


EMPREGO DE BIOMASSAS ADSORVENTES NA REMOÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM MEIO AQUOSO

USE OF ADSORPTIVE BIOMASS IN THE REMOVAL OF METAL IONS IN AQUE ENVIRONMENT


 10.36977/ercct.v21i2.274

Revisão

Antonio Rony da Silva Pereira Rodrigues¹

 <https://orcid.org/0000-0002-8980-6451>

Edinalda Maria Cavalcante²

 <https://orcid.org/0000-0002-5392-4739>

RESUMO

Objetivou-se selecionar e analisar artigos científicos sobre adsorção de íons metálicos em meio aquoso através do uso de biomassas. O estudo trata-se de uma revisão integrativa de literatura, com busca realizada em bases de dados científicas. A busca por estudos foi feita entre julho e agosto de 2022, nas bases de dados, ScienceDirect (Elsevier), Central: PMC- National Library of Medicine National Institutes of Health (PubMed) e Google Scholar (Google acadêmico). Treze artigos foram selecionados para compor o estudo. Foi analisado como as biomassas podem remover íons metálicos em meio aquoso e quais são as principais biomassas com potencial adsorvente estudadas e descritas na literatura. Entre os materiais adsorventes foram encontrados: fibra de bananeira; Moringa oleífera; fibra de coco; cascas de cebola, borra de café, entre outros, sendo utilizado para adsorver íons de chumbo, cádmio, cobre, zinco e níquel. Concluiu-se que as biomassas podem atuar no tratamento de águas contaminadas por íons metálicos, por possuir alta eficácia, baixo custo e ampla disponibilidade.

Palavras-chave: Biomassas. Metais pesados. Contaminação da água.



Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia

www.uvanet.br/essentia

Recebido em: 28/12/2021

Aprovado em: 09/06/2022

Autor para correspondência:

Atônio Rony da Silva Pereira Rodrigues

E-mail: ronny346silva@gmail.com



Copyright (c) 2022 Essentia - Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

¹Discente do Curso de Química da Universidade Estadual do Ceará (UECE)-Campos Sales. Bolsista PROMAC/Funcap. Campos Sales, Ceará, Brasil. E-mail: ronny346silva@gmail.com

²Bióloga pela Universidade Regional do Cariri (URCA). Docente da Secretaria Municipal de Educação de Salitre. Discente do Curso de Química da UECE-Campos Sales. Campos Sales, Ceará, Brasil. E-mail: edinalda.biologia123@outlook.com

ABSTRACT

The objective of this study was to select and analyze scientific articles on adsorption of metal ions in aqueous medium through the use of biomass. The study is an integrative literature review, with a search carried out in scientific databases. The search for studies was done between July and August 2022, in the databases, ScienceDirect (Elsevier), Central: PMC- National Library of Medicine National Institutes of Health (PubMed) and Google Scholar. Thirteen articles were selected to make up the study. It was analyzed how biomass can remove metal ions in aqueous medium and what are the main biomasses with adsorbent potential studied and described in the literature. Among the adsorbent materials were: banana fiber; Moringa oleifera; coconut fiber; onion peels, coffee grounds, among others, being used to adsorb lead ions, cadmium, copper, zinc and nickel. It was concluded that biomass can act in the treatment of water contaminated by metal ions, because it has high efficacy, low cost and wide availability.

Keywords: Adsorption. Biomass. Heavy metals. Water contamination.

INTRODUÇÃO

O advento de novas tecnologias e o desenvolvimento industrial ocorrido nas últimas décadas fizeram com que o ser humano pense sobre seus impactos provocados ao meio ambiente. Entre os muitos danos provocados ao meio ambiente, um de grande preocupação é a contaminação das águas por produtos orgânicos e metais pesados. A contaminação da água por metais tóxicos é um problema de escala global, cujo necessita de uma solução simples, rápida e viavelmente econômica (BORGES, 2018).

