGO-ELVIRA *et al.*, 2013; SOVOCOOL, 2014; MOZAFARI *et al.*, 2019); e os métodos biológicos, que podem ser coberturas com plantas aquáticas, quebra-ventos e entre outros (JAT *et al.*, 2010; ALHASSOUN *et al.*, 2011; ORIBI; ABDULKAREEM, 2020). Além dessas técnicas, alguns estudos têm observado o potencial de sistemas de mistura térmica com aeração artificial para reduzir a evaporação (HELFER *et al.* 2018).

Jat *et al.* (2010) e Hassan *et al.* (2015) afirmam que a redução das perdas por evaporação em reservatórios de água a céu aberto é de suma importância na melhoria da segurança hídrica em regiões áridas e semiáridas, onde as fontes primárias de água são um grande número de pequenas barragens agrícolas. Consequentemente, minimizar as perdas de água de tais barragens é fundamental para a viabilidade econômica da produção agrícola.

3.1. Métodos físicos: Aplicação de elementos suspensos

Os elementos suspensos, utilizados nos estudos para supressão da evaporação em reservatórios a céu aberto apresentados na Tabela 1, são as telas de polietileno e telas aluminizadas. Alvarez *et al.* (2006) compararam a utilização das telas de polietileno em cores e quantidade de camadas diversificadas com telas aluminizadas e obtiveram que o sombreamento decorrente da utilização das telas levou a uma significativa diminuição da taxa de evaporação diária, sendo na faixa de 50% para a tela aluminizada e resultados entre 54,7% (tela de polietileno branca única camada) a 83,5% (tela de polietileno preta de dupla camada) para as telas de polietileno (ALVAREZ *et al.*, 2006).

A cobertura com telas de polietileno proporciona benefícios nas propriedades da água armazenada, como a diminuição do crescimento de algas devido à falta de luz solar, a prevenção de deposição de detritos e a menor concentração de sal no volume de água quando o equilíbrio entre a chuva e a evaporação é positiva (GALLEGO-ELVIRA *et al.*, 2011). Além disso, os custos de operação e manutenção são muito baixos e só aparecem em situações extraordinárias (MARTINEZ-ALVAREZ *et al.*, 2010), com vida útil do sistema sendo de 10 a 15 anos (ALVAREZ *et al.*, 2006). Dessa forma, Martinez-Alvarez *et al.* (2010) afirmam que o uso dessa técnica pode ser economicamente viável em pequenos reservatórios agrícolas.

A viabilidade da utilização das telas de polietileno para fins de redução da evaporação ainda necessita ser melhor analisada, no que se diz respeito à variabilidade de climas e de reservatórios. Como as análises foram realizadas com duração máxima de um ano, o impacto ao longo prazo na qualidade da água ainda deve ser melhor avaliado. Quanto ao mais, a técnica se apresentou eficaz e de fácil instalação, sendo atrativa para conservar a água em propriedades rurais.

3.2. Métodos físicos: Aplicação de elementos flutuantes

Como coberturas flutuantes, estudos com *shade balls* (bolas/esferas de plásticos de polietileno de alta densidade com diâmetro em torno de 10cm, contendo água parcialmente), esferas contrapesadas, cobertura fotovoltaica flutuante e garrafas PET (500 mL) são apresentados na Tabela 1. No que tange a utilização de *shade balls*, destaca-se que sua utilização pode ser economicamente viável em implantações de longo prazo, uma vez que possuem vida útil longa e são fáceis de manter (HAGHIGHI *et al.*, 2018; HAO *et al.*, 2025). No que diz respeito a deterioração da qualidade da água devido à proliferação de algas, alguns especialistas levantaram a hipótese de que a utilização das *shade balls* pode provocar a criação de uma manta térmica com potencial para provocar o crescimento bacteriano (STOJSavlJEVIC JR, 2019; HAGHIGHI *et al.*, 2018).

Da análise realizada por Han *et al.* (2019), a utilização de esferas contrapesadas pode ser uma opção viável para aumentar o armazenamento de água para fins industriais e uma opção não econômica quando o objetivo é a produção

agrícola. Estes autores ainda afirmam que é improvável que esse material cause problemas associados à lixiviação progressiva de produtos químicos, uma vez que são constituídos em polietileno de alta densidade (HDPE). Ambos os materiais, *shade balls* e esferas contrapesadas utilizam como material base o polietileno de alta densidade.

Hassan *et al.* (2015) analisaram a redução da evaporação decorrente do uso de garrafas PET com 65 mm de diâmetro e observou que a evaporação foi reduzida em 43% em local costeiro e 37% em local da zona árida. Os autores ressaltam que possíveis impactos na qualidade da água devido à redução da radiação solar e a redução da troca de oxigênio na superfície da água precisa ser determinada em escala de campo.

