

## Uso da micofiltração no tratamento da água contaminada

Sabrina Alves da Silva<sup>1</sup>, Jhonatan Rafael Zárata-Salazar<sup>1</sup>, Nayara Kelly Alves Costa<sup>1</sup>, Josefa Vanessa dos Santos Araújo<sup>1</sup>, Matheus Henrique Cardoso de Araújo<sup>1</sup>, Bruno de Oliveira Dias<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II. Areia. Paraíba.

Histórico do Artigo: Submetido em: 05/11/2022 – Revisado em: 10/12/2022 – Aceito em: 06/01/2023

### RESUMO

A micofiltração é uma tecnologia que utiliza o substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) capaz de melhorar a qualidade de águas contaminadas, tornando-a própria para o consumo humano. A purificação da água se dá por meio da ação enzimática residual presente nos SMS que reduzem contaminantes. Esta técnica é proposta como uma alternativa promissora frente à escassez e poluição das águas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a influência da micofiltração utilizando diferentes SMS de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) sob os parâmetros físico-químicos da água. A montagem dos micofiltros foi realizada em garrafas PET de 2L com 3 tipos de SMS (bagaço de cana, borra de café e fibra de coco). O experimento foi conduzido sob um DIC com 4 tratamentos (3 micofiltros e 1 controle) e 3 repetições (cada uma com 3 filtrações). Os parâmetros avaliados foram pH e condutividade elétrica cujo resultados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett a 5% de significância ( $P \geq 0,05$ ), quando aceitos, foi realizado a ANOVA e, se significativo realizado o teste de Scott-Knott a 5% de significância ( $P < 0,05$ ). Os resultados indicaram influência significativa reduzindo 21,48% o pH e aumentando 200% a CE, mas sem tornar a água salina. Complementarmente, verificamos que o processo de micofiltração reduz a turbidez da água contaminada. Concluímos que a micofiltração torna-se uma alternativa que deveria ser contemplada para os tratamentos de águas com problemas de contaminação e uma forma prática de promover a reciclagem de resíduos lignocelulósicos e recipientes plásticos.

**Palavras-Chaves:** Economia circular; Reciclagem; Substrato pós-cultivo de cogumelos.

## Use of mycofiltration in the treatment of contaminated water

### ABSTRACT

Mycofiltration is a technology that uses the spent mushroom substrate (SMS) capable of improving the quality of contaminated water, making it suitable for human consumption. Water purification takes place through the residual enzymatic action present in SMS that reduces contaminants. This technique is proposed as a promising alternative to water scarcity and pollution. In this sense, the objective was to evaluate the influence of mycofiltration using different SMS of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) in physicochemical parameters of water. The assembly of the mycofilters was carried out in 2L PET bottles with 3 SMS (sugarcane bagasse, coffee grounds and coconut fiber). The experiment was conducted under a CDR with 4 treatments (3 mycofilters and 1 control) and 3 replications (each one with 3 filtrations). The parameters evaluated were pH and electrical conductivity, the results of which were submitted to the Shapiro-Wilk and Bartlett tests at 5% significance ( $P \geq 0.05$ ), when accepted, the ANOVA was performed and, if significant, the Scott-Knott test was performed. at 5% significance ( $P < 0.05$ ). The results indicated a significant influence by reducing the pH in 21.48% and increasing the EC in 200%, but without making the water saline. In addition, we verified that the mycofiltration process reduces the turbidity of contaminated water. We conclude that mycofiltration becomes an alternative that should be considered for the treatment of water with contamination problems and a practical way to promote the recycling of lignocellulosic waste and plastic bottles.

**Keywords:** Circular economy; Recycling; Spent mushroom substrate.

Silva et al. (2023). Uso da micofiltração no tratamento da água contaminada. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.11, n.2, p.024-032.