São considerados metais pesados, elementos com massa atômica entre 63,5 e 200,6u e uma densidade relativa maior que 5,0 (SRIVASTAVA; BALOMAJUMDER, 2008). Os metais tóxicos estão presente no na crosta terrestre em menos de 1%, e podem ser divididos como oligoelementos ou micronutrientes, sendo esse com função biológica, auxiliando nos crescimentos e desenvolvimentos das plantas, como por exemplo o zinco e o manganês. Outros metais não possuem atividade biológica e são altamente tóxicos e prejudiciais ao ser humano, a exemplo do cádmio, bismuto e chumbo. Intoxicações por chumbo, na forma inorgânica (Pb²⁺), por exemplo, pode induzir a inibição de enzimas, podendo causar danos ao sistema nervoso (MOREIRA, 2004; PINO, 2005; DE CAPITANI, 2009).

Nos processos industriais que envolvem em alguma etapa o uso de água nas etapas de produção, liberam quantidades significativas de resíduos, que comumente são descartados de forma irregular. Os íons metálicos Cd (II), Ni (II) e Pb (II), são os mais liberados nesses processos e também os mais preocupantes para a saúde humana, por serem íons orgânicos de alta toxicidade (MÓDENES et al., 2013).

Tendo em vista, o descarte irregular de resíduos industriais e outros compostos que liberam íons metálicos tóxicos, a preocupação com o tratamento e manutenção da qualidade da água vem aumentando a cada dia. O tratamento de água convencional inclui processos de coagulação e de floculação, sedimentação, filtração, adsorção e desinfecção. A utilização desses processos físico-químicos auxilia na remoção da matéria orgânica, turbidez e microrganismos patogênicos (CRITTENDEN et al., 2005).

Alguns métodos como a precipitação química é amplamente utilizada para remover íons metálicos de efluentes, por ser de baixo custo e simples de operar (BALTPURVINS et al., 1997). A coagulação floculação também são utilizadas, onde é usado um coagulante que desestabiliza as partículas, resultando na sedimentação, sendo essas partículas removidas por filtração ou flotação (TEH et al., 2016).

Visando qualidade e viabilidade econômica, os processos de adsorção de íons metálicos em meio aquoso, tem sido um dos meios mais estudados para remoção desses contaminantes. Para ter um processo de adsorção eficiente, se deve escolher um agente adsorvente com alta seletividade, capacidade, longa vida, está disponível em grande quantidade e possuir baixo custo. O carvão ativado inicialmente teve destaque como agente adsorvente, mas se observou que a obtenção e regeneração não é viável economicamente. Em substituição ao uso do carvão ativado, estão o uso de materiais lignocelulósicos, por possuir baixo custo, fácil regeneração e alta recuperação do metal (OLIVEIRA, 2007; SENTHILKUMAR et al., 2011).

Algumas biomassas tem sido bastante utilizadas como materiais adsorventes, como Moringa oleifera, bananeira e principalmente fibra de coco. Devido à alta produção e geração muitos resíduos, o coco se tornou objeto de estudo para formulação de materiais adsorventes. A fibra de coco in natura contém partículas compactas e porosas, tendo cerca de 54% da fibra formada por material com elevador teor lignocelulósico. A parte porosa que desempenha papel de retenção de contaminantes. O coco tem sido usado como material adsorvente ou auxiliar para potencializar outros materiais (MIGUEL, 2021; CATUNDA et al., 2016; VELOSO et al., 2013).

Diante desse contexto, torna-se necessário o entendimento do uso de biomassas como materiais adsorventes de íons metálicos, como meio alternativo para os tratamentos de água. Sendo assim, o estudo objetivou buscar na literatura estudos relevantes relacionados a temática abordada, a fim de descrever quais as principais biomassas são utilizadas e como são seus meios de ação.

METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão integrativa de literatura (RI). A revisão integrativa é um método para reunir e sintetizar os estudos sobre determinado assunto, a fim de construir uma construção a partir dos resultados obtidos através de cada pesquisa, que investigam problemáticas idênticas ou similares (POMPEU; ROSSI; GALVÃO, 2009).