O emprego de estruturas fotovoltaicas flutuantes tem sido aplicado com o objetivo principal de produzir energia, no entanto essas estruturas também induzem reduções evaporativas com taxas significativas (SAHU *et al.*, 2016; HAAS *et al.*, 2020; LOPES *et al.*, 2020). Os aspectos econômicos em relação às estruturas fotovoltaicas flutuantes apontam que essas possuem vida útil de 25 anos com um período de retorno do investimento de 4 anos, considerando apenas a economia da água que seria evaporada (LOPES *et al.*, 2020).

Referente à qualidade da água, tais placas podem reduzir a fotossíntese e o crescimento de algas (SAHU *et al.*, 2016), onde nos reservatórios, diminuem o material orgânico morto e a atividade bacteriana, diminuindo o consumo de oxigênio, além de reduzir a biomassa de algas tóxicas (HAAS *et al.*, 2020). Entretanto, com alta cobertura, as placas podem limitar severamente o crescimento das algas, restringindo a transferência de carbono para níveis superiores, afetando assim, a ecologia do reservatório.

Ao comparar o processo de aquisição de todos os materiais já citados, a compra por populações difusas pode ser mais fácil e rápida para as telas de polietileno, já que são produtos facilmente encontrados no comércio local. A instalação das telas de polietileno também não necessita de mão de obra especializada, o que seria dificultoso para a região de interesse. Como não foram reportados impactos negativos na qualidade da água, pode-se concluir que a utilização de telas de polietileno preta constitui uma alternativa viável para a implantação em pequenos reservatórios de comunidades rurais do semiárido brasileiro.

As técnicas apresentadas anteriormente podem ser eficientes na redução da salinidade de corpos hídricos superficiais onde podem ser aplicadas, contudo, essas técnicas se apresentam como de caráter mitigador em relação à prevenção à salinidade das águas subterrâneas, podendo não constituir uma solução única. Dessa forma, serão apresentadas a seguir técnicas de dessalinização que podem ser aplicadas como soluções auxiliares para redução de salinidade.

Tabela 1 – Estado da arte acerca de técnicas de redução da evaporação com base em métodos físicos.

Referência	Técnica	Reservatório	Região	Taxa de cobertura	Duração da observação	Estações do ano	Taxa de evaporação	Redução na taxa de evaporação
Alvarez <i>et al.</i> , 2006	Tela de polietileno	Tanque Classe- A	Sudeste da Espanha	100% de cobertura pela tela (¹)	Maio a setembro de 2003.	Verão	-	Fator de redução médio diário de 54,7% a 83,5%.
Martinez - Alvarez <i>et al.</i> , 2010	Tela de polietileno	Reservatório Agrícola- 2400 m ² com 5 m de profundidade e largura máxima de 55 m. Capacidade de armazenamento de 11.920 m ³ .	Sudeste da Espanha (semiárido)	100% de cobertura pela tela (¹)	1 ano coberto e 1 ano descoberto	Todas as estações	1190,98 mm/ano (descoberto) ; 191,59mm/ano (coberto)	Fator de redução médio anual de 84,1%.

Gallego-Elvira <i>et al.</i> , 2011	Tela de polietileno	Reservatório Agrícola-2400 m ² com 5 m de profundidade e largura máxima de 55 m.	Sudeste da Espanha (semiárido)	100% de cobertura pela tela ⁽¹⁾	1 ano coberto e 1 ano descoberto	Todas as estações	1316 mm/ano (descoberto) ; 194mm/ano (coberto)	Fator de redução anual de 85%.
Haghighi <i>et al.</i> , 2018	Shade Balls	-	Califórnia	64 a 74%	1 ano e meio	Todas as estações	-	-
Han <i>et al.</i> , 2019	Esferas contrapesadas	2 tanques com áreas de 1 m ²	Xinjiang-China (clima árido/desértico)	81%	1 ano		2845 mm/ano (descoberto) ; 763,45 mm/ano (coberto-área de 4m ²) ⁽²⁾	Redução de até 89,6% quando a velocidade do vento é baixa (até 1,5 m/s); e média de 87,8%-área de 4m ² ⁽³⁾
Han <i>et al.</i> , 2020	Esferas contrapesadas	Reservatórios de polietileno de alta densidade com diâmetro de 1,2 m e altura de 0,8 m.	Noroeste da China	76,4%	8 meses-março a outubro	-	-	Redução de 70,6%
Sahu <i>et al.</i> , 2016	Cobertura Fotovoltaica Flutuante	-	Ásia-Pacífico, Europa, Japão, China e Índia.	-	-	-	-	Redução de 70%
Padilha Campos Lopes <i>et al.</i> , 2020	Cobertura Fotovoltaica Flutuante	Açudes da Bacia Apodi/Mossoró-RN.	Semiárido brasileiro	50% e 70%	-	-	1960mm/ano ou 5,34 mm/ dia descoberto; 878,10mm/ano coberto ⁽⁴⁾	Redução de 55,2%

