

Desempenho de estrutura para o tratamento de água de origem pluvial baseada no método SODIS

A água é fundamental para a vida, no entanto seu acesso pode ser restrito por questões de potabilidade e condições geográficas, como aquelas observadas no meio rural. Nesse contexto, o método Solar Water Disinfection (SODIS) representa uma alternativa simples e de baixo custo para a inativação de micro-organismos responsáveis por doenças de veiculação hídrica. O objetivo do presente trabalho foi construir e avaliar o desempenho de uma estrutura baseada no método SODIS, para o tratamento da água de origem pluvial. A estrutura foi constituída de materiais de baixo custo, como garrafa PET, na qual se armazenava a água bruta; e uma calha de PVC de 120mm, para se acomodar o recipiente com água. Foram montadas duas estruturas, a primeira utilizando um refletor constituído de papel alumínio, e a segunda sem refletor. As amostras de água pluvial foram coletadas junto ao sistema de aproveitamento de água da chuva instalado no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS-Unesp), no período de fevereiro a junho de 2021. As análises de pH (pHmetro digital), temperatura (termômetro infravermelho), Cor (colorímetro), Turbidez (turbidímetro), sólidos totais, oxigênio dissolvido (oxímetro), nitrogênio total e fósforo total (espectrofotômetro HACH DR 3900), e E.Coli (método Colilert) foram realizadas na água bruta e tratada, no laboratório de Água e Solo do ICTS-Unesp. Os resultados em ambas estruturas, atingiram uma eficiência de 100% na neutralização da bactéria E.Coli e reduziram a turbidez. Todavia, para adequar os padrões físico-químicos de potabilidade, torna-se necessário um tratamento secundário.

Palavras-chave: Sistema de aproveitamento de água da chuva; Segurança hídrica; E.Coli.

Structure performance for the treatment of rain source water based on the SODIS method

Population in urban and rural areas are water insecure due to a lack of access to drinking water. In this context, the Solar Water Disinfection (SODIS) method represents a simple and low-cost alternative for the inactivation of microorganisms responsible for waterborne diseases. The objective of the present work was to build and evaluate the performance of a structure for the treatment of rainwater based on the SODIS method. Low-cost materials, such as a PET bottle to store raw water; and a 120 mm PVC pipe, constituted the structure. Two structures were assembled, the first using a reflector made of aluminium foil and the second without a reflector. Samples of rainwater from the rainwater harvesting system installed at the Institute of Science and Technology of Sorocaba (ICTS-Unesp) were collected from February to June 2021. The analysis of pH (digital pHmeter), temperature (infrared thermometer), Color (colourimeter), Turbidity (turbidimeter), total solids, dissolved oxygen (oximeter), total nitrogen and total phosphorus (HACH DR 3900 spectrophotometer), and E.Coli (Colilert method) were performed on raw and treated water, in the Water and Soil Laboratory of ICTS-Unesp. The results in both structures reached an efficiency of 100% in the neutralization of E.Coli bacteria and reduced turbidity. However, secondary treatment is necessary to adjust the physical-chemical standards of potability.

Keywords: Rainwater harvesting system; Water security; E.Coli.

Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **04/02/2022**

Approved: **23/02/2022**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Vitor Kendi Aquinaga

Universidade Estadual Paulista, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7399933673066083>

vitor.kendi@unesp.br

Gerson Araujo de Medeiros 

Universidade Estadual Paulista, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/8657413561406750>

<http://orcid.org/0000-0002-9122-3909>

gerson.medeiros@unesp.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0010

Referencing this:

AQUINAGA, V. K.; MEDEIROS, G. A.. Desempenho de estrutura para o tratamento de água de origem pluvial baseada no método SODIS.

Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.13, n.2, p.104-116, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0010>

INTRODUÇÃO

Na Agenda Global da Água, a Organização das Nações Unidas (ONU) conceituou a segurança hídrica como uma situação em que cada pessoa tenha condições de acesso à água potável de maneira confiável, a um preço acessível, de tal forma que o sistema ecológico produtor desta água seja também preservado (UN-WATER, 2013). Logo, a falta de acesso adequado à água de boa qualidade e quantidade para fins de subsistência, bem-estar humano e para o seu desenvolvimento econômico, configura-se como um quadro de insegurança hídrica (OPAS, 2019).

No Brasil, a população atendida por redes de abastecimento de água atingiu cerca de 161 milhões de pessoas, ou 76% da população, em 2018 (BRASIL, 2019). Todavia, em 2013 somente 32% dos domicílios da zona rural recebia água tratada, gerando um quadro de vulnerabilidade quanto a segurança hídrica (IBGE, 2014). Assim, o desenvolvimento de tecnologias e métodos para o tratamento da água assume importância, especialmente se voltadas a populações desassistidas e vulneráveis ambiental, social e economicamente, como aquelas do meio rural ou periurbano (BLANCO et al., 2016; ARANTES et al., 2015).

Existem formas simples e de baixo custo para o tratamento de água, incluindo a fervura, a cloração e a filtração. Tais tratamentos podem ser utilizados para melhorar a qualidade de vida de pessoas com acesso restrito a água potável e vivendo em áreas isoladas.

Nesse contexto se insere o método Solar Water Desinfection (SODIS), uma técnica desenvolvida para atender populações isoladas e sem acesso a água tratada. Essa técnica consiste em armazenar água em recipientes transparentes de plástico ou vidro, os quais são expostos a luz solar, em intervalos de tempo que variam de 6 a 48 h, dependendo da intensidade da radiação solar e da sensibilidade dos patógenos (McGUIGAN et al., 2012; BITEW et al., 2020). Seu efeito germicida é baseado na combinação de dois fenômenos: o aquecimento térmico e a radiação ultravioleta (UV) (McGUIGAN et al., 2012). Segundo esses autores, pela sua simplicidade e baixo custo, o SODIS se popularizou e tem sido disseminado em mais de 50 países da Ásia, América Latina e África, abrangendo uma população superior a 5 milhões de pessoas. Essa técnica pode ser complementada por um tratamento secundário com a utilização de filtros, quando necessário (BITEW et al., 2020).