Para construção do estudo foi seguidos 6 etapas, sendo elas: 1) Delimitação da temática a ser estudada e definição da pergunta norteadora; 2) Aplicação de critérios de inclusão e exclusão da amostragem dos estudos; 4) Análise dos estudos incluídos na revisão; 5) Discussão dos resultados encontrados e; 6) Apresentação da síntese do conhecimento (MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008). Tendo em vista a temática a ser estudada, foi levantado o seguinte questionamento: "quais biomassas podem ser utilizadas como material adsorvente de íons metálicos em meio aquoso?".

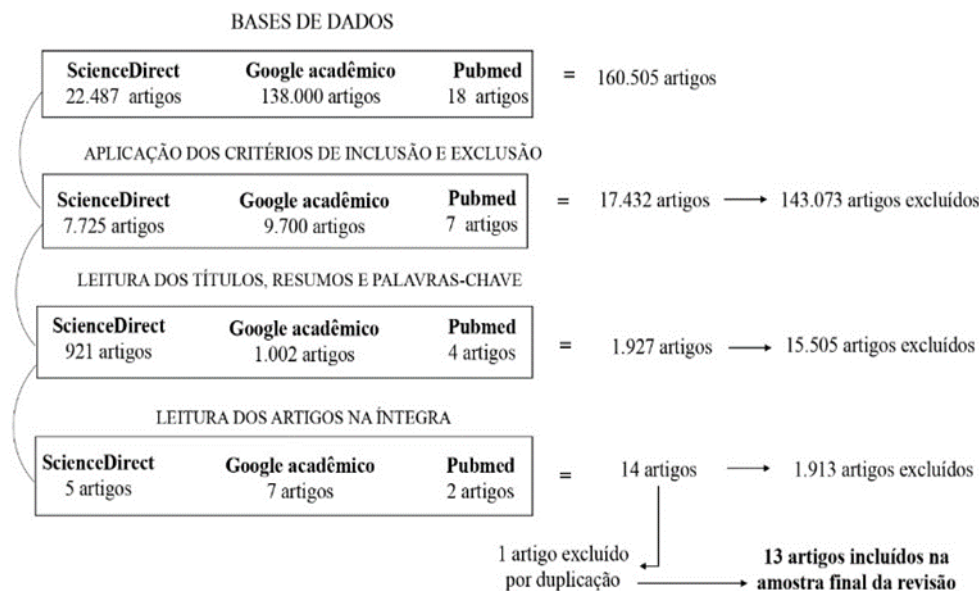
Com o objetivo de responder à pergunta norteadora, se iniciou a busca por artigos sobre a temática na literatura. A busca de artigos se deu entre julho e agosto de 2022, nas bases de dados, ScienceDirect (Elsevier), Google acadêmico (Google

Scholar) e PubMed (Central: PMC- National Library of Medicine National Institutes of Health). Para a busca de artigos, foi delimitado como corte temporal de 2018 a 2022 e foi utilizado o conjunto o seguinte conjunto de termos: "adsorption or plant material or metal ions" and "water or biomass or metal remove", em língua portuguesa e inglesa, fazendo uso dos termos booleanos AND e OR.

Na seleção de estudos foram empregados critérios de inclusão e exclusão. Estudos entre 2018 e 2022, em qualquer idioma e disponíveis na íntegra, foram incluídos para análise, foram excluídos resumos, artigos incompletos, fora do recorte temporal, publicados em anais de eventos, livros e capítulos de livros, teses, dissertações e monografias ou que não possuem disponibilidade na íntegra.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, os artigos a princípio foram selecionados tendo como base a leitura de títulos, resumos e palavras-chave, os estudos selecionados nessa etapa foram analisados mediante leitura total dos estudos, após a leitura dos estudos, foram selecionados os mais relevantes dentro da temática, para compor a revisão integrativa. As etapas para seleção dos estudos que integram a RI, podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 1.

