

Potential for reuse of sanitary sewage combined with air conditioning water disinfected by the SODIS process: a case study

Potencial de reúso de esgoto sanitário combinado com água de ar condicionado desinfetado por processo SODIS: um estudo de caso

Received: 2023-07-16 | Accepted: 2023-08-18 | Published: 2023-08-21

Keila Cardoso Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2459-5162>

Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Brasil

E-mail: keilakcardoso@gmail.com

Warlyton Silva Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7284-3395>

Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Brasil

E-mail: warlytonsilva@gmail.com

Anna Karla dos Santos Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3278-9387>

Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Brasil

E-mail: anna_karla@mail.uft.edu.br

Nelson Luis Gonçalves Dias de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5980-3209>

Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Brasil

E-mail: nelson.luis@uft.edu.br

Douglas Henrique Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7700-4769>

Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Brasil

E-mail: doug@uft.edu.br

Grasiele Soares Cavallini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5227-9539>

Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Brasil

E-mail: grasiele@uft.edu.br

ABSTRACT

The objectives for sustainable development goals (SDGs) are present in the development plans of several educational institutions, aiming to integrate into the world panorama of the collective journey for the development of innovative and transformative actions to build a fairer and more sustainable society. In this sense, the present study is aimed at promoting the objective “Sustainable cities and communities”, in order to evaluate the potential for wastewater reuse and the reduction of surface water exploitation on the Gurupi campus of the Federal University of Tocantins. In this way, this work aims to establish a low-cost way of reuse by combining wastewater from air conditioning and sanitary sewage from the campus, post-treated by the SODIS process. The results showed that reuse in combination requires dilutions with volumes of less than 10% of sanitary sewage and with sun exposure time more than 6 hours at solar intensities above 900 W/m². The use of air conditioning water disinfected by the SODIS process has greater advantages compared to the combined process in terms of reuse possibilities. So, this study is of great relevance, especially during the six months of drought in the region, which severely compromises the availability of water for irrigation activities, as well as the volume of water in the lake located on the campus.

Keywords: Sustainability; SDGs; reuse.

RESUMO

Os objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS) estão presentes nos planos de desenvolvimento de várias instituições de ensino, visando integrar-se ao panorama mundial da jornada coletiva para o desenvolvimento de ações inovadoras e transformadoras para a construção de uma sociedade mais justa e sustentável. Neste sentido, o presente estudo é voltado à promoção do objetivo “Cidades e comunidades sustentáveis”, a fim de avaliar o potencial de reúso de águas residuárias e a redução da exploração de águas superficiais do campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins. Desta forma, este trabalho visa estabelecer uma forma de reúso de baixo custo combinando as águas residuárias do ar condicionado e o esgoto sanitário do campus, pós-tratado pelo processo SODIS. Os resultados demonstraram que o reúso de forma combinada exige diluições com volumes inferiores a 10% de esgoto sanitário e com tempo de exposição solar acima de 6 horas em intensidades solares acima de 900 W/m². A utilização da água de ar condicionado desinfetada pelo processo SODIS apresenta maiores vantagens se comparada ao processo combinado em relação as possibilidades de reúso. Dessa forma, o estudo tem grande relevância principalmente durante os seis meses de estiagem na região, a qual compromete severamente a disponibilidade de água para atividades de irrigação, assim como, o volume de água do lago localizado no campus.

Palavras-chave: Sustentabilidade; ODS; reúso.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água para diversos fins já é limitada em muitas partes do mundo, inclusive em áreas onde as chuvas não são um problema. São vários os motivos de escassez, dos quais podem ser citados fatores naturais, como as condições climáticas da região e os causados pelo homem, como a alta densidade populacional, a crescente necessidade de água para consumo humano, além da demanda de água para as atividades industriais, alimentos, entre outros (CARMO et al., 2014).

Diante dessa situação, muitos setores buscam alternativas para manter ou ampliar suas atividades, seja conservação de água ou reúso de efluentes. Mesmo que essas medidas sejam tomadas para minimizar o consumo de água, o reúso deve ser implementado simultaneamente, como medida de prevenção à poluição, evitando o lançamento de esgoto em corpos d'água (RYTCHYSKYI et al., 2021). Assim, a reutilização pode reduzir custos operacionais, melhorar a imagem de uma instituição na sociedade e evitar custos adicionais associados a multas por infrações ambientais.

