

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

**BIOADSORÇÃO SIMULTÂNEA DE Al^{3+} , Fe^{3+} E Cr^{6+} EM SUPORTE DE
ARGILOMINERAIS COM BIOMASSA IMOBILIZADA DE *Syncephalastrum*
*racemosum***

JAINANDO BRITO MORAIS¹; JOSÉ FÁBIO FRANÇA ORLANDA¹

AFILIAÇÃO

¹Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas (CCENT), Rua Godofredo Viana, 1300 - Centro, 65.901-480, Imperatriz – MA.

RESUMO

A contaminação dos efluentes contendo metais potencialmente tóxicos tem despertado grandes preocupações, por apresentarem efeitos nocivos ao ambiente e à saúde humana. Dentre os metais tóxicos mais preocupantes por sua toxicidade e larga utilização em processos industriais, destacam-se o alumínio, ferro e cromo. A estratégia de tratamento alternativo de ambientes contaminados faz uso de microrganismos, como agentes de remoção de metais tóxicos, denominado bioadsorção. Dentre os microrganismos utilizados para produção de biomassa, os fungos têm apresentado eficácia no processo de remoção de metais tóxicos, devido à facilidade de crescimento, síntese de elevada quantidade de material celular (biomassa)

e a presença de diversos grupos químicos adsorptivos. O processo é passivo, rápido, reversível e independente de energia metabólica, realizado por biomassa fúngica morta que apresentam mecanismos de troca iônica, adsorção, complexação, precipitação ou cristalização. A pesquisa por novos suportes para associação com a biomassa microbiana de fungos filamentosos, que sejam de baixo custo, de fontes renováveis e grande disponibilidade na natureza encontra-se em acelerado esforço de investigação. As argilominerais fazem parte de uma classe promissora de adsorventes, utilizados no controle da biodisponibilidade de íons metálicos tóxicos, em ambientes aquáticos. Neste contexto, o presente projeto de pesquisa tem como objetivo avaliar a bioadsorção simultânea dos íons metálicos Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} por biomassa fúngica inativa de *Syncephalastrum racemosum* ancoradas em suporte de argilominerais. Os resultados mostraram que a biomassa de *S. racemosum* imobilizada em argilomineral foi muito eficiente

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

no processo de bioadsorção dos íons de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} em solução, com valor de Isoterma de sorção, pelo modelo de Freundlich de 0,9473 a 0,9628. Dessa forma, fica evidente que houve uma grande afinidade do íon pelos sítios do material adsorvente e a energia livre no processo de adsorção.

PALAVRAS-CHAVE: Íons metálicos; Fungo imobilizado; Bioadsorção.

INTRODUÇÃO

A atividade industrial é uma das principais responsáveis pela deterioração do ambiente, particularmente pelo lançamento indiscriminado de elevadas quantidades de metais potencialmente tóxicos, em especial o alumínio, ferro e cromo. Em geral, podem se apresentar em mais de um estado de oxidação, aumentando a possibilidade de mobilidade, biodisponibilidade e toxicidade. A baixa biodegradabilidade pode levar ao acúmulo nos seres vivos, tendo seu efeito aumentado ao longo da cadeia alimentar, provocando o risco de câncer e anormalidades reprodutivas nos seres humanos (ALPATOVA et al., 2021).

O tratamento convencional de efluentes contendo metais pode ser feito utilizando troca iônica, precipitação química, ultrafiltração e osmose reversa. No entanto, esses métodos apresentam desvantagens como ineficiência quando a concentração do contaminante é baixa, remoção incompleta e a geração de resíduos tóxicos (TOHDEE; KAEWSICHAN, 2018).

Dentre as biotecnologias, tem-se destacado o processo de bioadsorção, que surge como uma tecnologia inovadora, segura e eficiente para tratamento de soluções diluídas contendo poluentes orgânicos ou inorgânicos. Esse processo utiliza sólidos de origem natural ou biomassas microbianas inativas que apresentam capacidade de concentrar os metais como bioadsorventes (BANO et al., 2018).

Diversos microrganismos apresentam a capacidade de bioadsorver poluentes inorgânicos em meio aquoso, dentre eles, os fungos e as bactérias têm se mostrado bastante eficientes. A bioadsorção utilizando fungos filamentosos são bastantes promissores na recuperação de ambientes contaminados com metais tóxicos, devido à alta capacidade de adaptação por serem mais resistentes, permitindo o seu desenvolvimento em ambientes com altas concentrações destes poluentes (ALBERT et al., 2018).