Figura 1: Processo de seleção dos estudos incluídos na revisão, por meio do protocolo PRISMA. Campos Sales, Ceará, Brasil, 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

RESULTADOS

A busca por estudos nas bases de dados, resultou em 160.505 artigos, sendo 22.487 na ScienceDirect, 138.000 no Google acadêmico e 18 na PubMed. Após a aplicação dos filtros de inclusão 143.073 estudos foram excluídos, passando 17.432 artigos para a próxima etapa de seleção. Na seleção mediante leitura dos títulos,

resumos e palavras-chave, 1.927 estudos foram selecionados para ser lidos completamente, onde 14 estudos foram selecionados para compor a revisão, um artigo foi excluído por ter sido encontrado em mais de uma base de dados e foi dado preferência a base de dados, cujo o artigo foi encontrado primeiro. Ao todo 13 artigos foram selecionados para compor a amostra final de estudos que compõem a revisão integrativa, sendo

cinco da ScienceDirect, sete do Google acadêmico e dois da PubMed.

Quanto ao ano de publicação e idioma dos estudos, 2 estudos são em língua portuguesa e 11 artigos são em língua inglesa. A amostra final incluída na RI, apresenta artigos publicados em 2018 com um artigo, e em 2019, 2020, 2021 e 2022, com três artigos cada.

Durante a pesquisa, os autores identificaram os termos mais utilizados no corpo do texto e nas palavras-chave. Os termos com

maior ocorrência foram selecionados para compor uma nuvem de palavras, realizada através do software Wordle. As nuvens de palavras são representações gráfico-visual que demonstra a frequência de alguns termos no texto, quanto mais chamativa a palavras na nuvem de palavras, maior é a frequência da mesma (VILELA; RIBEIRO; BATISTA, 2020). A nuvem de palavras pode ser utilizada como um meio para busca de artigos em novos estudos sobre a mesma temática ou similar, por outros pesquisadores. A nuvem de palavras pode ser vista na Figura 2.

Figura 2: Nuvem de palavras dos principais termos encontrados nos estudos. Campos Sales, Ceará, Brasil, 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os 13 estudos que compõem a amostra final incluída na revisão integrativa, foram analisados e estão dispostos na Tabela 1, onde se pode visualizar de forma detalhada características

sobre os autores, adsorvente utilizado, íons metálicos adsorvidos e resultados gerados de cada determinada pesquisa. A Tabela 1, pode ser vista abaixo.

Tabela 1: Caracterização dos estudos incluídos na RI. Campos Sales, Ceará, Brasil, 2022. (continua na próxima página)

Autor, ano	Metais metálicos	Material utilizado	Considerações
Sheikh et al., 2021	Cr (VI), Cd (II), Cu (II), Zn (II) e Pb (II)	<i>Allium Cepa</i> (Cebola)	O tempo de adsorção foi obtido em 90 min para Cd (II), Cu (II) e Pb (II), e em 120 min para Cr (VI) e Zn (II), respectivamente. Podendo remover até 99% de íons metálicos de Pb (II), Cu (II) e Cd (II).
Wang et al., 2021	Pb (II), Cu (II) e Cd (II)	<i>Nephrolepis cordifolia</i> (Feto-crespo)	Apresentou capacidade máxima de adsorção para Pb (II), Cu (II) e Cd (II) de 247,20, 85,80 e 265,31 mg/g, respectivamente.
Rocker et al., 2019	Cr (III)	<i>Pistia stratiotes</i> (Alface-d'água)	Demonstrou capacidade máxima de biossorção de 58,16 e 19,80 mg g ⁻¹ para <i>Pistia</i> modificada e <i>Pistia in natura</i> , respectivamente.

Tabela 1: Caracterização dos estudos incluídos na RI. Campos Sales, Ceará, Brasil, 2022.
(continua na próxima página)