## 1. Introdução

O cultivo de cogumelos comestíveis é um sistema produtivo de bioconversão ecológica que transforma resíduos agrônômicos (substrato lignocelulósico recalcitrante) em alimento nutritivo que, nos últimos anos, tem permitido a geração de renda em países em desenvolvimento em América Latina (Alberto, 2008; Sanchez & Royse, 2017; Zárate-Salazar et. al., 2020) retornando ao meio ambiente um substrato biodegradado mais lábil como produto da ação enzimática micelial. Este biomaterial é conhecido como substrato pós-cultivo de cogumelos ou SMS, do acrônimo inglês *Spent Mushroom Substrate*. Na atualidade, devido às suas características benéficas, o SMS apresenta diversas aplicações biotecnológicas que estimulam a economia circular (Grimm & Wösten, 2018) e o cuidado do meio ambiente como a micorremediação através do uso de micofiltros para o tratamento de águas contaminadas (Hanafi et.al, 2018; Mnkandla & Otomo, 2021).

A micofiltração é uma técnica que utiliza o SMS para remover microrganismos e melhorar a qualidade da água. Nesse sentido, este método é capaz de reduzir os níveis de contaminantes orgânicos e inorgânicos (Taylor et al., 2013), promovendo a redução de metais pesados, como Fe, Zn, e Pb, melhorando os níveis de pH da água tornando-a própria para o consumo humano (Alkaja & Olorunfemi, 2014). Além disso, é capaz de remover contaminantes microbianos como *Escherichia coli*, bem como filtrar protozoários, bactérias, vírus e eliminar toxinas químicas (Stamets, 2005).

Um estudo realizado no Rio Chicago constatou que a micofiltração utilizando o micélio de *Pleurotus ostreatus* foi capaz de remover níveis significativos de *Escherichia coli* presentes na água (Pini & Geddes, 2020). Outra pesquisa constatou que o uso do fungo *Stropharia rugoso-annulata*, inoculado em cavaco de madeira, reduziu em cerca 54% e 80% os níveis de contaminação por coliformes totais e fecais presentes na água, respectivamente (Böckler, Pereira e Simm, 2016).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) (2015), a escassez de água deve aumentar até 2050, isto somado à poluição antrópica da água, surge a necessidade de adotar medidas alternativas, ecológicas e acessíveis que possam mitigar os efeitos dessa problemática. Portanto, a micofiltração é considerada uma proposta promissora e amigável com o meio ambiente (*ecofriendly*) que busca contribuir no tratamento de águas contaminadas por meio do aproveitamento de resíduos lignocelulósicos utilizados no cultivo de cogumelos comestíveis inseridos em um sistema de economia circular (Pini & Geddes, 2020; Martínez, 2016; Pérez-Chávez et. al., 2019; Davis, 2021). Perante esse contexto, objetivamos avaliar a influência da micofiltração utilizando diferentes SMS de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) sob os parâmetros de pH e condutividade elétrica de água com indícios de contaminação.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A água foi coletada de em uma lagoa localizada no Sítio Chã de Santo Antônio, Zona Rural do Município de Areia, Paraíba, localizado a 18 km do Campus II da UFPB, sob coordenadas geográficas 6°54'15,5"S e 35°41'01,1"W.

### 2.2 Obtenção do substrato pós-cultivo de cogumelos

O substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) foi obtido por meio da fermentação em estado sólido de três resíduos agrônômicos in natura disponíveis na localidade, bagaço de cana, borra de café e fibra de coco para o cultivo de cogumelos comestíveis de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.). O SMS foi fornecido pelo Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC) da UFPB, CCA, Areia, PB e as suas características estão agrupadas na Tabela 1.

**Tabela 1-** Caracterização química dos substratos pós-cultivo de cogumelos de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.)

SMS	pH	CE	C/N	$\rho$
Bagaço de cana	4,60	0,128	78,42	0,102
Borra de café	4,14	0,715	20,74	0,168
Fibra de coco	5,60	0,174	72,69	0,077

SMS = substrato pós-cultivo de cogumelos; pH = potencial hidrogeniônico em relação substrato: água 1:20 m/v; CE = condutividade elétrica em relação substrato: água 1:20 m/v ( $\text{dS m}^{-1}$ ); C/N = relação carbono-nitrogênio; e  $\rho$  = densidade do substrato ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Adaptado de Zárate-Salazar (2022).