O método SODIS possui algumas vantagens com relação ao tratamento por fervura de água, o mais utilizado em locais com dificuldade de acesso ao saneamento básico e água potável, pois a fervura apresenta riscos de acidentes, caso o manejo da fonte de calor for inadequado (GIL et al., 2021). Todavia, o desempenho do método SODIS pode ser influenciado por condições climáticas desfavoráveis como ventos fortes, afetando a estabilidade das estruturas de tratamento; pela dificuldade de acesso aos recipientes transparentes; e pela falta de conhecimento, gerando dúvidas sobre a eficiência do método (MARTÍNEZ et al., 2020)

Existem fatores que influenciam na eficiência do método SODIS como o volume de água do recipiente (CHAÚQUE et al., 2021), a turbidez (AMIRSOLEIMANI et al., 2021), a radiação solar (ABOUSHI et al., 2021; MALAVIKA et al., 2021), e o tempo de exposição (CAHINO et al., 2021); além das condições climáticas, pois um ambiente mais nublado exige um aumento significativo do tempo de exposição ao Sol para a inativação

microbiológica (KUMAR et al., 2021).

O método SODIS reduz a turbidez da água, pela deposição das partículas suspensas (KARIM et al., 2021). A turbidez afeta o desempenho do método SODIS, pois quanto mais turva a amostra de água, maior tempo de exposição ao Sol é necessário para a inativação dos micro-organismos (DÍAZ et al., 2020; KHEDIKAR et al., 2021).

A maior disponibilidade de radiação solar é outro fator que melhora a eficiência do método SODIS (KARIM et al., 2021). Por esse motivo, o tempo de inativação dos micro-organismos pode ser reduzido ao se utilizar refletores, como é apresentado por Malavika et al. (2021). A inclinação da estrutura de tratamento também influencia na temperatura da água e, conseqüentemente, na sua eficiência (MALAVIKA et al., 2021).

Modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para estimar a eficiência da inativação bacteriana pelo método SODIS, baseados em dados de radiação solar, temperatura ambiente, e cobertura por nuvens. (SANSEGUNDO et al., 2021).

No Brasil, pesquisas têm sido desenvolvidas para o aprimoramento dessa técnica, tanto para o tratamento da água de abastecimento (LIMA et al., 2021; SILVA et al., 2021; CAHINO et al., 2021) quanto de efluentes líquidos (SANTOS et al., 2021). Todavia, mais estudos são necessários para a verificação da aplicabilidade dessa técnica na abrangência geográfica. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de uma estrutura baseada nos princípios do tratamento pela técnica SODIS, para tratar água de origem pluvial.

METODOLOGIA

Preparo da estrutura e monitoramento da temperatura da água

Na estrutura de tratamento foram utilizados materiais de baixo custo (cerca de R\$35,00 para tratar 6 litros de água por ciclo de exposição) e acessíveis no mercado de construção civil, além de sua fácil manipulação. A estrutura foi instalada diretamente em piso de concreto nas instalações do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS-Unesp) (Coordenadas geográficas 23°28'44"S 47°24'59"O), ao ar livre, para simular a condição de manuseio mais acessível para o usuário do meio rural ou periurbano.

A estrutura era composta por garrafa PET de 1,5 L, assentada sobre uma calha de PVC, obtida a partir de um corte longitudinal de uma tubulação com 100 mm de diâmetro e comprimento de aproximadamente 0,5 m. Em seguida, foi colado papel alumínio em uma das calhas (Figura 1), correspondendo ao tratamento para aumentar a radiação solar no recipiente contendo água. Após a montagem, as estruturas foram expostas ao Sol durante 6 horas, no sentido Leste-Oeste, e a temperatura da água nos recipientes foi medida em intervalos de 15 minutos utilizando um termômetro infravermelho.



Figura 1: Estrutura SODIS com refletor para favorecer a reflexão dos raios solares no interior do recipiente contendo água bruta.

Coleta das amostras e análises físico-químicas e microbiológicas

O sistema de aproveitamento de água da chuva no ICTS-Unesp coletou a precipitação escoada no telhado e a armazenou em cisterna de 240 L. As coletas das amostras de água bruta foram realizadas nessa cisterna, utilizando garrafas PET de 1,5 L. Para realizar essas coletas esvaziou-se a cisterna nos dias anteriores aos eventos de precipitação.

As análises da qualidade da água bruta e tratada foram realizadas no Laboratório de Água e Solo do ICTS-Unesp. Os seguintes parâmetros físicos e químicos foram avaliados, conforme metodologia estabelecida por APHA (2012): pH (pH metro TECNAL, modelo TEC-3MP), cor (colorímetro QUIMIS, modelo Q406COR) Turbidez (turbidímetro portátil QUIMIS, modelo Q279P), sólidos totais (método gravimétrico conforme a Norma NBR 10.664/89 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT), oxigênio dissolvido (Oxímetro DM-4P), nitrogênio total e fósforo total (Método HACH[®] 8190 e 10071, usando bloco digestor CienlaB, e um espectrofotômetro DR 3900 HACH[®]).

As análises microbiológicas das amostras de água consistiram na contagem dos coliformes totais e *Escherichia coli* (*E.coli*) usando Defined Substrate Technology (DST). O substrato cromogênico utilizado foi COLILERT 18 (IDEXX Laboratories Inc., Westbrook, Maine, USA), o qual tem sido recomendado e usado para análises de qualidade de água natural por Fremaux et al. (2009) e Medeiros et al. (2017).