Autor, ano	Metais metálicos	Material utilizado	Considerações
Lima et al., 2020	Cu (II), Zn (II) e Ni (II)	<i>Euterpe oleracea</i> (Açaí)	Capacidade máxima de adsorção foi de 15,77, 24,69 e 3,30 mg g ⁻¹ para os íons Cu (II), Zn (II) e Ni (II), respectivamente.
Wan Ibrahim et al., 2019	Cd (II)	<i>Leucaena leucocephala</i> (Leucena)	A capacidade máxima de adsorção foi de 70,423 mg/g, sendo alcançada em 40 min.
Nwagbara et al., 2022	Pb (II), Cu (II) e Cd (II)	<i>Moringa oleífera</i> (Moringa)	A remoção máxima em temperatura ambiente e dosagem de 0,8 g foi de 90, 81,77 e 70% para Pb (II), Cd (II) e Cu (II), respectivamente.
Herrera-Barros et al., 2020	Ni (II)	Casca de limão modificadas por dióxido de titânio (TiO ₂)	A partir desses experimentos, a adsorção máxima de íons Ni (II) de 78 ± 0,2% foi obtida em pH 6,0.
Tiwari et al., 2022	Zn (II) e Ni (II)	<i>Dalbergia sissoo</i> (Jacarandá)	A biossorção máxima de Zn e Ni foi encontrada nas concentrações de 20 e 10 mg/L em pH 7 e 5, com teor de biomassa de 1,5 e 0,5, respectivamente.
Da Silva et al., 2018	Pb (II) e Ni (II)	Casca de coco, banana, eucalipto, borra de café, <i>Attalea funifera</i> (Piaçava) e <i>Eichornia crassipes</i> (Aguapé)	Demonstrou que todos os materiais absorvem mais íons Pb (II), com as maiores taxas de absorção em pH igual a 4,5 para Pb (II) e pH igual a 5 para Ni (II).
Fan et al., 2020	Pb (II) e Cd (II)	<i>Saccharum officinarum</i> (Cana-de-açúcar)	Apresentou eficácia na remoção de Pb (II) e Cd (II), com taxa de remoção máxima de 354,60 e 176,36 mg g ⁻¹ , respectivamente
Kokate et al., 2022	Pb (II)	<i>Musa</i> (Bananeira)	O <i>Banana Stem Scutcher</i> adsorveu 4x mais íons de Pb (II), que o caule a fibra, com taxa de 179,9 mg g ⁻¹ .

Tabela 1: Caracterização dos estudos incluídos na RI. Campos Sales, Ceará, Brasil, 2022.

Autor, ano	Metais metálicos	Material utilizado	Considerações
Pirsalami et al., 2021	Cu (II)	<i>Glycyrrhiza glabra</i> (Alcaçuz)	Capacidade máxima de adsorção é de 181,6 mg/g para a solução com concentração inicial de 400 mg/L
Khera et al., 2019	Co (II) e Zn (II)	<i>Fumaria indica</i> (Pitpapra)	A taxa de remoção foi de 225 mg/g e 230 mg/g de Co (II) e Zn (II) em meio aquoso, respectivamente.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

DISCUSSÃO

O uso das cascas e da fibra de bananeira, demonstram capacidade adsorvente frente a íons de chumbo, para as cascas a capacidade máxima de remoção alcança casca de banana, tendo apresentado integração contínua de 90,263% para as cascas de banana. Foi identificado capacidade de absorção de íons de chumbo de 7,83%, quando a solução apresenta apenas íons de chumbo. A utilização do resíduo sólido de biomassa Banana Stem Scutcher (BSS), extraído da fibra do caule da bananeira, demonstrou capacidade máxima de adsorção para remoção de íons Pb (II) de 179,9 mg/g -1, mesmo após a reciclagem do BSS cinco vezes, não ocorreu nenhuma perda significativa no desempenho de adsorção (DA SILVA et al., 2018; KOKATE; PARASURAMAN; PRAKASH, 2022).

Estudos de Sales e Fernandes (2020), utilizando cascas de baru (*Dipteryx alata*) como material adsorvente, identificou que o material possui adsorção favorável quando utilizado 10mg de farinha de cascas, em pH 7,0 e em cerca de 20 minutos, o processo de adsorção de íons de cromo em água foi significativo. A Espectroscopia de Infravermelho (FTIR) demonstrou que OH, C-O, C=O, C-H, CH₂ e N-H, são os principais sítios ativos, que promove interação eletrostática permitindo a adsorção.

O uso de Moringa oleífera como adsorvente de íons de chumbo, cobre e cádmio em sistemas aquosos foi identificado e comprovado em estudos de Nwagbara et al., (2022). A M. oleífera apresentou remoção máxima de 90,81, 81,77 e 70% para Pb (II), Cd (II) e Cu (II), respectivamente, em dosagem baixa de 0,8g e em temperatura ambiente. Outro estudo, avaliou a capacidade adsorvente de sementes de Moringa oleífera ativada com NaOH, em condições otimizadas, a remoção de cromo (Cr (III)), chegou a taxa de 98% em amostras de água, tendo capacidade máxima de 0,8241 mg de cromo por

grama do adsorvente (DOS SANTOS; COELHO; COELHO, 2021).

