

BIOSSORÇÃO DE POLUENTES AQUÁTICOS: DETERMINAÇÃO DO PONTO DE CARGA ZERO DO MUSGO *SPHAGNUM* *PERICHAETIALE* HAMPE

Juliana Stein Schirmer – julianasschirmer@gmail.com
Av. Sete de Setembro - Araranguá/Sc – CEP 88900-00
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Imbé/RS.

Iasmim Bergo Delfino – iasmim-delfino@uergs.edu.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Bento Gonçalves/RS

Juçara Bordin – jucara-bordin@uergs.edu.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Litoral Norte/RS

Daiana Maffessoni – daiana-maffessoni@uergs.edu.br
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Litoral Norte/RS

Resumo: A contaminação dos recursos hídricos é uma preocupação global, intimamente relacionada com o crescimento populacional. Dentre os tratamentos de remoção de contaminantes presentes em águas destaca-se a bioissorção, processo espontâneo que consiste na transferência de um componente, denominado adsorvato, para uma superfície sólida de um material biológico, denominada bioissorvente. Dentre os materiais bioissorventes, destacam-se algumas plantas como os musgos do gênero *Sphagnum*, em especial a espécie *Sphagnum perichaetiale*, que tem se mostrado promissora na remoção de diversos poluentes. Entretanto, para o processo de bioissorção é necessário avaliar as interações eletrostáticas entre íons e grupos funcionais presentes no material adsorvente com o poluente a ser removido. Dessa forma, com o intuito de melhor compreendermos os processos de bioissorção, se fez necessária a determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ) do bioissorvente e após foram realizados ensaios de bioissorção utilizando o poluente emergente triclosan. Os resultados mostraram que o PCZ é $\text{pH } 2,99 \pm 0,01$ e não houve eliminação de poluentes em pH onde o musgo encontrava-se em repulsão eletrostática, mostrando, portanto, a importância da determinação do PCZ. Dessa forma, com a determinação do PCZ do *S. perichaetiale*, o pH da solução de tratamento deverá ser ajustado (se necessário), resultando em processos de bioissorção com maior eficiência na remoção de poluentes de águas contaminadas. Assim, nossos resultados destacam a importância desse parâmetro na eficiência dos processos de bioissorção, maximizando a remoção de poluentes, aprimorando nossa compreensão dos mecanismos de bioissorção e oferecendo uma abordagem promissora para a preservação dos recursos hídricos globais.

Palavras-chave: Briófitas, Águas contaminadas, Adsorção, Bioissorvente.



BIOSORPTION OF AQUATIC POLLUTANTS: DETERMINATION OF THE POINT OF ZERO CHARGE OF THE MOSS *SPHAGNUM PERICHAETIALE* HAMPE

Abstract: The contamination of water resources is a global concern, closely related to population growth. Among the treatments for removing contaminants present in water, biosorption stands out, a spontaneous process that consists of the transfer of a component, called adsorbate, to a solid surface of a biological material, called biosorbent. Among the biosorbent materials, some plants such as mosses of the genus *Sphagnum* stand out, especially the species *Sphagnum perichaetiale*, which has shown promise in removing various pollutants. However, for the biosorption process it is necessary to evaluate the electrostatic interactions between ions and functional groups present in the adsorbent material with the pollutant to be removed. Therefore, in order to better understand the biosorption processes, it was necessary to determine the Point of Zero Charge (PCZ) of the biosorbent and then biosorption tests were carried out using the emerging pollutant triclosan. The results showed that the PCZ is $\text{pH } 2.99 \pm 0.01$ and there was no elimination of pollutants at pH where the moss was in electrostatic repulsion, therefore showing the importance of determining the PCZ. Thus, with the determination of the PCZ of *S. perichaetiale*, the pH of the treatment solution must be adjusted (if necessary), resulting in biosorption processes with greater efficiency in removing pollutants from contaminated waters. Therefore, our results highlight the importance of this parameter in the efficiency of biosorption processes, maximizing pollutant removal, enhancing our understanding of biosorption mechanisms, and offering a promising approach for preserving global water resources.

Keywords: Bryophytes, Contaminated waters, Adsorption, Biosorbent.

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos, dinâmicos e diversos, resultam de interações complexas entre elementos bióticos e abióticos (RAND & PETROCELLI, 1985). Por serem sistemas abertos, podem sofrer várias alterações em suas composições químicas (COSTA *et al.*, 2008), resultado da entrada de substâncias relacionadas tanto a atividades naturais quanto a atividades humanas. Os compostos de origem antropogênica podem passar por diversas transformações nos organismos e no meio ambiente (SINGER *et al.*, 2002), o que tem levado os ecossistemas aquáticos a enfrentar uma grande pressão antrópica ao longo dos anos, recebendo uma enorme quantidade de substâncias externas. Diante desse contexto, a qualidade da água desses ambientes se torna uma preocupação crescente, especialmente devido à presença de contaminantes de preocupação emergente, conhecidos como CPE (ESCHER *et al.*, 2019).