Dados meteorológicos

Os dados de temperatura do ar e radiação global foram obtidos junto à estação meteorológica automatizada, localizada na Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (Fatec), no município de Sorocaba (Coordenadas geográficas 23°28'47"S 47°25'35"O). A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros meteorológicos e condições climáticas observados nas datas de tratamento da água (13, 18 e 23 de fevereiro e 4 de junho de 2021). Portanto, no mês de fevereiro, característico do verão, observou-se dias de tratamento representativos de condições chuvosa, nublada e ensolarada. O mês de junho é representativo do outono. O período de inverno em Sorocaba é predominantemente seco (CONCEIÇÃO et al., 2013), o que não permitiu a coleta de amostras de água nessa estação do ano.

Tabela 1: Parâmetros meteorológicos nas datas de tratamento da água da chuva pelo método SODIS.

Data	Temperatura Mínima ----- °C -----	Temperatura Máxima	Condição Climática
13 fevereiro	24,8	28,0	Chuvoso
18 fevereiro	24,4	30,6	nublado
23 fevereiro	25,3	33,2	ensolarado
04 junho	20,2	28,5	ensolarado

RESULTADO E DISCUSSÃO

Resultados das análises físico-químicas da água pluvial

A Figura 2 apresenta a variação do pH nas datas de coleta de água. No verão o pH variou de 6,0 a 6,3, considerando as amostras de água bruta e tratada, para ambas as estruturas testadas, enquanto no outono foi observado um pH variando de 5,4 a 5,7. Esse fenômeno também foi observado por Conceição et al. (2013) em avaliação da qualidade da água da chuva coletada no ICTS-Unesp. Segundo esses autores, o mais abundante íon encontrado na chuva de Sorocaba corresponde ao Ca^{2+} , sendo o principal responsável pela variação do pH da chuva. As fontes desse íon na atmosfera de Sorocaba estão relacionadas à poeira resultante das maiores minas de calcário e fábricas de cimento do Brasil, localizadas no Sudeste desse município (CONCEIÇÃO et al., 2013). Todavia, essa faixa de valores de pH não influencia na eficiência do tratamento SODIS, pois segundo Fisher et al. (2008) a condição ácida da água favorece a inativação de *E. Coli*.

Os resultados do pH permitem inferir que não houve qualquer tendência de influência dos tratamentos nesse parâmetro de qualidade da água. Resultados semelhantes foram obtidos por Lima et al. (2021) no tratamento de água de açude utilizando o método SODIS associado a outras técnicas de baixo custo.

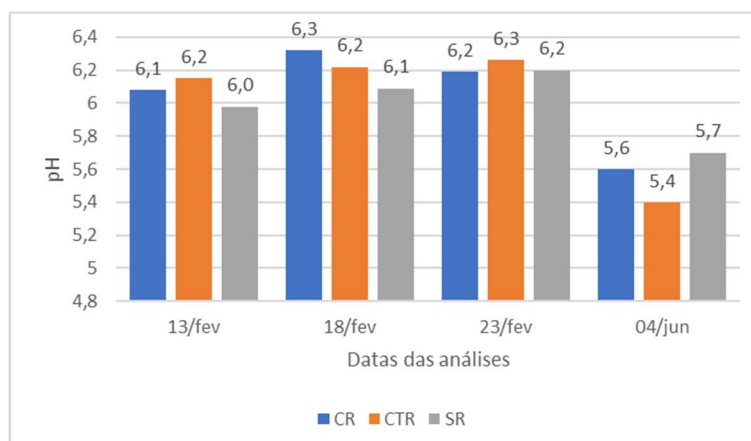


Figura 2: Valores de pH da água bruta e tratada em Sorocaba - SP, no período de fevereiro a junho de 2021. (CR – Água tratada na estrutura com refletor, CTR – Água bruta, SR – Água tratada na estrutura sem refletor).

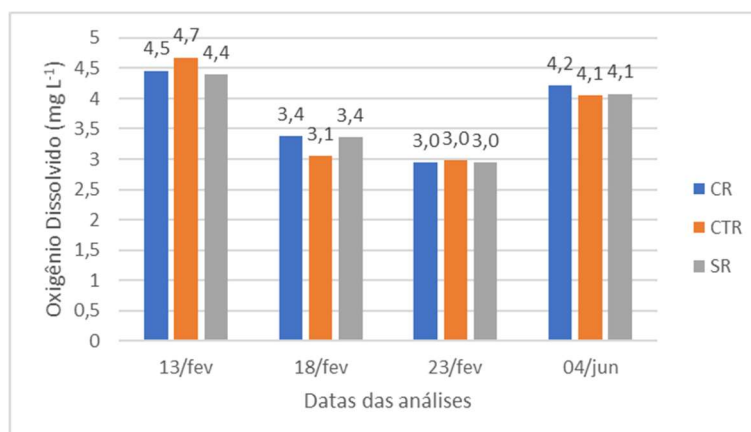


Figura 3: Concentração de oxigênio dissolvido da água bruta e tratada em Sorocaba - SP, no período de fevereiro a junho de 2021. (CR – Água tratada na estrutura com refletor, CTR – Água bruta, SR - Água tratada na estrutura sem refletor).

A concentração de oxigênio dissolvido variou de 3,0 a 4,7 mg L⁻¹ (Figura 3) destacando-se os dias 13 de fevereiro e 4 de junho de 2021, datas das menores temperaturas máximas do ar observadas. Nesse parâmetro de qualidade da água também não houve qualquer tendência de influência dos tratamentos, corroborando resultados de Lima et al. (2021).

A turbidez da água bruta variou de 2,2 a 20,1 NTU, enquanto na água tratada o mínimo atingiu 2,1 NTU e o máximo 5,2 NTU, no período do ensaio. Destacou-se a data de 13 de fevereiro, quando a turbidez da água bruta atingiu o seu máximo, por questões construtivas da cisterna utilizada e que impossibilitava o seu esvaziamento completo. Assim, sedimento ficou acumulado no fundo do reservatório nesse dia de coleta. Também foi nessa data que se observou a maior redução da turbidez proporcionada pelos tratamentos avaliados, atingindo cerca de 78% (Figura 4).