A água é um recurso renovável pelo seu ciclo hidrológico, no entanto, as ações humanas podem alterar a qualidade da água, poluindo e promovendo alterações em suas propriedades ou composição. Desta forma, ao avaliar as questões de reúso, é fundamental analisar a qualidade e a destinação específica que será dada ao efluente, a fim de estabelecer o manuseio adequado, estabelecer padrões de segurança, principalmente quando a atividade envolve a manipulação de alimentos e produtos farmacêuticos, bem como a implementação, custos de operação e manutenção (ANDRADE et al., 2021).

Nesse sentido, Ali et al. (2021), reportam que o reúso da água deve ser visto como parte de uma atividade mais ampla, considerando o uso racional e eficiente desse bem, que inclui também o controle de perdas e, conseqüentemente, a minimização da geração de efluentes. Ao considerar a escassez de água como realidade em algumas regiões do Brasil, e considerando a sua baixa disponibilidade, a adoção de estratégias relacionadas ao seu reúso vem ganhando importância em diversos setores, visando a sua conservação.

De acordo com a NBR 13969/97, primeiro instrumento regulatório sobre o reúso de água no Brasil, estabelece quatro classes com os respectivos padrões de qualidade e suas finalidades de reúso, sendo elas: Classe 1 – Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes; Classe 2 – Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes; Classe 3 – Reúso nas descargas dos vasos sanitários e Classe 4 – Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual (ABNT, 1997).

Posteriormente, em 2005, a Comissão Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) editou a Resolução 54, que estabeleceu padrões, diretrizes e normas gerais para práticas de reúso de água não potável. Nessa resolução, os órgãos que integram o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (SINGREH) são responsáveis por estabelecer instrumentos regulatórios e de incentivo aos diversos tipos de reúso. Embora seja um instrumento legal sobre o assunto e tenha relevância, abrange apenas os modelos de uso não potável, sendo eles: reúso para fins urbanos (irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana); reúso para fins agrícolas e florestais; reúso para fins ambientais; reúso para fins industriais e reúso na aquicultura (BRASIL, 2005).

Nem todos os tipos de águas residuárias podem ser utilizadas sem tratamento, por isso a necessidade de caracterizar estas águas antes de estabelecer sua finalidade ou ainda a sua viabilidade de uso. Na maioria das vezes, estas águas são indicadas para fins não potáveis, sendo utilizados como parâmetros mais frequentes de avaliação, a turbidez, para mensurar a presença de sólidos suspensos, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), para estimar o seu teor de matéria orgânica, o pH e os coliformes (coliformes totais ou *E. coli*) como indicadores de contaminação microbiológica. Os padrões microbiológicos são os mais difíceis de serem atingidos, por isso, a cloração é uma alternativa rotineira em processos de reúso. Porém, considerando métodos mais sustentáveis para remoção de patógenos, a desinfecção física por radiação solar, pode atender esta demanda de forma mais assertiva.

O processo de desinfecção solar

O processo de desinfecção solar (SODIS) é um método de desinfecção de água que faz uso de garrafas PET e energia solar (LUZI et al., 2016). Essa técnica utiliza dois componentes da luz solar para a desinfecção da água. O primeiro, a radiação UVA que tem um efeito germicida, o segundo componente, a radiação infravermelha, que faz aumentar a temperatura da água, e é conhecida como pasteurização quando a temperatura da água é elevada a 70-75°C. O uso combinado da radiação UVA e produção de calor, resulta em um efeito conjunto que aumenta a eficiência do processo (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002).

A desinfecção solar (SODIS) é uma das tecnologias mais adequadas para o tratamento de águas em países em desenvolvimento nas áreas onde o acesso à eletricidade e insumos químicos é limitado ou indisponível. Apesar da percepção inicial de que eles são limitados pelo clima e só pode ser usado em regiões com condições de alta irradiância, a maioria das regiões em desenvolvimento estão localizados dentro desta grande área. Os principais benefícios ambientais desse método incluem a não dependência de componentes elétricos e de origem química, a utilização de energias renováveis, os baixos custos de operação e manutenção; e a não geração de

resíduos. Do ponto de vista dos usuários, é relativamente fácil de operar, seguro e sem tarefas de manutenção pesada (VIVAR et al., 2015). Os custos do processo SODIS são baixíssimos, sendo estimado a um custo anual global de US \$ 0,63 por pessoa, com base na aquisição do número necessário de garrafas de plástico.

