

## Artigos

# Dessalinizador solar do tipo cascata aplicado em poços artesianos no interior da Paraíba

## Cascade type solar desalinator applied in artesian wells in Paraíba interior

Maria Karolina Borba Cardoso<sup>1</sup>; Yohanna Jamilla Vilar de Brito<sup>1</sup>; Karyna Steffane Silva<sup>1</sup>; Camylla Barbosa Silva<sup>1</sup>; Carlos Antônio Pereira de Lima<sup>1</sup>; Keila Machado de Medeiros<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Campus de Campina Grande - PB

<sup>2</sup> Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade (CETENS), Campus de Feira de Santana - BA

✉ [borbakarol654@gmail.com](mailto:borbakarol654@gmail.com), [yohannajvb@gmail.com](mailto:yohannajvb@gmail.com), [karynasteffane@hotmail.com](mailto:karynasteffane@hotmail.com), [camyillasilva@hotmail.com](mailto:camyllasilva@hotmail.com), [caplima@uepb.edu.br](mailto:caplima@uepb.edu.br), [keilamedeiros@ufrb.edu.br](mailto:keilamedeiros@ufrb.edu.br)

### Palavras-chave:

Semiárido.  
Escassez hídrica.  
Poços.  
Dessalinização solar.

### Keywords:

Semiárido.  
Water scarcity.  
Wells.  
Solar desalination.

Revisado por pares.  
Recebido em: 13/02/2020.  
Aprovado em: 13/05/2020.

### Resumo

Para o consumo humano e as demais atividades domésticas, os moradores do semiárido brasileiro utilizam águas de diversas fontes. Portanto, a análise da qualidade da água é de vital importância, principalmente por utilizarem águas de poços com alto teor de salinidade. Em contrapartida, é um território de elevada incidência de radiação solar, que é fundamental para a dessalinização via energia solar. Desta forma, nesta pesquisa foram realizadas análises físico-químicas de alcalinidade, cloreto, condutividade elétrica, dureza, pH, sódio e turbidez, com o objetivo de determinar a qualidade da água antes e após o processo de dessalinização solar, como também foi avaliado o rendimento do dessalinizador. As águas dessalinizadas apresentaram resultados muito eficientes na remoção dos parâmetros físico-químicos estudados, estando os mesmos de acordo com os padrões de potabilidade exigidos pela Portaria do Ministério da Saúde vigente no país.

### Abstract

For human consumption and other domestic activities, residents of the Brazilian semiarid use water from different sources. Therefore, the analysis of water quality is of vital importance, mainly because they use well water with high salinity content. In contrast, it is a territory with a high incidence of solar radiation, which is essential for desalination via solar energy. Thus, in this research, physical-chemical analyzes of alkalinity, chloride, electrical conductivity, hardness, pH, sodium and turbidity were carried out, in order to determine the water quality before and after the solar desalination process, in addition, the performance of the desalinator was evaluated. The desalinated water showed very efficient results in the removal of the physicochemical parameters studied, with the same according to the potability standards required by the Ministry of Health Ordinance in force in the country.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i2.29799>

## 1. INTRODUÇÃO

A terra tem um total de 1400 milhões de quilômetros cúbicos de água, dos quais 97% são encontrados nos oceanos. Dos 3% restantes, dois terços são em forma de *icebergs*, lençóis de gelo e geleiras. Isso deixa apenas 1% de água doce que são encontrados em rios, lagos, lagoas, poços, entre outros. Do valor de 1% de água doce, metade é proveniente de água subterrânea (KANADE & BHATTACHARYA, 2016).

A população global aumentou de 2 bilhões em 1950 para uma população atual de 7,4 bilhões. A disponibilidade global de água per capita tem uma relação inversa, diminuindo por um fator maior que 3 durante este período. No entanto, existem razões pelas quais essa conclusão não é global, como o fato

da distribuição do aumento populacional não ser uniforme (LASKHMI et al., 2018).

Há uma escassez aguda de abastecimento de água, energia e alimentos, e a demanda deve aumentar de 40 a 50% até 2050, devido ao aumento da população (KALAIR et al., 2016). O desafio da água em áreas remotas é considerado um dos fatores mais críticos enfrentados pelo consumo humano e pelas necessidades da agricultura.

A disponibilidade de água per capita em muitos locais do mundo está constantemente diminuindo. Há muitos fatores que são responsáveis pelo esgotamento da água doce, alguns deles dizem respeito ao aumento da população, industrialização, urbanização, transporte, entre outros, tornando um

grande desafio para as gerações atuais e futuras. A água é essencial para várias atividades do cotidiano como cozinhar, cultivar e beber (TIWARI *et al.*, 2003).