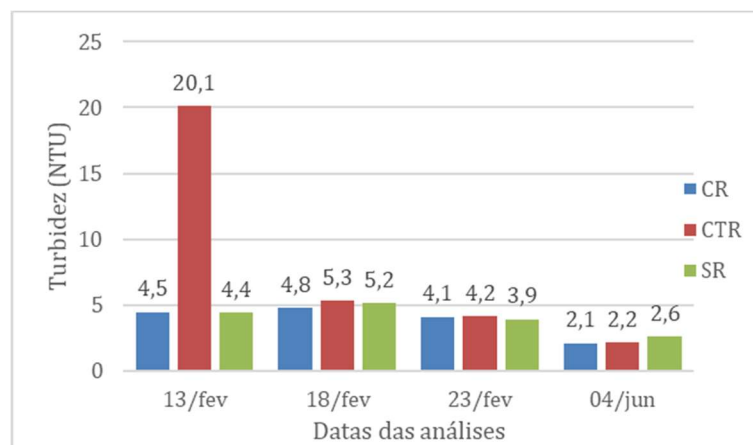


Figura 4: Variação de turbidez da água bruta e tratada em Sorocaba - SP, no período de fevereiro a junho de 2021. (CR – Água tratada na estrutura com refletor, CTR – Água bruta, SR - Água tratada na estrutura sem refletor).

Outras pesquisas também relataram um efeito positivo do método SODIS na redução da turbidez da água, como Díaz et al. (2020). Esses autores avaliaram a qualidade da água de canais de irrigação na Colômbia, após ser submetida a tratamento pelo método SODIS, quando observaram uma redução na turbidez em até 43%. Malavika et al. (2021), em experimento conduzido na Índia, também observaram uma redução na turbidez da água, após o tratamento com o método SODIS.

A redução da turbidez, observada em pesquisas relacionadas ao método SODIS, pode ser explicada pelo assentamento das partículas em suspensão, durante o tratamento, conforme apontado por Karim et al. (2021). Todavia, um melhor desempenho desse método pode ser alcançado pela sua associação com outras operações unitárias. Silva et al. (2021) atingiu uma redução de 97% na turbidez da água coletada em rio no estado de Minas Gerais, Brasil, pela associação do SODIS com um sistema de filtros.

Os sólidos totais variaram de 0 a 0,5 mg L⁻¹ na água bruta e de 0 a 0,7 mg L⁻¹ na água tratada (Figura 5). Esses valores podem ser considerados reduzidos quando comparados àqueles observados em rios (MEDEIROS et al., 2017; CARLI et al., 2018). Por esse motivo, o crescimento dos sólidos totais no tratamento sem refletor observado em 13, 18 e 23 de fevereiro pode ser considerado inconclusivo, pela magnitude dos valores envolvidos. Os resultados de sólidos totais nas amostras de água bruta demonstraram a potencialidade de sistemas de aproveitamento de água da chuva como fonte segura para o consumo

humano.

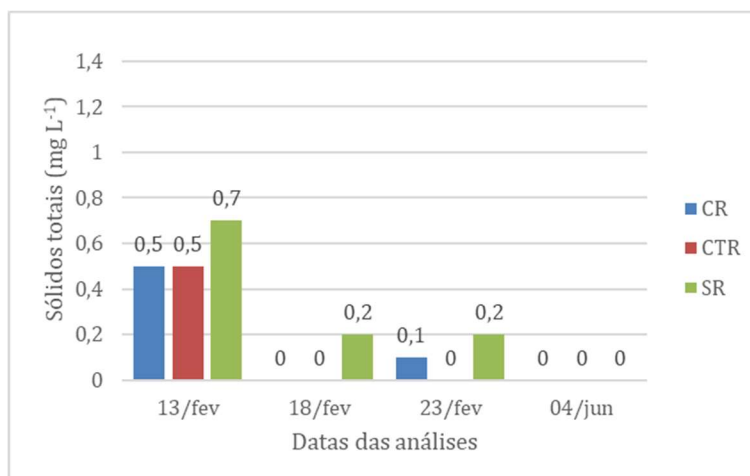


Figura 5: Sólidos totais da água bruta e tratada em Sorocaba - SP, no período de fevereiro a junho de 2021. (CR – Água tratada na estrutura com refletor, CTR – Água bruta, SR - Água tratada na estrutura sem refletor).

A concentração de nitrogênio total variou de 0 a 0,5 mg L⁻¹ na água bruta e de 0,2 a 5,3 mg L⁻¹ na água tratada (Figura 6). No tratamento do dia 13 de fevereiro houve a maior variação entre o tratamento com refletor (CR) e a água bruta (CTR), atingindo 5,1 mg L⁻¹. Esse aumento na concentração foi notado em todos os tratamentos, com exceção do dia 4 de junho, quando não foi observada qualquer concentração de nitrogênio total tanto na água bruta quanto nos tratamentos avaliados.

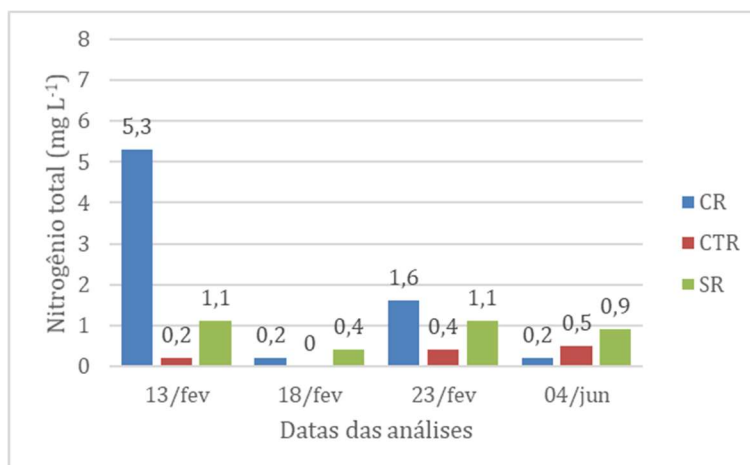


Figura 6: Concentração de nitrogênio total da água bruta e tratada em Sorocaba - SP, no período de fevereiro a junho de 2021. (CR – Água tratada na estrutura com refletor, CTR – Água bruta, SR - Água tratada na estrutura sem refletor).