Os CPE incluem uma ampla gama de substâncias de origem antropogênica como fármacos e produtos de cuidados pessoais (PPCPs) e pesticidas (LUO *et al.*, 2014). No Brasil, não há legislação específica para regular a presença desses contaminantes em recursos hídricos (ARAÚJO; WOLFF; CARISSIMI, 2019). Além disso, a remoção de CPE por meio de tratamentos convencionais não é suficiente (LUO *et al.*, 2014), o que destaca a necessidade urgente de remediar as contaminações ambientais causadas por esses compostos. Entre esses contaminantes, o triclosan (TCS) se destaca, sendo um agente antimicrobiano amplamente utilizado em uma variedade de produtos, incluindo cosméticos, produtos de higiene pessoal, plásticos e têxteis (SCCS, 2010; DAR *et al.*, 2022).



Devido à sua ampla utilização, o triclosan tem sido detectado em várias fontes, como águas superficiais, águas residuais, estações de tratamento de água, água potável, sedimentos e até no leite materno (SINGER *et al.*, 2002; BEDOUX *et al.*, 2012; RAIMUNDO, 2011; ADOLFSSON-ERICI *et al.*, 2002; DAYAN, 2006; CANOSA *et al.*, 2007). De acordo com o Comitê Científico da Segurança do Consumidor da União Europeia, as concentrações de triclosan no ambiente variam em diferentes locais, com valores que vão de 0,0014 a 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ em águas superficiais, de 0,02 a 86,161 $\mu\text{g L}^{-1}$ em efluentes de águas residuais e de 0,02323 a 5,37 $\mu\text{g L}^{-1}$ nas saídas de estações de tratamento de efluentes (SCCS, 2010).

Dentro de um contexto de ESG (Ambiental, Social e Governança), a compreensão dos impactos ambientais da contaminação dos recursos hídricos vai além das consequências ecológicas diretas, afetando também comunidades locais e a saúde pública (THOLOZAN *et al.*, 2023). Nesse sentido, as práticas de governança desempenham um papel fundamental na implementação de políticas e regulamentações que protejam a qualidade da água e garantam a saúde dos ecossistemas aquáticos. Para isso, é necessário o desenvolvimento de tecnologias eficazes e baratas que viabilizem o avanço dessas políticas. Diante desse cenário, o processo de adsorção se destaca como uma das técnicas mais estudadas devido à sua simplicidade, baixo custo e alta eficiência na remoção de diversos poluentes (HAN *et al.*, 2008; SAHA *et al.*, 2011; DOS REIS *et al.*, 2020). Buscando novas alternativas e materiais orgânicos, a utilização de plantas como auxiliares no tratamento de águas e esgotos é considerada uma excelente opção, dada sua comprovada capacidade como bioabsorventes de contaminantes por meio de vários mecanismos (ALI; KHAN; SAJAD, 2013).

Entre as plantas utilizadas como remediadoras, destacam-se as briófitas, o segundo maior clado de plantas terrestres, com cerca de 13.000 espécies (COLE; HILGER; GOFFINET, 2021). Por absorverem água e nutrientes principalmente pela superfície, as briófitas são bons indicadores de poluição do ar e da água. Entre os diversos gêneros desse grupo, as espécies do gênero *Sphagnum* se destacam, sendo amplamente estudadas por sua abundância e características, como a alta relação superfície/volume e a presença de uma fina cutícula que facilita sua aplicação como bioabsorventes e aumenta sua capacidade de acumulação de contaminantes (SAXENA; SAXENA; SRIVASTAVA, 2003; BASILE *et al.*, 2013; GONZALES; POKROVSKY, 2014; TESSER, 2023). *Sphagnum perichaetiale* Hampe, uma espécie nativa do Rio Grande do Sul, é comumente encontrada em ambientes úmidos e tem demonstrado potencial como bioabsorvente na remoção de hormônios sintéticos, metais e corantes têxteis em amostras aquosas, conforme estudos de Silveira (2021), Tesser *et al.* (2021) e Tholozan *et al.* (2023).

Portanto, destaca-se a importância e a necessidade de continuar os estudos nesse campo para uma melhor compreensão da utilização de *S. perichaetiale*, na forma de biomassa seca. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo investigar as interações eletrostáticas entre o musgo e o triclosan após a determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ).

