

A destilação no processo de dessalinização como solução alternativa para a seca no nordeste brasileiro

Esta pesquisa tem o objetivo de apresentar o contexto histórico das secas no Nordeste do Brasil e a partir disso buscar uma solução viável para o problema, focando na necessidade social e econômica. Com base nisso, a obtenção de água potável por meio da dessalinização de água do mar se faz necessária devido à escassez hídrica que afeta a população de diversas formas, já que normalmente as águas de abastecimento são provenientes das chuvas e o Nordeste brasileiro é uma área vulnerável em termos de mudanças climáticas pois se situa em uma área com correntes de ar que transferem o calor para latitudes maiores, o que favorece a estabilidade do tempo e a ausência de chuvas. A tecnologia utilizada no processo de dessalinização é influenciada pela qualidade da água, os custos gerados, o volume de água a ser produzido e o consumo de energia demandado. O alvo dessa pesquisa foi a destilação por compressão de vapor por ser um dos processos mais bem-vistos pelos pesquisadores devido ao fato de gerar bons resultados, ter um consumo energético otimizado e um bom percentual de rendimento em relação à modelos mais modernos, além de um menor custo comparado aos processos que utilizam membranas.

Palavras-chave: Dessalinização; Água do mar; Destilação; Água potável; Vapor.

Distillation in the desalination process as an alternative solution to the drought in brazilian northeast

This research aims to present the historical context of droughts in the Northeast of Brazil and, based on this, seek a viable solution to the problem, focusing on social and economic needs. Based on this, obtaining potable water through the desalination of seawater is necessary due to the water shortage that affects the population in several ways, since normally the water supply comes from rain and the Brazilian Northeast is a vulnerable area in terms of climate change because it is located in an area with air currents that transfer heat to higher latitudes, which favors the stability of the weather and the absence of rain. The technology used in the desalination process is influenced by the quality of the water, the costs generated, the volume of water to be produced and the energy consumption required. The target of this research was distillation by vapor compression because it is one of the processes most welcomed by researchers due to the fact that it generates good results, has an optimized energy consumption and a good percentage of yield in relation to more modern models, and a lower cost compared to processes that use membranes.

Keywords: Desalination; Seawater; Distillation; Drinking water; Vapor.

Topic: **Engenharia Química**

Received: **10/06/2022**

Approved: **25/09/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Victória Gouveia 

Centro Universitário UniFavip Wyden, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-0606-7156>

victoriagouveiaeng@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2022.002.0006

Referencing this:

GOUVEIA, V.. A destilação no processo de dessalinização como solução alternativa para a seca no nordeste brasileiro. **Engineering Sciences**, v.10, n.2, p.46-53, 2022. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2022.002.0006>

INTRODUÇÃO

O histórico de secas na região Nordeste data desde o século XVI, no período da colonização portuguesa. O primeiro fenômeno registrado aconteceu entre 1580 e 1583, quando as capitanias tiveram seus engenhos prejudicados, fazendas destruídas pela falta de água e a migração de cerca de 5 mil indígenas do sertão, fugindo da morte que acompanhava a fome extrema devido ao território inóspito. No primeiro período de estiagem de 1877, uma sucessão de fatores climáticos culminou na primeira Grande Seca, que durou 2 anos, abrangendo toda a região equatorial do globo e trazendo a morte para um número aproximado de 500 mil pessoas (ARAÚJO, 2022).

Segundo Pinheiro (2018) em 1915 e 1932 houveram mais duas grandes secas que assolaram o Nordeste e fizeram com que diversos nordestinos migrassem para as grandes cidades, onde foram conduzidos de forma desumana para “currais humanos” e permaneceram em situação de vulnerabilidade, com fome, sede e doentes, além de serem presas e vigiadas 24 horas por dia com acesso controlado à água e comida. O objetivo dos campos de concentração era evitar que os retirantes alcançassem Fortaleza, trazendo “o caos, a miséria, a moléstia e a sujeira”, como informavam os boletins do poder público à época.