Haas <i>et al.</i> , 2020	Cobertura Fotovoltaica Flutuante	Reservatório Rapel, uma usina hidrelétrica com capacidade de armazenamento de 400 Mm ³ .	Chile	De 0 a 100%.	2 anos e meio.	Todas as Estações	-	Até 16% com 100% de cobertura.
---------------------------	----------------------------------	---	-------	--------------	----------------	-------------------	---	--------------------------------

¹Não é uma cobertura efetiva. Não foram dadas informações sobre a malha da tela;

²Informação extraída com base em cálculo que utiliza a taxa de evaporação característica da região conforme citado no texto e a taxa de redução da evaporação;

³Informação obtida através da média das porcentagens de redução apresentadas no artigo;

⁴Calculado com base no volume que deixa de ser evaporado.

Fonte: Os Autores (2024).

4. Técnicas de dessalinização

A utilização de dessalinizadores tem ganhado cada vez mais evidência, uma vez que as medidas convencionais de obtenção de água não têm sido suficientes para suprir o consumo humano, sobretudo, no período da estiagem (MOCOCH *et al.*, 2015). Os processos de dessalinização possuem como objetivo, a remoção dos sais diluídos nas águas de uma maneira geral, transformando-as deste modo, em uma água própria para consumo humano. Entre os diferentes métodos pelos quais a dessalinização pode ser feita, os mais relevantes são os processos de dessalinização térmica e filtração com o uso de membranas.

Os métodos de dessalinização são subdivididos em dois subgrupos: os processos térmicos e os processos por membranas. Entre alguns dos processos de dessalinização térmica estão a Destilação de Múltiplos Estágios (MSF), a Destilação de Múltiplos Efeitos (MED) e a Destilação por Compressão de Vapor (VC). Quanto aos processos de dessalinização por membranas, destaca-se a Osmose Reversa (OR) e a Eletrodialise (ED) (GHAF FOUR *et al.*, 2013).

A técnica MSF é preferível para usinas de dessalinização de água do mar em grande escala, uma vez que a entrada de água do mar é aproximadamente o dobro quando comparado ao método OR, entretanto, o processo apresenta desvantagens como maiores custos de energia térmica, eletricidade e outras despesas de capital maiores do que a dessalinização do tipo por membrana para a produção de água (NAPOLI; RIOUX, 2016; DINCER; DINCER, 2018). Napoli e Rioux (2016) destacam o MED como um processo de destilação para separar a água doce do sal e outras impurezas, onde, por meio da dessalinização térmica pode utilizar o calor residual de usinas de cogeração de energia, possibilitando que as necessidades de água e energia sejam atendidas simultaneamente de um utilitário. Quanto ao princípio de funcionamento do processo VC, existem duas formas diferentes de operação nessa técnica: a compressão do vapor pode ser realizada através de um compressor mecânico (MVC) ou podem ser acrescentadas pequenas quantidades de vapor a alta pressão por meio de um ejetor (TVC) (AL-KARAGHOULI *et al.*, 2009).

O processo de dessalinização por Osmose se dá através do fenômeno do fluxo de água por meio de uma membrana semipermeável que impede o transporte de sais ou outros solutos através da membrana. As duas soluções aquosas são desassociadas por uma membrana semipermeável, onde a água fluirá do lado de baixa concentração de soluto para o lado de alta concentração de soluto. Na Osmose Reversa ocorre o inverso, ou seja, o líquido se desloca do lado com maior concentração de sais para o de menor concentração, devido a caracterizar o caminho oposto do método osmótico natural (CHEN *et al.*, 2011). Já a Eletrodialise (ED) é um processo que se baseia em membranas de troca iônica, entre ânions e cátions dispostos em um padrão alternado entre um ânodo e um cátodo e um potencial eletroquímico como condutor de força (STRATHMANN, 2010).

Dessa forma, na Tabela 2 exemplificam-se os métodos de dessalinização por membranas, uma vez que se apresentam como os processos mais utilizados em comparação aos térmicos, utilizando como fonte a água subterrânea salobra.

4.1. Osmose reversa (OR)

A tecnologia de Osmose Reversa (OR) vem se destacando como um dos métodos mais baratos e promissores de dessalinização, apresentando como vantagens o baixo custo de investimento; critérios ambientais; baixo consumo energético; qualidade constante da água produzida; procedimento contínuo; flexibilidade em futuras instalações e características de alta qualidade de água com eficiência de remoção de sais superior a 80% (WALHA *et al.* 2007; MOURA *et al.*, 2008; SARAI ATAB *et al.*, 2016; SILVA, 2022).

