

## Aplicação da destilação solar na potabilização de águas contaminadas

Application of solar distillation in potabilization of contaminated water

Aplicación de la destilación solar en la potabilización de agua contaminada

Recebido: 20/08/2021 | Revisado: 29/08/2021 | Aceito: 30/08/2021 | Publicado: 02/09/2021

### **Kênia Kelly Freitas Sarmiento**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6815-9577>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [keniakellys41@gmail.com](mailto:keniakellys41@gmail.com)

### **Bruna Aline Araújo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9429-6994>  
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
E-mail: [brunaaraujo15@gmail.com](mailto:brunaaraujo15@gmail.com)

### **José Everton Soares de Souza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0731-534X>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [everton\\_g3@hotmail.com](mailto:everton_g3@hotmail.com)

### **Larissa Dias Rebouças**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3890-6572>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [larirbcs@gmail.com](mailto:larirbcs@gmail.com)

### **Keila Machado de Medeiros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9250-1432>  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil  
E-mail: [keilamedeiros@ufrb.edu.br](mailto:keilamedeiros@ufrb.edu.br)

### **Carlos Antônio Pereira de Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1301-6066>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [caplima@uepb.edu.br](mailto:caplima@uepb.edu.br)

### **Resumo**

A escassez e a falta de água potável são os desafios mais sérios do século XXI. Diversos fatores podem comprometer a qualidade da água, destacando-se o destino final dos esgotos domésticos, e a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais. Este trabalho tem o objetivo de realizar uma revisão da literatura sobre os poluentes e contaminantes da água, bem como o direcionamento da energia solar em diversos tipos de destiladores (bandeja, pirâmide, filme capilar, mecha e cascata) para potabilização das águas. Além disso, discriminar as características, diferenças e vantagens existentes entre os principais modelos de destiladores. A metodologia deste trabalho foi realizada nas principais e mais importantes bases de dados nacionais e internacionais da área de dessalinização e energia solar. A água destinada ao consumo humano necessita ser potável e estar em conformidade com os padrões microbiológico, físico-químico e radioativo, a fim de não oferecer riscos à saúde. A destilação solar consiste no aquecimento da água pelos raios solares, possibilitando a produção de vapor que é condensado em uma superfície fria e coletado, produzindo água pura. Portanto, os destiladores solar podem ser utilizados para fins domésticos, principalmente em regiões sem acesso à energia elétrica, por ser uma tecnologia social que tem proporcionado benefícios socioeconômicos e ambientais, uma vez que favorece a disseminação social, possibilitando o seu uso individual ou coletivo e fornecendo água descontaminada por meio desta tecnologia sustentável e de baixo custo.

**Palavras-chave:** Contaminação das águas; Energia solar; Destilação; Potabilização.

### **Abstract**

The scarcity and lack of drinking water are the most serious challenges of the 21st century. Several factors can compromise the water quality, highlighting the final destination of domestic sewage, and the inadequate disposal of solid urban and industrial waste. This work aims to carry out a literature review on pollutants and contaminants in water, as well as directing solar energy in different types of distillers (basin, pyramid, capillary film, mech and cascade) for potable water. Furthermore, discriminate the characteristics, differences and advantages existing between the main models of distillers. The methodology of this work was carried out in the main and most important national and international databases in the field of desalination and solar energy. Water intended for human consumption needs to be drinkable and in compliance with microbiological, physical-chemical and radioactive standards, in order not to pose health risks. Solar distillation consists of heating water by the sun's rays, enabling the production of steam that is condensed on a cold surface and collected as water-product, producing pure water. Therefore, solar stills can be used for domestic purposes, especially in regions without access to electricity, as it is a social technology that has provided

socioeconomic and environmental benefits, since it favors social dissemination, making possible its individual or collective use and providing decontaminated water through this sustainable and low-cost technology.

**Keywords:** Water contamination; Solar energy; Distillation; Potabilization.

### Resumen

La escasez y la falta de agua potable son los desafíos más graves del siglo XXI. Varios factores pueden comprometer la calidad del agua, destacando el destino final de las aguas residuales domésticas y la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos e industriales. Este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión de la literatura sobre contaminantes y contaminantes del agua, así como la dirección de la energía solar en diferentes tipos de alambiques (bandeja, pirámide, película capilar, mecha y cascada) para beber agua. Además, discriminar las características, diferencias y ventajas que existen entre los principales modelos de destiladores. La metodología de este trabajo se llevó a cabo en las principales y más importantes bases de datos nacionales e internacionales en el campo de la desalación y la energía solar. El agua destinada al consumo humano debe ser potable y cumplir con las normas microbiológicas, fisicoquímicas y radiactivas, para no representar un riesgo para la salud. La destilación solar consiste en calentar el agua con los rayos del sol, lo que permite la producción de vapor que se condensa en una superficie fría y se recoge, produciendo agua pura. Por lo tanto, los destiladores solares pueden ser utilizados con fines domésticos, especialmente en regiones sin acceso a la electricidad, por ser una tecnología social que ha brindado beneficios socioeconómicos y ambientales, ya que favorece la difusión social, posibilitando su uso individual o colectivo y proporcionando agua limpia a través de esta tecnología sostenible y rentable.

**Palabras clave:** Contaminación del agua; Energía solar; Destilación; Potabilidad.

### 1. Introdução

A água é essencial para o suprimento de alimentos do mundo, para a produção de energia, incluindo bioenergia e energia hidrelétrica, e para o resfriamento de sistemas industriais de energia. A água já é escassa em muitas regiões do mundo e pode apresentar uma situação crítica, à medida que a sociedade tenta simultaneamente mitigar e se adaptar às mudanças climáticas (Kim et al., 2016).

Em uma pesquisa realizada pela Organização das Nações Unidas - ONU, nos últimos 50 anos a disponibilidade de água para o ser humano diminuiu 60%, em contrapartida, a população aumentou em 50%. Ainda, estima-se que 80% das doenças nos países pobres do hemisfério sul estão relacionadas à água contaminada (Bharadwaj et al., 2019). Além disso, a partir de dados fornecidos pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e da *World Health Organization* (WHO), cerca de 2,4 bilhões de indivíduos não tem acesso a serviços de saneamento básico e que nos países em desenvolvimento, até 90% do esgoto é lançado sem tratamento nos mananciais, rios, lagos e áreas costeiras (Jatobá & Loschiavo, 2019).

Mekonnen e Hoekstra (2016) estudaram a escassez global de água e constataram que dois terços da população global, isto é, quatro bilhões de pessoas no mundo vivem em condições de escassez severa de água, pelo menos uma vez por mês ao longo de um ano. E mais de meio bilhão de pessoas no mundo enfrentam grave escassez de água o ano inteiro.

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) é quem acompanha a situação da quantidade de água e realiza o monitoramento, fornecendo informações para o cidadão acerca dos parâmetros da gestão da mesma sob as condições do território nacional. Todas as informações são fornecidas por meio de estudos que resultam em avanços metodológicos e o Manual de Usos Consultivos da Água no Brasil é parte de um estudo abrangente que indica que a demanda por água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas décadas, com previsão de aumento em 24% até 2030 (ANA, 2019).

A água destinada ao consumo humano necessita ser potável e estar em conformidade com os padrões microbiológico, físico-químico e radioativo, a fim de não oferecer riscos à saúde. Para isso, o Ministério da Saúde altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 por meio da Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2021).

A contaminação da água é um problema recorrente e de acordo com Sharma e Bhattacharya (2017) pode se apresentar de forma geológica e antropogênica e é causada pela presença de organismos vivos (algas, bactérias, protozoários ou vírus), e cada um deles pode causar problemas distintos ao ser humano. A necessidade de soluções para fornecimento de água não contaminada resulta em diversos métodos de tratamento e purificação como sedimentação, fervura, destilação, químico, desinfecção e filtração. Portanto, a tecnologia adequada é baseada nas características da água bruta, infraestrutura, acessibilidade e/ou custo e aceitação.

Existem diversas opções para se realizar a destilação e a escolha depende de considerações econômicas e ambientais. A destilação, originalmente desenvolvida para fins industriais, é a técnica mais simples e comum, cujos componentes presentes na água são separados pela aplicação de calor. Resultando na separação entre a água e as substâncias inorgânicas, além dos microrganismos patogênicos (Isenmann, 2018).