Conforme um levantamento atualizado em março de 2022 junto ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e publicado pelo G1, são 486 municípios da região Nordeste com decreto de emergência vigente. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, a incidência e a gravidade da seca podem aumentar no nordeste do Brasil devido às mudanças climáticas induzidas pelo homem. As secas recentes nessa região, como a de 2010-2016, provocaram graves impactos socioeconômicos e danos extensos às lavouras e pastagens irrigadas pela chuva.

O presente trabalho traz um olhar crítico para o histórico de secas na região nordeste do Brasil e como a destilação de água salina pode ser uma alternativa para lutar contra a escassez hídrica, tendo o objetivo geral de apresentar uma solução de maior economia operacional energética em comparação a outros métodos.

METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada através do estudo de informações disponibilizadas em sites governamentais e artigos científicos, efetuando a análise da destilação por compressão de vapor e seu custo-benefício. Foram analisados os métodos utilizados no material de pesquisa, identificando como eles podem ter afetado os resultados do estudo para determinar a eficiência das hipóteses apresentadas e, conseqüentemente, alcançar os objetivos pré-definidos.

O estudo foi realizado utilizando plataformas de pesquisa como Google Acadêmico, agência governamental United States Bureau of Reclamation, Repositório AEIPRO - Associação Espanhola de Gerenciamento de Projetos e Engenharia, Scientific Electronic Library Online (SciELO), acervo da Marinha do Brasil, artigos de universidades federais e livros que abrangem as Operações Unitárias.

O trabalho contou com uma busca por artigos de revisão bibliográfica nas línguas português, inglês e espanhol, dissertações e monografias, além de livros. Foram escolhidos trabalhos publicados nos últimos vinte anos para garantir uma abordagem com informações mais seguras e atualizadas, com exceção de algumas outras pesquisas que mesmo sendo mais antigas, se mantêm com informações relevantes.

A finalidade da pesquisa foi analisar de forma básica e descritiva como funciona o processo de dessalinização, e em seguida, o processo de destilação por compressão de vapor para analisar a notoriedade do método e propor ideias para futuros trabalhos científicos.

DISCUSSÃO TEÓRICA

Dessalinização

A humanidade já dessaliniza água há séculos. De fato, uma das primeiras referências em dessalinização foi Aristóteles, que escreveu sobre destilação da água do mar em 320 AC (HENTHORNE, 2009). Alega-se que a primeira planta de dessalinização foi nos Estados Unidos da América e transformava água do mar em água potável no Fort Zachary Taylor em Key West, Florida já em 1861 (EHRENMAN, 2004).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 357 de 2005, que determina os padrões de qualidade das águas do território nacional, considera que a classificação das águas doces, salobras e salinas é essencial à defesa de seus níveis de qualidade.

Tabela 1: Padrão de qualidade das águas.

Águas doces	Salinidade igual ou inferior a 0,5%
Águas salobras	Salinidade entre 0,5% e 30%
Águas salinas	Salinidade igual ou superior a 30%

Fonte: Adaptado de CONAMA.

Logan (1965) define salinidade como a concentração total dos íons dissolvidos na água. Assim, quanto maior a salinidade, maior será a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) nesta e maior sua condutividade elétrica, pois os íons são partículas carregadas eletricamente (Logan, 1965 apud Oliveira, 2005). A salinidade do mar atinge entre 33.000 mg/l e 38.000 mg/l. Na literatura, a composição iônica do mar tem sido mensurada como 19,35 g/kg (Cl), 10,78 g/kg (Na), 1,28 g/kg (Mg), 2,712 g/kg (S), 0,4176 g/kg (Ca), 0,399 g/kg (K) (Pearce, 2015). Os mares e lagos podem ter uma grande variabilidade nos sólidos totais dissolvidos, como por exemplo, o Golfo Árábico com uma média de 48.000 mg/l de STD e Mono Lake na Califórnia, EUA, com um conteúdo de 100.000 mg/l. A salinidade do Mar Morto atinge 250.000 mg/l, um nível aproximadamente sete vezes maior que a dos oceanos (FOUNDATION FOR WATER RESEARCH, 2011).