Os aspectos econômicos do processo de OR conforme exemplificados na Tabela 2, variam segundo aspectos individuais de cada instalação, podendo partir de um custo de água dessalinizada de aproximadamente 0,15 US\$/m³ (0,11 £/m³) referente a um sistema com capacidade proposta do 24.000 m³/dia (SARAI ATAB; SMALLBONE; ROSKILLY, 2016) e alcançar o valor de 4,93 US\$/m³ (25,00 R\$/m³), referente a uma produtividade do sistema de 3,6m³/dia (800 L/h) (SALES *et al.*, 2017). A vida útil da membrana depende da operação correta e manutenções realizadas no decorrer do processo (SALES *et al.*, 2017), onde, podem variar de 5 anos (LEE *et al.*, 2002) e chegar até 25 anos (PIMENTEL DA SILVA; SHARQAWY, 2020).

Tabela 2 – Tabela resumo das técnicas de dessalinização por membrana.

Referência	Técnica	Fonte	Análise química	Produtividade do sistema / funcionamento	Consumo energético	Custos	Região
Walha <i>et al.</i> (2007)	Osmose reversa	Água salobra	Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) Alimentação = 2677 mg/L; TDS Permeado = 328mg/L; TDS Concentrado = 5411 mg/L; Taxa de Rejeição de sais (TRS) > 80%.	-	0,81 kwh/m ³	Custo de manutenção e operação de 5 a 10% ao ano do custo da instalação.	Gabes - Sul da Tunísia (Clima árido a semiárido)
Sarai Atab <i>et al.</i> (2016)	Osmose reversa	Água salobra	Salinidade Alimentação = 15.168 ppm; Salinidade Permeado < 400 ppm; TRS = 88%.	24.000 m ³ /dia/ 7884h anuais	0,8 kWh/m ³	Custo de Investimento = \$19,34 milhões de dólares (£14,4 milhões de libras esterlinas); Custo fixo = 0,020 US\$/m ³ (0,015 £/m ³); Custo variável = 0,024US\$/m ³ (0,018£/m ³); Custo da Água	Iraque

						= 0,15US\$/m ³ (0,11£/m ³).	
Sales <i>et al.</i> (2017)	Osmose reversa	Água salobra	-	3,6m ³ /dia (864m ³ /ano) / 4,5h/dia	-	Custo de Investimento = R\$113.960,03 = US\$22.485,31; Custo de manutenção e operação = R\$ 18.603,50/ano (3.668,61 US\$/ano); Custo da Água = 25,00R\$/m ³ (4,93 US\$/m ³).	Ceará - Brasil (Clima semiárido)
Pimentel da Silva; Sharqawy (2020)	Osmose reversa	Água salobra	TDS Alimentação = 3.500 mg/L; TDS Permeado = 500 mg/L.	10m ³ /dia (1,25 m ³ /h) / 8 h/dia	2,8 kWh/m ³	Custo total anualizado do sistema PVRO = \$ 15.736 e \$ 18.596; Custo do sistema OR = \$ 43.620 e \$ 53.686; Custo do sistema PV \$ 12.499 e \$ 16.084; Custo da água = 1,44 a 1,65 US\$/m ³ .	
Lee <i>et al.</i> (2002)	Eletrodialise	Água salobra	Concentração de NaCL na alimentação = 3500 mg/L; Concentração de NaCL na no permeado = 350 mg/L; Taxa de Recuperação > 75%.	350 m ³ /dia / 24 h/dia	0,41 kwh/m ³	Custo de Membrana e Capital = 150 US\$/m ² .	-
Walha <i>et al.</i> (2007)	Eletrodialise	Água salobra	TDS Alimentação = 2677 mg/L; TDS Permeado = 500 mg/L.	-	0,53 kwh/m ³	Custo de manutenção e operação referente a 5 a 10% ao ano do custo da instalação.	Gabes - Sul da Tunísia (Clima árido a semiárido)

Wright <i>et al.</i> (2018)	Eletrodialise	Água salobra	Concentração de alimentação = 3451 mg/L; Concentração do produto = 480 mg/L; Taxa de Recuperação = 80%.	Taxa de dessalinização = 650 ± 10 L/h	1,13 ± 0,02 kwh/m ³	-	
-----------------------------	---------------	--------------	---	---------------------------------------	--------------------------------	---	--

Fonte: Autores (2024).

4.2. Eletrodialise (ED)

A produção de água potável a partir de água salobra constitui-se como principal aplicação da Eletrodialise, uma vez que apresenta uma vantagem econômica maior do que outras técnicas de dessalinização. Contudo, a ED pode remover apenas íons da água potável, e componentes não carregados, como micro-organismos, não podem ser eliminados, logo, o método torna-se menos vantajoso quando em comparação com outros processos por membrana (LIU; CHENG, 2020).