Com o avanço das pesquisas na área de biotecnologia ambiental, em busca de novos materiais que possam servir de suportes para a imobilização de biomassa microbiana inativa.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

As aplicações de argilominerais, como matrizes para a intercalação de grupos funcionais específicos capazes de formar complexos estáveis com os íons metálicos, e menos reversíveis que os resultantes da adsorção por troca catiônica, apareceram como uma alternativa viável para o desenvolvimento de novos materiais bioadsorventes. As modificações promovem aumento da área superficial específica do biosorvente, capacidade de troca catiônica (CTC) e porosidade que potencializam as propriedades adsorptivas e catalíticas dos compostos de argila (QUITON et al., 2021).

Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a bioadsorção simultânea dos íons metálicos Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} por biomassa inativa de *Syncephalastrum racemosum* suportada em argilominerais.

METODOLOGIA

Coleta das amostras de argilas

As amostras de argilominerais foram coletadas em propriedades agrícolas na zona rural do município de Imperatriz - MA, segundo metodologia de Moreira et al. (2010). Em seguida, transportadas ao Laboratório de Biotecnologia Ambiental (LABITEC) e submetidas às análises de caracterização química e mineralógica da fração argila (BURT, 2004).

Imobilização da biomassa de *Syncephalastrum racemosum*

O *Syncephalastrum racemosum* pertencente a micoteca do Laboratório de Biotecnologia Ambiental (LABITEC) foi cultivado em placas de Petri contendo meio Ágar Sabouraud Dextrose (BDA), por 14 dias a 28 ± 1 °C. As imobilizações das biomassas fúngicas em suportes de argilominerais *in natura* e funcionalizada foram realizadas em frascos de polipropilenos com tampa contendo 10,0 mL de solução $2,4 \times 10^{10}$ de conídios fúngicos mL⁻¹ e 0,2 g de argila esterilizada, incubada a 125 xg por 14 dias (28 ± 1 °C). Os biossorventes produzidos foram inativados a 121 ± 1 °C por 15 min., filtrados à vácuo, tratamento alcalino por 15 min. e lavados com água deionizada até pH 7. Após está etapa, foram secos a 60 ± 1 °C por 5 h, pulverizados e armazenados em frascos âmbar, para posterior análise.

Métodos de caracterização

As caracterizações das nanopartículas de argilominerais natural, modificada com

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

biomassa fúngica e biomassa inativa de *Syncephalastrum racemosum* foram realizadas por meio das técnicas da análise térmica diferencial (DTA), termogravimétrica (TG) e infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).

A determinação dos grupos ácidos e básicos presentes na superfície da biomassa fúngica e argilominerais foram realizadas segundo a metodologia de Boehm (1994) e ponto de carga zero - pH_{pcz} (VIEIRA et al., 2010).

Experimentos de biossorção

A cinética de biossorção foi determinada empregando 0 a 3,0 g de biossorvente em erlenmeyers de 50,0 mL e 20,0 mL de solução aquosa contendo concentração conhecida de íon metálico (Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+}), com o pH ajustado para a melhor biossorção (SÁ; ORLANDA, 2015). Em seguida, os erlenmeyers foram colocados em mesa agitadora a 140 xg a 25 ± 1 °C com tempo de contato variando de 20 a 160 min. Após a agitação, o biossorvente foi separado das soluções por centrifugação a 2500 xg durante 10 min, utilizando uma centrífuga Hermle Modelo Z364, em triplicatas. As concentrações remanescentes de cada íon metálico foram determinadas por espectrometria de emissão atômica (ICPE).