O Brasil tem posição privilegiada no mundo em relação à disponibilidade de recursos hídricos. O maior consumo brasileiro está na irrigação que utiliza 46% do total de recursos hídricos retirados, a cifra é coerente com o destacado papel econômico do agronegócio no Brasil. Em segundo lugar está o consumo humano urbano com 27%, ficando o uso industrial em terceiro com 18% do total. Apesar da grande disponibilidade, a distribuição dos recursos hídricos no Brasil é bastante desigual em termos geográficos e populacionais. Embora a Amazônia possua 74% da disponibilidade de água, a sua bacia hidrográfica é habitada por menos de 5% da população brasileira, o que explica a baixa utilização do recurso (ANA, 2007).

### 1.1. Estresse hídrico no Semiárido Brasileiro

O semiárido nordestino é o mais chuvoso do planeta, com pluviosidade média de 750 mm.ano<sup>-1</sup>, onde ocorre a irregularidade das chuvas e possuem temperaturas relativamente elevadas. Assim, a convivência com o semiárido não corresponde extinguir a seca, mas adaptar-se ao ambiente de forma inteligente, que corresponde principalmente ao armazenamento de água com o impedimento da evaporação. Dentro desse contexto, a exploração das águas subterrâneas, a partir da perfuração de poços tubulares, se torna uma importante alternativa para o suprimento hídrico nas comunidades rurais do semiárido (SILVINO *et al.*, 2016).

Segundo a Articulação no Semiárido Brasileiro - ASA, o semiárido brasileiro tem área 1.128.697 km<sup>2</sup> (ocupando cerca de 12% do território nacional), englobando 1.262 municípios, com cerca de 27.870.241 habitantes vivendo na região, considerando a delimitação atual divulgada em 2017 (a Resolução 11 de 13 de novembro de 2017 - da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE). Os estados com maior número de municípios na região semiárida são Bahia (278), Paraíba (194), Piauí (185), Ceará (175), Rio Grande do Norte (147) e Pernambuco (123). Integram ainda, a região semiárida os municípios nordestinos dos estados do Maranhão, Alagoas e Sergipe. O único estado que não está na Região Nordeste e possui municípios no Semiárido é Minas Gerais, com 91 municípios, o Maranhão passou a fazer parte do Semiárido Legal em 2017 (IBGE, 2019).

No semiárido do Nordeste brasileiro é claro a carência de água, afetando o comportamento da biota e das comunidades que vivem nessa região. Os problemas existentes comumente estão vinculados em colocar em funcionamento as políticas públicas, direcionadas a gestão dos recursos hídricos. Diferentes políticas públicas com base em uma solução tecnológica específica têm passado pelo semiárido, como ondas: a pequena açudagem, os poços com dessalinizadores por membranas e as cisternas são algumas delas (ANA, 2012).

Um exemplo de técnicas de captação e armazenamento está às cisternas de placas, que são hermeticamente fechadas e captam água das chuvas por meio de calhas (MALVEZZI, 2007). Desta forma, a natureza dos fatores físicos explica o ambiente que caracteriza a paisagem semiárida, onde os solos rasos e pedregosos cobertos por vegetação de caatinga

desafiam o homem, que faz uso destes recursos para sobrevivência, resistindo ao retorno das grandes estiagens (RAMALHO, 2013).

### 1.2. Qualidade das águas

No Brasil, o padrão de qualidade da água destinada ao consumo humano é definido pela Portaria n° 5, de 28 de setembro de 2017 que visa à proteção da saúde pública e o controle de substâncias potencialmente prejudiciais, como micro-organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou venenosas e elementos radioativos, que se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa, coletiva ou individual de abastecimento de água. Os parâmetros são dispostos com seus respectivos valores máximos permitidos - VMP (CASTRO, 2014).

A qualidade da água potável é determinada principalmente pela quantidade de sólidos totais dissolvidos - STD. É importante ressaltar que países diferentes tem regulamentação distinta para o nível de STD, por exemplo, nos Estados Unidos é de 500 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto na Índia é de 250 mg.L<sup>-1</sup>. Os STD na verdade compreendem sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica dissolvida em água. Os principais constituintes dos STD são íons de cálcio, magnésio, sódio e potássio, e ânions de carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato e nitrato (KIM *et al.*, 2019).

A viabilização do uso de águas salobras para o consumo humano através de métodos alternativos de diminuição dos sais e que proporcionem a eliminação de microrganismos patogênicos, que não causem impacto ambiental e sejam economicamente viáveis para pequenos agricultores é de suma importância (MARINHO *et al.*, 2012). Nas comunidades rurais do Nordeste brasileiro, a utilização de águas subterrâneas de poços tubulares é uma alternativa ao abastecimento d'água. No entanto, há uma grande limitação na utilização desses poços para enfrentamento da escassez hídrica, que é o elevado teor de sais dissolvidos (NEVES *et al.*, 2017).