Nos destiladores solares, a destilação consiste no aquecimento da água pelos raios solares, propiciando a produção do vapor que, posteriormente, é condensado numa superfície fria e coletado como água-produto. Além disso, a destilação solar poderá produzir água pura a um custo razoável e os testes de laboratório mostram que o destilador pode eliminar, além de sólidos não voláteis, bactérias (Bezerra, 1990).

Sharshir et al. (2016) afirmaram que a quantidade de água produzida por unidade de área por dia pode variar de acordo com o destilador, a insolação e as condições climáticas. Haja vista, que o destilador possui uma configuração geométrica permanente e a produção depende exclusivamente da insolação e das condições ambientais.

De acordo com Jani e Modi (2018) existem vários tipos de destiladores solares, tais como: pirâmide, cascata, multiestágio, filme capilar, mecha, entre outros. Alguns parâmetros podem influenciar o desempenho de um destilador solar com relação à radiação incidente, entre eles, a transmitância da cobertura, a absorvância da cobertura, absorvância da bandeja e a capacidade térmica do sistema. A partir de tais parâmetros tem-se a energia absorvida pelo vidro, energia transmitida pelo vidro, energia absorvida pela bandeja, e a energia estocada no sistema. Considerando-se também as perdas de calor no sistema por meio da cobertura e das paredes (lateral e fundo).

Dentre os destiladores solar, o do tipo cascata apresenta maior produtividade e eficiência se comparado com outros modelos, devido à pequena distância existente entre o vidro de condensação e a placa absorvedora de calor, acelerando o processo de saturação da água e, conseqüentemente, a sua produtividade. Já o destilador do tipo pirâmide possui vantagem em relação ao de bandeja com inclinação única, pois apresenta uma maior área de condensação, resultando no aumento da sua produtividade.

Portanto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre os poluentes e contaminantes da água, bem como o direcionamento da energia solar em diversos tipos de destiladores (bandeja, pirâmide, filme capilar, mecha e cascata) para potabilização das águas, discriminando as suas características, diferenças e vantagens existentes entre os destiladores.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Poluentes da Água**

A poluição da água tem várias causas, como a liberação de efluentes de diversas indústrias, esgoto contendo resíduos domésticos e pesticidas agrícolas, de água superaquecida e de resíduos oleosos. Os poluentes industriais, como mercúrio, cádmio, cromo e chumbo são capazes de entrar na cadeia alimentar e causar doenças no corpo humano. Pesticidas organoclorados, como o diclorodifenil-tricloroetano, na agricultura não são degradáveis e podem ser liberados nas cadeias alimentares. Alguns efluentes industriais também podem causar alterações na cor, odor e sabor da água natural (Hussain & Keçili, 2020).

Basicamente, existem quatro tipos de poluentes que são associados à água: os inorgânicos, orgânicos, radiológicos e biológicos. Dentre os poluentes inorgânicos mais comuns, podemos citar as altas concentrações de dureza, cloretos, sódio, potássio e alcalinidade. Exposição prolongada à água contendo esses sais podem causar cálculos renais, hipertensão, envelhecimento, entre outros problemas. Além disso, existem vários compostos inorgânicos (flúor, arsênico, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, antimônio e cianeto) que podem poluir também as águas (Sharma & Bhattacharya, 2017).

Além das diversas fontes antropogênicas de poluentes orgânicos, as principais são: os pesticidas, resíduos domésticos e industriais. Por exemplo, os pesticidas contaminam tanto os produtos agrícolas quanto os mananciais e fontes de abastecimento. Já os efluentes industriais podem originar subprodutos perigosos por oxidação, hidrólise, ou outras reações químicas. De maneira geral, a poluição por materiais orgânicos pode causar sérios problemas de saúde como câncer, interrupções hormonais e distúrbio do sistema nervoso (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Os poluentes radiológicos presentes na água são encontrados nos solos contaminados ou advindos de resíduos industriais. A erosão de depósitos naturais de certos minerais radioativos pode emitir radiações alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ). Os elementos radiológicos como o urânio, rádio e radônio tendem a ser um problema maior nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais. Todos os tipos de poluentes radiológicos aumentam o risco de câncer (Alireza et al., 2010).

Os poluentes biológicos caracterizam-se pela presença de microrganismos de origem fecal que são geralmente associados ao despejo de esgoto. A contaminação biológica em ambientes aquáticos pode ser indicada pela presença de bactérias, vírus, protozoários e helmintos. A avaliação da qualidade da água, associada aos riscos à saúde pública é necessária para propor efetivas estratégias de remediação e descontaminação microbiana (Blaschke et al., 2016).

## 2.2 Contaminantes da Água

A contaminação da água é o processo de introdução e adaptação de espécies que não fazem parte naturalmente de um dado ecossistema, mas que se naturalizam e passam a provocar mudanças em seu funcionamento. A introdução pode ser realizada intencional ou acidentalmente, por vias humanas ou não. Ao contrário de muitos problemas ambientais que se amenizam com o tempo, a contaminação biológica tende a se multiplicar e se espalhar, causando problemas de longo prazo que se agravam com o tempo e não permitem que os ecossistemas afetados se recuperem naturalmente (Alegbeleye & Sant'ana, 2020).

Nos países em desenvolvimento e industrializados, um número crescente de organismos patogênicos estão contaminando o sistema de abastecimento de água. Cada vez mais, a saúde pública e as preocupações ambientais direcionam esforços para descontaminar as águas anteriormente consideradas limpas. Métodos mais eficazes, de baixo custo e robustos são necessários para desinfetar e descontaminar as águas da fonte ao ponto de uso, sem estressar ainda mais o meio ambiente ou pôr em risco a saúde humana (Shannon, 2008).

Canepari e Pruzzo (2008) relataram que a transmissão de doenças infecciosas pela água acontece não somente em países em desenvolvimento devido à escassez de recursos e métodos para avaliação qualitativa e purificação, mas também em países desenvolvidos são reportadas quase que diariamente as microepidemias.

Diversos fatores podem comprometer a qualidade da água, destacando-se o destino final dos esgotos domésticos, e a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais. Além disso, a modernização da agricultura representa também uma fonte de contaminação das águas. Em muitos locais, o cultivo das lavouras é realizado sem práticas conservacionistas, podendo contaminar os mananciais de água das propriedades (Malheiros et al., 2009). A contaminação da água é aumentada com a destruição das matas, com o uso do solo fora da sua condição de melhor aptidão e com manejo inadequado do solo.

A qualidade microbiológica é uma das características mais importantes da água de consumo, pois a mesma está diretamente ligada com doenças de origem hídrica. Apesar de indispensável para a vida humana, a água pode atuar como um

reservatório de diversos tipos de organismos patogênicos, como bactérias, protozoários e vírus (Braga et al., 2010; Gonçalves, 2003). A Tabela 1 apresenta as categorias, os patógenos transmitidos pela água potável e suas doses mínimas de infecção.

**Tabela 1.** Alguns patógenos transmitidos pela água potável e suas doses mínimas de infecção.

Categories	Patógenos	Doses de Infecção
Bactérias	<i>Salmonella spp.</i>	> 1.000.000
	<i>Shigella spp.</i>	100
	<i>Campylobacters pp.</i>	1.000.000
Protozoários	<i>Cryptosporidium parvum</i>	1-30
	<i>Giardia lambia</i>	1-10
	<i>Entamoeba histolítica</i>	10-1.000
Vírus	Norwalk virus	1-10
	Rotavirus	1-10
	Adenovirus	1-10

Fonte: Doménech (2003).

As bactérias patogênicas são unicelulares microscópicas e podem contaminar as águas, resultando em problemas de saúde como febre tifóide, disenteria, cólera e gastroenterite. Algumas bactérias não patogênicas, embora não seja prejudicial, podem causar problemas de paladar e odor (Fellenberg, 2012).

Os protozoários também são organismos unicelulares e microscópicos, como exemplo, a *giardia lambia* e o *cryptosporidium parvum* são comumente encontrados em rios, lagos e córregos contaminados com fezes de animais ou que recebem água residual de estações de tratamento de esgoto. Estes podem causar diarreia, cólicas estomacais, náuseas, fadiga, desidratação e dores de cabeça (Spiro & Stigliani, 2008).