A utilização da biomassa seca das macrófitas *Eichhornia crassipes*, *Egeria densa*, e *Salvinia auriculata*, apresentou atividade adsorvente não favorável dos íons Cu (II), mesmo com ativação química alcalina, mas demonstram atividade adsorvente significativa para íons de manganês e vanádio. A espécie *Pistia stratiotes*, quando utilizado a biomassa com ativação apresentou capacidade máxima de bioadsorção de 58,16 mg/g -1, enquanto a *Pistia stratiotes* in natura, apresentou capacidade máxima de 19,80 mg/g-1 (GOMES et al., 2022; ROCKER et al., 2019).

Nascimento et al., (2014), estudou a atividade adsorvente das cascas de pequi (*Caryocar brasiliense*), in natura e ativada com uso de ácido cítrico. O ácido cítrico auxiliou positivamente na adsorção de íons de Cd (II) e Pb (II). Os resultados mostraram que a casca de que possui atividade adsorvente significativa na bioadsorção de íons Cd (II) e Pb (II), tendo o íon Pb (II) com a melhor taxa de adsorção. O estudo de concentração de metais, demonstrou que em algumas concentrações a taxa de eficiência de adsorção chegou a 99,9%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de revisão descreve aplicações de diferentes biomassas como materiais adsorventes de íons metálicos, essas biomassas são utilizadas in natura ou quimicamente modificadas, principalmente com uso de hidróxido de sódio (NaOH) para ativação. Observa-se que a associação de materiais adsorventes e outros materiais que promovem flotação e coagulação, são tecnologias viáveis para remoção dos íons metálicos em meio aquoso.

O emprego de algumas biomassas, como a de Feto -crespo (*Nephrolepis cordifolia*), demonstraram

resultados relevantes para remoção de íons de Pb (II), Cu (II) e Cd (II), alcançando capacidade máxima de 265,31 mg/g para Cd (II), metal tóxico de remoção razoavelmente difícil.

Embora muitos trabalhos tenham sido desenvolvidos, sobre a temática abordada, novas pesquisas serão importantes para descobrir e desenvolver outros materiais adsorventes, seja eles in natura ou modificados, além de promover novos conhecimentos sobre a remoção de íons metálicos em meio aquoso. O estudo contribuiu para provocar uma reflexão acerca da remoção de íons metálicos em água, utilizando biomassas como material alternativo adsorvente.