Conforme Tabela 2, o estudo de Lee *et al.* (2002) apresentou consumo de energia de 0,41 kwh/m³ para uma área total da membrana de 753,77 m², enquanto o estudo de Walha *et al.* (2007) exibiu consumo de energia de 0,53 kwh/m³ para uma área total da membrana de 0,27 m², referente a produção de 1 m³ de água dessalinizada. Destaca-se o baixo consumo energético do processo em ambos os estudos e que esse consumo varia em função da concentração da água salobra.

Logo, foi possível comparar as técnicas de OR e ED, a ED apresentou uma maior redução em seu consumo energético quando em comparação ao processo de OR, entretanto, devido à sua restrição de remoção apenas dos íons da água potável, mostrou-se menos utilizada. Observa-se também que os custos acerca das duas técnicas se apresentaram variáveis conforme o processo, região e finalidade aplicados. Em suma, as técnicas demonstraram eficiência na remoção dos sais, sobretudo em águas subterrâneas salobras situadas em regiões áridas ou semiáridas.

5. Considerações finais

As técnicas de supressão da evaporação apresentadas possuem alto potencial de provocar a redução da salinidade de corpos hídricos superficiais, uma vez que podem apresentar reduções de até 89,6% na taxa de evaporação, a partir do emprego de métodos físicos, que são os que resultam nessas maiores reduções evaporativas. Em geral, a utilização de coberturas flutuantes ou suspensas para a redução da evaporação não acarretam em danos à qualidade da água devido à lixiviação progressiva de produtos químicos, no entanto o alto percentual de cobertura da superfície da água pode levar a prejuízos a ecologia do reservatório, caso reduza de maneira severa a incidência de raios solares. Visando as comunidades difusas do semiárido brasileiro, destaca-se a aplicação das telas de polietileno pretas, pois conferem altas reduções na evaporação e sua obtenção e instalação são mais facilitadas sob essa realidade.

Os processos de dessalinização apresentam eficiência quanto a dessalinização de águas subterrâneas, uma vez que podem apresentar redução de salinidade superior a 80%, em que, os processos por membrana mostraram vantagens em comparação aos processos térmicos de dessalinização ao utilizar como fonte a água salobra, uma vez que são os processos mais usados pelas comunidades da região semiárida devido ao menor consumo de energia, baixo custo de investimento e alta qualidade de água.

Desse modo, as técnicas de supressão da evaporação apresentam-se como técnicas propícias para reduzir a salinidade em corpos hídricos superficiais, como os barreiros (forma de reservação de água das populações rurais do semiárido brasileiro), todavia, precisam ser mais estudadas quantitativamente quanto ao seu impacto direto na redução da salinidade da água, bem como o transporte de sais para as águas subterrâneas deve ser melhor analisado sob essas condições.

As técnicas de dessalinização destacaram-se quanto à redução da salinidade de águas subterrâneas salobras, através dos poços construídos para exploração das águas nos aquíferos cristalinos, contudo, são necessários maiores investimentos e políticas públicas, visando uma melhor regularização da implantação, recuperação e gestão de sistemas de dessalinização para atender, sobretudo, as populações de baixa renda em comunidades difusas do semiárido, através dos poços comunitários.

Logo, pode-se concluir que em conjunto as técnicas de supressão da evaporação e de dessalinização de aquíferos apresentam eficiência, destacando-se como processos de extrema relevância quanto à redução da salinidade das águas destinadas às comunidades difusas.

Agradecimentos

Os Autores agradecem à FACEPE pelo apoio financeiro no desenvolvimento do projeto UNIVERSITAS, APQ-0300-5.03/17, assim como à CAPES pelo suporte financeiro com bolsa de estudos.