Os vírus são os menores organismos vivos capazes de produzir infecção e causar doenças. Os vírus da hepatite e da poliomielite são comumente relatados nas águas contaminadas (Rosa, Fraceto & Moschini-Carlos, 2012).

As doenças de veiculação hídrica são causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem humana ou animal, transmitidas pela rota fecal e oral, que são excretados nas fezes de indivíduos infectados e ingeridos na forma de água ou alimento contaminado pela água (Abu Amra & Yassin, 2008).

Jani e Modi (2018) relataram que a maioria da população mundial não tem acesso a água potável, e que é a principal causa de doenças transmitidas pela água, sendo responsável pela morte de mais de 6 milhões de crianças todos os anos. Além disso, a água contaminada pode conter vírus, bactérias, protozoários, impurezas físicas e químicas responsáveis por graves danos à saúde humana. Portanto, a água disponível nas várias fontes aquáticas (rios, lagos, oceanos e chuva) deve ser tratada. E tais poluentes e contaminantes podem ser eliminados usando destilação via energia solar.

### 2.3 Energia e Radiação Solar

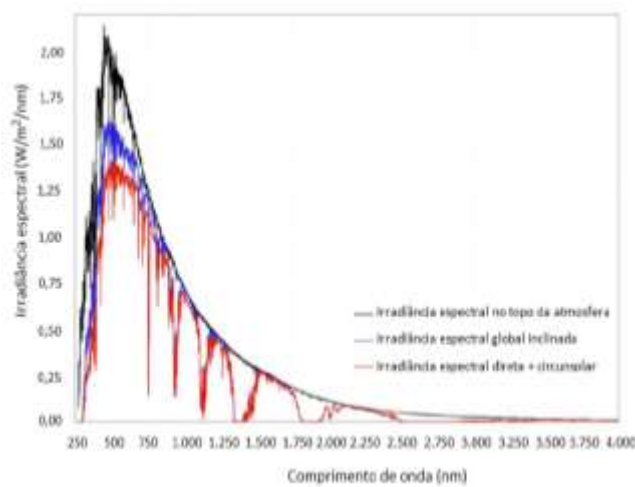
A radiação solar desempenha um papel importante em muitos processos ambientais. Quase todas as fontes de energia usadas pelo homem derivam do sol, e as plantas dependem da energia solar para a fotossíntese e o crescimento. Em virtude de sua interação com o óxido de nitrogênio na atmosfera, a energia solar também afeta a densidade e a poluição do ar (Fellenberg, 2012). Existe um crescente interesse na utilização direta da energia solar para diversos fins, como por exemplo, na destilação de águas. Além disso, através de processos térmicos e fotovoltaicos, tem o potencial de atender as nossas demandas de calefação ambiental, de calor para processos e de eletricidade.

A energia solar é uma energia abundante e disponível em todo o globo terrestre, isto constitui seguramente o fator predominante que faz residir na energia solar uma promissora solução de um grande número de problemas decorrentes da crise energética do início da década de 70, além de constituir um fabuloso potencial energético renovável e inesgotável na escala humana, sendo ainda uma forma de energia limpa e susceptível de inúmeras aplicações. A energia solar apresenta uma

característica importante que é a de não ser poluente, podendo ser utilizada de forma concentrada ou não, dependendo da maneira como ela for captada, os níveis de temperatura obtidos podem variar desde a temperatura ambiente até alguns milhares de graus centígrados (Kalogirou, 2014).

A quantidade de energia solar radiante que chega sobre uma superfície por unidade de área e de tempo é chamada irradiância. A irradiância extraterrestre média normal fora da atmosfera da terra é de aproximadamente  $1,36 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ . Como a órbita da terra é elíptica, à distância sol-terra varia ligeiramente com a época do ano, e a irradiância extraterrestre real varia  $\pm 3,4\%$  durante o ano (Goswami, 2015). Uma fonte de radiação, como o sol, emite radiação em todo o espectro (Figura 1). Por exemplo, decompondo-se a luz solar como um prisma é possível ver um espectro de cores, como as do arco-íris. Outras são invisíveis ao olho humano, mas detectáveis por instrumentos (Incropera & Dewitt, 2014).

**Figura 1.** Distribuição de irradiância no topo da atmosfera.

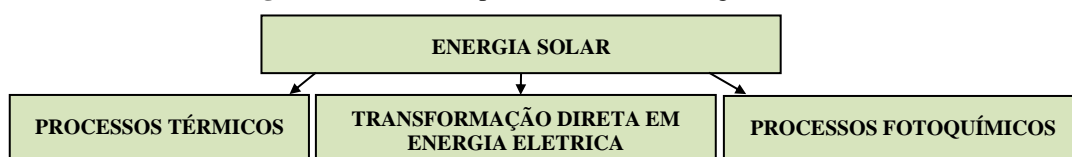


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Quanto aos empregos da energia solar, sabendo-se que a mesma é constituída por radiações eletromagnéticas, podem ser compreendidas desde os raios cósmicos até as ondas longas de rádio; 99% da energia solar radiante de origem térmica está entre 280-780 nm. Sabe-se que a radiação visível está compreendida entre 400-700 nm; a maior parte da energia solar radiante está entre o ultravioleta e o infravermelho (Duffie & Beckman, 2013).

Para utilizar a energia solar, o homem precisa inicialmente transformá-la na forma de energia de que necessita, seja energia elétrica, energia interna, trabalho, energia química, entre outras. Portanto, a forma de conversão é então um fator determinante da tecnologia de captação que deverá ser utilizada. De maneira geral, podemos distinguir as aplicações em duas grandes classes: as que desfrutam de todo o espectro da energia solar incidente, e as que só utilizam determinada faixa do espectro. A Figura 2 ilustra os principais métodos de utilização da radiação solar.

**Figura 2.** Formas de aproveitamento da energia solar.



Fonte: Adaptado de Bertogli et al. (2008).



A radiação solar está se tornando cada vez mais utilizada devida ser uma fonte inesgotável de energia natural que, juntamente com outras formas de energias renováveis, tem um grande potencial para uma ampla variedade de aplicações. A radiação solar está ganhando terreno rapidamente como um complemento às fontes não renováveis de energia, as quais têm um suprimento finito (Acra et al., 1990).

## **2.4 Destilação Solar**

A destilação solar assemelha-se ao ciclo hidrológico natural da água, que inclui duas etapas, a evaporação e a condensação. Pode-se explorar a intensa radiação solar para instalação de destiladores, visto que, é uma fonte de energia limpa e abundante. Os destiladores solares também podem ser utilizados para fins domésticos, principalmente em regiões sem acesso à energia elétrica, por ser uma tecnologia social, tem proporcionado benefícios socioeconômicos e ambientais, uma vez que, favorece a disseminação social, o que possibilita seu uso individual ou coletivo, e não causando impactos ambientais. As unidades de destilação movidas à energia solar podem reduzir as emissões de carbono e fornecer água descontaminada de maneira sustentável, com impactos mínimos no meio ambiente e são adequadas para áreas remotas e rurais, onde não é possível fornecer abastecimento de água potável (Sharon & Reddy, 2015).