### 1.3. O uso da dessalinização solar

A dessalinização solar é uma alternativa promissora que pode suprir as necessidades humanas de água doce com uma fonte de energia adequada do ambiente. Exibe uma considerável vantagem econômica em relação a outros processos de dessalinização, devido ao recurso livre de custos e à redução do custo de operação e manutenção. Os sistemas de dessalinização solar são usados com uma ampla variedade de designs, configurações, geometria e materiais de fabricação (ELANGO *et al.*, 2015). Embora seja uma tecnologia simples, a purificação de água através da dessalinização solar é bastante eficaz, produzindo água com alto grau de pureza, superior às águas comerciais engarrafadas (FOSTER & AMOS, 2005).

A dessalinização solar pode ser direta ou indireta, dependendo de como a energia solar poderá ser aplicada. Sistemas de dessalinização solar direta, também conhecido como destiladores solares, às águas dessalinizadas são produzidas diretamente no coletor solar, enquanto os sistemas de dessalinização solar indireta a energia solar é recolhida como energia térmica ou elétrica sendo, por sua vez, utilizada para conduzir a dessalinização (AHMED *et al.*, 2019).

A água, quando em estado de pureza, não possui sabor e odor próprios. Por esta razão, a água dessalinizada é desagradável

ao paladar sendo desejável na água potável a presença de algumas substâncias, em baixas concentrações, que promovem a sua palatabilidade. Entre substâncias mais frequentemente encontradas nas águas naturais, encontram-se: os carbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio, ferro, magnésio e sódio, além de alguns compostos de silício e, frequentemente, vários compostos orgânicos (BRANCO, 1986).

Nesta pesquisa, foi analisado o desempenho de um dessalinizador solar tipo cascata, utilizando águas de poços artesianos com o objetivo de obter uma água com padrões de potabilidade para o consumo humano.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo do dessalinizador solar foi construído na Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, na cidade de Campina Grande - Paraíba, a uma latitude  $7^{\circ}13'11''$  sul e longitude  $35^{\circ}52'31''$  oeste, com altitude média de 550 metros, no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais - LAPECA, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA do Centro de Ciências e Tecnologia - CCT.

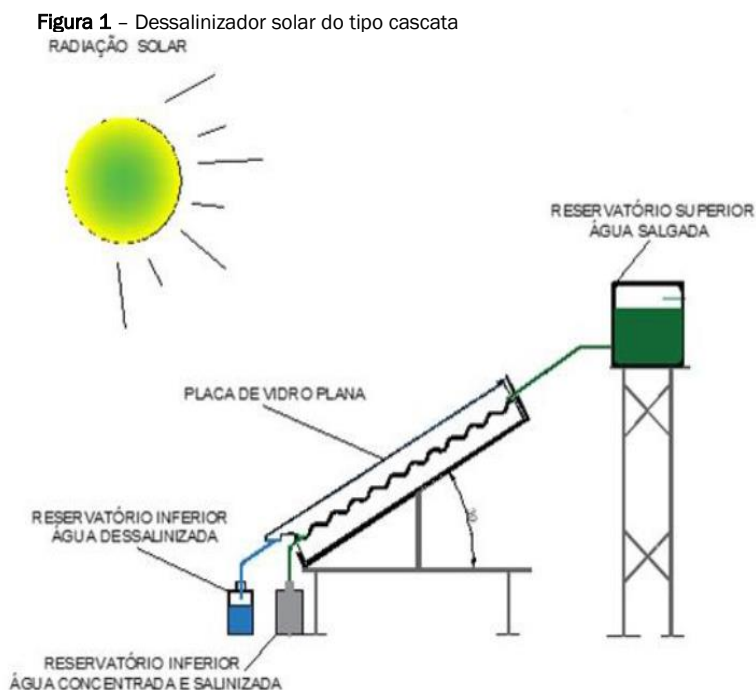
### 2.1. Origem das águas salobras

Nesta pesquisa, foram dessalinizadas águas de poços artesianos que são utilizadas pelas comunidades locais para as suas necessidades diárias. Os poços estão localizados nos

municípios de Caturité-PB (Poço P1) com latitude  $7^{\circ}25'13''$  sul e longitude  $36^{\circ}01'38''$  oeste, com altitude média de 405 metros com área de 118,2 km<sup>2</sup>, e Juazeirinho-PB (Poço P2) a uma latitude  $7^{\circ}04'06''$  sul e longitude  $36^{\circ}34'40''$  oeste, com altitude média de 553 metros com área de 463,8 km<sup>2</sup> e com o objetivo de obter uma água com padrões de potabilidade para o consumo humano.