REFERÊNCIAS

- BALTPURVINS, K.A.; BURNS, R.C; LAWRENCE, G.A; et al. Effect of electrolyte composition on zinc hydroxide precipitation by lime. *Water Research*, 31 (5), 973-980, 1997. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00327-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00327-2)>. Acesso em: 22 de agosto de 2022.
- CATUNDA, T; AMAZONAS, M; MATOS, T. Potencial tecnológico da fibra de coco como matéria prima alternativa ao desenvolvimento de produtos sustentáveis. *Educ Amb Ação*, 15, 57, 2016. Disponível em: <https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2454>. Acesso em: 21 agosto 2022.
- CRITTENDEN J.C; TRUSSELL R.R; HAND D.W; et al. *Water Treatment: Principles and Design*, 2° ed. John Wiley New Jersey, 2005.
- DA SILVA CORREIA, I.K; SANTOS, P.F; SANTANA, C.S; et al. Application of coconut shell, banana peel, spent coffee grounds, eucalyptus bark, piassava (*Attalea funifera*) and water hyacinth (*Eichornia crassipes*) in the adsorption of Pb²⁺ and Ni²⁺ ions in water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2319-2334, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.033>>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.
- CAPITANI, E.M. Diagnóstico e tratamento da intoxicação por chumbo em crianças e adultos. *Medicina (Ribeirão Preto)*, 42(3), 319-329, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v42i3p319-329>>. Acesso em: 19 de agosto de 2022.
- DE LIMA, L.D.R; DA COSTA, O.F; DA FONSECA, A.B.S; et al. Remoção de Cu (II), Zn (II) e Ni (II) utilizando resíduo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) como biossorvente em solução aquosa. *Revista Virtual de Química*, 12(5), 2020. Disponível em: <<https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/3512>>. Acesso em: 23 de agosto de 2022.
- DE OLIVEIRA, M.J.C; BALSANELLI, A.P. A liderança do enfermeiro na atenção primária à saúde: revisão integrativa. *Enfermagem em foco*, 10(4), 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.21675/2357-707X.2019.v10.n4.2618>>. Acesso em: 01 de setembro de 2022
- DO NASCIMENTO, J.M; DA SILVA, B.S; CHAVES, M.D; et al. Biossorção dos íons Cd²⁺ e Pb²⁺ utilizando a biomassa casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) modificada com ácido cítrico. *Revista de Ciências Ambientais*, 8(1), 57-69, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18316/1463>>. Acesso em: 23 de julho de 2022.
- DOS SANTOS, C.B.E; COELHO, N.M.M; COELHO, L.M. Avaliação do perfil cinético e do equilíbrio de adsorção de Cr (III) pelas sementes de *Moringa oleifera* aplicadas em sistemas aquosos. *Revista Processos Químicos*, 15(29), 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.19142/rpq.v15i29.565>>. Acesso em: 17 de julho de 2022.
- FAN, S; ZHOU, J; ZHANG, Y; et al. Preparation of sugarcane bagasse succinate/alginate porous gel beads via a self-assembly strategy: improving the structural stability and adsorption efficiency for heavy metal ions. *Bioresource technology*, 306, 123128, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123128>>. Acesso em 13 de julho de 2022.
- GOMES, A.M.S; FILHO, G.S; OLIVEIRA, A.S.J; et al. Estudo de adsorção de íons metálicos em argila e biomassa para água de reuso. *Blucher*. 253-261, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/33082>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.
- HERRERA-BARROS, A; BITAR-CASTRO, N; VILLABONA-ORTÍZ, Á; et al. Nickel adsorption from aqueous solution using lemon peel biomass chemically modified with TiO₂ nanoparticles. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, 100299, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100299>>. Acesso em: 21 de agosto de 2022.
- KHERA, R.A; IQBAL, M; JABEEN, S; et al. Adsorption efficiency of Pitpapra biomass under single and binary metal systems. *Surfaces and Interfaces*, 14, 138-145, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2018.12.004>>. Acesso em: 16 de agosto de 2022.
- KOKATE, S; PARASURAMAN, K; PRAKASH, H. Adsorptive removal of lead ion from water using banana stem scutcher generated in fiber extraction process. *Results in Engineering*, 100439, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100439>>. Acesso em; 01 de agosto de 2022.
- MENDES, K.D.S; SILVEIRA, R.C.C.P; GALVÃO, C.M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto Enferm*, 17(4):758-764, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010407072008000400018&I