Em 2001, de toda água dessalinizada do mundo, 60% eram provenientes da água do mar e 40% proveniente da água salobra (KHAWAJI et al, 2008). Enquanto as tecnologias de dessalinização podem ser usadas em diversas aplicações, o maior uso é para converter água salgada para água potável com propósitos municipais (60%). Entretanto, como mostra a Figura 2.4, água dessalinizada também é usada para agricultura (2%) e para propósitos industriais (28%) (IDA, 2013). Apesar do uso da água dessalinizada na agricultura ser limitada pelo preço mais alto comparado a água comumente usada e da necessidade de as plantações serem

perto de uma fonte de água salobra ou salgada, seria interessante que se usasse mais água dessalinizada na agricultura, pois além de ser ambientalmente melhor, tem a vantagem da segurança do fornecimento de água e conseqüentemente da produção de alimentos (BURN, 2015).

Categoria	Exemplos	Faixa de concentração
Ions mais abundantes	Cl ⁻ , Na ⁺ , Mg ⁺⁺ , SO ₄ ⁻² , Ca ⁺⁺ , K ⁺	mM
Ions menos abundantes	HCO ₃ ⁻ , Br ⁻ , Sr ⁺⁺ , F ⁻	µM
Gases	N ₂ , O ₂ , Ar, CO ₂ , N ₂ O, (CH ₃) ₂ S, H ₂ S, H ₂ , CH ₄	nM a mM
Nutrientes	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , PO ₄ ³⁻ , H ₄ SiO ₄	µM
Metais (traços)	Ni, Li, Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Co, U, Hg	< 0,05 µM
Compostos orgânicos dissolvidos	Aminoácidos e ácidos húmicos	g.L ⁻¹ a mg.L ⁻¹
Colóides	Espuma do mar e flocos	
Particulado	Areia, argila, tecido morto, organismos marinhos, fezes	g.L ⁻¹ a mg.L ⁻¹

Figura 1: Composição química da água salina em ordem de abundância. **Fonte:** Adaptado de LIBES (1992).

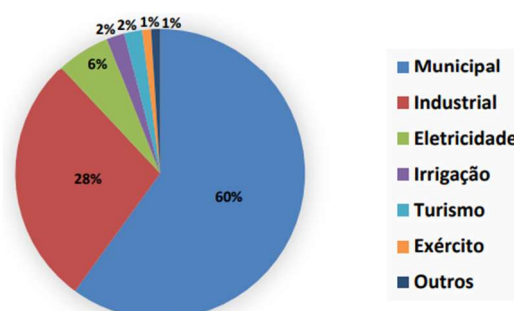


Figura 2: Distribuição mundial da água produzida por dessalinização. **Fonte:** Adaptado de IDA (2013).

O processo de dessalinização da água do mar resulta em duas correntes: corrente de água doce contendo baixa concentração de sais dissolvidos (produto do processo) e a salmoura, corrente altamente concentrada com sólidos totais dissolvidos. Esse processo requer energia na forma de eletricidade, pressão ou calor para dessalinizar, e utiliza diversas técnicas diferentes para separação (KHAWAJI et al, 2008). Esse processo é usado para designar qualquer processo empregado na desmineralização parcial ou completa de águas muito salinas, como a água do mar (35.000 ppm de sais dissolvidos) ou as águas salobras. O objetivo desse processo é diminuir o teor de sal a um grau que torne a água conveniente para ser bebida (preferivelmente com até 500 ppm de sais) e/ou em algumas aplicações industriais (SHREVE, 2016).

Um dispositivo de dessalinização essencialmente efetua a separação da água salina em dois fluxos: um com baixa concentração de sais dissolvidos (o fluxo de água doce, potável) e, o outro contendo os remanescentes sais dissolvidos (o concentrado ou fluxo de salmoura). O dispositivo requer energia para operar e pode usar variadas tecnologias para efetuar a separação (SOUZA, 2016).

Para realizar o processo de dessalinização é necessário promover um pré-tratamento e um pós-tratamento. O pré-tratamento envolve a remoção de gases como o dióxido de carbono (CO₂) e impede que as substâncias normalmente presentes na água bruta tenham perdas de desempenho ou redução na quantidade de água produzida durante a operação normal da estação. No processo de dessalinização por destilação, os maiores pontos de atenção são: a corrosão dos componentes da planta, as incrustações na

superfície dos tubos trocadores de calor, a erosão das partículas sólidas em suspensão e os efeitos específicos de outros constituintes.