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nos experimentos foi baseada em Martins (2004), Mahmood *et al.* (2011), Tesser *et al.* (2021) e Silveira (2021), com adaptações. Os procedimentos passaram pelas seguintes etapas: preparação da biomassa (obtenção do material biológico e preparação da biomassa seca), determinação do ponto de carga zero e exposição do triclosan.



2.1. Obtenção do material biológico

Os exemplares de *S. perichaetiale* foram coletados em trilha do terreno do Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) situado no município de Imbé, Rio Grande do Sul, Brasil (29°58'33.53"S e 50°8'14.83"O), apresentando registro junto ao Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (Sisgen), sob o nº AC45BDA.

2.2. Preparação da biomassa seca

Foram coletados, aproximadamente, 700 g de biomassa úmida de musgo (*in natura*), a qual foi lavada com água destilada para retirada de possíveis impurezas, seguindo para estufa por aproximadamente 24 horas a 70° C para a obtenção da biomassa seca, no Laboratório de Águas Superficiais e Subterrâneas (LASS - CECLIMAR). Em seguida, a biomassa foi moída em Moinho MA630 (Marconi), por aproximadamente 40 segundos, no Laboratório de Moinhos da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), no Campus Central, em Porto Alegre.

Após a moagem, a biomassa foi peneirada utilizando conjunto de peneiras Granutest para obtenção de faixa granulométrica, aqui determinada como diâmetro de partícula (dp), de $0,062 \text{ mm} < dp < 0,125 \text{ mm}$, que segundo Silveira (2021) apresentou melhor eficiência de remoção quando comparada com faixas granulométricas com diâmetro de poro maiores. Após estas etapas, a biomassa seca foi novamente pesada, avançando para as análises laboratoriais.

2.3. Determinação do Ponto de Carga Zero

Para a determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ) foi utilizado o método de adição de sal, conforme descrito por Mahmood et al. (2011), consistindo na adição de 1g L⁻¹ de biomassa seca de *S. perichaetiale*, material adsorvente, em 50 mL de solução aquosa NaCl 0,1 mol L⁻¹ sob onze diferentes condições experimentais de pH inicial pré-determinadas: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, ajustadas com soluções de HCl e NaOH 0,1 mol L⁻¹.

As amostras foram mantidas em agitação mecânica, a 100 rpm, 25°C, por 24 horas, em Incubadora Shaker SL223 (Solab Científica) e o pH final foi mensurado após o término do tempo de exposição. Cada condição experimental foi realizada em duplicata e o pH inicial e final das amostras foram analisados com pHmetro Q400AS (Quimis). Os valores obtidos foram expressos em um gráfico de $\Delta\text{pH} \times \text{pHi}$, sendo o PCZ correspondente ao valor mais próximo da interceptação do eixo x, ou seja, ΔpH mais próximo de zero. Esses experimentos foram realizados no Campus Central da Uergs, em Porto Alegre.

2.4. Exposição ao triclosan

Para os experimentos de biossorção, a espécie *S. perichaetiale* foi testada na dosagem de 0,26 g L⁻¹, sendo exposta a soluções contendo 15.000 µg L⁻¹ de triclosan com 20% de NaOH 0,5M, para assim, avaliar a capacidade de remoção deste contaminante, mesmo em pH alcalino. O triclosan, com pureza de 97%, foi adquirido da Poly Comercial (São Paulo, Brasil), com o nome comercial "Irgasan".



Foram realizados dois ensaios de exposição da biomassa seca de *S. perichaetiale* ao contaminante triclosan. As amostras aquosas foram mantidas em mesa agitadora Solar - SL 180/DT, com agitação mecânica a 100 rpm, sem controle de luz natural e temperatura. Foram coletadas alíquotas nos tempos de 0; 0,5; 1, 5, 10 e 15 minutos, em duplicatas. As amostras foram filtradas em filtros de 0,45 μm e analisadas em espectrofotômetro LAMBDA 265 UV/Vis (Perkin-Elmer), em comprimento de onda 292 nm. Os resultados estão apresentados em termos de concentração final (C)/ concentração inicial (C_0) com relação ao tempo de exposição.