De acordo com Luzi et al., (2016), o método SODIS consiste em quatro etapas: a) Lavagem da garrafa de plástico: a garrafa deve estar limpa, transparente, incolor, com volume de 2L ou menos, e ter todas as etiquetas de plástico ou de papel removido. É recomendado o uso de garrafas PET, sendo que estas devem ser lavadas com sabão antes da primeira utilização; b) Encher a garrafa com água: a água, potencialmente contaminada, deve ser colocada no frasco. É importante que a água não esteja turva; c) Expor a garrafa ao sol: a garrafa deve ser exposta à luz solar direta por, pelo menos, 6 horas em dias ensolarados, ou 2 dias consecutivos, caso o céu esteja mais de 50% nublado. Em dias chuvosos, não é indicada a utilização do SODIS pois ele não terá efeito satisfatório e d) Armazenamento: a água tratada deverá ser armazenada nas garrafas até o consumo a fim de evitar a recontaminação.

A radiação UVA juntamente com a radiação infravermelha pode inativar patógenos através de três mecanismos. Primeiramente, a absorção do UVA pelo DNA pode fazer com que haja uma ligação covalente entre bases de timina adjacentes, formando os dímeros de timina, que podem terminar prematuramente a replicação do DNA. Além disso, a reparação incorreta de dímeros de timina pode também causar mutações. Em segundo lugar, a matéria orgânica natural dissolvida, absorve radiação UV para induzir reações fotoquímicas que criam espécies altamente reativas tais como superóxidos (OO^{\bullet}), radicas hidropoxila (HOO^{\bullet}) e radicais hidroxila (HO^{\bullet}). Estas espécies podem danificar os componentes celulares dos microrganismos por oxidação. Em terceiro lugar, a água absorve fortemente a luz do sol com a radiação UV e infravermelha, gerando calor. Temperaturas maiores do que o valor suportável leva desnaturação das proteínas e inibição do crescimento, podendo matar o microrganismo (OATES et al., 2003).

A resistência a radiação UVA varia consideravelmente entre os diferentes tipos de agentes patogênicos. Geralmente, as bactérias patogênicas são menos resistentes aos efeitos da radiação solar UV em comparação com a maioria dos vírus protozoários. Muitos vírus são fortemente afetados pela radiação UVB, que desempenha um papel menor no processo de SODIS com garrafas PET. As diferenças em termos de resistência à radiação solar, também são observadas entre as diferentes espécies de bactérias patogênicas, embora a variância é menor do que para os diferentes vírus e protozoários (LUZI et al., 2016).

De acordo com Meierhofer e Wegelin (2002), o SODIS, apesar de ser um método muito vantajoso, apresenta algumas limitações, tais como: a necessidade de água com pouca turbidez, não ser útil para tratar grandes volumes de água, não mudar a qualidade química da água e requer suficiente radiação solar, dessa forma depende do tempo e das condições climáticas. Ou

seja, a eficiência do processo do SODIS depende diretamente da quantidade de luz solar disponível.

A radiação solar é, portanto, distribuída de modo desigual e varia em intensidade de um local geográfico para outro dependendo de latitude, estação e o clima do dia. A radiação solar UVA apresenta variações sazonais e diárias. A variação sazonal depende da latitude e é principalmente responsável pelo clima naquela região. Regiões que se encontram perto do equador tem muito menos discrepâncias de intensidade de luz durante o ano que regiões no hemisfério norte ou sul. As diferenças sazonais de radiação solar são importantes para a aplicação da desinfecção solar da água (CAVALLINI et al., 2018). É importante que antes da implementação do SODIS em um lugar específico, as intensidades sazonais de radiação sejam avaliadas, sendo necessária uma intensidade de radiação solar total de pelo menos 500 W/m².

Outros fatores que podem influenciar a capacidade de remoção de patógenos no método SODIS são a turbidez da água e o oxigênio dissolvido. Partículas suspensas na água podem diminuir a penetração de radiação solar e proteger os microrganismos de serem irradiados. Dessa forma, a desinfecção eficiente do SODIS fica reduzida em água turva. Essa técnica necessita de água relativamente clara não fervida com uma turvação menor que 30 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) para garantir a sua eficácia (LUZI et al., 2016).

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de propor ações em consonância direta com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, priorizando o reúso de águas residuárias do ar condicionado e esgoto sanitário de um Instituição de ensino superior localizada na região sul do Estado do Tocantins, propondo formas de reúso de baixo custo que consistem na combinação (diluição) das águas e a desinfecção pelo processo SODIS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta das amostras

As amostras de água de ar condicionado foram coletadas no complexo laboratorial II da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus de Gurupi, composto por 8 laboratórios e uma sala de técnicos, com aproximadamente 20 aparelhos de ar condicionado. As amostras de esgoto foram coletadas na fossa do Bloco administrativo I. As amostras coletadas são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - À esquerda, amostra da água do ar condicionado, à direita, a amostra de esgoto sanitário bruto da UFT.