A concentração de fósforo total variou de 0,32 a 0,43 mg L⁻¹ na água bruta e de 0,19 a 0,94 mg L⁻¹ na água tratada (Figura 7). No tratamento do dia 18 de fevereiro houve a maior diferença entre o tratamento com refletor (CR) e o controle (CTR), atingindo 0,62 mg L⁻¹. A tendência de variação desse parâmetro de qualidade da água, assim como aquela do nitrogênio total, não permitiu inferir sobre um efeito positivo dos tratamentos baseados no método SODIS. Todavia, deve-se destacar a qualidade da água coletada no sistema de aproveitamento de água da chuva, que corresponderia a uma água classe 1, segundo a resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Águas classe 1 correspondem aquelas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado.

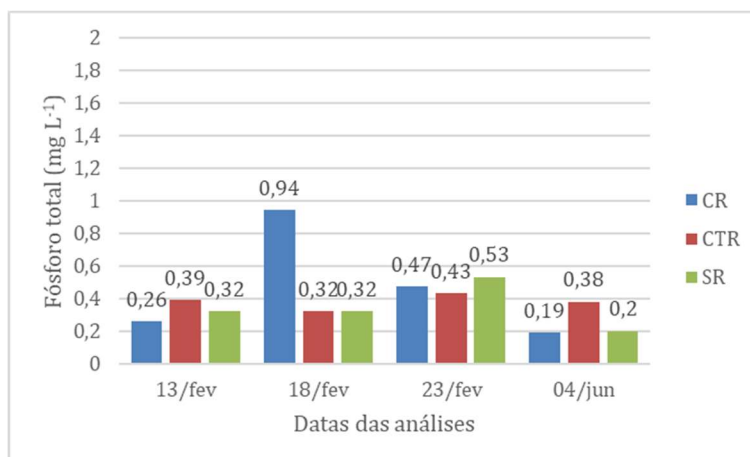


Figura 7: Concentração de fósforo total da água bruta e tratada em Sorocaba - SP, no período de fevereiro a junho de 2021. (CR – Água tratada na estrutura com refletor, CTR – Água bruta, SR - Água tratada na estrutura sem refletor).

Avaliação do desempenho do sistema

Na avaliação do desempenho do sistema SODIS monitorou-se a temperatura da água e a inativação da *E. Coli* nos tratamentos com refletor (CR) e sem refletor (SR). A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva da variação de temperatura da água, em ambos os tratamentos avaliados do método SODIS, e da temperatura do ar durante o período do monitoramento. Na Figura 8 pode-se visualizar a variação da temperatura da água durante o período de monitoramento, para cada data avaliada.

Em todas as datas e tratamentos avaliados a temperatura da água recomendada na literatura para a inativação da *E. Coli*, variando de 55 °C (KUMAR et al., 2021) a 60 °C (CHAÚQUE et al., 2021), não foi alcançada. Esse fenômeno também se observou em diferentes partes do mundo, em experimentos relacionados ao método SODIS e nos quais se avaliou a temperatura máxima alcançada pela água, como no Reino Unido (49,2 °C) (AMIRSOLEIMANI et al., 2021); Brasil (30,1 °C) (CAHINO et al., 2021) e Bangladesh (42 °C) (KARIM et al., 2021).

Tabela 2: Estatística descritiva da temperatura da água na estrutura SODIS sem refletor (SR) e com refletor (CR), e temperatura do ambiente (Ar), em Sorocaba, São Paulo, em 2021.

Ambiente	Média	Máx.	Mín.	DP	CV	n
	----- °C -----				%	
13 de fevereiro						
SR	22,6	27,3	16,5	2,33	10,3	25
CR	22,3	27,1	16,1	2,32	10,4	25
Ar	22,7	28,1	24,8	1,18	4,4	7
18 de fevereiro						
SR	37,0	46,0	26,0	5,93	16,0	25
CR	37,2	46,0	26,8	5,85	15,7	25
Ar	27,9	30,6	24,4	2,16	7,7	7
23 de fevereiro						
SR	41,0	48,5	25,5	6,56	16,0	25
CR	41,5	48,8	26,0	6,46	15,6	25
Ar	29,8	33,2	25,3	2,90	9,7	7
4 de junho						
SR	29,9	37,9	19,3	5,11	17,1	25
CR	29,8	38,0	19,5	5,21	17,5	25
Ar	22,8	25,0	19,5	2,20	9,7	7

Média: temperatura média; Máx.: temperatura máxima; Mín.: temperatura mínima; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação, n: número de medidas.