As isotermas de bioadsorção foram obtidas no tempo de equilíbrio, variando-se a concentração inicial dos íons e o pH onde ocorreu a melhor adsorção. Foram obtidas isotermas nas temperaturas de 10 a 55 ± 1 °C, e os resultados obtidos ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich (VIEIRA et al., 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os espectros de infravermelhos obtidos apresentam perfil típico esperado para a parede celular fúngica de *S. racemosum*, devido à presença de polissacarídeos, grupos hidroxilados, carboxilados e aminados responsáveis pela biossorção de íons metálicos. A banda larga e forte em 3270 cm^{-1} é atribuída ao alongamento da ligação O-H. O pico em 2921 cm^{-1} é referente ao alongamento vibracional da ligação C-H. de aromáticos. As bandas em 1556 cm^{-1} são devidas a vibração C-C de anel aromático, e a banda em 1027 cm^{-1} é devido a vibração axial de C-O. Os picos em 1744 e 1629 cm^{-1} podem ser atribuídos ao alongamento vibracional da ligação C-O.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

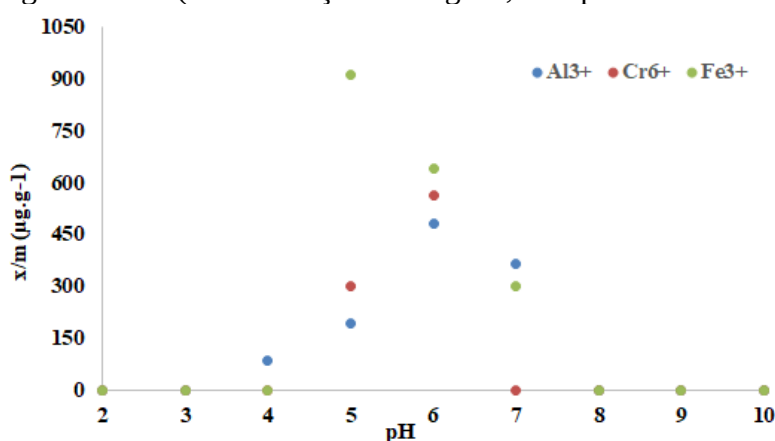
A micrografia do *S. racemosum* demonstrou que a biomassa pode ser capaz de influenciar positivamente na cinética de sorção biológica dos íons metálicos, proporcionando aumento da afinidade entre o adsorvente e o íon metálico, devido à grande área superficial. A parede celular de fungos filamentosos é composta por polissacarídeos, como β -glucano, α -glucano, quitina e glicoproteínas, lipídeos, melaninas, polímeros de D-galactosamina e poliuronídeos e é considerada o local de prevalência de sítios de ligação de metais, tais como os grupos químicos acetamido, amido, fosfato, amino, amina, sulfidril, carboxila e hidroxila.

O PCZ da biomassa fúngica em solução é 6,5, e este é menor que o pH da biomassa em solução. Portanto, a biomassa fúngica utilizada nos experimentos de bioadsorção possui carga superficial total negativa, que proporciona a adsorção do metal na biomassa inicialmente por atração eletrostática.

A micrografia da argila natural apresentou cristais pseudo-hexagonais e pseudo-quadráticos na forma de folhas irregulares e cristais na forma de lamelas, que mostram que, a argila montmorilonita do tipo nontronita é composta por lamelas muito irregulares de diferentes tamanhos.

O pH ideal para a bioadsorção de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} em biomassa fúngica de *S. racemosum* imobilizada em argilomineral se encontra em 5 para o íon Fe^{3+} e 6 para Al^{3+} e Cr^{6+} (Gráfico 1).

Gráfico 1. Efeito do pH na bioadsorção de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} na biomassa de *S. racemosum* imobilizada em argilomineral (Concentração: 10 mg L^{-1} , Temperatura = 30°C).



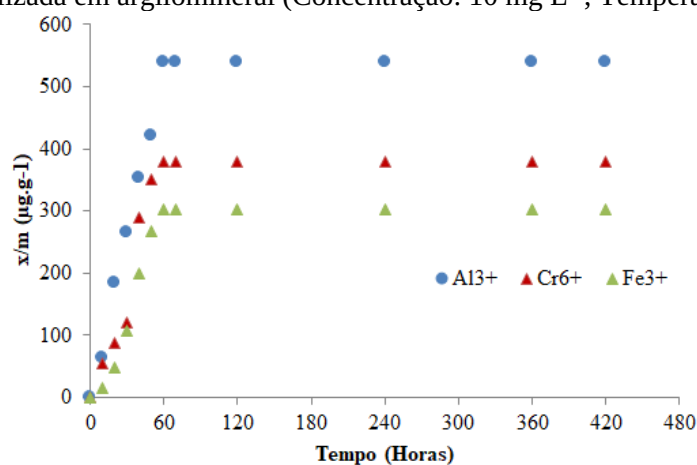
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O tempo de equilíbrio para a bioadsorção de *S. racemosum* imobilizado em argila com os íons metálicos ocorreram em duas fases (Gráfico 2). Uma fase inicial onde a bioadsorção foi