Fonte: os autores (2023).

Caracterização das amostras

Turbidez

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido, sendo ocasionado por partículas em suspensão. A turbidez foi medida por turbidímetro portátil digital modelo DLI-2500, conforme o método 2130B (APHA, 2017).

Cor

A cor da água é causada por substâncias dissolvidas, podendo ser de origem orgânica ou mineral. Para realização dessa análise foi utilizado o espectrofotômetro de bancada com faixa de UV-visível 190 – 1100 nm, modelo T60 da marca PG Instrument. As amostras foram colocadas em cubetas de quartzo para realização das leituras em comprimento de onda de 555 nm, conforme descrito pelo método 2120C (APHA, 2017). A cor verdadeira foi determinada após filtração em membrana de 1,2 μm e a cor aparente, sem a filtração da amostra.

Condutividade elétrica

Para análise das amostras foi utilizado um condutivímetro digital de bancada, conforme o método 2510B (APHA, 2017).

pH

Para analisar o pH das nossas amostras utilizou-se um pHmetro de bancada faixa de pH 0-14 com precisão de 0,01, modelo Mpa-210p Tecnopon, conforme o método 4500⁺B (APHA, 2017).

Alcalinidade e ânions carbonato, bicarbonato e hidróxido

A alcalinidade das águas é determinada através de titulação de neutralização ácido/base, ou seja, expressa a capacidade de tamponamento da água, em que o parâmetro analisado é a condição de resistir ao decréscimo do pH. Para verificar a alcalinidade das amostras no presente estudo, utilizou-se uma bureta graduada de 25ml, empregando o ácido sulfúrico 0,05 mol/L. As leituras foram realizadas com o auxílio de um pHmetro de bancada, conforme a método titulométrico 2320B (APHA, 2017).

A alcalinidade das amostras foi determinada pela Equação 1:

$$\text{Alcalinidade total} = (V \times M \times 100.000)/V_a \quad (\text{Equação 1})$$

Em que V é o volume em mL do titulante gasto até a titulação atingir o pH 4,3. Sendo, M a concentração da solução de ácido sulfúrico e V_a o volume em mL de amostra. Para determinação dos ânions carbonato e bicarbonato em solução foram utilizados os cálculos da Tabela 1.

Tabela 1 - Alcalinidade aos três ânions básicos. P = Alcalinidade Parcial; T = Alcalinidade Total.

Resultado da Titulação	Hidróxidos	Carbonato	Bicarbonato
P = 0	0	0	T
P < T/2	0	2 P	T - 2 P
P = T/2	0	2 P	0
P > T/2	2 P - T	2 (T - P)	0
P = T	T	0	0

Fonte: APHA (2017).

Sólidos

A quantificação de sólidos na amostra foi determinada por gravimetria, sendo mensurado os sólidos totais, suspensos totais e dissolvidos totais. A análise de sólidos totais consistiu na evaporação de um volume conhecido das amostras em estufa à 110°C por 24h e posterior pesagem dos sólidos. Os sólidos em suspensão foram determinados por filtração em membrana de fibra de vidro de 1,2µm e posterior evaporação da umidade da amostra, seguida de pesagem da membrana. Os sólidos dissolvidos foram determinados pela diferença entre sólidos totais e sólidos suspensos.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi realizada pelo método respirométrico 5210D (APHA, 2017) utilizando um equipamento da marca VELP e foi verificada em um período de cinco dias. A leitura da absorbância em 254 nm também foi realizada para estimativa de matéria orgânica.

Avaliação microbiológica

As amostras foram filtradas por sistema de filtração à vácuo utilizando membrana estéril quadriculada de nitratocelulose de porosidade de 0,45 µm e 47 mm de diâmetro. Após o processo de filtração, as membranas foram inseridas em placas do tipo Petri, contendo meio de cultura seletivo para coliformes fecais (Agar Chromocult® Coliformes, Merck) e incubadas a 36°C por 24 h. Após este tempo, realizou-se a contagem das colônias formadas em Unidade Formadora de Colônia por 100 mL (UFC.100mL⁻¹). Quando necessário, as amostras foram diluídas de forma fracionada em água esterilizada, método 9222 (APHA, 2017).

Avaliação do processo de desinfecção solar

Para esta avaliação foi realizada uma nova coleta. O processo de desinfecção solar (SODIS) foi realizado em uma mistura contendo a água de ar condicionado com 10% (v/v) de esgoto bruto.