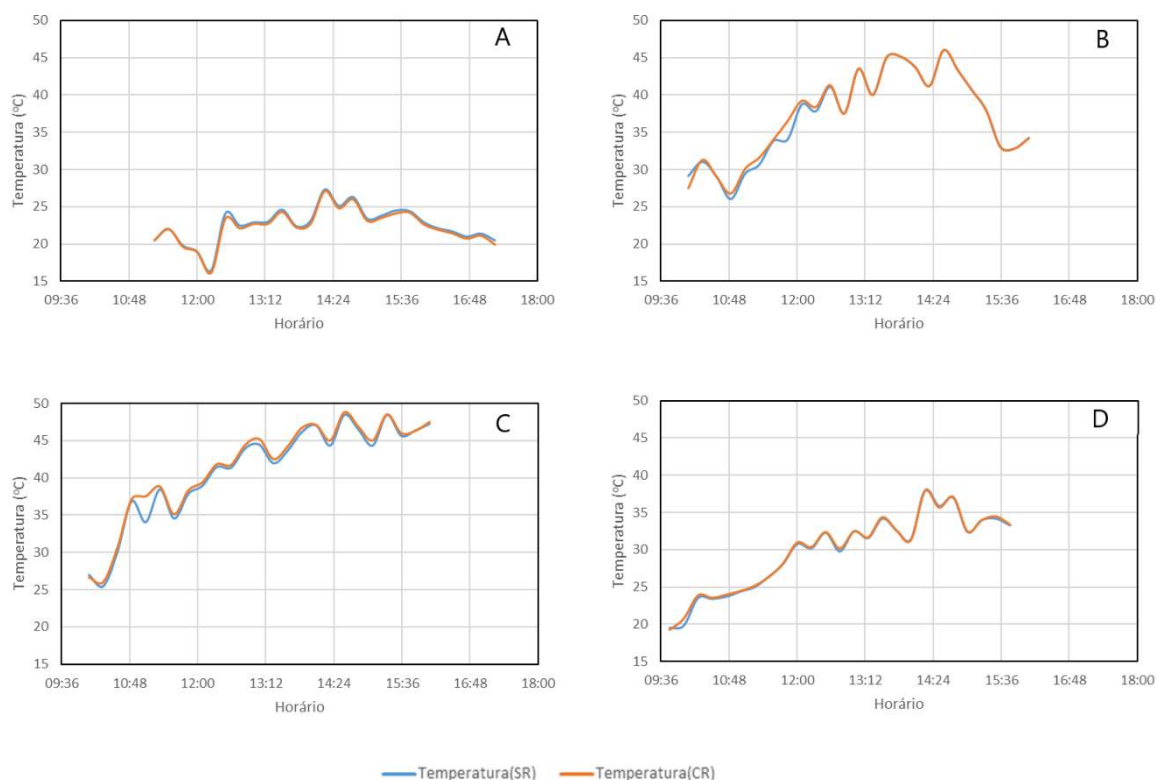


Figura 8: Temperatura da água na estrutura SODIS para os tratamentos com refletor (CR) e sem refletor (SR) nas seguintes datas: (A) 13 de fevereiro; (B) 18 de fevereiro; (C) 23 de fevereiro; (D) 4 de junho, em Sorocaba, estado de São Paulo, no ano de 2021.

Deve-se destacar que os menores valores de temperatura máxima da água foram atingidos em 13 de fevereiro, apesar da menor temperatura média do ar ter sido observada em 4 de junho. Esse resultado provavelmente está relacionado à nebulosidade, pois em 13 de fevereiro a condição climática era chuvosa e em 4 de junho ensolarada (Tabela 1). A nebulosidade é um fator que influencia o desempenho do método SODIS, conforme relatado por Bitew et al. (2020), Chauque et al. (2021), Karim et al. (2021) dentre outros.

A tendência de variação de temperatura ao longo do experimento foi semelhante para ambos os tratamentos, conforme pode ser visualizado para todas as datas avaliadas (Figura 8). Uma avaliação da correlação entre as temperaturas monitoradas para ambos os tratamentos é apresentada na Figura 9.

A alta correlação entre as temperaturas registradas para ambos os tratamentos e o valor do coeficiente angular da reta ajustada, próximo a 1,0, indicam que o efeito da estrutura refletora sobre esse parâmetro físico-químico não foi significativo, alcançando a maior diferença percentual de 0,7% em 13 de fevereiro, quando se destacou o tratamento sem refletor. Resultado semelhante foi observado por autores que introduziram superfícies refletoras para melhorar o desempenho do método SODIS, todavia o efeito na temperatura da água foi negligenciável (KARIM et al., 2021).

A concentração de *E.Coli* da água bruta coletada pelo sistema de aproveitamento de água da chuva apresentou valores inferiores a 200 NMP 100 mL⁻¹, limite para águas doces de classe 1, pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

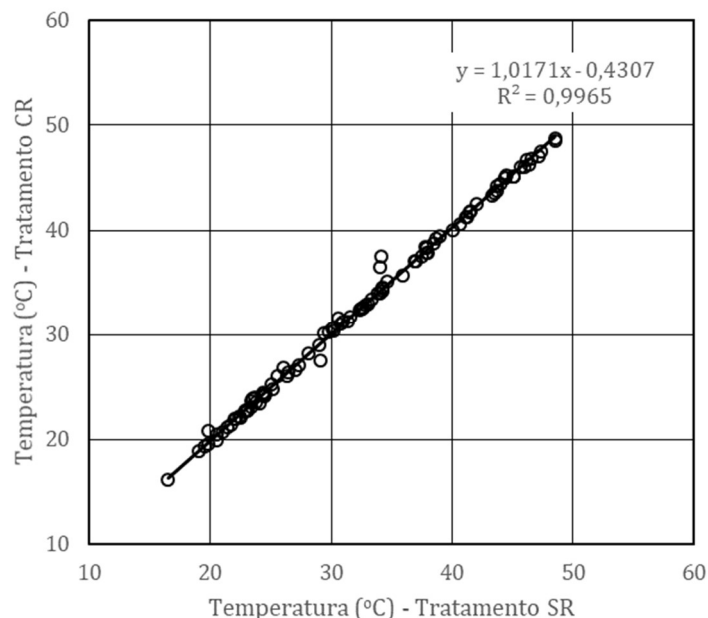


Figura 9: Relação entre a temperatura da água no tratamento com refletor (CR) e aquela medida no tratamento sem refletor.

Em duas datas avaliadas (23 de fevereiro e 4 de junho) não foi detectada a presença de *E.Coli* nas amostras coletadas. Comparando esses resultados com aqueles observados em córregos, conforme Medeiros et al. (2017), pode-se inferir sobre a boa qualidade da água coletada pelo sistema de aproveitamento de água da chuva. Portanto, os resultados obtidos no presente estudo sugerem, mais uma vez, o potencial de uso da água da chuva para promover a segurança hídrica, quando comparada àquela de rios e córregos urbanos e rurais.