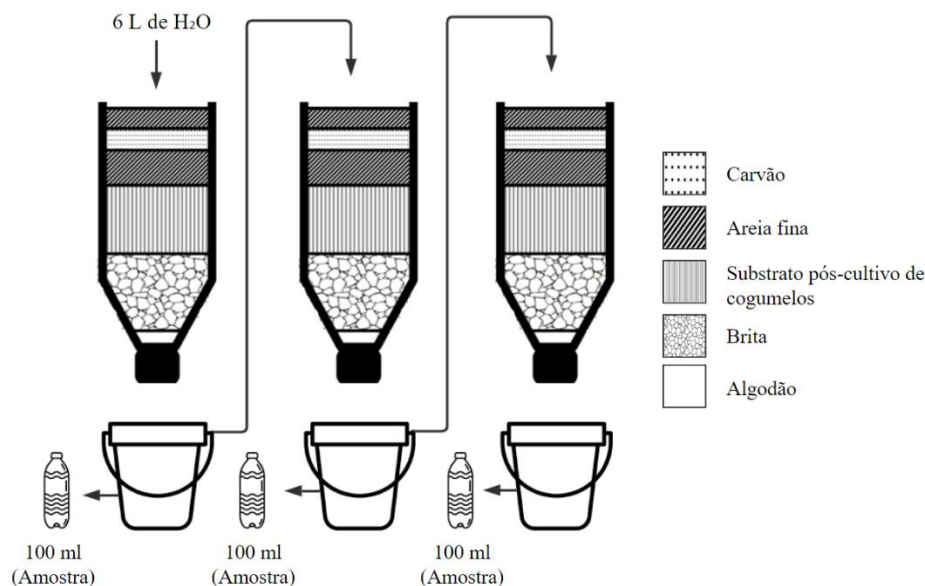
### 2.3 Montagem dos micofiltros

Os micofiltros (Figura 1) foram montados em garrafas PET (Polietileno Tereftalato) de 2 L de capacidade, previamente, lavados e esterilizados, nos quais foram adicionados de forma percentual (% m/m) os seguintes materiais: algodão (1%), brita (45%), SMS (25%), areia fina (10%), carvão vegetal (5%) e uma camada superficial de areia fina (5%), totalizando 1 kg. No caso do filtro padrão, o SMS foi substituído por areia grossa. Os cálculos de cada substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) foram determinados a partir da sua densidade para ocupar o mesmo volume percentual.

**Figura 1:** Esquema de montagem do micofiltro.

### 2.4 Processo de filtração

As filtrações foram realizadas em três etapas (Figura 2). Na primeira etapa foram filtrados 6 L de água, cuja água resultante passou por um segundo e terceiro filtro do mesmo tipo de micofiltro. De cada filtração foram retiradas amostras de 100 mL e armazenadas em geladeira para realizar as análises físico-químicas de potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) da água.

**Figura 2:** Processo de filtragem em três etapas.

## 2.5 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 tratamentos: SMS de borra de café, SMS de bagaço de cana, SMS de fibra de coco e controle (filtro padrão) com 3 repetições e 3 filtragens por cada repetição. No total, foram utilizadas 36 unidades experimentais. Uma unidade experimental foi constituída de uma garrafa PET de 2 L de capacidade com os materiais utilizados na montagem dos microfiltros distribuídos em camadas (ver Figura 1).