A mistura foi exposta à radiação solar por 6 h em garrafa PET de 500 mL. A média de intensidade de radiação no dia do experimento foi de 916 mW/m², o que corresponde a dose de 5496 mWh/m². Considerando que a dose de radiação é dada pelo produto da intensidade média pelo tempo de exposição.

A mensuração da intensidade da radiação solar foi realizada com equipamento Portátil *Mes-100 Instrutherm*, o qual possibilita a leitura de intensidade de radiação na faixa de comprimento de onda de 400 a 1000 nm.

A eficiência do processo foi avaliada por análise microbiológica (APHA, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As caracterizações físico-químicas e microbiológicas (Figura 2) das amostras são apresentadas na Tabela 2. Também foram caracterizadas amostras combinadas, sendo água de ar condicionado e esgoto sanitário 1:1 (50%) e 2 partes de água de ar condicionado para 1 de esgoto sanitário (33,3% de esgotot).

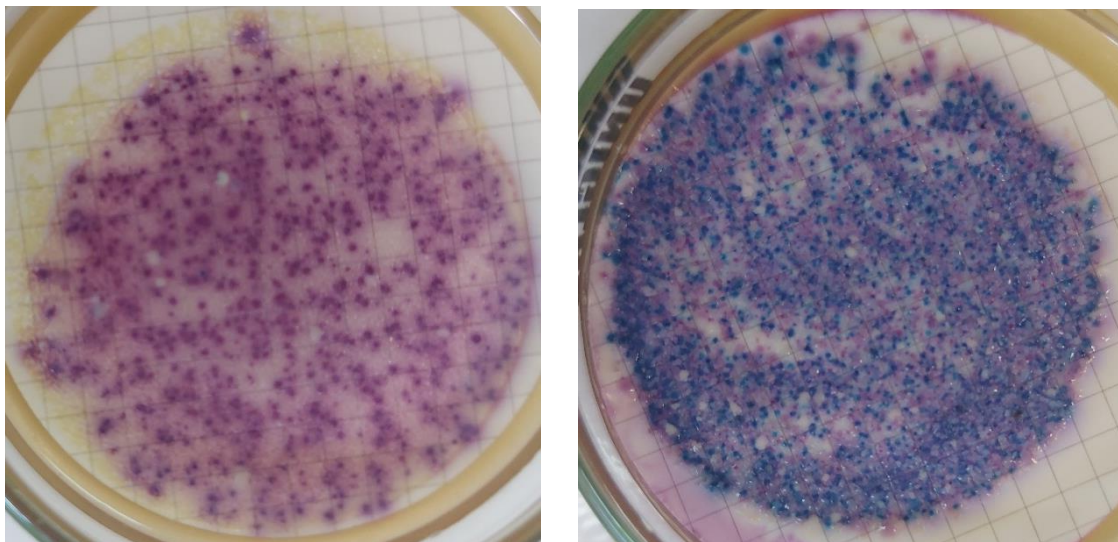
Tabela 2 - Caracterizações físico-químicas e microbiológicas das amostras.

Parâmetros	AC	ES	AC/ES (50%)	AC/ES (33,3%ES)
Cor Verdadeira (uC)	<1	1211±21	-	-
Cor Aparente (uC)	<1	3671±14	1956±7	1431±8
Alcalinidade (mg/L)	13±1	210±11	110±7	80±3
Carbonato (mg/L)	0	0	0	0
Bicarbonato (mg/L)	13±1	210±11	110±7	80±3

Hidróxido (mg/L)	0	0	0	0
pH	7,4±0,5	7,6±0,2	7,4±0,2	7,2±0,3
Absorbância 254 nm	0,045	1,459	-	-
Turbidez (NTU)	<1	171±11	68±4	55±2
Sólidos Totais (mg/L)	11±2	253±23	142±15	93±8
Sólidos Dissolvidos totais (mg/L)	11±2	157±12	-	-
Sólidos Suspensos totais (mg/L)	< 1	96±6	-	-
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	< 1	7±1	-	-
Condutividade elétrica (µS/cm)	53,3±5	1050±12	546±9	376,3±8
DBO (mg/L)	<1	150±20	-	-
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	<1	50000	-	-
Coliformes Totais (UFC/100mL)	500	60000	-	-

AC = Água do ar condicionado. ES = Esgoto Sanitário. ±desvio padrão. Fonte: os autores (2023).