Pelos motivos apresentados, as estruturas criadas a partir de materiais de baixo custo e baseadas no método SODIS para tratar a água, apresentaram 100% de eficiência na neutralização da bactéria *E.Coli* (Figura 10), mesmo não tendo sido atingida a faixa de temperatura recomendada por outros autores, a qual varia de 55 a 60 °C. Outros trabalhos também apontaram a inativação de *E.Coli*, pelo método SODIS, para temperaturas inferiores a essa faixa recomendada, como Amirsoleimani et al. (2021), Cahino et al. (2021) e Karim et al. (2021).

A eficiência de inativação microbiológica superior a 90%, pelo método SODIS, também foi relatada por outras pesquisas realizadas em diferentes partes do mundo, como Lima et al. (2021) no Brasil, Aboushi et al. (2021) na Jordânia, Amirsoleimani et al. (2021) no Reino Unido, dentre outros. Além disso, o efeito positivo de uma estrutura refletora no método SODIS, para a inativação de *E.Coli*, também foi observado por Aboushi et al. (2021), quando se atingiu 99,6% em água residuária, após 150 minutos de tratamento.

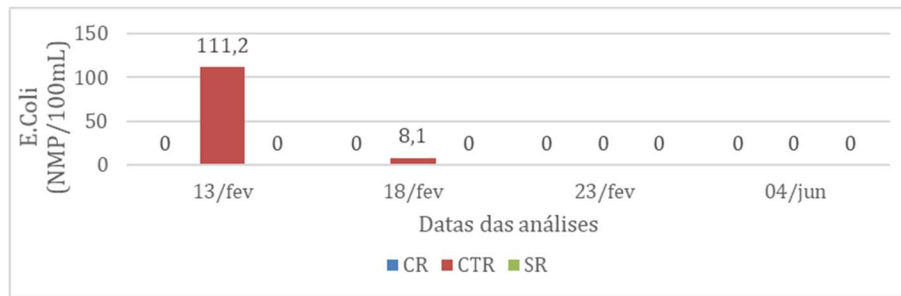


Figura 10: Concentração de *E. Coli* na água bruta (CTR) e nos tratamentos do método SODIS correspondendo à estrutura sem refletor (SR) e com refletor (CR), na cidade de Sorocaba, em 2021.

Portanto, o intervalo de tempo necessário para inativar todos os coliformes termotolerantes pode ter sido atingido antes do período adotado no presente estudo, ou seja, de seis horas, o que explicaria os resultados semelhantes observados na estrutura com refletor e naquela sem refletor.

CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que a qualidade das amostras coletadas no sistema de aproveitamento de água da chuva do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba correspondeu aquela referente à de classe 1, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Esse resultado permite inferir sobre o potencial da água da chuva coletada em telhados como fonte segura de recursos hídricos para populações vulneráveis.

Os tratamentos desenvolvidos a partir do método SODIS não permitiram observar qualquer influência nos parâmetros físicos e químicos de qualidade da água avaliados, com exceção da turbidez. Todavia, todos os tratamentos avaliados promoveram uma inativação de 100% de *E. Coli*, considerando as condições de radiação e tempo exposição ao Sol dos recipientes utilizados no presente estudo. A introdução de uma superfície refletora no sistema SODIS não promoveu um desempenho superior em relação ao tratamento sem refletor. Apesar do método SODIS ser eficiente no tratamento microbiológico torna-se necessário um tratamento secundário para se melhorar a eficiência do desempenho do sistema.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPQ pela concessão da bolsa de iniciação científica ao primeiro autor, a qual viabilizou a execução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABOUSHI, A.; HAMDAN, M.; ABDELHAFEZ, E.; TURK, E.; IBBINI, J.; SHABAN, N. A.. Water disinfection by solar energy. *Energy Sources*, v.43, n.17, p.2088-2098, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1080/15567036.2019.1666182>

AMIRSOLEIMANI, A.; BRION, G. M.. Solar disinfection of turbid hygiene waters in Lexington, KY, USA. *Journal of Water and Health*, 2021. DOI: <http://doi.org/0.2166/wh.2021.003>

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 2012.

ARANTES, C. C.; PATERNIANI, J. E. S.; RODRIGUES, D. S.; HATORI, P. S.; PIRES, M. S. G.. Diferentes formas de aplicação da semente de Moringa oleifera no tratamento de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.3, p.266–272, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p266-272>

BITEW, B. D.; GETE, Y. K.; BIKS, G. A.; ADAFRIE, T. T.. Barriers and enabling factors associated with the implementation of household solar water disinfection: a qualitative study in Northwest Ethiopia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v.102, n.2, p.458-467, 2020. DOI: <http://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0412>

BLANCO, L. M.; MINHONI, R. T. A.; COSTA, G. H. G.. Extrato de acácia negra no tratamento primário de água fluvial. *Environmental Science: Water Research & Technology*, v.1, n.1, p.11-16, 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº357**. CONAMA, 2005.

CAHINO, A. M.; FIGUEIREDO, S. A.; ALMEIDA, E. C.; LOPES, R. M. B. P.; ABRAHÃO, R.. Utilização do cactu mandacaru (*Cereus jamacaru* DC) combinado à radiação solar como alternativa para tratamento de água. *Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v.14, n.1, p.354-364, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.70879>

CARLI, B. P.; SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; SHOEGIMA, T. F.; BARREIRO, M. P. R.; DUTRA, A. C.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. Í.; BRESSANE, A.. Relationship between land use and water quality in a subtropical river basin. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v.7, n.3, p.245-261, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i3.p245-261>

CHAÚQUE, B. J. M.; ROTT, M. B.. Solar disinfection (SODIS) technologies as alternative for large-scale public drinking water supply: advances and challenges. *Chemosphere*, p.130754, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130754>

CONCEIÇÃO, F. T.; ANTUNES, M. L. P.; ANGELUCCI, V. A.; MORUZZI, R. B.; NAVARRO, G. R. B.. Rainwater chemical composition and annual atmospheric deposition in Sorocaba (São Paulo State), Brazil. *Brazilian Journal of Geophysics*, v.31, n.1, p.5-15, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v31i1.242>

DÍAZ, J. J. F.; LÓPEZ, R. A. A.; MIRANDA, J. P. R.. Use of solar radiation as a disinfectant for raw water in tropical rural areas: total coliform removal. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*, v.12, n.5, p.2550-2556, 2020.