## 2.6 Análises químicas e análises estatísticas

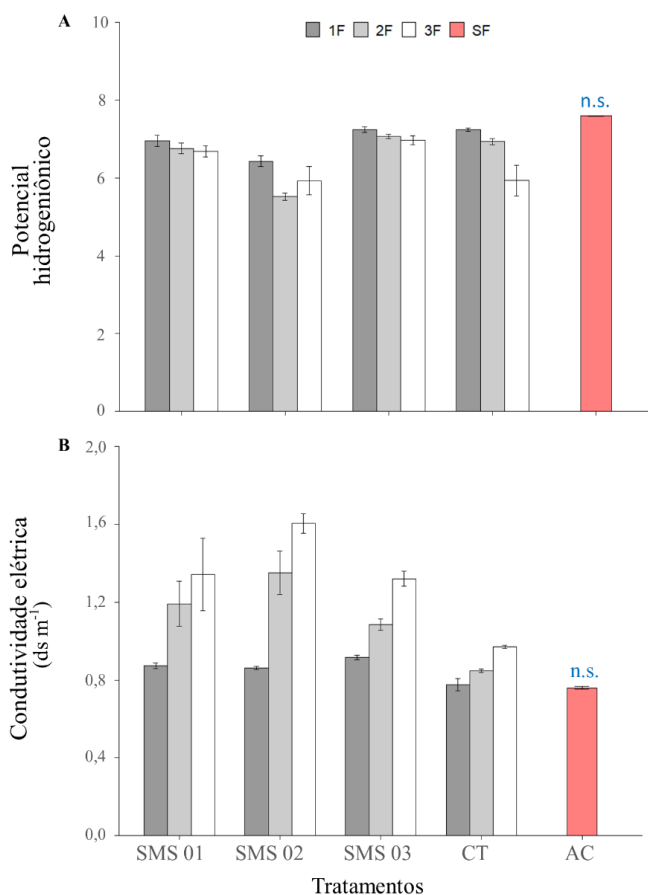
As análises de pH e condutividade elétrica foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do DSER, CCA, UFPB, de acordo com a metodologia da FUNASA (2013). As análises estatísticas dos resultados foram realizadas no ambiente estatístico R (TEAM R CORE, 2022). Dessa forma foram analisados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade com os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett a 5% de significância ( $P \geq 0,05$ ) e, quando aceitos, foram realizados a ANOVA Two-Way, para verificar a interação dos microfiltros  $\times$  número de filtragens e a ANOVA One-Way para os microfiltros sem considerar o número de filtragens. Se significativos, foi realizado o teste de Scott-Knott a 5 % de significância ( $P < 0,05$ ).

## 3. Resultados e Discussão

Para as análises de pH e condutividade elétrica, avaliando a interação fatorial (Two-Way) (Figura 3), não houve diferenças significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre os tratamentos e o número de filtragens com a água contaminada, deixando em evidência que as filtragens consecutivas independem, entre si, entre os diferentes tratamentos de microfiltros. No entanto, analisando os efeitos apenas dos tratamentos dos microfiltros (One-Way) (Figura 4) sob essa variável, observamos que o microfiltro com SMS de borra de café reduziu significativamente o pH em -21,48% em relação à água contaminada sem filtrar (pH = 7,59). Os microfiltros de SMS de bagaço de cana (pH = 6,80) e o tratamento controle (pH = 6,71), reduziram em -15,95% o pH, sem

mostrar diferenças entre si. O micofiltro com SMS de fibra de coco (pH = 7,10) não modificou o pH em relação à água contaminada.

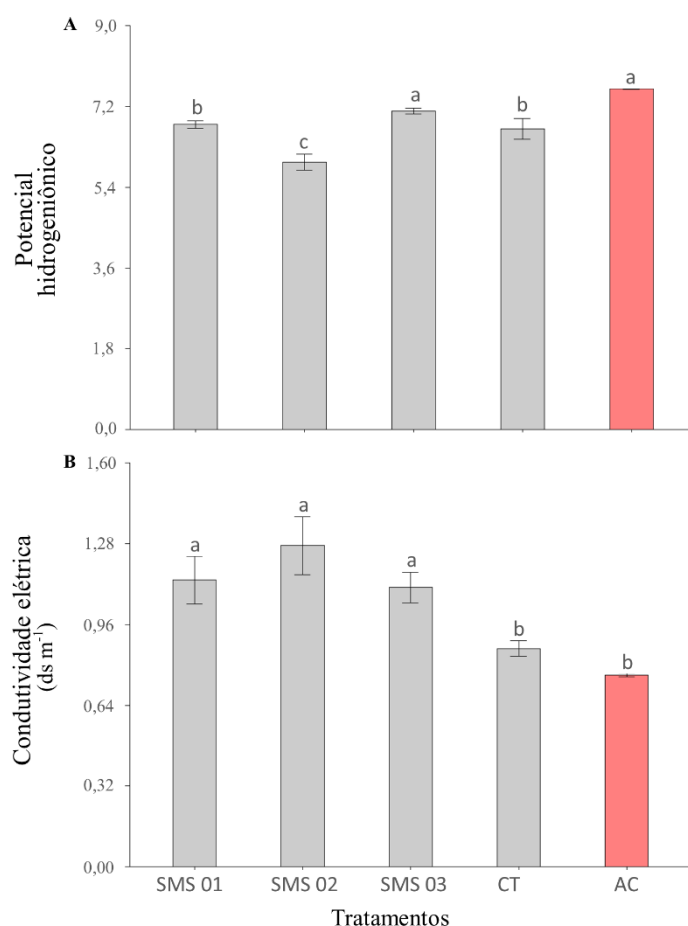
**Figura 3:** Avaliação do potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) da água contaminada sob o efeito da interação micofiltros × número de filtrações (ANOVA Two-Way). SMS 01 = SMS de bagaço de cana; SMS 02 = SMS de borra de café; SMS 03 = SMS de fibra de coco; CT = tratamento controle (filtro padrão); AC = água contaminada sem filtrar; 1F = primeira filtração; 2F = segunda filtração; 3F = terceira filtração e SF = sem filtração. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de significância ( $P < 0,05$ ). (\*) significativo. (n.s.) não significativo.