### 2.2. Sistema de dessalinização

O sistema de dessalinização via energia solar do tipo cascata com seus componentes é ilustrado na Figura 1. O mesmo é composto por três partes principais: a placa absorvedora de calor, o vidro de condensação de água dessalinizada e o sistema de isolamento térmico. O dessalinizador possui comprimento de 145 cm e largura de 55 cm, apresentando uma área de 0,78 m<sup>2</sup>. O mesmo opera com uma inclinação de  $17^{\circ}$  orientado para o norte, com o intuito de maximizar a absorção de calor. A placa absorvedora possui dimensões de 140 cm de comprimento e 50 cm de largura, tem formato de cascata, a mesma foi pintada em preto fosco para aumentar a absorção da radiação, além disso, o formato em cascata favorece o tempo de permanência da água salobra no sistema. A tampa de vidro no topo do dessalinizador tem 3 mm de espessura e a distância entre o vidro e a placa absorvedora é de 4 cm. O dessalinizador é todo isolado com fibra de vidro para diminuir as perdas de calor para o ambiente.



### 2.3. Modo operacional do dessalinizador

O dessalinizador foi alimentado com água salobra coletada nos poços artesianos P1 e P2, a operação do sistema foi realizada em batelada, a água salobra na alimentação transcorre a placa absorvedora e é aquecida pela energia solar. Ao absorver o calor a água salobra evapora e condensa no lado interno do vidro, em virtude da temperatura do vapor de água ser superior à temperatura do vidro. Em seguida, a água condensada é coletada por uma calha, sendo contabilizada por

uma proveta graduada.

O sistema de dessalinização, foi monitorado em 04 experimentos nos dias 26, 27, 28 de novembro de 2019 e outro no dia 02 de dezembro de 2019, no intervalo de 07:00 às 17:00 horas, posicionado em uma área estratégica sem sombreamento. Além disso, foi usado termopares da Alutal Pt-100, para medir a temperatura em diferentes pontos do sistema, que inclui a temperatura da água salobra, temperatura do vidro, temperatura da placa absorvedora, e do isolante térmico, as medições foram executadas a cada 30 minutos. Durante

todo o experimento também foi medido o índice de radiação global, através do radiômetro – solarímetro KIMO SL100.

#### 2.4. Análises físico-químicas das águas

Antes e no final dos experimentos, as amostras de águas salobras e dessalinizadas foram submetidas às análises físico-químicas, com o intuito de obter o seu grau de potabilidade.

No decorrer dos experimentos, a água dessalinizada era recolhida e medida o seu volume em intervalos de 30 minutos, computando o volume total no final dos experimentos. A caracterização da água a ser dessalinizada foi feita por meio das análises de pH, condutividade elétrica, cloretos, dureza, alcalinidade, sódio, temperatura, turbidez e cor, os métodos utilizados estão indicados na Tabela 1, e seguiram as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (RICE et al., 2012).

**Tabela 01** – Metodologia das análises físico-químicas empregadas

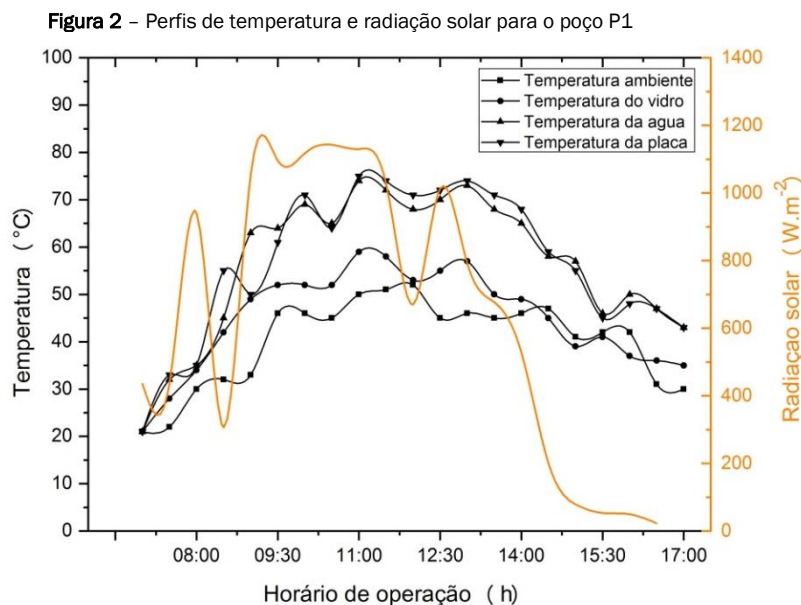
Parâmetro	Unidade	Métodos
pH	adimensional	Potenciométrico
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Condutivímetro
Cloreto	$\text{mg Cl}\cdot\text{L}^{-1}$	Titulométrico - Mohr
Dureza	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	Titulométrico - EDTA
Alcalinidade	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	Titulométrico com indicador
Sódio	$\text{mg Na}^+\cdot\text{L}^{-1}$	Fotometria de chama
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Termopar
Turbidez	NTU	Nefelométrico
Cor	uH	Colorimétrico