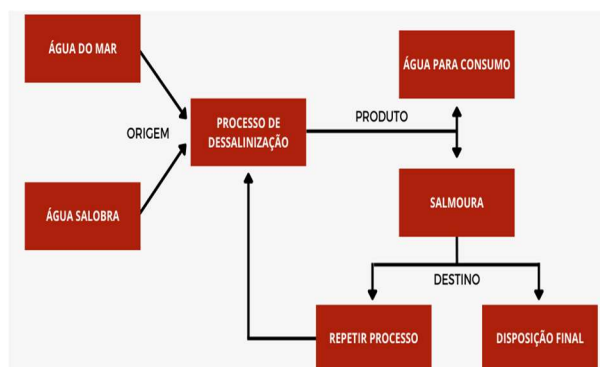


Figura 3: Esquema básico de dessalinização de água. **Fonte:** Adaptado de Araújo (2013).

O pós-tratamento tem o objetivo de finalizar o preparo da água para o uso a ser destinado, no qual esse processo visa o cumprimento das normas de conformidade regulatórias. No Brasil são atualmente adotados, para a água potável distribuída à população, os padrões estabelecidos na Portaria nº. 2.914 que define, além dos padrões-limites, as responsabilidades de cada órgão de saúde em nível federal, estadual e municipal (SILVEIRA, 2015).

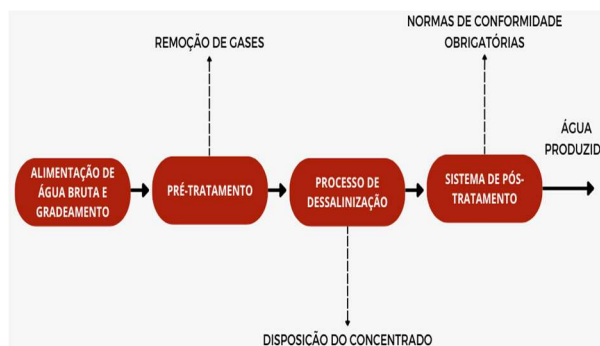


Figura 4: Esquema geral do processo de dessalinização por destilação. **Fonte:** Adaptado de USBR (2008).

Destilação por compressão de vapor

É um processo das operações unitárias também conhecido como destilação à vácuo no qual é baseado nos pontos de ebulição e nas diferenças de volatilidade. Na destilação, uma fase vapor entra em contato com uma fase líquida, onde há uma transferência simultânea de massa do líquido pela vaporização, e do vapor pela condensação. O efeito final é o aumento da concentração do componente mais volátil no vapor e do componente menos volátil no líquido. Uma grande vantagem desse processo está no fato de que não precisa adicionar nenhuma substância para efetivar a separação (FOUST, 2016).

A destilação por compressão de vapor é normalmente utilizada para unidades de dessalinização de água marinha em média e larga escala (SOUZA, 2006). O processo acontece da seguinte forma: É realizada uma redução da temperatura através da redução de pressão. É necessário utilizar um jato de vapor para realizar a condensação e, em seguida, ser produzido calor suficiente para ocorrer a evaporação. O jato de vapor, ou termo compressor, cria e extrai o vapor da água do recipiente principal, criando uma pressão ambiente mais baixa. Ainda segundo Souza (2006), a água que será tratada é pré-aquecida a uma

temperatura de 60 a 100°C pela troca de calor com a condensação do destilado e com o rejeito salino. Para dar a partida e garantir as condições de operação normal, um pré-aquecedor é alimentado externamente. O processo pode ser único ou com vários efeitos. O vapor produzido no efeito é comprimido, mecanicamente ou por termo compressão antes de entrar no condensador e realizar a troca de calor no evaporador. O destilado e o rejeito salino são descarregados através de um trocador de calor (SOUZA, 2016).