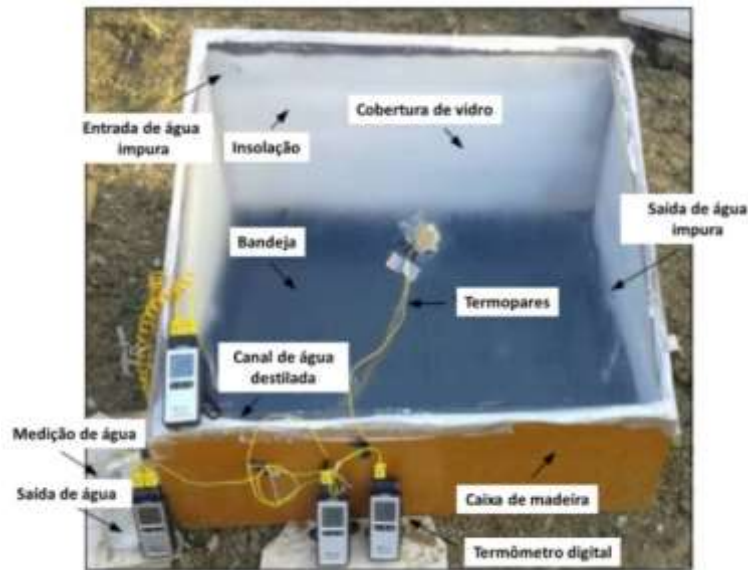
### **2.4.1 Tipos de destiladores solares**

Os destiladores movidos à base de energia solar podem variar desde os modelos convencionais (de simples efeito) até os modelos que foram desenvolvidos a partir deste modelo convencional, com o intuito de melhoria nos rendimentos e, conseqüente, diminuição dos custos. Os destiladores solares são reservatórios de grande área e pequena altura, com cobertura de vidro ou material polimérico, permitindo a livre passagem dos raios solares, gerando vapor, que se condensa para converter-se em água potável, em seguida é enviada para os reservatórios de armazenamento. A seguir podemos observar alguns modelos de destiladores solares do tipo: bandeja, pirâmide, de filme capilar, mecha e cascata.

#### **a) Destilador solar tipo bandeja**

O destilador solar é um dispositivo de baixo custo que produz água potável a partir de água salobra, utilizando a energia do sol. O fenômeno básico deste dispositivo é que a água salobra que fica dentro de um recinto fechado é evaporada usando o calor retido absorvido do sol. Então, esse vapor d'água é condensado nas paredes de vidro do destilador e depois é acumulado ficando as substâncias físico-químicas retidas na bandeja (Ibrahim, Allam & Elshamarka, 2015). O esquema de um destilador solar tipo bandeja é apresentado na Figura 3.

**Figura 3.** Destilador solar do tipo bandeja.



Fonte: Adaptado de Agrawal et al (2017).

Os componentes básicos são: uma bandeja plana de alumínio pintada na cor preta, que tem por objetivo aumentar a absorção de energia incidente, onde é alimentada a água; uma cobertura de vidro por onde a radiação solar entra no destilador, e que serve para condensar a água; as calhas que permitem recolher a água da base da cobertura para o reservatório de armazenamento; e o isolamento na base e nas laterais para evitar as perdas de calor para o ambiente (Agrawal et al., 2017).

#### **b) Destilador solar tipo pirâmide**

O destilador tipo pirâmide possui as mesmas características do destilador do tipo bandeja, diferenciando apenas pela sua cobertura superior que tem a forma de pirâmide. Além disso, a cobertura de vidro pode ser no formato triangular ou quadrada (Sathyamurthy et al., 2014).

As principais vantagens do tipo pirâmide em relação ao modelo convencional são as seguintes: a) um destilador solar convencional deve estar localizado de modo que sua superfície inclinada fique diretamente voltada para o sol e também seja continuamente deslocado de acordo com o movimento do sol para obter a máxima radiação solar, enquanto que no formato pirâmide esse ajuste não é necessário; b) para a mesma área da bandeja, a produção em forma de pirâmide é maior, pois a sua área de condensação é maior do que a de inclinação única do modelo do tipo bandeja (Nayi & Modi, 2018). Na Figura 4 pode ser observado o destilador solar pirâmide.

**Figura 4.** Destilador solar tipo pirâmide.

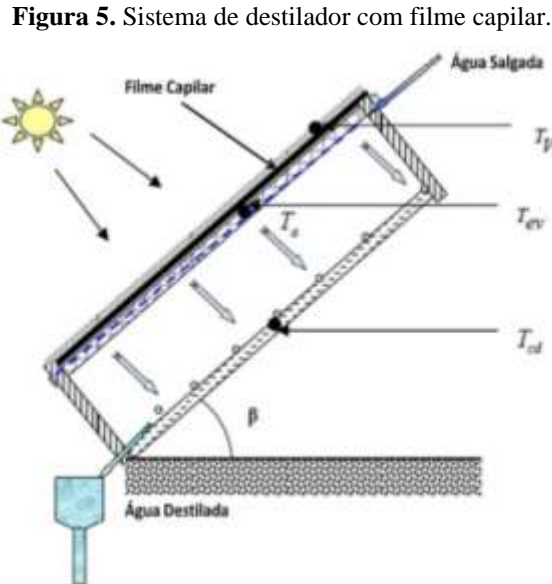


Fonte: Al-Hassan e Algarni (2013).



### c) Destilador solar de filme capilar

O destilador solar tipo filme capilar tem como principal característica o uso da propriedade de capilaridade da água (Boucekima, 2002). Na Figura 5 pode ser observado o diagrama geral de funcionamento.



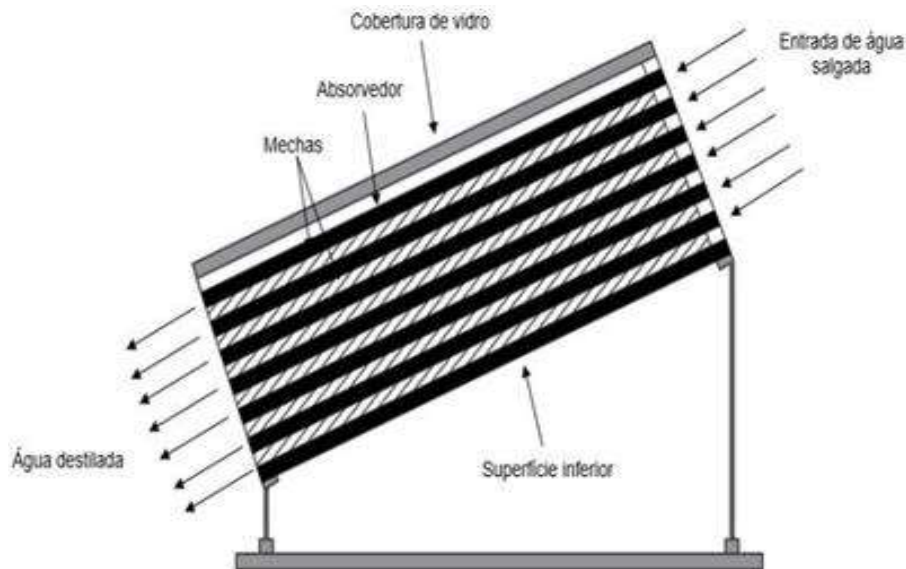
Fonte: Adaptado de Abdenacer, Rym e Yacine (2008).

A Figura 5 é composta por uma tampa de vidro; duas placas de metal dispostas face a face e inclinadas a certo ângulo, a primeira face frontal da placa é pintada de preto; a água a ser destilada escorre lentamente pelo tecido, e do outro lado este tecido é adequado para formar um filme de água capilar; o vapor de água produzido deixa o tecido e se condensará em contato com a segunda placa, a água destilada e o resíduo são recuperados pelos coletores; e o isolamento térmico da unidade é feito por uma placa de madeira.

### d) Destilador solar tipo mecha

Os destiladores solares tipo mecha se caracterizam por possuir uma espécie de tecido recobrindo sua superfície de evaporação que fica cheio de água a ser destilada. Desta forma, a água passa lentamente através deste tecido poroso chamado mecha, absorvendo a radiação. A Figura 6 ilustra o destilador solar tipo mecha.

**Figura 6.** Destilador solar do tipo mecha.



Fonte: Adaptado de Kaviti, Yadav e Shukla (2016).

#### e) Destilador solar tipo cascata

No destilador solar do tipo cascata, a radiação solar aquece a água que evapora e é coletada na parte inferior da tampa de vidro, devido à pequena distância entre a tampa e a placa absorvedora de calor, o destilador fica rapidamente saturado com a água (Cardoso, 2020). Este destilador apresenta maior produtividade e eficiência se comparado com outros modelos, conforme ilustrado na Figura 7.

**Figura 7.** Destilador solar tipo cascata.



Fonte: Abujazar et al. (2018).