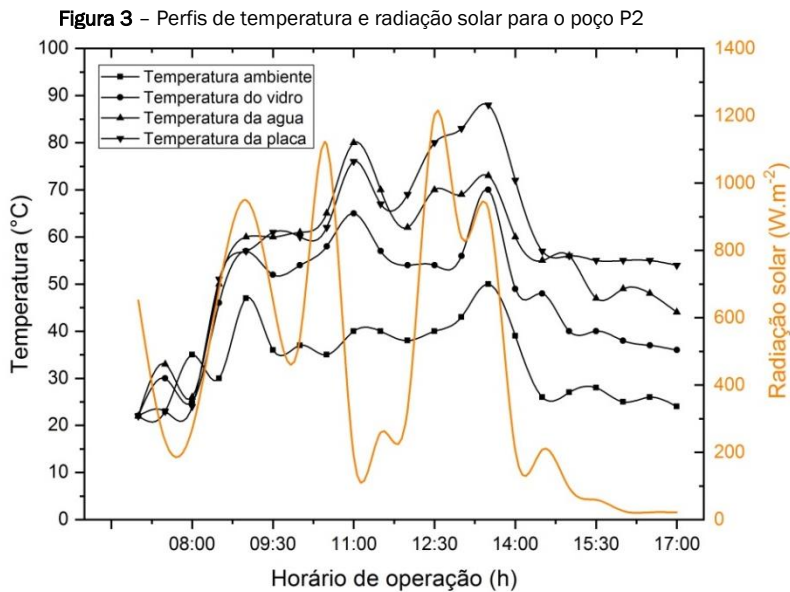
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Perfis de temperaturas e de radiação

O comportamento do desempenho do dessalinizador foi caracterizado pelas diferentes temperaturas que ocorre no seu

interior. Desta forma, a diferença de temperatura entre o vapor de água e o vidro foi fundamental para o aumento da eficiência do dessalinizador. Nas Figuras 2 e 3 pode ser observada a comparação entre a variação das temperaturas, da água, do vidro, do ambiente, do isolante, da placa e da radiação solar, para os poços P1 e P2.





Na Figura 2, para um valor máximo de radiação solar de 1166  $W.m^{-2}$ , foi verificado que as temperaturas da placa e da água permaneceram próximas, em torno de 60 °C e 63 °C, respectivamente. Ainda na Figura 2, podemos observar que as variações de radiação foram atribuídas às oscilações climáticas como a passagem de nuvens, no qual fez com que a temperatura da água fosse ligeiramente maior do que a da placa, beneficiando o processo de dessalinização, pois a água mais quente favorece a evaporação da mesma, e esta variação permaneceram próximas ao longo de todo o experimento.

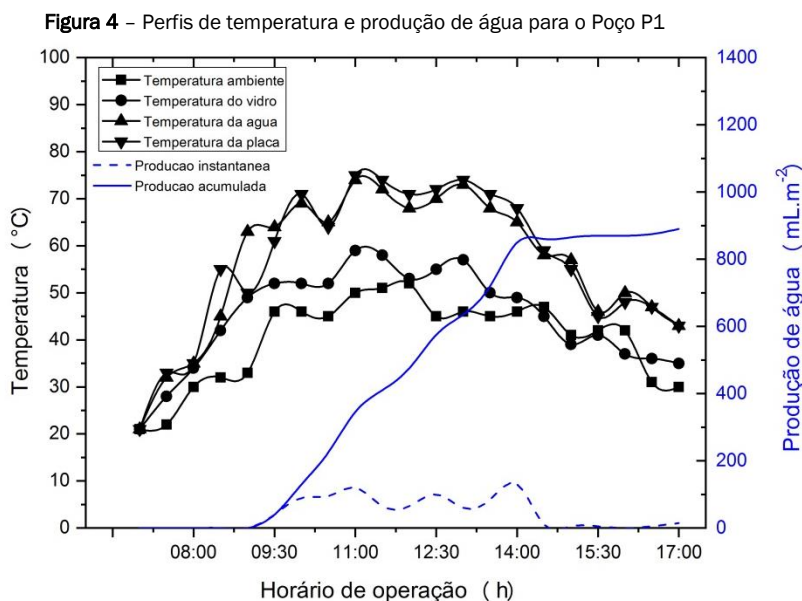
A partir da Figura 3, foi obtido um valor máximo de radiação de 1221  $W.m^{-2}$ , e este foi superior ao encontrado na radiação do poço P1. Além disso, foi observado que as temperaturas da placa e da água foram de 80 °C e 70 °C, respectivamente. Esta maior diferença de temperatura, ocorreu devido o maior índice de radiação ter ocasionado uma maior absorção de calor pela placa. Bouzaid et al. (2019) relataram que um novo