Figura 2 -Análise microbiológica das amostras, à esquerda, amostra da água do ar condicionado, com a filtração de 100 mL da amostra, à direita, a amostra de esgoto, sendo filtrado 1 mL da amostra (diluição 10^{-2}).



Fonte: os autores (2023).

As combinações das amostras foram realizadas para a obtenção de proporções que apresentassem valores de turbidez aceitáveis para o ensaio de desinfecção solar. Para a desinfecção solar é indicado que o valor de turbidez seja abaixo de 30 NTU, porém pôde-se observar que mesmo a proporção (2:1), com porcentagem de esgoto próximo de 33,3% foram superiores a este valor, atingindo a turbidez de 55 NTU. Sendo necessária uma maior diluição. Desta forma, o ensaio de desinfecção solar foi realizado com água de ar condicionado com 10% de esgoto.

Avaliação do processo SODIS

Utilizando a mistura de água de ar condicionado com 10% de esgoto, foi obtida a turbidez de 14 NTU, valor aceitável para o processo SODIS.

Os resultados do processo de desinfecção solar são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do processo SODIS.

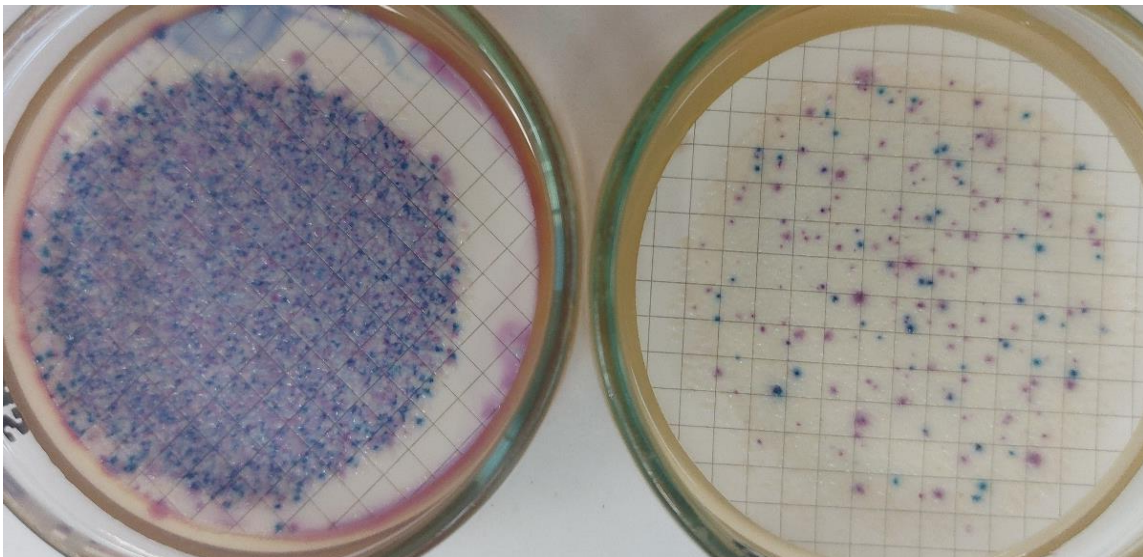
Parâmetros	Antes do SODIS	Após o SODIS
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	6000	500
Coliformes Totais (UFC/100mL)	10000	1400

Fonte: os autores (2023).

Após 6 horas de exposição solar (dose de radiação de 5496 mWh/m²) foi obtida a inativação 91,6% para de *E. coli* e 86% Coliformes totais. Em microbiologia, a inativação é comumente representada em log, considerando o valor de $-\log(N/N_0)$, sendo N o número de unidade formadora de colônia em 100 mL ao final do processo de desinfecção e N₀ o número de unidade formadora de colônia em 100 mL inicial, nesta representação a inativação foi de 1,08 log para *E. coli* e 0,85 log para Coliformes totais.

A Figura 3 apresenta o resultado microbiológico antes e após a desinfecção solar usando 10% de esgoto

Figura 3: Resultado microbiológico antes e após o processo SODIS.



As amostras foram incubadas na diluição de 10⁻¹.

Avaliação de possíveis reúsos das águas residuárias

Para avaliação de possíveis reúsos das águas residuárias da UFT, campus de Gurupi foram considerados os valores descritos no Manual para reúso de água (EPA, 2012) e NBR 13969/97, os quais são compilados na Tabela 4.