- ng=en&nrm=isso Acesso em: 12 de setembro de 2022.
- MIGUEL, J.G. O uso da fibra de coco como adsorvente de metais pesados: uma revisão. [Trabalho de conclusão de curso]. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, João Pessoa, 2021.
- MODENES, A.N; ESPINOZA-QUINONES, F.R; LAVARDA, F.L; et al. Removal of heavy metals Cd (II), Cu (II) and Zn (II) biosorption process by using the macrophyte *Eichhornia crassipes*. REM-Revista Escola de Minas, 66(3), 355-362, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0370-44672013000300013>>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.
- MOREIRA, C.S. Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos. [Dissertação de Mestrado] – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- NWAGBARA, V.U; CHIGAYO, K; IYAMA, W.A; et al. Removal of lead, cadmium, and copper from water using Moringa oleifera seed biomass. Journal of Water and Climate Change, 13(7), 2747-2760, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.2166/wcc.2022.091>> Acesso em: 18 de agosto de 2022.
- OLIVEIRA, E.A. Estudo do potencial de utilização da biomassa de *Luffa cylindrica* na descontaminação de efluentes contendo íons metálicos e corantes têxteis. [Tese de doutorado] - Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.
- PINO G.A.H. Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (*Cocos nucifera*). [Dissertação de Mestrado]. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Rio de Janeiro, 2005.
- PIRSALAMI, S; BAGHERPOUR, S; BAHROLOLOOM, M.E; et al. Adsorption efficiency of glycyrrhiza glabra root toward heavy metal ions: Experimental and molecular dynamics simulation study on removing copper ions from wastewater. Separation and Purification Technology, 275, 119215, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119215>> Acesso em: 30 de agosto de 2022.
- POMPEU D.A; ROSSI L.A; GALVÃO C.M. Revisão integrativa: etapa inicial do processo de validação do diagnóstico de enfermagem. Acta Paul Enferm, 22(4):434-8, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ape/v22n4/a14v22n4.pdf>> Acesso em: 04 de setembro de 2022.
- ROCKER, C; CAETANO, J; GONÇALVES, A.C; et al. Biossorção de íons Cr (III) de soluções aquosas sintéticas e efluente de curtume utilizando a macrófita aquática *Pistia stratiotes*. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 24, 335-346, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019159636>>. Acesso em: 21 de agosto de 2022.
- SALES, C.S; FERNANDES, A.D.S. Caracterização e uso das cascas do baru (*Dipteryx alata*) na avaliação da remoção de íons Cr (III) em águas. Revista Anápolis digital, 11(2), 2020. Disponível em: <<https://portaleducacao.anapolis.go.gov.br/revistaanapolisdigital/wp-content/uploads/vol11/1.pdf>>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.
- SENTHILKUMAR, P; RAMALINGAM, S; SATHYASELVABALA, V; et al. Removal of copper(II) ions from aqueous solution by adsorption using cashew nut shell. Desalination, 266(3), 63-71, 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.08.003>>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.
- SHEIKH, Z; AMIN, M; KHAN, N; et al. Potential application of *Allium Cepa* seeds as a novel biosorbent for efficient biosorption of heavy metals ions from aqueous solution. Chemosphere, 279, 130545, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130545>> Acesso em: 01 de agosto de 2022.
- SRIVASTAVA, N; BALOMAJUMDER, C. Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. Journal of hazardous materials, 151, 1-8, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.101>>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.
- TEH, C.Y; BUDIMAN, P.M; SHAK, K.P.Y; et al. Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. Industrial & Engineering Chemistry Research, 55(16), 4363-4389, 2016. Disponível em: < <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.iecr.5b04703>>. Acesso em: 03 de setembro de 2022.
- TIWARI, S; AACHHERA, S; GARG, H; et al. Comparative biosorption kinetics study of Ni and Zn metal ions from the aqueous phase in sulfate medium by the wooden biomass of *Dalbergia sissoo*. Environmental Quality Management, 31(4), 63-73, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/tqem.21765>>. Acesso em: 23 de agosto de 2022.
- VELOSO, Y.M.S; SOUZA, I.E.S; DOS SANTOS, J.V; et al. Reutilização da fibra da casca do coco verde para a produção de matéria prima industrial. Caderno de Graduação, 1(3), 91– 98, 2013. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/579>. Acesso em: 8 de setembro de 2022.
- VILELA, R.B; RIBEIRO, A; BATISTA, N.A. Nuvem de palavras como ferramenta de análise de conteúdo: Uma aplicação aos desafios do mestrado profissional em ensino na saúde. Millenium, 2(11), 29-36, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.29352/mill0211.03.00230>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

WAN IBRAHIM, W.M.H; MOHAMAD AMINI, M.H; SULAIMAN, N.S; et al. Powdered activated carbon prepared from *Leucaena leucocephala* biomass for cadmium removal in water purification process. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 26(1), 30-40, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/25765299.2018.1533203>>. Acesso em: 27 de agosto de 2022.

WANG, N; QIU, Y; HU, K; et al. One-step synthesis of cake-like biosorbents from plant biomass for the effective removal and recovery heavy metals: Effect of plant species and roles of xanthation. *Chemosphere*, 266, 129129, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129129>>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.