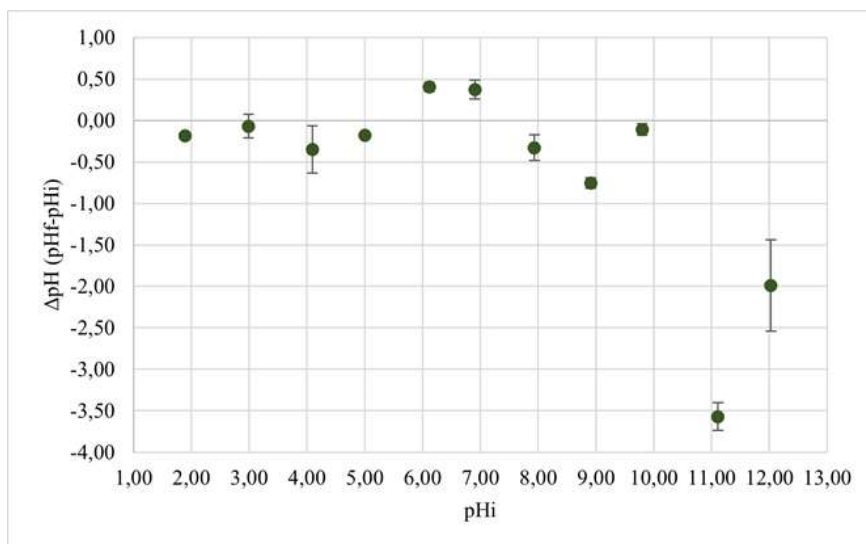
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo teve como premissa o estabelecimento de parâmetros operacionais que permitam maior eficiência para a biossorção do contaminante triclosan por biomassa seca de *S. perichaetiale*. Dessa forma, os resultados estão apresentados nos seguintes tópicos: ponto de carga zero do *S. perichaetiale* e interações eletrostáticas e ensaios de biossorção com o poluente triclosan.

3.1. Ponto de Carga Zero (PCZ)

O PCZ da biomassa seca de *S. perichaetiale* foi encontrado para o menor ΔpH (pH final - pH inicial), após as 24 horas das condições experimentais em solução salina. A Figura 1 apresenta o $\Delta\text{pH} \times \text{pH}_i$, onde é possível observar que para o $\text{pH } 2,99 \pm 0,01$, o ΔpH está mais próximo do zero, dessa forma, este representa o PCZ da briófitas na forma de biomassa seca. Assim, acima do seu PCZ ($\text{pH} > 2,99$), a briófitas assume carga negativa, e abaixo ($\text{pH} < 2,99$), carga positiva.

Figura 1: Determinação do PCZ da biomassa seca de *S. perichaetiale*.



Fonte: Autora (2023).

O Ponto de Carga Zero (PCZ) desempenha um papel crucial nos processos de biossorção, pois ajuda a determinar a faixa de pH ideal para a etapa de adsorção, definindo-se como o pH em que a carga superficial do adsorvente é neutra (REGALBUTO; ROBLES, 2004). Identificar esse ponto facilita a compreensão do processo de adsorção dos compostos e oferece informações sobre possíveis interações e repulsões entre o adsorvente e o adsorvato (FIOL; VILLAESCUSA, 2009).



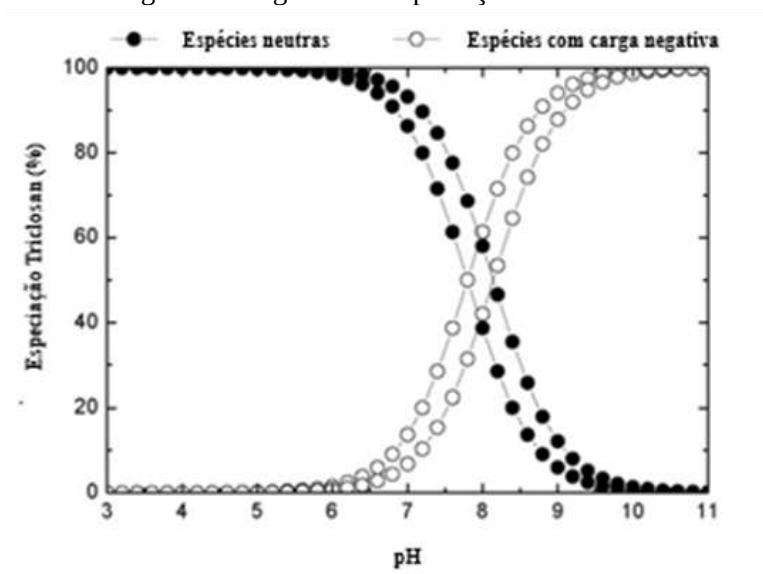
No estudo realizado por González; Pokrovsky (2014), o PCZ para *Sphagnum* sp. foi determinado como 4,64; utilizando o método de titulação. Os pesquisadores examinaram a adsorção de metais em quatro gêneros de briófitas comumente usados em monitoramento ambiental, embora não tenham especificado a espécie de *Sphagnum*. A discrepância nos valores de PCZ obtidos pode estar relacionada à utilização de métodos diferentes para sua determinação, bem como às diferenças nas concentrações de grupos funcionais na superfície de cada espécie de briófita, como observado pelos pesquisadores no mesmo estudo.