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

rápida contribuindo significativamente para a captação do íon metálico presente na solução, atingindo o equilíbrio em 60 h, devido à existência de uma grande quantidade de sítios vazios para a adsorção. Com o decorrer do tempo, uma segunda fase, mais lenta, constante e pouco significativa foi observada. Nessa etapa a quantidade de sítios vazios diminui e começam a existir a presença das forças repulsivas das moléculas do metal já adsorvidas, o que dificulta o processo de adsorção nos sítios restantes.

Gráfico 3. Efeito do tempo de equilíbrio na biossorção de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} na biomassa de *S. racemosum* imobilizada em argilomineral (Concentração: 10 mg L^{-1} , Temperatura = 30°C).

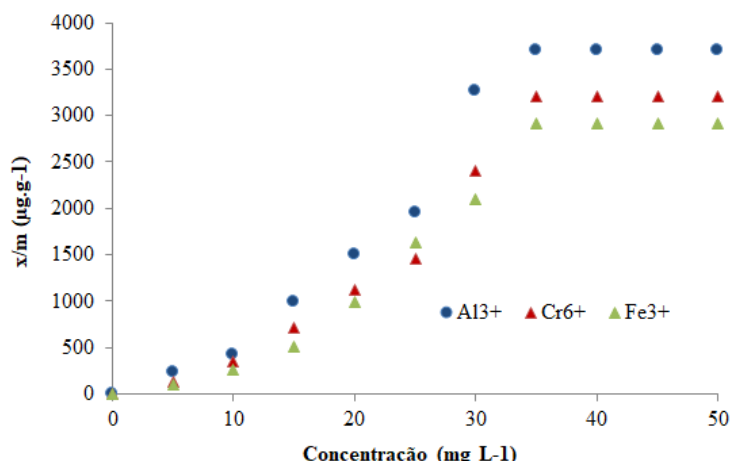


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A relação da quantidade de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} sorvida (q) na biomassa de *S. racemosum* imobilizada em argilomineral em função das concentrações de equilíbrio (C_e), mostram que aumento expressivo nas concentrações iniciais dos íons metálicos apresentou maior eficiência no intervalo de 5 a 30 mg L^{-1} . Os resultados acima de 30 mg L^{-1} , evidenciam a perda da capacidade adsorptiva, que pode ser explicado pelo acúmulo de íons em solução (Gráfico 3).

Gráfico 3. Efeito da concentração na biossorção de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} por biomassa de *S. racemosum* imobilizada em argilomineral (Temperatura = 30°C).

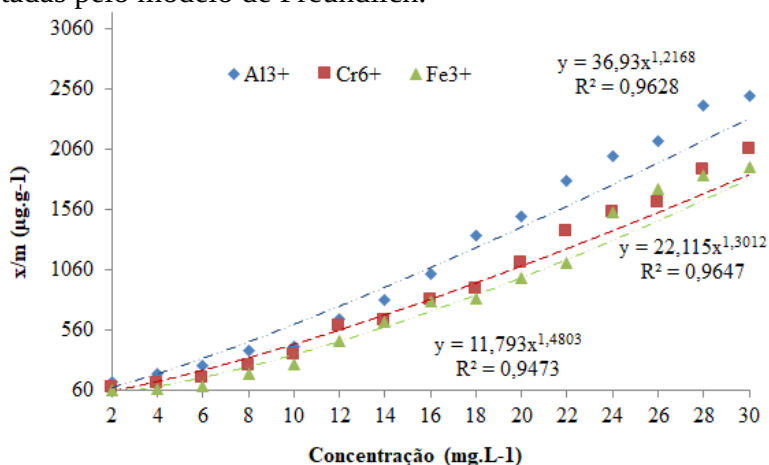
VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O equilíbrio de biossorção dos íons metálicos com a biomassa fúngica imobilizada em argilominerais foi modelado utilizando as isotermas de adsorção. Conforme o Gráfico 4, observou-se a eficiência de imobilização dos íons no processo de biossorção, com valor de Isoterma de sorção, pelo modelo de Freundlich, com intervalo de 0,9473 a 0,9628. Assim pode-se concluir que a capacidade de sorção da biomassa é muito elevada.