FISHER, M. B.; KEENAN, C. R.; NELSON, K. L.; VOELKER, B. M.. Speeding up solar disinfection (SODIS): effects of hydrogen peroxide, temperature, pH, and copper plus ascorbate on the photoinactivation of *E. coli*. *Journal of Water and Health*, v.6, n.1, p.35-51, 2008. DOI: <http://doi.org/10.2166/wh.2007.005>

FREMAUX, B.; BOA, T.; CHAYKOWSKI, A.; KASICHAYANULA, S.; GRITZFELD, J.; BRAUL, L.; YOST, C.. Assessment of the microbial quality of irrigation water in a prairie watershed. *Journal of Applied Microbiology*, v.106, p.442-454, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04012.x>

GIL, Á. G.; MUÑOZ, R. A. G.; MCGUIGAN, K.; MARUGÁN, J.. Solar Water Disinfection to Produce Safe Drinking Water: A review of parameters, enhancements, and modelling approaches to make SODIS faster and safer. *Molecules*, v.26, n.11, p.3431, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/molecules26113431>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores** 2013. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

KARIM, M. R.; KHAN, M. H. R. B.; AKASH, M. A.-S.-A.; SHAMS, S.. Effectiveness of solar disinfection for household water treatment: an experimental and modeling study. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v.11, n.3, p.374-385, 2021. DOI: <http://doi.org/10.2166/washdev.2021.243>

KHEDIKAR, I. P.; TEMBHURKAR, A. R.; DABHEKAR, K. R.; GODBOLEY, B. J.. Effect of turbidity on survival of *Escherichia coli*, fecal coliform and total coliform in grey water by using solar disinfection (SODIS). *Journal of Physics: Conference Series*, v.1913, p.012068, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1913/1/012068>

KUMAR, M. H.; KARTHICK, R.; RENGU, K. J. P.; KRISHNA, J. J.; JASWIN, G.. Solar water disinfection using pet bottles. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Topics*, v.2, n.6, p.258-260, 2021.

LIMA, D. V.; BARROS, L. S. S.. Alternative water treatment using organic polymers associated with the solar disinfection method. *Journal of Public Health and Epidemiology*, v.13, n.3, p.224-232, 2021. DOI: <http://doi.org/10.5897/JPHE2021.1349>

MALAVIKA, J. P.; SHOBANA, C.. Fabrication of potable and eco-friendly solar disinfection (sodis) unit and its performance analysis. *Kongunadu Research Journal*, v.8, n.1, p.41-50, 2021. DOI: <http://doi.org/10.26524/kri.2020.7>

MARTÍNEZ, N.; RIBERA, J. M.; MUELA, S. H.; CEVALLOS, M.; HARTINGER, S. M.; CHRISTEN, A.; MÄUSEZAHN, D.. The meanings of water: socio-cultural perceptions of solar disinfected (SODIS) drinking water in Bolivia and implications for its uptake. *Water*, v.12, n.2, p.442, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/w12020442>

MCGUIGAN, K. G.; CONROY, R. M.; MOSLER, H.-J.; PREEZ, M.; JASWA, E. U.; IBÁÑEZ, P. F.. Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. *Journal of Hazardous Materials*, v.236, p.29-46, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.053>

MEDEIROS, G. A.; TRESMONDI, A. C. C. L.; QUEIROZ, B. P. V.; FENGLER, F. H.; ROSA, A. H.; FIALHO, J. M.; LOPES, R. S.; NEGRO, C. V.; SANTOS, L. F.; RIBEIRO, A. I.. Water quality, pollutant loads, and multivariate analysis of the effects of sewage discharges into urban streams of Southeast Brazil. *Energy, Ecology and Environment*, v.2, n.4, p.259-276, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40974-017-0062-y>

OPAS. Organização Pan-Americana de Saúde. **Sociedades justas: equidade em saúde e vida com dignidade**. Washington: OPAS, 2019.

SANSEGUNDO, J. M.; GIANNAKIS, S.; SAMOILI, S.; FARINELLI, G.; MCGUIGAN, K. G.; PULGARÍN, C.; MARUGÁNA, J.. SODIS potential: a novel parameter to assess the suitability of solar water disinfection worldwide. *Chemical Engineering Journal*, v.419, p.129889, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129889>

SANTOS, N. S.; MARQUIZA, L. F.; CALHEIROS, C. S. C.; CAVALHERI, P. S.; MACHADO, B. S.; CAVAZZANA, G. H.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.. Diclofenac toxicity abatement in wastewater with solar disinfection: a study in the rural area of Brazil's Central West Region. **Water**, v.13, N.1043, 2021.

DOI: <http://doi.org/10.3390/w13081043>

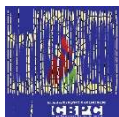
SILVA, G. O. R.; LOUREIRO, H. O.; SOARES, L. G.; ANDRADE, L.

H.; SANTOS, R. G. L.. Evaluation of an alternative household water treatment system based on slow filtration and solar disinfection. **Journal of Water and Health**, 2021. DOI: <http://doi.org/10.2166/wh.2021.211>

UN-WATER. United Nations. **Water security & the global water agenda**: a UN-Water analytical brief. Institute for Water, Environment & Health. Ottawa: UNU-INWEH, 2013.

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

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157620784871505921/>