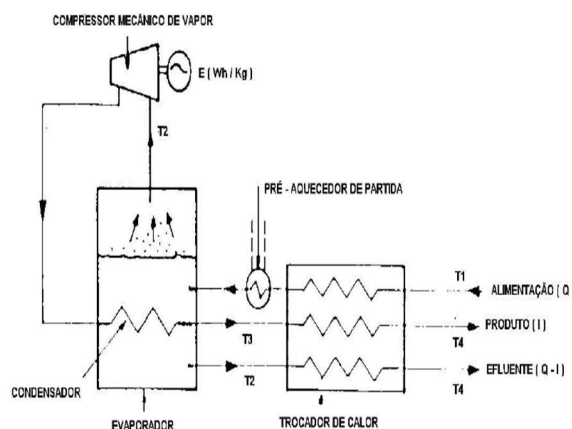


Figura 5: Destilação pelo processo de compressão de vapor. **Fonte:** LORCH (1987).

Um agente separador líquido é superior a um agente separador sólido no transporte de massa do sistema, no grau de solubilidade dos componentes alimentados e na taxa de mistura no ponto da alimentação. Enquanto líquidos se misturam rapidamente, sólidos precisam primeiro dissolver. Isto pode dificultar a rápida difusão do sal após sua alimentação. Devido às restrições nos limites de solubilidade para a escolha do sal, é mais provável que um agente líquido efetivo e solúvel exista para um dado sistema. Todavia, no número relativamente limitado de sistemas, que existe um sal solúvel e efetivo, maiores vantagens são obtidas no uso do sal. Sendo totalmente não volátil, todo o sal flui pelo fundo da coluna, deixando o produto de topo isento do agente separador. Portanto, não há necessidade de outras etapas de separação do produto de topo com o agente separador, como ocorre com agentes líquidos. O consumo de energia na operação é menor, pois parte do agente separador não é vaporizado e condensado em seu ciclo, através da coluna de destilação extrativa, como ocorre quando se utilizam agentes líquidos. Outra principal vantagem é que o efeito pode ser muitas vezes maior do que é possível com agentes separadores líquidos. Isto pode ser explicado pelo fato de as forças de associação serem muito mais fortes por íons salinos do que por moléculas de líquidos. O resultado é que bem menos agente separador é requerido. Enquanto poucas quantias de sal são usadas, agentes líquidos são usados, geralmente, em concentrações de 50-90% da fase líquida. Esta redução acarreta menores dimensões nos equipamentos, como diâmetro da coluna, capacidade de recuperação e reciclo do agente separador (FURTER, 1972).

Este método é considerado por alguns autores como sendo um dos processos de destilação térmica mais eficientes, pois tem uma grande capacidade de dessalinização mesmo quando a água possui níveis de sólidos totais dissolvidos em alta concentração (ARAÚJO, 2013). O processo de dessalinização a compressão de vapor é usado em processo paralelo com outras unidades de produção de água doce, por ter como fonte de energia a eletricidade para o seu funcionamento, faz com que todo o processo de produção tenha seu consumo energético otimizado com máxima produção em funcionamento híbrido (SILVA, 2014).

Ainda segundo SILVA (2014), é a técnica que alguns autores consideram com melhor eficiência entre os dessalinizadores citados. Seu princípio de funcionamento está baseado na transferência de calor por meio de alta compressão de vapor da água gerada na evaporação da água salina a pressão negativa, isto é, o compressor de vapor está com sua aspiração na parte elevada da câmara do processo e sua descarga de vapor sendo fonte calorífica para a evaporação da água salina no evaporador e fonte de aquecimento secundário para o pré-aquecedor da água salina.

O compressor mecânico pode ser acionado a diesel ou eletricidade. Sua capacidade de compressão é que determina e limita a capacidade máxima de produção de água dessalinizada da unidade. A temperatura máxima de operação é de 70°C e seu rendimento atinge 80% nos modelos mais modernos. O consumo de energia elétrica varia de 7 a 12 kWh/m³ e pode atingir a 3000 m³/dia (SILVA, 2014).

O processo de dessalinização a compressão de vapor é usado em processo paralelo com outras unidades de produção de água doce, por ter como fonte de energia a eletricidade para o seu funcionamento, faz com que todo o processo de produção tenha seu consumo energético otimizado com máxima produção em funcionamento híbrido (SILVA, 2014).