Estudos que empregaram materiais orgânicos residuais, como cascas de pequi, mandioca, arroz e banana, também identificaram PCZs ácidos, registrando valores de 3,9; 4,15; 6,15; e 6,95, respectivamente (CUNHA, 2014; DO NASCIMENTO *et al.*, 2014; SILVA, 2014; SANTOS, 2022). Além disso, pesquisas com macrófitas aquáticas para a remoção de antibióticos e corantes têxteis em meio aquoso revelaram PCZs variando de 6,0 a 6,5 (CUNHA, 2014; MILIOLI, 2019).

3.2 Interações eletrostáticas

Os estudos que utilizam biomassa de *S. perichaetiale* como bioissorvente são recentes (SILVEIRA, 2021; TESSER *et al.*, 2021; THOLOZAN *et al.*, 2023) e não incluíram a avaliação do PCZ nem da interação eletrostática com os contaminantes, o que seria crucial para entender o comportamento de ambos e sua influência na eficiência do processo. Considerando isso, os resultados do PCZ foram comparados com o diagrama de especiação do poluente de preocupação emergente triclosan (Figura 2). Ao analisar esse diagrama, é possível observar que, acima de pH 8,0, o composto assume predominantemente cargas negativas, enquanto abaixo desse valor predominam as cargas neutras.

Figura 2: Diagrama de especiação do Triclosan.

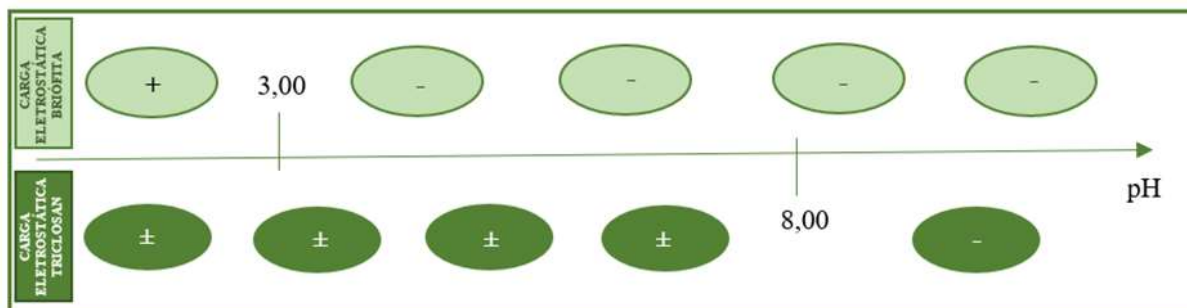


Fonte: adaptado de Nghiêm e Coleman (2008).

Dessa forma, foi elaborado um esquema (Figura 3), comparando o pH de *S. perichaetiale* e do triclosan para observar a atração ou repulsão eletrostática entre eles. Foi possível observar que em soluções com pH acima de 8,0, o triclosan e a biomassa terão repulsão eletrostática, pois ambos apresentam carga negativa, e em pH abaixo de 8,0, as interações tendem a ser mais favorecidas, pois o triclosan terá carga neutra e a briófita terá carga negativa (até pH 2,99) ou positiva (abaixo de pH 2,99).



Figura 3: Esquema de atração eletrostática da briófitas *S. perichaetiale* e do triclosan.

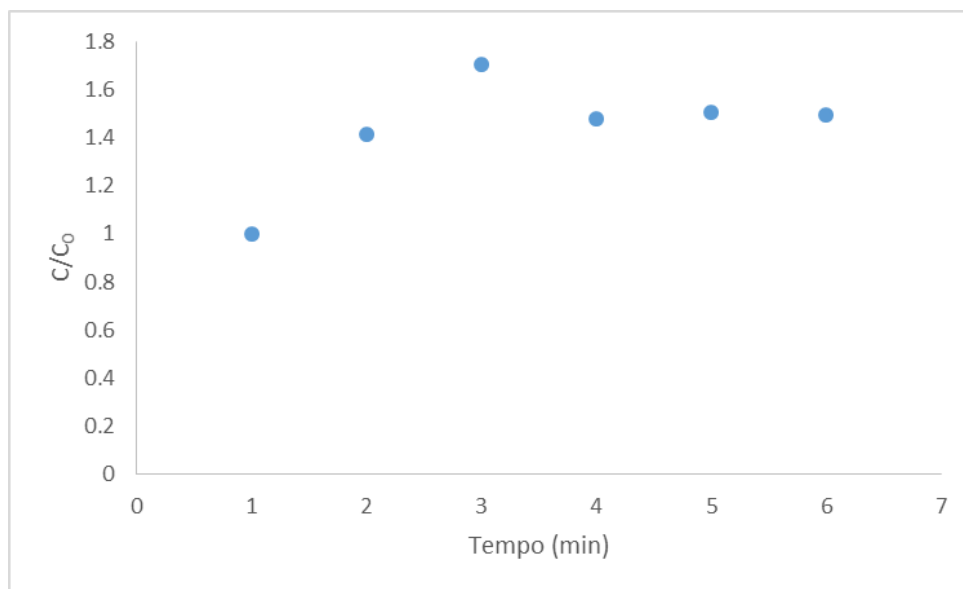


Fonte: Autora (2023). Legenda: + carga positiva; - carga negativa; ± carga neutra.