O pH (potencial hidrogeniônico) representa de forma indireta a concentração de íons de hidrogênio na solução, indicando acidez ( $\text{pH} < 7,0$ ), alcalinidade ( $\text{pH} > 7,0$ ) e neutralidade ( $\text{pH} = 7,0$ ) (FUNASA, 2013). Segundo a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde, o pH da água potável deve estar em torno de 6,0 a 9,5, tal como foi observado nos resultados deste estudo que, mesmo havendo redução de pH, os valores se mantiveram dentro da faixa aceitável. Nesse sentido, os resultados sugerem que os micofiltros no processo de filtração não modificam o pH da água de forma negativa. Além disso, a micofiltração pode ser usada para reduzir o pH de águas alcalinas.

Em relação a condutividade elétrica (CE), observamos similaridade com os resultados obtidos na análise de pH, ou seja, não houve interação significativa entre o número de filtrações e micofiltros ( $P \geq 0,05$ ), mas sim verificou-se influência significativa dos tratamentos sob a CE. Onde todos os micofiltros aumentaram a CE em mais de 200% em relação a água contaminada ( $\text{CE} = 0,76 \text{ dS m}^{-1}$ ), mas sem tornar a água salina (Figura 4).

**Figura 4:** Avaliação do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica (CE) da água contaminada sob o efeito dos microfiltros (ANOVA One-Way). SMS 01 = SMS de bagaço de cana; SMS 02 = SMS de borra de café; SMS 03 = SMS de fibra de coco; CT = tratamento controle (filtro padrão) e AC = água contaminada sem filtrar. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de significância ( $P < 0,05$ ).



A CE representa a capacidade da água em conduzir corrente elétrica devido a presença de íons como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$  na solução (Ferreira Pinto, 2007), porém este parâmetro não indica quais desses íons estão em maior concentração, sendo necessárias análises complementares para cada elemento. Embora a portaria do Ministério da Saúde não indique um limite estabelecido para água potável, de acordo com Sposito (2016) não existe restrição para o uso da água para valores menores que  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ , mas quando acima de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  é considerado severo, e entre a faixa de  $0,7$  a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  é considerado de leve a moderadamente salino.

Os resultados sugerem que a CE da água após micofiltração fica em torno de  $2,04 \text{ dS m}^{-1}$ , considerando o SMS de bagaço de cana ( $\text{CE} = 3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), SMS de borra de café ( $\text{CE} = 2,04 \text{ dS m}^{-1}$ ) e SMS de fibra de coco ( $\text{CE} = 1,90 \text{ dS m}^{-1}$ ). Dessa forma demonstra que os tratamentos se enquadram como levemente salinos, embora nenhum estudo reporte diretamente a influência da micofiltração sob esse parâmetro. No entanto, a micofiltração pode ser capaz de tornar a água potável tal como é sugerido pelos trabalhos de Mnkandla & Otomo (2021) e Davis (2021), ou seja, pode promover alterações significativas sob a condutividade elétrica da água sendo necessário estudos adicionais sob este parâmetro.