design do dessalinizador melhora a evaporação, aumentando o tempo de permanência da água salobra na placa de absorção.

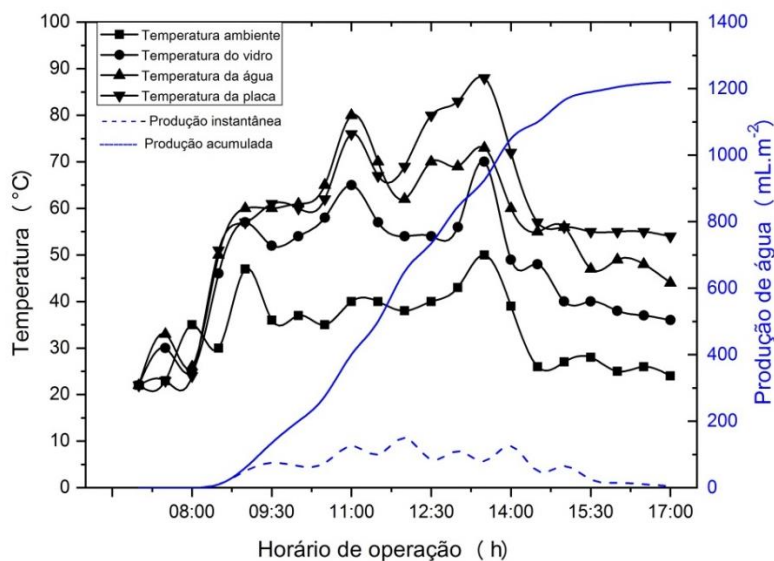
De maneira geral, as temperaturas do dessalinizador nas Figuras 2 e 3 aumentaram de maneira gradual pela manhã, e após as 14:00 horas as temperaturas decresceram gradativamente, conforme a diminuição da intensidade de energia solar no sistema. Resultado semelhante foi encontrado por Hansen (2017) que estudou diferentes configurações de dessalinizadores solar.

### 3.2 Produtividade do dessalinizador

As Figuras 4 e 5 ilustram a produtividade da água dessalinizada com a variação das temperaturas da placa, da água, do vidro e do ambiente, para os poços P1 e P2, respectivamente.



**Figura 5** – Perfis de temperatura e produção de água para o Poço P2



A partir da Figura 4, foi observado que o volume de água instantânea foi diretamente proporcional à temperatura, ou seja, à medida que a temperatura da água foi maior, ocorreu um aumento no volume de água dessalinizada. Deste modo, às 11:00 e as 13:00 horas, quando as temperaturas da placa estavam em seus pontos máximos, houve um aquecimento da água, ocorrendo a sua evaporação e posterior condensação, sendo observado para ambos os casos os maiores volumes após 30 minutos, obtendo uma produtividade de água em torno de 130 mL.m<sup>-2</sup> e 139 mL.m<sup>-2</sup>, respectivamente.

Comportamento semelhante foi encontrado na Figura 5, pois às 14:00 horas, quando a temperatura da placa estava em seu ponto máximo, foi constatada uma produtividade de água em torno de 150 mL.m<sup>-2</sup> após 30 minutos que esta temperatura foi alcançada. Além disso, foi verificado que após as temperaturas da água e da placa chegarem a seus pontos máximos, posteriormente houve um declínio no intervalo entre uma coleta e outra, ocorrendo à redução da água dessalinizada instantânea. Nas Figuras 4 e 5, o maior volume obtido ocorreu após 30 minutos da temperatura máxima da placa, devido o tempo em que a água leva para aumentar a sua temperatura, evaporar, condensar na superfície do vidro e escoar para ser posteriormente recolhida.