3.3 Ensaios de bioadsorção

Os ensaios de bioadsorção foram realizados em solução de triclosan com pH 10, esperando-se, portanto, repulsão eletrostática, sendo apresentados na Figura 4 em termos de C/C_0 com relação ao tempo de exposição.

Figura 4: Bioadsorção de *Sphagnum* em termos de C/C_0 com relação ao tempo.



Fonte: Autora (2024).

Conforme é possível observar, não houve bioadsorção de triclosan na superfície do *Sphagnum*, atestando a importância de serem realizados controles de pH das soluções de trabalho. Adicionalmente, houve um aumento da concentração de triclosan, que pode estar relacionado com algum grupo funcional do musgo, que elevou a absorvância naquele ponto. Estudos adicionais precisam ser realizados.

Em complemento, testaram-se soluções brutas de triclosan, sem ajuste de pH. O pH das soluções preparadas neste estudo, obtivemos: 5,05 para bioissorvente com água destilada; 6,30 para triclosan com água destilada e 6,08 para a combinação completa de água destilada com triclosan e bioissorvente. Dessa forma, o pH das amostras encontra-se dentro da faixa favorável para interações entre adsorvente-adsorvato (abaixo de pH 8,0). Nos ensaios de bioissorção sem ajuste de pH, as amostras no tempo zero, já não apresentaram triclosan, indicando que em poucos minutos de contato, ocorreu instantaneamente, adsorção na biomassa seca de *S. perichaetiale*, representando bioissorção de, pelo menos, 95% do composto da solução. Entretanto, houve uma demora entre o tempo de ensaio e as análises laboratoriais/filtração. Dessa forma, os experimentos serão repetidos para elucidar mais claramente essa questão. Previamente, é possível se observar a importância de considerar o pH da solução de trabalho, para poder compreender a possível utilização da biomassa de *S. perichaetiale* e sua eficiência na remoção de outro contaminante com comportamento eletrostático diferente. Tomando como exemplo o triclosan, soluções com pH acima de 8,0 apresentam repulsão eletrostática com *S. perichaetiale*.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, a biomassa seca do musgo *Sphagnum perichaetiale* Hampe foi testada como bioissorvente para o contaminante triclosan, considerando a sua aplicação em matrizes aquosas contaminadas. Também foi determinado o PCZ visando o estabelecimento de parâmetros operacionais que permitam maior eficiência para a bioissorção do contaminante triclosan por biomassa seca do musgo.

Levar em consideração o ponto de carga zero (PCZ) de *S. perichaetiale* se mostrou essencial nesse estudo. A definição do PCZ foi em pH $2,99 \pm 0,01$, servindo de base para o entendimento do comportamento desse bioissorvente frente ao contaminante triclosan. Ademais, o PCZ também pode ser utilizado como premissa na possibilidade de utilização desse musgo na bioissorção de outros contaminantes, apenas pela análise prévia das interações eletrostáticas de ambos.

A remoção de contaminantes de preocupação emergente através da utilização de bioissorventes apresenta-se como uma técnica inovadora e sustentável, devido à alta eficiência, baixo custo de operação e fácil manipulação. Dessa forma, estando alinhado aos princípios de ESG, mostrando como essa técnica pode melhorar a qualidade ambiental e diretamente a qualidade de vida da população que depende dela (social). Além disso, a falta de regulamentação adequada e a necessidade de se estudar estratégias eficazes de governança ambiental destacam a importância de se avançar nesse tipo de estudo. Ao considerar o PCZ como um parâmetro crucial, foi possível não apenas compreender melhor o comportamento do bioissorvente, mas também estabelecer diretrizes para sua otimização em processos de remoção de contaminantes. A análise cuidadosa das interações eletrostáticas entre o musgo e os contaminantes abre caminho para futuras aplicações em diferentes contextos de despoluição ambiental.

Agradecimentos

Ao grupo de pesquisa do CNPQ: Briófitas: florística, bioprospecção, ensino e conservação; à Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, especialmente à Pró-reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa e à Fapergs pela bolsa de Iniciação Científica concedida.