Complementarmente, verificamos o aspecto qualitativo da água filtrada nos tratamentos de microfiltros (Figura 5). Nesse sentido, observa-se que os microfiltros constituídos com SMS de borra de café tornaram a

água mais turva, efeito este que pode responder às características intrínsecas da borra de café que libera pigmentos escuros de composição fenólica (Carrasco-Cabrera et al, 2019), geralmente, de característica ácida, o qual também poderia explicar o porquê foi o único tratamento com maior influência na diminuição do pH. Por outro lado, embora o micofiltro com SMS de fibra de coco tenham tornado a água mais límpida, os resultados não mostram nenhuma influência significativa no pH em relação à água contaminada sem filtração.

**Figura 5:** Avaliação qualitativa da água filtrada nos micofiltros; A) água contaminada; B) tratamento controle (filtro padrão); C) Micofiltro com SMS de fibra de coco; D) Micofiltro com SMS de bagaço de cana; E) Micofiltro com SMS de borra de café.



Como observado na presente pesquisa, a micofiltração trata-se de uma alternativa de aproveitamento de um substrato lábil biodegradado oriundo de uma atividade agrícola vigente e em constante aumento como é a fungicultura. Sabe-se que do resultado da crescente produção mundial de cogumelos comestíveis, gera-se por cada quilograma de cogumelo fresco pelo menos cinco quilogramas de substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) (Hanafi et al., 2018), o qual quando descartado de forma inadequada desencadeia problemas ambientais, como a contaminação de solos, poluição da água e do ar (Leong et al., 2022). Por isso, o destino correto do SMS é necessário para a reciclagem de resíduos, proteção ambiental e sustentabilidade, inserido a produção do cultivo de cogumelos no modelo de economia circular (He et al., 2016). Nesse cenário, o uso desse material como insumo para o tratamento de águas contaminadas poder ser tida como uma forma ambientalmente efetiva, diminuindo o acúmulo desse material e aplicando-o para atender demandas sociais.

Dessa forma, o uso da micofiltração trata-se de uma tecnologia alternativa e promissora que visa reduzir a quantidade de SMS acumulado no meio ambiente, onde através de suas propriedades enzimáticas melhore a qualidade de águas poluídas permitindo o uso dela, principalmente, em regiões que não possuem sistemas de esgoto eficiente. Além disso, essa técnica permite a reutilização de garrafas PET que pode permanecer sem sofrer biodegradação natural por mais de 100 anos (Pamong et al., 2014), de modo que não só o seu acúmulo é prejudicial ao meio ambiente, como também seus constituintes ao serem liberados durante a sua decomposição são capazes de poluir o solo (Macedo et al., 2020).

A micofiltração por ser uma tecnologia sustentável, versátil, barata e de fácil reprodução, pode ser aplicada em regiões que apresentam vulnerabilidade econômica (Stamets, 2005) e onde não há um tratamento de água efetivo. Dessa forma, poderá contribuir para assegurar a qualidade de água para o consumo humano e diminuir a incidência de doenças de veiculação hídrica (Alkaja & Olorunfemi, 2014; Pini & Geddes, 2020). É por meio de pesquisas como esta que se busca estimular soluções práticas entre estudantes universitários e, inclusive, alunos da escola pública, que encontrem a possibilidade de aplicar um tipo tecnologia amigável com o meio ambiente fazendo uso de recursos locais acessíveis, sobretudo baseadas nas necessidades reais através da pesquisa científica, permitindo explorar áreas pouco disseminadas para resolver problemas de ordem social e ambiental.



#### 4. Conclusão

A micofiltração reduz o pH e aumenta a condutividade elétrica, mas sem torná-la salina. Além disso, constatamos que a micofiltração reduz a turbidez da água contaminada. No entanto, análises microbiológicas complementares devem ser realizadas para garantir a sua potabilidade para o consumo humano.

#### 5. Referências

Albertó, E. (2008). **Cultivo intensivo de los hongos comestibles: cómo cultivar champiñones, girgolas, shiitake y otras especies** (1a ed.). Buenos Aires, 2008.