Referências

- ALHASSOUN, S.A.; ALSHAIKH, A.M.A.; ALREHAILI, A.M.; MISBAHUDDIN, M. Effectiveness of using palm fronds in reducing water evaporation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 38, 1170–1174, 2011.
- AI-KARAGHOULI, A.; RENNE, D.; KAZMERSKI, L.L. Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, 2397–2407, 2009.
- ALVAREZ, V.M.; BAILLE, A.; MARTÍNEZ, J.M.M.; GONZÁLEZ-REAL, M.M. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. *Agricultural Water Management*, v. 84, 229–239, 2006.
- AMATO, F.; PACE, F.; VERGNANO, A.; COMINA, C. TDEM prospections for inland groundwater exploration in semiarid climate, Island of Fogo, Cape Verde. *Journal of Applied Geophysics*, v. 184, 104242, 2021.
- BEJANKI, D.; MUTHUKUMAR, K.; RADHAKRISHNAN, T.K.; ALAGARSAMY, A.; PUGAZHENDHI, A.; NAINA MOHAMED, S. Simultaneous bioelectricity generation and water desalination using *Oscillatoria* sp. as biocatalyst in photosynthetic microbial desalination cell. *Science of the Total Environment*, v. 754, 2021.
- BLAZYTE, A.; ALAYANDE, A.B.; NGUYEN, T.T.; ADHA, R.S.; JANG, J.; AUNG, M.M.; KIM, I.S. Effect of size fractioned alginate-based transparent exopolymer particles on initial bacterial adhesion of forward osmosis membrane support layer. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 94, 408–418, 2021.
- CARTWRIGHT, I.; GILFEDDER, B.; HOFMANN, H. Chloride imbalance in a catchment undergoing hydrological change: Upper Barwon River, southeast Australia. *Applied Geochemistry*, v. 31, 187–198, 2013.
- CHEN, J.P.; CHIAN, E.S.K.; SHENG, P.; NANAYAKKARA, K.G.N.; WANG, L.K. Desalination of Seawater by Reverse Osmosis. In: WANG, LAWRENCE K.; CHEN, JIAPING PAUL; HUNG, YUNG-TSE; SHAMMAS, NAZIH K. *Membrane and Desalination Technologies*, v. 13, 2011. p. 559-601.
- CIRILO, J.A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. *Estudos Avançados*, v. 22, 61–82, 2008.
- DINCER, S.; DINCER, I. Comparative evaluation of possible desalination options with various nuclear power plants. In: *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, 2018.
- GALLEGO-ELVIRA, B.; BAILLE, A.; MARTIN-GORRIZ, B.; MAESTRE-VALERO, J.F.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V. Energy balance and evaporation loss of an irrigation reservoir equipped with a suspended cover in a semiarid climate (south-eastern Spain). *Hydrological Processes*, v. 25, 1694–1703, 2011.
- GALLEGO-ELVIRA, B.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V.; PITTAWAY, P.; BRINK, G.; MARTÍN-GORRIZ, B. Impact of micrometeorological conditions on the efficiency of artificial monolayers in reducing evaporation. *Water Resources Management*, v. 27, 2251–2266, 2013.
- GAMBOA, C.; GODFREY, L.; HERRERA, C.; CUSTODIO, E.; SOLER, A. The origin of solutes in groundwater in a hyper-arid environment: A chemical and multi-isotope approach in the Atacama Desert, Chile. *Science of the Total Environment*, v. 690, 329–351, 2019.
- GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T.M.; AMY, G.L. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, v. 309, 197–207, 2013.

- HAAS, J.; KHALIGHI, J.; DE LA FUENTE, A.; GERBERSDORF, S.U.; NOWAK, W.; CHEN, P.J. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion and Management*, v. 206, 2020.
- HAGHIGHI, E.; MADANI, K.; HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of water conservation using shade balls in California. *Nature Sustainability*, v. 1, 358–360, 2018.
- HAN, D.; SONG, X.; CURRELL, M.J.; CAO, G.; ZHANG, Y.; KANG, Y. A survey of groundwater levels and hydrogeochemistry in irrigated fields in the Karamay Agricultural Development Area, northwest China: Implications for soil and groundwater salinity resulting from surface water transfer for irrigation. *Journal of Hydrology*, v. 405, 217–234, 2011.
- HAN, K.W.; SHI, K. BIN; YAN, X.J.; CHENG, Y.Y. Water savings efficiency of counterweighted spheres covering a plain reservoir in an arid area. *Water Resources Management*, v. 33, 1867–1880, 2019.
- HAN, K.W.; SHI, K. BIN; YAN, X.J. Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. *Agricultural Water Management*, v. 238, 106227, 2020.
- HAO, GUO-CHEN; SHI, KE-BIN; HAN, KE-WU. Evaluating the impact of floating spheres on evaporation reduction and water salinity control in reservoirs. *Agricultural Water Management*, v. 312, 2025.
- HASSAN, M.M.; PEIRSON, W.L.; NEYLAND, B.M.; FIDDIS, N.M.Q. Evaporation mitigation using floating modular devices. *Journal of Hydrology*, v. 530, 742–750, 2015.
- HELPER, F.; ANDUTTA, F.P.; LOUZADA, J.A.; ZHANG, H.; LEMCKERT, C. Artificial destratification for reducing reservoir water evaporation: Is it effective? *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, v. 23, 333–350, 2018.
- JAT, M.L.; SAMMAURIA, R.; MARUTHISANKAR, G.R.; KOTHARI, A.K.; SHARMA, S.K.; BALYAN, J.K.; MISHRA, P.K. Assessment of seasonal efficacy of different evaporation retardants in semi-arid tropics. *J. Agrometeorol*, v. 12, 225–228, 2010.
- KOUADIO, K.L.; XU, Y.; LIU, C.M., BOUKHALFA, Z. Two-dimensional inversion of CSAMT data and three-dimensional geological mapping for groundwater exploration in Tongkeng Area, Hunan Province, China. *Journal of Applied Geophysics*, v. 183, 2020.
- KREIS, M.; TAUPIN, J.D.; PATRIS, N.; MARTINS, E.S.P.R. Isotopic characterisation and dating of groundwater recharge mechanisms in crystalline fractured aquifers: example of the semi-arid Banabuiú watershed (Brazil). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, v. 56, 418–430, 2020.
- LEE, H.J.; SARFERT, F.; STRATHMANN, H.; MOON, S.H. Designing of an electrodialysis desalination plant. *Desalination*, v. 142, 267–286, 2002.
- LIU, L.; CHENG, Q. Mass transfer characteristic research on electrodialysis for desalination and regeneration of solution: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 134, 2020.
- LIU, Y.; JIN, M.; WANG, J. Insights into groundwater salinization from hydrogeochemical and isotopic evidence in an arid inland basin. *Hydrological Processes*, v. 32, 3108–3127, 2018.
- LOPES, P.C.M.; DE ANDRADE NETO, S.; ALVES CASTELO BRANCO, D.; VASCONCELOS DE FREITAS, M.A.; DA SILVA FIDELIS, N. Water-energy nexus: Floating photovoltaic systems promoting water security and energy generation in the semiarid region of Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 273, 2020.
- MARTINEZ-ALVAREZ, V.; MAESTRE-VALERO, J.F.; MARTIN-GORRIZ, B.; GALLEGU-ELVIRA, B. Experimental assessment of shade-cloth covers on agricultural reservoirs for irrigation in south-eastern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v. 8, 122–133, 2010.