REFERÊNCIAS

ADOLFSSON-ERICI, Margaretha; PETTERSSON, Maria; PARKKONEN, Jari; STURVE, Joachim. **Triclosan, a commonly used bactericide found in human milk and in the aquatic environment in Sweden.** Chemosphere, vol. 46, no. 9–10, p. 1485–1489, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00255-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00255-7).

ALI, Hazrat; KHAN, Ezzat; SAJAD, Muhammad Anwar. **Phytoremediation of heavy metals- Concepts and applications.** Chemosphere, [s. l.], v. 91, n. 7, p. 869–881, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>.

ARAÚJO, Ronaldo Kanopf de; WOLFF, Delmira Beatriz; CARISSIMI, Elvis. **Fármacos em águas residuárias: efeitos ambientais e remoção em wetlands construídos.** Revista DAE, [s. l.], v. 67, n. 218, p. 137–155, 2019.

BASILE, Adriana *et al.* **Ultrastructural changes and Heat Shock Proteins 70 induced by atmospheric pollution are similar to the effects observed under in vitro heavy metals stress in Conocephalum conicum (Marchantiales - Bryophyta).** Environmental Pollution, v. 182, p. 209–216, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.014>

BEDOUX, Gilles; ROIG, Benoit; THOMAS, Olivier; DUPONT, Virginie; LE BOT, Barbara. **Occurrence and toxicity of antimicrobial triclosan and by-products in the environment.** Environmental Science and Pollution Research, vol. 19, no. 4, p. 1044–1065, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0632-z>.

CANOSA, P.; RODRÍGUEZ, I.; RUBÍ, E.; CELA, R. **Determination of parabens and triclosan in indoor dust using matrix solid-phase dispersion and gas chromatography with tandem mass spectrometry.** Analytical Chemistry, vol. 79, no. 4, p. 1675–1681, 2007. <https://doi.org/10.1021/ac061896e>.

COLE, Theodor C.H.; HILGER, Hartmut H.; GOFFINET, Bernard. Bryophyte Phylogeny Poster, p. 200, 2021.

COSTA, Carla Regina; OLIVI, Paulo; BOTTA, Clarice M.R.; ESPINDOLA, Evaldo L.G. **A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação.** Química Nova, vol. 31, no. 7, p. 1820–1830, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700038>.

CUNHA, Bruna dos Santos. **Utilização de biossorventes alternativos na remoção de corantes têxteis.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná., [s. l.], 1-62, 2014.

DAR, Owias Iqbal; ASLAM, Raouf; PAN, Deng; SHARMA, Sunil; ANDOTRA, Megha; KAUR, Arvinder; JIA, Ai Qun; FAGGIO, Caterina. **Source, bioaccumulation, degradability, and toxicity of triclosan in aquatic environments: A review.** Environmental Technology and Innovation, vol. 25, p. 102122, 2022. DOI 10.1016/j.eti.2021.102122.



DO NASCIMENTO, Jéssica Mesquita; DA SILVA, Bruno Sampaio; CHAVES, Márcia Dias; DE OLIVEIRA, Jorge Diniz. **Biossorção dos íons Cd 2+ E Pb 2+ utilizando a Biomassa Casca de Pequi (Caryocar brasiliense Camb) Modificada com Ácido Cítrico.** Revista de Ciências Ambientais - RCA, vol. 8, no. 1, p. 57–69, 2014. Available at: <http://www.revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca>.

DOS REIS, Glaydson S.; THUE, Pascal S.; CAZACLIU, Bogdan G.; LIMA, Eder C.; SAMPAIO, Carlos Hoffmann; QUATTRONE, Marco; OVSYANNIKOVA, Ekaterina; KRUSE, Andrea; DOTTO, Guilherme L. **Effect of concrete carbonation on phosphate removal through adsorption process and its potential application as fertilizer.** Journal of Cleaner Production, vol. 256, p. 120416, 2020. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.120416.

ESCHER, Mayara Andria da Silva; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; TORRES, Nádia Hortense; FERREIRA, Luiz Fernando Romanholo. **A Problemática Ambiental Da Contaminação Dos Recursos Hídricos Por Fármacos.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online), no. 51, p. 141–148, 2019. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820190469>.

FIOL, Núria; VILLAESCUSA, Isabel. **Determination of sorbent point zero charge: Usefulness in sorption studies.** Environmental Chemistry Letters, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 79–84, 2009.

GONZÁLEZ, A. G.; POKROVSKY, O. S. **Metal adsorption on mosses: Toward a universal adsorption model.** Journal of Colloid and Interface Science, [s. l.], v. 415, p. 169–178, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2013.10.028>.