### 3. Metodologia

Este trabalho constitui de uma revisão bibliográfica sobre os processos de descontaminação de água via energia solar existentes na literatura. A pesquisa foi realizada nas principais e mais importantes bases de dados (*ScienceDirect*, *Web of Science*, *SciELO*, *PubMed* e *Scopus*) nacionais e internacionais da área de dessalinização e energia solar disponíveis na internet até o final do primeiro semestre de 2021, contemplando os trabalhos acadêmicos e os livros-texto especializados que foram publicados nos últimos anos.

#### 4. Resultados e Discussão

A partir do estudo realizado, foi possível identificar vários tipos de tratamentos por meio da destilação via energia solar para aplicação na potabilização de águas contaminadas, por ser um método eficiente e de baixo custo.

Mcguigan et al. (2006) avaliaram a desinfecção solar da água (SODIS) contaminada experimentalmente para inativar oocistos de *Cryptosporidium parvum* e cistos de *Giardia muris*. As suspensões de oocistos e cistos foram expostas a simulações de irradiação solar global de  $830 \text{ W.m}^{-2}$  para diferentes tempos de exposição e temperatura constante de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Os cistos de *Giardia muris* foram completamente eliminados dentro do período de 4 horas. Os resultados mostraram que cistos de *G. muris* e oocistos de *C. parvum* foram completamente anulados após exposições ao SODIS em lote de 4 e 10 h, respectivamente. Portanto, o SODIS é uma tecnologia apropriada de tratamento de água para uso doméstico, por contaminação patogênica natural ou provocada pelo homem.

Navntoft et al. (2008) observaram uma cinética de inativação para suspensões de *Escherichia coli* em água de poço usando um coletor concentrador parabólico composto (CPC) para aumentar a eficiência do SODIS, sob condições reais de radiação solar (nublado e sem nuvens). Em dias claros, o sistema com refletores de CPC alcançou a inativação completa (redução de mais de 5 logaritmos da população bacteriana abaixo do limite de detecção de  $4 \text{ UFC.mL}^{-1}$ ) uma hora antes do sistema equipado sem CPC. Em dias nublados, apenas sistemas equipados com CPC obtiveram inativação completa.

Polo-Lopez et al. (2011) estudaram reatores de tubo de vidro de baixo custo em conjunto com a tecnologia de CPC, para aumentar significativamente a eficiência da desinfecção solar. O reator foi testado usando *Escherichia coli* como patógeno encontrado na água de um poço natural. O reator aprimorado diminuiu o tempo de exposição necessário para atingir a dose letal de UV-A, em comparação com um sistema CPC. A dose letal de UV-A foi duplicada para evitar a necessidade de um período de inativação, reduzindo significativamente o tempo total de tratamento com SODIS. Usando este reator, o SODIS pode ser utilizado automaticamente a um custo acessível, com tempo de exposição reduzido e intervenção mínima do usuário.

Asadi et al. (2013) realizaram o tratamento de águas residuais sanitárias e industriais em um dessalinizador solar. Os testes foram realizados em escala piloto com uma área efetiva de  $0,8 \text{ m}^2$ . A eficiência de remoção de demanda química de oxigênio (DQO) do dessalinizador foi superior a  $86,83 \pm 3,45\%$ . Foi obtida uma água dentro dos padrões de qualidade em relação aos sólidos totais dissolvidos (STD). O método também teve sucesso na remoção de bactérias. As contagens de bactérias heterotróficas foram enumeradas e determinadas à porcentagem de inativação da contagem de placas heterotróficas (CPH) com uma redução superior a  $86,75 \pm 10,88\%$ .

Ismail et al. (2013) desenvolveram um purificador duplo de água que utiliza o sol como principal fonte de energia, e com materiais de baixo custo para produzir água potável. O sol fornece calor e radiação UV, como os dois principais elementos que destroem os patógenos existentes na água. Dois métodos populares de purificação de água, dessalinização solar e SODIS foram combinados para criar um novo modelo de purificador de água. Os materiais utilizados para este novo modelo teve um papel importante nas avaliações de desempenho do purificador. A eficiência de água purificada do modelo duplo para cada um dos dias de teste teve uma taxa média de 65%. Portanto, o purificador duplo se apresentou como uma alternativa acessível para o uso doméstico, além de requerer pouco ou nenhum treinamento para a sua operação e manutenção.

Dessie et al. (2014) analisaram a eficiência da desinfecção solar usando diferentes parâmetros da água como tecnologia de tratamento de água doméstica de baixo custo. A inativação dos microrganismos foi testada usando o coliforme termotolerante (conhecido por coliforme fecal). O experimento SODIS foi realizado em 2 NTU de turbidez, pH 7 e diferentes temperaturas da água e intensidades solares, usando garrafas de plástico transparentes pintada de preto com diferentes volumes de água. Os resultados mostraram que a taxa de inativação microbiana em relação à profundidade da água, turbidez, tipo e cor do recipiente, intensidade de luz foi eficiente. O crescimento bacteriano não foi observado após a desinfecção solar. Ajustando os parâmetros, ocorreu à completa e irreversível inativação do coliforme fecal em um tempo de exposição inferior a quatro

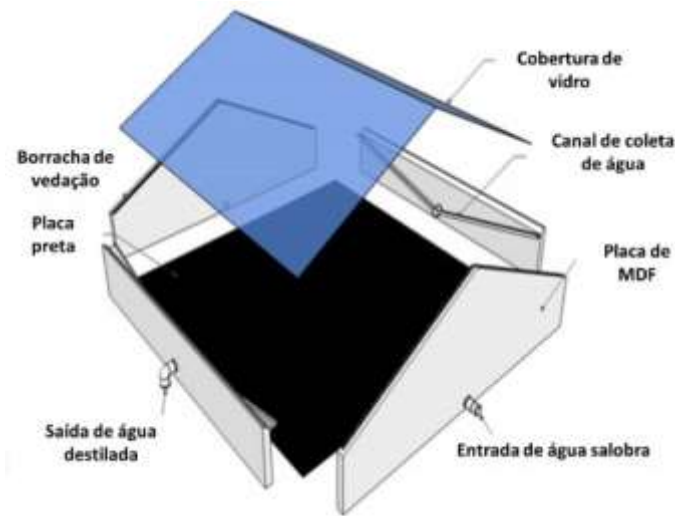
horas nas áreas onde a irradiância solar foi cerca de 3,99 KW.m<sup>-2</sup>. Os resultados indicaram que a aplicação do SODIS poderia desempenhar um papel significativo no fornecimento de água potável nas comunidades rurais dos países em desenvolvimento, onde existe radiação solar em abundância.

Figueredo-Fernández et al. (2017) propuseram uma equação para estimar a dose letal de radiação ultravioleta (UV), de acordo com a radiação que realmente atingiu a água. A equação foi empregada para discutir a desinfecção solar de *Cepas de enterococos* que é evidenciada nas águas residuais usando vários dispositivos de SODIS. Foram utilizados três sacos plásticos e uma garrafa de polietileno tereftalato (PET) típica. Doses de radiação UVA-B (280-400 nm) e UV-A (315-400 nm) foram utilizadas para a desinfecção de *Enterococos*. Os experimentos de campo superaram os resultados de desinfecção obtidos em laboratório, devido às condições de irradiância mais altas encontradas. Portanto, foi constatado que o tempo de exposição solar necessário para uma aplicação segura do método SODIS pode ser estimado com a utilização de medições simples e versáteis para várias condições de irradiância, transmitância UV da água e o tipo de SODIS.

Vivar et al. (2017) analisaram o efeito real da temperatura durante o processo SODIS com água em uma série de experimentos. Três reatores planos de desinfecção foram instalados simultaneamente, um sujeito a SODIS (radiação UV + temperatura), um sujeito à radiação UV natural, mas com temperatura controlada abaixo de 15 °C (apenas radiação UV) e o terceiro no escuro, sujeito ao mesmo perfil de temperatura, seguido do processo SODIS sob o sol (apenas temperatura). Foram avaliados os microrganismos *E. coli* e *Enterococcus spp.* Resultados microbiológicos mostraram forte sinergia de UV e temperatura acima de 45 °C. Abaixo de 40 °C, as experiências ópticas (somente UV) e SODIS seguiram a mesma cinética de desinfecção. Mas, entre 40-45 °C, sob condições UV não tão fortes ou não contínuas, o processo SODIS diminuiu a velocidade em comparação com o processo óptico (somente UV) e o reator térmico detectou crescimento microbiano. Portanto, este estudo confirma que existem certas temperaturas (aquelas na faixa microbiana ideal de crescimento) que pode prejudicar a desinfecção solar.