Bockler, T.P., Pereira, K.K., Simm, M.K.C.B. (2016). Utilização de fungos na biorremediação de águas contaminadas por coliformes fecais. **Revista Thêma et Scientia**, 6, 282-296.

Brasil, F. N. de S. **Manual prático de análise de água**. 4ª ed. Brasília: FUNASA, 2013. Disponível em <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manual\\_pratico\\_de\\_analise\\_de\\_agua\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf)>. Acesso em 19 de jun.de 2022

Brasil. Ministério da Saúde. Portaria nº 888/2021, de 4 de maio 2021. **Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, Brasília, DF ,07 de mai. de 2021.p127. Disponível em:<<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em 09 de set. de 2022.

Cotter, T. (2014). **Organic mushroom farming and mycoremediation: Simple to advanced and experimental techniques for indoor and outdoor cultivation**. White River Junction, Vermont, Chelsea Green Publishing.

Davis, L. J. (2021). **Examining mycofiltration efficacy in a first order stream**. Thesis, Georgia State University, Atlanta, United States.

Estrada A., A.E.R., Pecchia, A. J. (2017). **Cultivation of *Pleurotus ostreatus***. Edible and Medicinal Mushrooms.

Hanafi, F.H.M., Rezania, S., Taib, S.M., Din, M.F.M, Yamauchi, M., Sakomoto, M., Hara, H., Junboun, P., Ebrahimi, S.S. (2018). Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, 20(3), 1383-1396.

He, P., Li, F., Huang, L., Xue, D., Liu, W., & Xu, C. (2016). Chemical characterization and antioxidant activity of polysaccharide extract from spent mushroom substrate of *Pleurotus eryngii*. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 69, 48-53.

Leong, Y.K., Ma, T.W., Yang, F.C. (2022). Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review. **Bioresource technology**, 344, 126157.

Macedo, I.M.E., Souza, M.D.L.C, Shinohara, N.K.S., Santos, C.S., Silva, M.K.G. (2020). Reciclagem do Polietileno Tereftalato (PET) no Fomento da Economia Circular. **Brazilian Journal of Development**, 6 (8), 57704-57723.



Martinez, S.E. (2016). **E.Coli Removal by *Pleurotus ostreatus* Mycofilter in Simulated Wet Environmental Pond**. Thesis, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, United States.

Mnkandla, S.M., Otomo, P. Voua. Effectiveness of mycofiltration for removal of contaminants from water: a systematic review protocol. (2021). **Environmental Evidence**, 10 (1), 1-8.

ONU: The United Nations World Water Development Report 2015: **Water for a Sustainable World**. (2015). WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). The United Nations, Paris, UNESCO.

Papong, S., Malakul, P., Trungkavashirakun, R., Wenunun, P., Chom-in, T., Nithitanakul, M., Sarobol, E. (2014). Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, 65, 539-550.

Pini, A.K., Geddes, P. (2020). Fungi Are Capable of Mycoremediation of River Water Contaminated by E. coli. **Water, Air, & Soil Pollution**, 231 (2), 1-10.

Sposito, G. **Soil salinity in: The chemistry of soils**. (2016). Oxford university press. Third Edition, 239. 2016.

Stamets, P., Beutel, M., Taylor, A., Flatt, A., Wolff, M., Brownson, K. (2013). Mycofiltration biotechnology for pathogen management. **Fungi Perfecti**.

Stamets, P. (2005). Mycelium running: how mushrooms can help save the world. Berkeley: **Ten Speed Pres**. California, 59-61.

Taylor, A., Flatt, A., Beutel, M., Wolff, M., Stamets, P. (2015). Removal of *Escherichia coli* from synthetic stormwater using mycofiltration. **Ecological engineering**, 12, 79-86.

Zárate-Salazar, J. R. (2022). **Uso de substratos pós-cultivo de cogumelos de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) na recuperação da fertilidade de um Luvissole degradado**. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, Brasil.

Zárate-Salazar, J. R., Santos, M.N., Caballero, E.N. M., Martins, O. G., Herrera, À. A. P. (2020). Use of lignocellulosic corn and rice wastes substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) cultivation. **SN Applied Sciences**, 2 (11), 1-10.