Gráfico 4. Isotermas de sorção dos íons de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} com a biomassa fúngica imobilizada, ajustadas pelo modelo de Freundlich.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em ajuste de isoterma de um simples componente, a otimização do procedimento requer que a análise de erro seja definida de tal forma que esta seja capaz de avaliar o ajuste de isoterma aos dados experimentais de equilíbrio. Pode-se empregar para tal fim, os coeficientes de correlação (R) e na avaliação do ajuste usando a análise linear, os coeficientes de correlação

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

são comparados. O modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais apresentará valor de R mais alto e mais próximo de um (MAGDALENA, 2010).

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, concluir-se que, a biomassa de *S. racemosum* imobilizada em argilomineral foi muito eficiente no processo de biossorção dos íons de Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{6+} em solução, com valor de Isoterma de sorção, pelo modelo de Freundlich de 0,9473 a 0,9628. Dessa forma, fica evidente que houve uma grande afinidade do íon pelos sítios do material adsorvente e a energia livre no processo de adsorção.

VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

APOIO FINANCEIRO

Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT, Quetin; LELEYTER, Lydia; LEMOINE, Méline; HEUTTE, Natacha; RIOULT, Jean Philippe; SAGE, Lucile; BARAUD, Fabienne; GARON, David. Comparison of tolerance and biosorption of three trace metals (Cd, Cu, Pb) by the soil fungus *Absidia cylindrospora*. **Chemosphere**, United Kingdom, v. 196, n. 1, p. 1-29, 2018.

ALPATOVA, A.; VERBYCH, S.; BRYK, M.; NIGMATULLIN, R.; HILAL, Nidal. Ultrafiltration of water containing natural organic matter: heavy metal removing in the hybrid complexation – ultrafiltration process. **Separation and Purification Technology**, Netherlands, v. 40, n. 2, p. 155-162, 2021.

BANO, Amna; HUSSAIN, Javid; AKBAR, Ali; MEHMOOD, Kalid; ANWAR, Muhammad; HASNI, Muhammad Sharif; ULLAH, Sami; SAJID, Sumbal; ALI, Imran. Biosorption of heavy metals by obligate halophilic fungi. **Chemosphere**, United Kingdom, v. 199, n. 1, p. 218-222, 2018.

BURT, Rebeca. **Soil survey laboratory methods manual**. 4. ed. Washington: Department of Agriculture, 2004.

MAGDALENA, C. P. **Adsorção de corante reativo Remazol Vermelho RB de solução aquosa usando zeólita de cinzas de carvão e avaliação da toxicidade aguda com *Daphnia similis***. Dissertação (Mestrado) -Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2010.

QUITON, Khyle Glainmer; DOMA JÚNIOR, Bonifacio; FUTALAN, Cybelle M.; WAN, Meng-Wei. Removal of chromium (VI) and zinc (II) from aqueous solution using kaolin-supported bacterial biofilms of Gram-negative *E. coli* and Gram-positive *Staphylococcus epidermidis*. **Sustainable Environment Research, Taiwan**, v. 28, n. 5, p. 206-213, 2018.

SÁ, Laion Mairton Costa; ORLANDA, José Fábio França. Estudo da Cinética da sorção de cromo hexavalente por biomassa fúngica de *Aspergillus ochraceus*. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, Campo Grande, v. 7, n. 34, p. 382-390, 2015.

TOHDEE, Kanogwan; KAEWSICHAN, Lupong. Enhancement of adsorption efficiency of heavy metal Cu (II) and Zn (II) onto cationic surfactant modified bentonite. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, United Kingdom, v. 6, n. 2, p. 2821-2828, 2018.

VIEIRA, Adriana P.; SANTANA, Sirlane A. A.; BEZERRA, Cícero W. B.; SILVA, Hildo A. S.; MELO, Júlio C. P.; FILHO, Edson C. S.; AIROLDI, Cláudio. Copper sorption from aqueous solutions and sugar cane spirits by chemically modified babassu coconut (*Orbignya*



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão



VI Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da UEMASUL
07 a 09 de novembro de 2023- Imperatriz - MA

speciosa) mesocarp. **Chemical Engineering Journal**, Netherlands, v. 161, n. 1-2, p. 99-105, 2010.