Nascimento et al. (2018) construíram um destilador solar em escala piloto para verificar a eficiência do equipamento (Figura 8) na desinfecção de água. A destilação natural da água pode destruir e/ou inativar microrganismos que são sensíveis ao calor e a radiação UV-A. Este método foi utilizado para fornecer água potável em navios e para destilação de água salobra. A verificação da eficiência do equipamento foi baseada na determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*), bem como no número do ácido desoxirribonucleico (DNA) do adenovírus humano tipo 5 (HAdV-5) em amostras de água antes e após a destilação. Os resultados demonstraram que houve 100% de remoção de coliformes totais e *E. coli* e 99,98% de remoção do HAdV-5 após a destilação, estando de acordo com o padrão microbiológico de potabilidade determinado pela legislação vigente.

**Figura 8.** Perspectiva isométrica do destilador solar em escala piloto.



Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2018).

Strauss et al. (2018) analisaram a eficiência de 2 sistemas SODIS com CPC. A água da chuva colhida no telhado foi exposta à luz solar direta em um reator de vidro de borossilicato por um período de 8 horas. A água da chuva não tratada e tratada com SODIS (Figura 9) foi analisada por alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos. As concentrações de ânion e cátion permaneceram dentro das diretrizes de água potável. As contagens de *Escherichia coli*, *Legionella* e *Pseudomonas spp.* viáveis foram reduzidas para abaixo do limite de detecção em todas as amostras colhidas nos 2 sistemas. Os sistemas SODIS-CPC melhoraram a qualidade da água da chuva colhida, podendo ser utilizada para fins domésticos.

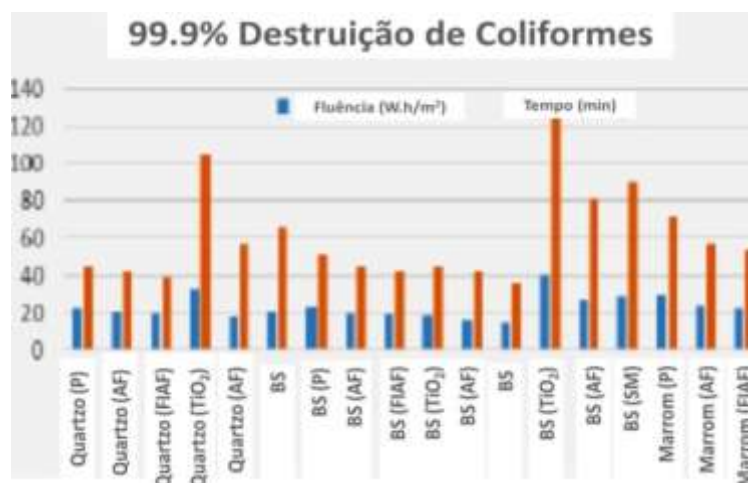
**Figura 9.** Sistemas de coleta de água da chuva.



Fonte: Strauss et al. (2018).

Ayoub e Malaeb (2019) avaliaram a eficiência da inativação bacteriana de reatores solares construídos com diferentes materiais. A constante da taxa de foto inativação (K) foi usada como base para analisar os diferentes reatores. O tipo de contaminante, material do reator, temperatura, tamanho do reator e configuração do reator afetaram o processo SODIS. Entre os contaminantes investigados, *E. coli* ATCC 25922 mostrou menor resistência à foto inativação UV-A, seguida de *E. coli* S22 e coliforme total como mais resistente. Borossilicato e quartzo (Figura 10) foram os materiais que revelaram ter maior transmissão de radiação em comparação com o vidro testado.

**Figura 10.** Níveis de fluência necessários e tempos de exposição para *E.Coli*.



Fonte: Ayoub e Malaeb (2019).

Kvam e Benner (2020) investigaram o mecanismo de foto inativação bacterianas por meio de um protótipo de LED com espectro UV-A (365 nm). A partir dos resultados obtidos, foi visto que as bactérias forçadas à dormência metabólica por dessecação tornaram-se hipersensibilizadas aos efeitos da radiação UV, permitindo assim uma foto inativação significativa inferior à exposição humana. Portanto, esses resultados comprovaram o mecanismo e potencial da aplicação da radiação do espectro UV-A para desinfecção bacteriana.

Higgins et al. (2019), utilizaram um destilador solar caseiro que utiliza um absorvedor de radiação flutuante que foi sintetizado a partir de materiais domésticos tradicionais e uma eficiência fototérmica de 80% foi alcançada sob iluminação solar. Além disso, o novo absorvedor flutuante é fácil de fabricar, pois não requer instrumentos de laboratório sofisticados ou experimentos. O absorvedor flutuante foi testado para dessalinização solar da água do mar usando no destilador solar caseiro (Figura 11), onde a água purificada tinha níveis de salinidade comparáveis a outros níveis de água potável, como água da torneira, água potável envazada e assim por diante. Além dos níveis de salinidade da água, a água purificada obtida da purificação foi testada para colônias de bactérias e nenhuma unidade formadora de colônia (UFC) estava presente, o que novamente sugere que a água purificada obtida é potável do ponto de vista microbiológico, necessitando apenas de um pequeno acréscimo de eletrólitos. Os resultados deste trabalho devem motivar novas pesquisas em materiais fototérmicos simplistas e de baixo custo e sua aplicação na produção de água potável.

**Figura 11.** Destilador solar com absorvedor de calor.



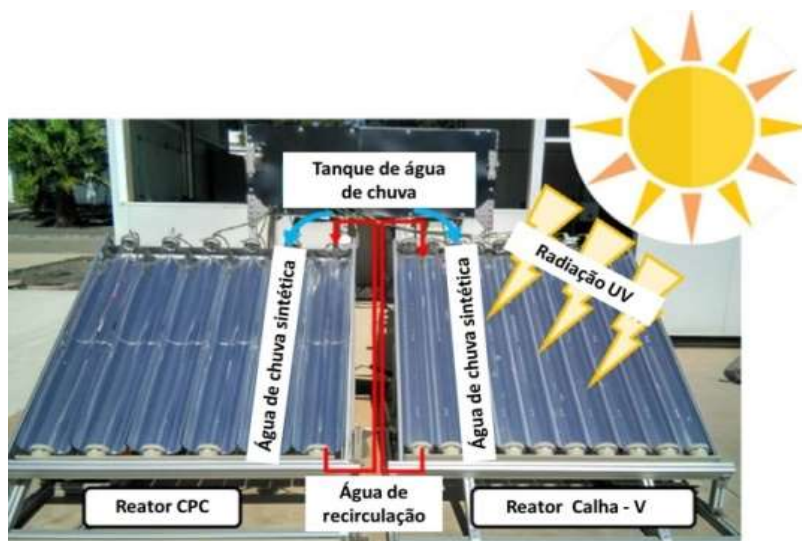
Fonte: Higgins et al. (2019).

Martínez-García et al. (2020) analisaram um foto reator solar baseado em espelhos no formato V como alternativa ao CPC em escala piloto (Figura 12). Para este estudo, foram utilizadas cepas de *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*,



*Salmonella enteritidis* e *Pseudomonas aeruginosa*, patógenos que são comumente encontrados no armazenamento de água de chuva. Os melhores resultados foram obtidos com a calha no formato V em condição estática, e ocorreu uma redução para todas as bactérias. Esses resultados mostram um excelente desempenho da calha em V para esta aplicação, além disso, a mesma é de baixo custo de produzir se comparado com o CPC e permite tratar quantidades acima de 66% de água na mesma área de coleta e no mesmo tempo de tratamento.

**Figura 12.** Novos fotoreatores solar, CPC e Calha-V.



Fonte: Martínez-García et al. (2020).

Parsa et al. (2020) estudaram o desempenho de dois dessalinizadores solar baseados em nanofluidos, expostos a uma altitude em torno de 4000 m (Figura 13). Ao nanofluido foi adicionado 0,04% em peso de prata, devido a sua excelente propriedade óptica, alta condutividade térmica e características antibacterianas.