- MOCOCK, J.F.B.; PESSÔA, C.N.; MONTEIRO, Â.T. DA S.; TORRES, A.S.C.G.; RABBANI, E.R.K. *Estudo comparativo entre os principais métodos de dessalinização de águas subterrâneas: Revisão de literatura*. Escola Politécnica Pernambuco, 2015.
- MOHARRAM, N.A.; BAYOUMI, S.; HANAFY, A.A.; EL-MAGHLANY, W.M. Hybrid desalination and power generation plant utilizing multi-stage flash and reverse osmosis driven by parabolic trough collectors. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 23, 100807, 2021.
- MONDAL, N.C.; SINGH, V.P. Hydrochemical analysis of salinization for a tannery belt in Southern India. *Journal of Hydrology*, v. 405, 235–247, 2011.
- MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido, In: GHEYI, HANS RAJ; PAZ, VITAL PEDRO DA SILVA; MEDEIRO, SALOMÃO DE SOUSA; GALVÃO, CARLOS DE OLIVEIRA (ed.). *Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e Aplicações*. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.
- MOURA, J.P.; MONTEIRO, G.S.; SILVA, J.N.; F.A.; P.; FRANÇA, K.P. Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. *Revista Águas Subterrâneas*, 2008.
- MOZAFARI, A.; MANSOURI, B.; CHINI, S.F. Effect of Wind Flow and Solar Radiation on Functionality of Water Evaporation Suppression Monolayers. *Water Resources Management*, v. 33, 3513–3522, 2019.
- NAPOLI, C.; RIOUX, B. Evaluating the economic viability of solar-powered desalination: Saudi Arabia as a case study. *International Journal of Water Resources Development*, v. 32, 412–427, 2016.
- ORIBI, M.O.; ABDULKAREEM, A.K. Scenarios to reduce evaporation from class A evaporation pan by using windbreaks. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, v. 29, 343–354, 2020.
- OYEYEMI, K.D.; AIZEBOKHAI, A.P.; OLOFINNADE, O.M.; SANUADE, O.A. Geoelectrical investigations for groundwater exploration in crystalline basement terrain, sw nigeria: Implications for groundwater resources sustainability. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, v. 9, 765–772, 2018.
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2014. *Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação: Primeiro relatório de avaliação nacional*. 2014.
- PEREIRA, L.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J.C.; LIMA, J.O.G. A salinidade das águas superficiais e subterrâneas na bacia da Gameleira, Município de Aiuaíba/CE. *Águas Subterrâneas*, v. 20, 9–18, 2006.
- PIMENTEL DA SILVA, G.D.; SHARQAWY, M.H. Techno-economic analysis of low impact solar brackish water desalination system in the Brazilian Semi-arid region. *Journal of Cleaner Production*, v. 248, 2020.
- RAJMOHAN, N.; AL-FUTAISI, A.; AL-TOUQI, S. Geochemical process regulating groundwater quality in a coastal region with complex contamination sources: Barka, Sultanate of Oman. *Environmental Earth Sciences*, v. 59, 385–398, 2009.
- RAJMOHAN, N.; MASOUD, M.H.Z.; NIYAZI, B.A.M. *Impact of evaporation on groundwater salinity in the arid coastal aquifer, Western Saudi Arabia*. Catena, v. 196, 2021.
- SAHU, A.; YADAV, N.; SUDHAKAR, K. Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 66, 815–824, 2016.
- SALES, M.L.S.; CAMPOS, K.C.; CAMPOS, R.T.; GUIMARÃES, J.W.A. Avaliação financeira das ações de captação, acumulação e suprimento de água no estado de Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 48, 139–154, 2017.
- SANTOS, M.; FREIRE, C.; SOUZA, V. Comportamento do fluxo subterrâneo em um aquífero aluvial no semi-árido alagoano. In: *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro Recursos Hídricos*, 1–13, 2009.