HAN, Runping; DING, Dandan; XU, Yanfang; ZOU, Weihua; WANG, Yuanfeng; LI, Yufei; ZOU, Lina. **Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode.** Bioresource Technology, vol. 99, no. 8, p. 2938–2946, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.027>.

LUO, Yunlong; GUO, Wenshan; NGO, Huu Hao; NGHIEM, Long Duc; HAI, Faisal Ibney; ZHANG, Jian; LIANG, Shuang; WANG, Xiaochang C. **A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment.** Science of the Total Environment, vol. 473–474, p. 619–641, 2014. DOI 10.1016/j.scitotenv.2013.12.065.

MAHMOOD, Tahira; SADDIQUE, Muhammad Tahir; NAEEM, Abdul; WESTERHOFF, Paul; MUSTAFA, Syed; ALUM, Absar. **Comparison of different methods for the point of zero charge determination of NiO.** Industrial and Engineering Chemistry Research, vol. 50, no. 17, p. 10017–10023, 2011. <https://doi.org/10.1021/ie200271d>.

MARTINS, R J E. **Acumulação e liberação de metais pesados por briófitas aquáticas.** 2004. 650 f. Universidade do Porto, 2004.

MILIOLI, Suelen Specht Calegaro. **Remoção do Antibiótico Ciprofloxacino em Meio Aquoso Empregando Biomassa de Macrófita como Biossorbente.** 1–56 f. - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.



RAIMUNDO, Cassiana Carolina Montagner. **Contaminantes emergentes em água tratada e seus mananciais: sazonalidade, remoção e atividade estrogênica**. 2011. 203 f. Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Química, Campinas.

RAND, Gary M; PETROCELLI, Sam R. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications**. Hemisphere Publishing, Washington, 455-471, 1985.

REGALBUTO, John R; ROBLES, Jaime O. **The Engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation**. University of Illinois, Chicago, [s. l.], p. 13 p., 2004.

SAHA, Sarthak; ZUBAIR, Muhammad; KHOSA, M. A.; SONG, Sandra; ULLAH, Aman. **Keratin and Chitosan Biosorbents for Wastewater Treatment: A Review**. Journal of Polymers and the Environment, vol. 27, no. 7, p. 1389–1403, 2019. DOI 10.1007/s10924-019-01439-6.

SANTOS, Edmo Marcelo Ramos de Oliveira. **Produção e Caracterização Físico-química e Morfológica de Biossorvente Ativado Oriundo da Casca de Mandioca (Manihot esculenta)**. 2022. - Universidade Federal Rural da Amazônia, [s. l.], 2022.

SAXENA, Anuj; SAXENA, D. K.; SRIVASTAVA, H. S. **The influence of glutathione on physiological effects of lead and its accumulation in moss Sphagnum squarrosum**. Water, Air, and Soil Pollution, [s. l.], v. 143, n. 1–4, p. 351–361, 2003.

SILVA, Nayara Cristina Romano. **Utilização Da Casca De Banana Como Biossorvente Para a Adsorção De Chumbo (Ii) Em Solução Aquosa**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Departamento De Engenharia Ambiental, 2014.

TESSER, Therrése Torres. **Utilização de Briófitas como Biossorvente na Remoção de Metais em Matriz de Água Superficial**. 2023. 1–80 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.

THOLOZAN, Luana Vaz; VALÉRIO FILHO, Alaor; MARON, Guilherme Kurz; CARRENO, Neftali Lenin Villarreal; DA ROCHA, Cacinele Mariana; BORDIN, Juçara; DA ROSA, Gabriela Silveira. **Sphagnum perichaetiale Hampe biomass as a novel, green, and low-cost biosorbent in the adsorption of toxic crystal violet dye**. Environmental Science and Pollution Research, vol. 30, no. 18, p. 52472–52484, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26068-4>.

SCCS, Scientific Committee on Consumer Safety. **Opinion on triclosan - Antimicrobial resistance**, 2010

SILVEIRA, Thayse Freitas. **Biomassa de Musgo Sphagnum perichaetiale Hampe (sphagnaceae, bryophyta) aplicada à remoção do hormônio sintético 17 α -etinilestradiol**. 2021. 6 f. Universidade Estadual Do Rio Grande Do Sul E Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

SINGER, Heinz; MÜLLER, Stephan; TIXIER, Céline; PILLONEL, Laurent. **Triclosan: Occurrence and fate of a widely used biocide in the aquatic environment: Field measurements in wastewater treatment plants, surface waters, and lake sediments**. Environmental Science and Technology, vol. 36, no. 23, p. 4998–5004, 2002. <https://doi.org/10.1021/es025750i>.