**Figura 13.** Destilador solar operando com nanofluidos.



Fonte: Parsa et al. (2020).

segundo Parsa et al. (2020), a água produzida nessas condições, a partir de sistemas coletados em garrafas plásticas transparentes expostas a luz solar, durante 8 h de experimento, foi vantajosa para o sistema SODIS. A maior eficiência instantânea de energia e exergia foram obtidas com o nanofluido em 55,98% e 9,27%, respectivamente. Além disso, a eficiência energética e de exergia geral do sistema carregado com nanofluido em comparação com o sistema sem nanofluido melhorou em cerca de 110% e 196%, respectivamente. Finalmente, a exposição da água destilada sob a radiação solar do

SODIS, usando nanopartículas de prata, para a aplicação antibacteriana e melhoria na transferência de calor/massa, resultou na obtenção de uma água mais saudável.

Diante do exposto, foi realizada uma síntese dos principais artigos pesquisados neste trabalho por meio da Tabela 2, apresentando os autores, a tecnologia via energia solar estudada, bem como as suas principais aplicações/tratamentos.

**Tabela 2.** Aplicações de alguns dessalinizadores.

<b>Autores</b>	<b>Tecnologia via energia solar</b>	<b>Aplicações/tratamentos</b>
Mcguigan et al. (2006)	Desinfecção solar da água (SODIS)	Inativação <i>oocistos de Cryptosporidium parvum e cistos de Giardia muris</i>
Navtoft et al. (2008)	Coletor concentrador parabólico composto (CPC)	Observaram uma cinética de inativação para suspensões de <i>Escherichia coli</i> em água de poço
Polo-Lopez et al. (2011)	Reatores de tubo de vidro com CPC	Aumento da eficiência na desinfecção solar de uma água de um poço natural com <i>Escherichia Coli</i>
Asadi et al. (2013)	Dessalinizador solar	Tratamento de águas sanitárias e industriais
Dessie et al. (2014)	Desinfecção solar	Tratamento de água doméstica com inativação de coliformes fecais
Vivar et al. (2017)	Desinfecção solar da água (SODIS)	Tratamento de água contendo microrganismos <i>E. coli e Enterococcus spp.</i>
Strauss et al. (2018)	Desinfecção solar SODIS com CPC	Tratamento de água com <i>Escherichia coli, Legionella e Pseudomonas spp.</i>
Ayoub & Malaeb (2019)	Reatores solar	Avaliaram a eficiência da inativação bacteriana
Higgins et al. (2019)	Destilador solar	Aumento da eficiência fototérmica de 80%
Kvam & Benner (2020)	Desinfecção solar	Inativação de bactérias com dormência metabólica
Martínez-García et al. (2020)	Fotoreator solar em espelhos V	Tratamento de água com cepas de microrganismos
Parsa et al. (2020)	Dessalinizadores solar/nanofluidos	Melhoria no desempenho com prata

Fonte: Autores (2021).

## 5. Considerações Finais

O consumo de água diretamente dos rios, lagos, mares e reservatórios subterrâneos geralmente não é aconselhável, uma vez que estes podem possuir características físicas, químicas e microbiológicas prejudiciais ao ser humano. A disponibilidade e fornecimento de água é um dos principais problemas em muitas regiões do mundo, principalmente nas semiáridas, onde, além de escassa, grande parte é salobra e imprópria para o consumo humano. Esta condição leva à necessidade da utilização de equipamentos e técnicas para tratamentos e posterior utilização. A destilação solar tornou-se uma solução adequada para superar a escassez de água doce, sendo uma fonte de energia abundante e renovável. Sistemas de destilação de pequena escala representam uma fonte valiosa para o fornecimento de água doce quando há disponibilidade de água salgada ou salobra. Os estudos evidenciaram que os protótipos estudados são viáveis para utilização em regiões semiáridas, com destaque para os dessalinizadores solar do tipo ativo por sua maior produção de água, visto que foi possível com os mesmos dessalinizar a água salobra de forma eficiente, deixando-a dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos por órgão reguladores. Portanto, este fato demonstra a importância da aplicação de diversos tipos de destiladores solares como uma alternativa viável, de baixo custo e que atendam as características desejadas, para uma boa funcionalidade e eficiência na obtenção de uma água tratada com padrões de potabilidade para o consumo humano, com o intuito de atender a demanda de água doce em comunidades pertencentes a regiões isoladas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, ao CNPq e a CAPES pelas bolsas de pesquisas concedidas.

## Referências

- Agrawal, A., Rana, R. S., & Srivastava, P. (2017). Heat transfer coefficients and productivity of a single slope single basin solar still in Indian climatic condition: Experimental and theoretical comparison. *Resource-Efficient Technologies*, 3, 466-482. <https://doi.org/10.1016/j.refit.2017.05.003>
- Abujazar, M. S. S., Fatimah, S., Ibrahim, I. A., Kabeel, A. E., & Sharil, S. (2018). Productivity modelling of a developed inclined stepped solar still system based on actual performance and using a cascaded forward neural network model. *Journal of Cleaner Production*, 170, 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.092>
- Abu Amra, S. S., & Yassin, M. M. (2008). Microbial contamination of the drinking water distribution system and its impact on human health in Khan Yunis Governorate, Gaza Strip: Seven years of monitoring (2000-2006). *Public Health*, 122, 1275-1283. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2008.02.009>
- Acra, A., Jurdi, M., Mu'alleem, H., Karahagopian, Y., & Raffoul, Z. (1990). Water Disinfection by solar radiation: assessment and application. 79 p., First edition. Canada: IDRC.
- Al-Hassan, G. A., & Algarni, S. (2013). Exploring of water distillation by single solar still basins. *American Journal of Climate Change*, 2, 57-61. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.21006>
- Alegbeleye, O. O., & Sant'ana, A. S. (2020). Manure-borne pathogens as an important source of water contamination: An update on the dynamics of pathogen survival/transport as well as practical risk mitigation strategies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 227, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113524>
- Alireza, B., Mohammadi, S., Mowlavi, A. & Parvaresh, P. (2010). Measurement of heavy radioactive pollution: radon and radium in drinking water samples in Mashhad. *International Journal of Current Research*, 10, 54-58. <https://doi.org/10.18869/acadpub.Ijrr.15.1.81>
- Ana. Agência Nacional de Águas (Brasil). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil/Agência Nacional de Águas. 75 p.
- Asadi, R. Z., Suja, F., Ruslan, M. H., & Jalil, N. A. (2013). The application of a solar still in domestic and industrial wastewater treatment. *Solar Energy*, 93, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.024>
- Ayoub, G. M., & Malaeb, L. (2019). Solar Water Disinfection: UV radiation transmittance of various solar reactor tubes. *Energy Procedia*, 157, 498-51. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.214>
- Bharadwaj G. V., Ashok B. C., Krishna S. A. M., Jayashankar, N., & Dixit, A. C. (2019). An experimental investigation and performance assessment of a solar water purifier. *International Journal of Mechanical and Production*, 9(5), 403-414. <https://issuu.com/tjprc/docs/35.ijmperdoct201935>
- Bertogli, G., Avila-Merino, A., Bocci, E., Naso, V., & Rotella, R. (2008). Renewable Energy Technologies: Wind, Mini-hydro, Thermal, Photovoltaic Biomass and Waste. First Edition, International Centre for Science and High Technology.
- Bezerra, A. M. (1990). Aplicações Práticas da Energia Solar. Editora: Nobel.
- Blaschke, A. P., Dery, J., Zessner, M., Kimbauer, R., Kavka, G., Strelec, H., Farnleitner, A. H., & Pang, L. (2016). Setback distances between small biological wastewater treatment systems and drinking water wells against virus contamination in alluvial aquifers. *Science of the Total Environment*, 573, 278-289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.075>
- Boucekima, B. (2002). A Solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. *Desalination*, 153, 65-69. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)01094-9](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01094-9)
- Braga, B., Hespagnol, I., Conejo, J. C. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., & Eiger, S. (2010). Introdução à Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. 318p., 2a Edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Brasil. (2021). Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, dispondo sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- Canepari, P., & Pruzzo, C. (2008). Human pathogens in water: insights into their biology and detection. *Current Opinion in Biotechnology*, 19(3), 241-243. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.05.004>
- Cardoso, M. K. B., Brito, Y. J. V., Silva, K. S., Silva, C. B., Lima, C. A. P., & Medeiros, K. M. (2020). Dessalinizador solar do tipo cascata aplicado em poços artesianos no interior da Paraíba. *Águas Subterrâneas*, 34(2), 135-142. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i2.29799>
- Cardoso, M. K. B. (2020). Análise Térmica e Hidrodinâmica de um Dessalinizador Solar Tipo Ondular. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 1402-1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Dessie, A., Alemayehu, E., Mekonen, S., Legesse, W., Kloos, H., & Ambelu, A. (2014). Solar disinfection: an approach for low-cost household water treatment technology in Southwestern Ethiopia. *Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 12(25), 1-6. <http://www.ijehse.com/content/12/1/25>