Para a água do ar condicionado, sua utilização seria indicada para todas as categorias exceto para: reúso agrícola restritivo, especificamente para aplicação na Irrigação de culturas processadas antes do consumo humano ou não consumidos pelos seres humanos; para reúso industrial e para Reúso potável indireto. Estas categorias consideram como referência de padrão microbiológico os coliformes totais e neste critério a água do ar condicionado não atingiu a qualidade exigida. Vale ressaltar, que em algumas categorias é exigida a cloração da água para reúso, sendo estabelecido residual de cloro mínimo para utilização.

Considerando a condição microbiológica da mistura da água do ar condicionado e 10% de esgoto após o processo SODIS, esta poderia ter sua utilização recomendada pelos critérios exigidos pela NBR 13969/97, para as categorias: Reúso urbano não restritivo, especificamente para descarga em vasos sanitários e Reúso urbano restritivo que permite a aplicação da água para irrigação de parques, canteiros de rodovias e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, preparação de argamassa e concreto). No entanto, considerando a turbidez desta água, sua utilização seria restrita até mesmo para estas categorias.

Mesmo após o processo SODIS, a mistura, não atenderia os padrões exigidos pelo manual de Reúso da EPA (2012). Também poderiam ser adotados tratamentos posteriores como filtração ou cloração para que as alternativas de reúso das águas fossem ampliados.

Tabela 4 - Categorias de reúso para águas residuárias de origem doméstica.

Categorias de reúso	Aplicações	Qualidade recomendada
Reúso urbano não restritivo	Irrigação de campos de esportes, jardins, parques, usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, descarga de vasos sanitários, combates a incêndios, lavagem de veículo, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar.	<p>Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0-9,0 DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2 NTU Coliformes fecais não detectáveis em 100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L</p>
		<p>Qualidade recomendada* NBR 13969/97 Turbidez < 5 NTU pH = 6,0-8,0 SDT < 200 mg/L Coliformes fecais < 200 NMP/100mL Cloro residual de 0,5 a 1,5 mg/L</p>
		<p>Qualidade recomendada* NBR 13969/97 Para descarga em vasos sanitários: Turbidez < 10 NTU SDT < 200 mg/L Coliformes fecais < 500 NMP/100mL</p>
Reúso urbano restritivo	Irrigação de parques, canteiros de rodovias e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, preparação de argamassa e concreto)	<p>Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0 -9,0 DBO ≤ 30 mg/L SST ≤ 30 mg/L Coliformes fecais ≤ 200 /100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L</p>
		<p>Qualidade recomendada* NBR 13969/97 Turbidez < 5 NTU Coliformes fecais < 500 NMP/100mL Cloro residual superior a 0,5 mg/L</p>
Reúso agrícola	Irrigação de culturas alimentares que são destinados ao consumo humano	<p>Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0-9,0 DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2 NTU Coliformes fecais não detectáveis em 100 ml Cloro residual mínimo 1 mg/L</p>
Reúso agrícola restritivo	Irrigação de culturas processadas antes do consumo humano ou não consumidos pelos seres humanos	<p>Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0 -9,0 DBO ≤ 30 mg/L SST ≤ 30 mg/L Coliformes totais ≤ 200 /100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L</p>
	Para irrigação de pomares, pastagens, cultivo de cereais	<p>Qualidade recomendada* NBR 13969/97 Coliformes fecais < 5000 NMP/100mL OD > 2 mg/L</p>
Represamento	Balneabilidade, represamento da água para atividades de recreação	<p>Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0-9,0 DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2 NTU Coliformes fecais não detectáveis em 100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L</p>

Represamento restrito	Represamento onde o contato corporal é restrito	Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0 -9,0 DBO ≤ 30 mg/L SST ≤ 30 mg/L SST Coliformes fecais ≤ 200 /100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L
Reúso ambiental	Utilização para criar, melhorar, manter ou aumentar a vazão dos corpos d'água, incluindo as zonas úmidas e habitats aquáticos	Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0 -9,0 DBO ≤ 30 mg/L DBO SST ≤ 30 mg/L SST Coliformes fecais ≤ 200 /100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L
Reúso industrial	Aplicações em instalações industriais, de produção de energia e de extração de combustíveis fósseis	Qualidade recomendada pela EPA Depende da aplicação, em geral: pH = 6,0 -9,0 DBO ≤ 30 mg/L SST ≤ 30 mg/L Coliformes totais ≤ 200 /100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L
Reabastecimento de águas subterrâneas - Reutilização não potável	Utilização para recarregar os aquíferos que não são utilizados como fonte de água potável	Qualidade recomendada pela EPA pH = 6,0 -9,0 DBO ≤ 30 mg/L DBO SST ≤ 30 mg/L SST Coliformes totais ≤ 200 /100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L
Reúso potável indireto	Reabastecimento de águas subterrâneas	Qualidade recomendada pela EPA Coliformes totais não detectáveis em 100 mL Cloro residual mínimo 1 mg/L pH = 6,5 – 8,5 Turbidez ≤ 2 NTU COT ≤ 2 mg/L Padrão de potabilidade definida

Adaptado de: Manual para reúso de água (EPA, 2012) e NBR 13969/97. Fonte: os autores (2023).
*Exclusivo para reúso de efluente de origem doméstica.