Ainda nas Figuras 4 e 5, podemos observar uma produção de

água de 891 mL.m<sup>-2</sup> para uma radiação de 1166 W.m<sup>-2</sup> em P1, e de 1224 mL.m<sup>-2</sup> para uma radiação de 1221 W.m<sup>-2</sup> em P2, confirmando que a maior produtividade de água dessalinizada foi relacionada com a maior radiação solar e que foi obtida para o poço P2, comprovando que as variações climáticas diárias interferem diretamente na produção de água dessalinizada, uma vez que os experimentos foram realizados no mesmo local. Nafey (2000), afirma que a radiação solar é o parâmetro que mais afeta a produtividade, deste modo, a produtividade cresce na medida em que aumenta a radiação solar. Segundo Abujazar et al. (2016), a produtividade está diretamente correlacionada com a quantidade de radiação solar, a temperatura ambiente, a umidade relativa e a velocidade do vento. Ziabari et al. (2013) constataram que uma fina camada de água na placa absorvedora de calor ajudou a evaporação da água salobra e melhorou a produtividade.

### 3.3. Características físico-químicas das águas

Os experimentos de dessalinização foram executados das 07:00 as 17:00 horas, antes do início e no final do processo três amostras de água foram coletadas para a realização de análises físico-químicas da água salobra e dessalinizada, respectivamente. Na Tabela 2 são apresentados os resultados para os poços P1 e P2.

**Tabela 2** – Análises físico-químicas das águas salobras e água dessalinizada

Análises	Poço P1		Poço P2		VMP**
	AB*	AD*	AB*	AD*	
pH (adimensional)	7,5	6,2	7,5	6,0	6,0-9,5
Condutividade elétrica (µS.cm <sup>-1</sup> )	3190,0	16,6	7220,0	17,6	10-100
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	230,0	57,0	302,0	49,0	125,0
Cloreto (mg Cl.L <sup>-1</sup> )	404,7	14,2	291,1	35,5	250,0
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	285,0	5,0	205,0	25,0	500,0
Sódio (mg Na <sup>+</sup> .L <sup>-1</sup> )	420,0	0,0	520,0	0,0	200,0
Temperatura (°C)	27,40	27,0	27,4	27,0	30,0
Turbidez (NTU)	3,0	2,0	2,0	2,0	5,0
Cor (uH)	8,4	5,1	25,0	15,0	15,0

\* AB.= Água Bruta; AD.= Água Dessalinizada.

\*\* Valor máximo permissível pela PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.

A partir da Tabela 2, podemos observar que as águas brutas oriundas dos poços P1 e P2 encontram-se com os padrões de potabilidade acima dos valores máximos permissíveis e regulamentados pela Portaria de Consolidação nº 005/2017 (BRASIL, 2017), evidenciando que as mesmas não são próprias para o consumo humano. Diferentemente, do ocorrido para as águas brutas dos poços P1 e P2, que após o processo de dessalinização verificou-se que todos os parâmetros medidos neste experimento se enquadram dentro dos valores máximos permissíveis pela Portaria, constatando uma redução para os seguintes parâmetros: de 96,49% e 87,80% para o cloreto; de 75,22% e 83,77% para alcalinidade e de 98,24% e 87,80% para a dureza. Além disso, podemos destacar ainda para os poços P1 e P2, uma redução significativa de 99,48% e 99,76% para a condutividade elétrica e de 100% para o sódio, constatando a grande eficiência do dessalinizador estudado.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, concluiu-se que as temperaturas do sistema, o volume de água instantânea, bem como a produtividade de água dessalinizada foram diretamente proporcionais à radiação solar. Além disso, para as águas dessalinizadas dos dois poços (P1 e P2), foi verificado uma redução significativa de todos os parâmetros físico-químicos estudados, estando os mesmos de acordo com os padrões de potabilidade para o consumo humano, exigidos pela Portaria do Ministério da Saúde vigente no país. Portanto, ficou evidenciado a grande eficiência do dessalinizador solar tipo cascata, podendo o mesmo ser aplicado em comunidades isoladas do semiárido paraibano, onde ocorre grande escassez de água potável.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas.

#### REFERÊNCIAS

ABUJAZAR, S. S.; FATIHAH, S.; RAKMI, A. R.; SHAHROM, M. Z. The Effects of Design Parameters on Productivity Performance of a Solar Still for Seawater Desalination: A Review. *Desalination*, v. 385, p. 178-193, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.025>

AHMED, F. E.; HASHAIKEH, R.; HILAL, N. Solar Powered Desalination - Technology, Energy and Future Outlook. *Desalination*, v. 453, p.54-76, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.002>

ANA. Agência Nacional de Águas. *Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. Brasília: 2007.

ANA. Agência Nacional das Águas (Brasil). *Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil: 2012/* Agência Nacional de águas. Brasília, 2012.