- Doménech, J. (2003). *Cryptosporidium*/*Giardia*, problemas emergentes en el agua de consumo humano. *Sanidad Ambiental*, 22, 112-116. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13055926>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Fourth Edition, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Fellenberg, G. (2012). *Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental*. 196p. EPU-Gen.
- Figueredo-Fernández, M., Gutiérrez-Alfaro, S., Acevedo-Merino, A., & Manzano, M. A. (2017). Estimating lethal dose of solar radiation for enterococcus inactivation through radiation reaching the water layer. Application to Solar Water Disinfection (SODIS). *Solar Energy*, 158, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.09.006>
- Gonçalves, R. F. (2003). *Desinfecção de Efluentes Sanitários*. 438p., Projeto PROSAB, ABES.
- Goswami, D. Y. (2015). *Principles of Solar Engineering*. Third edition, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Higgins M. W., Shakeelur R. A. R., Ankita E. P., & Neetu J. (2019). Ultra-low-cost cotton based solar evaporation device for seawater desalination and wastewater purification to produce drinkable water, *Desalination*, 456, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.01.017>.
- Hussain, C. M., & Keçili, L. (2020). Chapter 1 - Environmental pollution and environmental analysis. *Modern Environmental Analysis Techniques for Pollutants*, 1, 1-36. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816934-6.00001-1>
- Ibrahim, A. G. M., Allam, E. E., & Elshamarka, S. E. (2015). A modified basin type solar still: experimental performance and economic study. *Energy*, 93, 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.045>
- Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (2014). *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. (7a ed.), LTC Editora.
- Isenmann, A. F. (2018). *Operações Unitárias na Indústria Química*. (3a ed.), Edição do Autor.
- Ismail, S. O., Ojolo, S. J., Orisaleye, J. I., & Alogbo, A. O. (2013). Design and development of a dual solar water purifier. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2(2), 8-17. <https://www.researchgate.net/publication/305639843>
- Jani, H. K., & Modi, K. V. (2018). A review on numerous means of enhancing heat transfer rate in solar-thermal based desalination devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 302-317. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.023>
- Jatobá, R., & Loschiavo, R. (2019). *Atitudes Sustentáveis para Leigos*. Alta Books.
- Kaabi A., Rahmani R., & Khetib Y. (2008). Efficiency of Multi-Stage Solar Still with Capillary Film: Effect of Certain Thermophysical Parameters, The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum.
- Kalogirou, S. A. (2014). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*. 815p. Second Edition, Academic Press.
- Kaviti, A. K., Yadav, A., & A. (2016). Inclined solar still designs: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 429-451. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.027>
- Kvam E., Benner, K. (2020). Mechanistic insights into UV-A mediated bacterial disinfection via endogenous photo sensitizers. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 209, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111899>
- Kim, S. H., Hejazi, M., Liu, L., Calvin, K., Clarke, L., Edmonds, J., & Davies, E. (2016). Balancing global water availability and use at basin scale in an integrated assessment model. *Climatic Change*, 136, 217-231. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1604-6>
- Malheiros, P. S., Schäfer, D. F., Herbert, I. M., Capuani, S. M., Silva, E. M., Sardiglia, C. U., Scapin, D., Rossi, E. M., & Brandelli, A. (2009). Contaminação bacteriológica de águas subterrâneas da região oeste de Santa Catarina, Brasil. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 68(2), 305-308. [http://www.ial.sp.gov.br/resources/instituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/2000/rial68\\_2\\_complet\\_a/1222.pdf](http://www.ial.sp.gov.br/resources/instituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/2000/rial68_2_complet_a/1222.pdf)
- Martínez-García, A., Vincent, M., Rubiolo, V., Domingos, M., Canela, M. C., Oller, I., Fernández-Ibáñez, P., & Polo-López, M. I. (2020). Assessment of a pilot solar V-trough reactor for solar water disinfection. *Chemical Engineering Journal*, 399, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125719>
- Mcguigan, K. G., Méndez-Hermida, F., Castro-Hermida, J. A., Ares-Mazás, E., Kehoe, S. C., Boyle, M., Sichel, C., Fernández-Ibáñez, P., Meyer, B. P., Ramalingham, S., & Meyer, E. A. (2006). Batch solar disinfection inactivates oocysts of *Cryptosporidium parvum* and cysts of *Giardia muris* in drinking water. *Journal of Applied Microbiology*, 101, 453-463. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02935.x>
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), 1-6. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Navntoft, C., Ubomba-Jaswa, E., Mcguigan, K. G., & Fernández-Ibáñez P. (2008). Effectiveness of solar disinfection using batch reactors with non-imaging aluminium reflectors under real conditions: Natural well-water and solar light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 93, 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2008.08.002>
- Nayi, K. H., Modi, K. V. (2018). Pyramid solar still: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.004>
- Nascimento, F. T., Nascimento, C. A., Spilki, F. R., Staggemeier, R., & Lauer Júnior, C. M. (2018). Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. *Revista Ambiente & Água*, 13(4), 1-12. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2084>
- Parsa, S. M., Rahbar, A., Koleini, M. H., Javadi, Y. D., Afrand, M., Rostami, S., & Amidpour, M. (2020). First approach on nanofluid-based solar still in high altitude for water desalination and solar water disinfection (SODIS). *Desalination*, 491, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114592>

- Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPTEL CRESESEB.
- Polo-Lopez, M. I., Fernandez-Ibanez, P., Ubomba-Jaswa, E., Navntoft, C., Garcia-Fernandez, I., Dunlop, P. S. M., Schmidt, M., Byrne, J. A., & Mcguigan, K. G. (2011). Elimination of water pathogens with solar radiation using an automated sequential batch CPR Reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 196, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.052>
- Rosa, A. H., Fraceto, L. F., & Moschini-Carlos, V. (2012). Meio Ambiente e Sustentabilidade. 412p., Bookman.
- Spiro, T. G., & Stigliani, W. M. (2008). Química ambiental. (2a ed.). 352p. Pearson Universidades.
- Sathyamurthy, S., Kennady, H. J., Nagarajan, P. K., & Amimul, A. (2014). Factors affecting the performance of triangular pyramid solar still. *Desalination*, 344, 383-390. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.04.005>
- Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marinas, B. J., & Mayes, A. M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452, 301-310. <https://doi.org/10.1038/nature06599>
- Sharma, S., & Bhattacharya, A. (2017). Drinking water contamination and treatment techniques. *Applied Water Science*, 7, 1043-1067. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0455-7>
- Sharon, H., & Reddy, K. S. (2015). A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080-1118. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.002>
- Sharshir, S. W., Yang, N., Peng, G., & Kabeel, A. E. (2016). Factors affecting solar stills productivity and improvement techniques: A detailed review. *Applied Thermal Engineering*, 100, 267-284. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.041>
- Strauss, A., Reyneke, B., Waso, M., & Khan, W. (2018). Compound parabolic collector solar disinfection system for the treatment of harvested rainwater. *Environmental Science Water Research & Technology*, 4, 976-991. <https://doi.org/10.1039/C8EW00152A>
- Vivar, M., Pichel, N., Fuentes, M., & López-Vargas, A. (2017). Separating the UV and thermal components during real-time solar disinfection experiments: The effect of temperature. *Solar Energy*, 146, 334-341. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2017.02.053>