Conclusão

Estes resultados descrevem um panorama geral de duas fontes de águas residuárias que tem potencial para reúso no campus. Embora hajam restrições estas informações possibilitam pensar em formas de aproveitamento sustentável da água que demandariam apenas de coleta e armazenamento.

Esta seria uma etapa preliminar que no futuro poderia avançar para tratamentos completos que contemplassem o aproveitamento total das águas residuárias. Este avanço demandaria maiores investimentos, mas podem começar a ser planejados por meio destas informações.

É estimado que o campus de Gurupi tenha 380 aparelhos de ar condicionado, considerando que cada aparelho possa gerar de 5 a 20 litros de água por dia, dependendo da sua potência e tempo de uso, poderiam ser gerados de 2 a 8 m³ de água diariamente. Em relação ao

esgoto sanitário, é estimado que em locais como escolas ou similares, onde o tempo de permanência seja longo, possam ser gerados 50 litros por dia de esgoto por usuário (NBR 7229/1993). Considerando que mais de 500 usuários frequentem o câmpus diariamente, o volume de água residuárias poder ultrapassar 25 m³ por dia.

A utilização destas águas seria útil para a redução da captação de água superficial do lago do campus Gurupi para irrigação de viveiros e jardins e também contribuiria para as ações do Plano de Desenvolvimento Institucional da UFT (2021-2025) consonantes aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável recomendado pela ONU.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil, Código de Financiamento 001), à PROPESQ da Universidade Federal do Tocantins (Edital para tradução e publicação de artigos científicos da Universidade Federal do Tocantins) e a Fundação de Amparo à Pesquisa - Governo do Tocantins (FAPT).

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/97. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 1997.

ALI, S. et al. Resource recovery from industrial effluents through the cultivation of microalgae: A review. *Bioresource technology*, v. 337, p. 125461, 2021.

ANDRADE, I. P. et al. Impacto do reúso de efluentes de esgoto no lixiviado de solos cultivados com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 212-216, 2021.

APHA / AWWA / WEF. *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater*. 23th ed. APHA (American Public Health Association), 2017.

BRASIL, CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH. RESOLUÇÃO N° 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direito não potável de água, e dá outras providências.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria n.º 888 de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília: 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>

CAVALLINI, G. S.; SILVA, W. P.; GONZAGA, M. F. Desinfecção de efluente final de abatedouro de bovinos com ácido peracético para fins de reúso. *Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 4(4), 41–50, 2017. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2017v4n4p41>

CAVALLINI, G. S., ARAUJO, D. L. B. S., LIMA, J. G. F. (2018). Desinfecção de água de poço por radiação solar (SODIS): um estudo na região sul do Tocantins. *Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 5 (Especial), 66–73, 2018. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2018v5nEspecialp66>

CARMO, R. L.; DAGNINO, R. S.; JOHANSEN, I. C. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. *Rev. bras. estud. popul.* 31 (1), 2014, <https://doi.org/10.1590/S0102-30982014000100010>

EPA (United States Environment Protection Agency). Manual para reúso de água. EPA/ 600/R – 12/618, 2012.

LUZI, S. SODIS manual: Guidance on solar water disinfection. Duebendorf: EAWAG, 2016.

MEIERHOFER, R.; WEGELIN, M.: Solar Water Disinfection: A Guide for the Application of SODIS. Duebendorf: EAWAG/SANDEC, 2002.

OATES, P., M.; SHANAHAN, P.; POLZ, M., F. Solar disinfection (SODIS): simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti. *Water Research*, Cambridge, vol. 37, 2003.

RYTCHYSKYI, j. M. F.; ALMEIDA, C. A. S. M.; CEDRIM, M. B. M. Reúso da água: uma revisão do ponto de vista legal. *R. Gest. Sust. Ambient.*, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 470-485, mai. 2021

VIVAR, M. et al. Effect of common rooftop materials as support base for solar disinfection (SODIS) in rural areas under temperate climates. *Solar Energy*, Vol. 115, 2015.