CONCLUSÕES

Diante do cenário de seca que assola o nordeste do Brasil, é nítido que é preciso trazer uma perspectiva de melhora na qualidade de vida da população, que precisa de mais acesso à água para suprir as necessidades básicas. Diversas famílias tiram o sustento da agricultura e da criação de animais, e esse fato só deixa mais claro a necessidade de investir no uso de novas tecnologias para frear a escassez de água e oferecer um maior bem-estar para a população. O uso de outros métodos, apesar de efetivos, gera um gasto exagerado de recursos que acaba tornando o processo inviável e/ou desinteressante para investidores e até responsáveis por políticas públicas.

A necessidade do uso da dessalinização e da destilação em larga escala ainda é algo pouco falado devido à falta de acesso e conhecimento sobre esse tipo de processo, o que dificulta os investimentos. Porém, ao final desta pesquisa é possível identificar que a execução do processo de dessalinização por compressão é uma boa opção em termos de relevância dos resultados e economia financeira, além de ser um assunto cada vez mais atual e necessário. São necessárias pesquisas aprofundadas sobre os impactos sociais e ambientais associados à dessalinização, já que com o avanço tecnológico a tendência é a redução dos preços relacionados a esse tipo de processo e a ascensão gradativa do mesmo diante do mercado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. C. S. P. A.. **Contribuição para o estudo da viabilidade/sustentabilidade da dessalinização enquanto técnica de tratamento de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

ARAÚJO, J. C.. **Grande seca de 1877: O horror que destruiu o Nordeste brasileiro.** Brasília, 2014.

BARRETO, P. H.. **História: seca, fenômeno secular na vida dos nordestinos: desafios do desenvolvimento.** 48 ed. Brasília: 2009.

BURN, S.. **Desalination techniques: a review of the opportunities for desalination in agriculture.** Desalination, 2015.

EHRENMAN, G.. From sea to sink: with supplies of water under stress, the prospect of rendering saltwater drinkable is growing more appealing and more affordable. **Mechanical Engineering Magazine**, v.126, n.10, p.38-43, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.2004-OCT-3>

FOUNDATION FOR WATER RESEARCH. **Desalination for Water Supply**. Bucks, 2011.

FOUST, A. S.. **Princípios das Operações Unitárias**. 2016.

FURTER, W. F.. Extractive distillation by salt effect. **Advances in Chemistry Series**, v.115, p.35-45, 1972.

HENTHORNE, L.. Desalination: a critical element of water solutions for the 21st century. In: **Drinking water: sources, sanitation and safeguarding**. 2009. p.47-57

IDA. Internacional Desalination Association. **Desalination Yearbook**, 2013.

KHAWAJI, A. D.; KUTUBKHANAH, I. K.; WIE, J. M.. Advances in seawater desalination technologies. **Desalination**, v.221, n.47-69, p.47-69, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.067>

LORCH, W.. **Handbook of Water Purification**. 2 ed. The Lorc Foundation, 1987.

MOREIRA, T. M. M.; BEZERRA, S. R. A.. Dessalinização: um recurso para o enfrentamento da escassez hídrica. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 10. Anais. 2016.

NETO, A.; LINS, G.. Oito dos nove estados do Nordeste têm municípios em emergência por causa da seca ou estiagem. **G1**, p.1-5, março, 2022.

PEARCE, M.. Novel Findings in Desalination. **Desalination**, v.36, p.13-18, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.020>

SHREVE, R. N.; JR, J. A. B.. **Indústrias de Processos Químicos**. 4 ed. 2016.

SILVA, J. M.. **A tecnologia da dessalinização**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2014.

SILVEIRA, A. P. P.; NUVOLARI, A.; DEGASPERI, F. T.; FIRSOFF, W.. **Dessalinização de águas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SOUZA, L. F.. Dessalinização como fonte alternativa de água potável. **Norte Científico**, v.1, p.84-97, 2016.

SUASSUNA, J.. **A grande seca de 1915: mortos de fome no caminho para os campos de concentração no Ceará**. 2022.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.