- SARAI ATAB, M.; SMALLBONE, A.J.; ROSKILLY, A.P. An operational and economic study of a reverse osmosis desalination system for potable water and land irrigation. *Desalination*, v. 397, 174–184, 2016.
- SILVA, P.C.G.; MOURA, M.S.B.; KIILL, L.H.P.; BRITO, L.T.L.; PEREIRA, L.A.; SÁ, I.B.; CORREIA, R.C.; TEIXEIRA, A.H.C.; CUNHA, T.J.F.; GUIMARÃES-FILHO, C.G. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 18-48.
- SILVA, T. L. *Uso e eficiência de dessalinizadores para o abastecimento de água de população difusa do semiárido de Pernambuco*. 2022. Dissertação (Mestrado – Construção Civil) - Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco, Recife, 2022.
- SIMON, K.; SHANBHAG, R.; SLOCUM, A.H. Reducing evaporative water losses from irrigation ponds through the reuse of polyethylene terephthalate bottles. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 142, 2016.
- SOVOCOOL, K. Erratum: Testing an innovative evaporative suppressant for reducing losses from lakes. *J. Am. Water Works Assoc.*, v. 106, 41-50, 2014.
- STEIN, S.; SIVAN, O.; YECHIELI, Y.; KASHER, R. Redox condition of saline groundwater from coastal aquifers influences reverse osmosis desalination process. *Water Research*, v. 188, 2021.
- STOJSAVLJEVIC JR, T.G. *Mathematical Modeling and Analysis of a Phytoplankton Competition Model Incorporating Preferential Nutrient Uptake*. 2019. Dissertation - University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, 2019.
- STRATHMANN, H. Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. *Desalination*, v. 264, 268–288, 2010.
- SUN, Z.; MA, R.; WANG, Y.; HU, Y.; SUN, L. Hydrogeological and hydrogeochemical control of groundwater salinity in an arid inland basin: Dunhuang Basin, northwestern China. *Hydrological Processes*, v. 30, 1884–1902, 2016.
- TABOADA, M.E.; CÁCERES, L.; GRABER, T.A.; GALLEGUILLOS, H.R.; CABEZA, L.F.; ROJAS, R. Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modeling. *Renew Energy*, v. 105, 601–615, 2017.
- TAN, S.P.V.; BAUTISTA, A.T.; MENDOZA, N.D.S.; RACADIO, C.D.T.; PUTHENPUREKAL, M.; RESURRECCION, A.C.; MATSUZAKI, H. Iodine-129 for determining the origin of salinity in groundwater in Pampanga, Philippines. *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 218, 106239, 2020.
- WALHA, K.; AMAR, R.B.; FIRDAOUS, L.; QUÉMÉNEUR, F.; JAOUEN, P. Brackish groundwater treatment by nanofiltration, reverse osmosis and electrodialysis in Tunisia: performance and cost comparison. *Desalination*, v. 207, 95–106, 2007.
- WRIGHT, N.C.; SHAH, S.R.; AMROSE, S.E.; WINTER, A.G. A robust model of brackish water electrodialysis desalination with experimental comparison at different size scales. *Desalination* 443, 27–43. 2018.
- YANG, H.; KAGABU, M.; OKUMURA, A.; SHIMADA, J.; SHIBATA, T. Processos hidrogeoquímicos e efeitos de longo prazo da elevação do nível do mar em uma ilha elevada de atol de Minami-Daito, Japão. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 31, 1–12, 2020.
- ZIADI, A.; HARIGA, N.T.; TARHOUNI, J. Mineralization and pollution sources in the coastal aquifer of Lebna, Cap Bon, Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, v. 151, 391–402, 2019.