BOUZAIID, M.; ANSARI, O.; TAHA-JANAN, M.; MOUHSIN, N.; OUBREK, M. Numerical Analysis of Thermal Performances for a Novel Cascade Solar Desalination Still Design. *Energy Procedia*, v. 157, p. 1071-1082, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.274>

BRANCO, S. M. *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. 3 ed. CETESB/ASCETESB, São Paulo, SP, 1986.

BRASIL. *Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2017.

CASTRO, J. S. O.; JÚNIOR, B. T. B.; PONTES, A. N.; MORALES, G. P. Potabilidade das Águas Subterrâneas para o Consumo Humano na Área do Polo Industrial de Barcarena-Pará. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, n.19, p.2921-2934, 2014.

ELANGO, T.; KANNAN, A.; MURUGAVEL, K. K. Performance Study on Single Basin Single Slope Solar Still with Different Water Nanofluids. *Desalination*, n. 360, p.45-51, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.004>

FOSTER, R. E.; AMOS, W.; EBY, S. Ten Years of Solar Distillation Application Along the U.S.-Mexico Border. *Solar World Congress, International Solar Energy Society* Orlando, Florida, August 11, 2005.

HANSEN, R. S.; MURUGAVEL, K. K. Enhancement of Integrated Solar Still Using Different New Absorber Configurations: An Experimental Approach. *Desalination*, n. 422, p. 59-67, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.08.015>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. *Estimativas Populacionais dos Municípios Brasileiros*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2013/>. Acesso em: 31 jun. 2019.

KANADE, P. S.; BHATTACHARYA, S. S. *A guide to filtration with string wound cartridges*. Elsevier, Amsterdam, 2016.

KALAIR, A. R.; ABAS, N.; HASAN, Q. U.; KAILAR, E.; KAILAR, K.; KANADE, P.; BHATTACHARYA, S. S. *A guide to filtration with string wound cartridges*. 1. ed. Elsevier, p. 1-10, 2016.

KIM, J-S.; JAIN, S.; LEE, J-H.; CHEN, H.; PARK, S-Y. Quantitative Vulnerability Assessment of Water Quality to Extreme Drought in a Changing Climate. *Ecological Indicators*, n.103, p. 688-697, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.052>

LASKHMI, V.; FAYNE, J.; BOLTEN, J. A Comparative Study of Available Water in The Major River Basins of the World. *Journal of Hydrology*, n.2, p.510-532, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.038>

MALVEZZI, R. *Semiárido: Uma Visão Holística*. Brasília: Confea, 2007.

MARINHO, F. J. L.; ROCHA, E. N.; SOUTRO, E. A.; CRUZ, M. P.; TAVARES, A. C.; SANTOS, S. A.; MARCOVICZ, F. Destilador Solar Destinado a Fornecer Água Potável para as Famílias de Agricultores de Base Familiar. *Revista Brasileira de Agroecologia*. n.7, p. 53-60, 2012.

NAFEY, A. S.; ABDELKADER, M.; ABDELMOTALIP, A.; MABROUK, A. A. Parameters Affecting Solar Still Productivity. *Energy Conversion & Management*. v. 41, p.1797-1809, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00188-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00188-0)

NEVES, A. L. R.; MAILSON, P. A.; LACERDA, C. F.; CHEYL, H. R. Aspectos Socioambientais e Qualidade da Água de Dessalinizadores nas Comunidades Rurais de Pentecostes. *Revista Ambiente e Água*, v. 12, n. 1, p. 124-135, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1722>

SILVINO A. S., VIGLIO J. E. FERREIRA L.C. *A Conservação da Caatinga em Diferentes Arenas do Semiárido Brasileiro, Sustentabilidade em Debate*. Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, v. 7, n. Especial, Brasília, 2016. <https://doi.org/10.18472/Sus-Deb.v7n0.2016.18758>

TIWARI, G. N.; SINGH, H. N.; TRIPATHI, R. Present Status of Solar Distillation. *Solar Energy*, n.75, p. 367-373, 2003. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.005>

RAMALHO, M. F. J. L. A fragilidade Ambiental do Nordeste Brasileiro: O Clima Semiárido e as Imprevisões das Grandes Estiagens. *Sociedade e Território*, v. 25, n. 2, p. 104-115, 2013.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; CLASCERI. *Standard Methods*. For the Examination of Water and Wastewater. American Public Washington, DC, 22 ed., 2012.

ZIABARI, F. B.; SHARAK, A. Z.; MOGHADAM, H.; TABRIZI, F. F. Theoretical and Experimental Study of Cascade Solar Stills. *Solar energy*, v. 90, p. 205-211, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.12.019>