

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

NOVAS TECNOLOGIAS DE ADSORÇÃO E FATORES DE INFLUÊNCIA PARA ÍONS CD (II) E PB (II) – UMA REVISÃO

Antônio Rony da Silva Pereira Rodrigues

Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil
Ronny346silva@gmail.com

Resumo: A contaminação por metais pesados é um problema de saúde pública e ambiental, contaminação por chumbo e cádmio provocam graves danos à saúde humana e aos ecossistemas, principalmente aquático. Em vista dessa problemática, o estudo objetivou buscar na literatura pesquisas relevantes sobre tecnologias de adsorção para íons Cd (II) e Pb (II), em águas superficiais e efluentes industriais. A busca por trabalhos se deu nas bases de dados Scopus, Web of Science, CAB, Science-Direct e Engineering Village, com uso dos termos “Tecnologias adsorptivas”, “Cd (II)”, “Pb (II)”, “Adsorção de íons”, “Meios de influência” e “Adsorção de Cd (II) e Pb (II)”, e analisados com auxílio do software *Rayyan* e *Microsoft Excel*. A análise dos trabalhos demonstrou uma extensa diversidade de materiais com capacidade adsorvente, como nanocompósitos, aplicação de microrganismo e biomassas vegetais. Entre os materiais adsorventes de destacou a utilização de bactérias do gênero *Bacillus* sp. e aplicação de quitosana de forma livre ou associada, nanocompósitos a base de quitosana demonstraram capacidade adsorptiva de até 98% para íon Pb (II). O uso da macrófita *Potamogeton malaiianus* permite obter altos resultados na adsorção de cádmio em água, através da fitorremediação, a adsorção ocorre rapidamente (2 horas) e atinge um equilíbrio dinâmico em menos de 72 horas. A adsorção média para íons Cd (II) é de 94%, com uma capacidade de adsorção de equilíbrio de 6,29-6,97 mg kg⁻¹. Entre os meios de influência, o pH, temperatura, dosagem do adsorvente, tempo de contato e concentração de íons são os principais fatores que interferem na atividade adsorvente.

Palavras-chave: Contaminação por metais pesados, Tratamento ambiental, Tecnologias adsorptivas.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem-se observado a preocupação de que os recursos aquáticos estejam em maior risco de poluição por meio de diversos poluentes, como derivados de hidrocarbonetos, resíduos orgânicos e metais pesados ⁽¹⁾. A expulsão de metais pesados de indústrias e áreas urbanas está constantemente aumentando e causando danos ao meio ambiente e à saúde humana ⁽²⁾. Os poluentes inorgânicos são introduzidos diariamente no meio ambiente por meio de atividades naturais como vulcanismo, erosão de rochas, transporte atmosférico e liberação por plantas e humanos, devido à industrialização, atividade de exploração e gerenciamento de resíduos. ^(3,4)

Entre os principais metais poluentes no solo e na água estão o cádmio e o chumbo. O cádmio (Cd) é um dos elementos mais tóxicos para o ambiente e a saúde humana ⁽⁵⁾. Em meio aquoso, o cádmio comumente ocorre como o íon Cd^{2+} , sendo mobilizado sob condições ácidas.

Dentre os metais pesados, os íons metálicos Pb(II) são considerados um dos mais tóxicos ao meio ambiente e ao homem, pois esses íons não se biodegradam e se acumulam nos ecossistemas ⁽⁶⁻⁹⁾. Múltiplas fontes podem fornecer liberação de Pb no meio ambiente, como gasolina com chumbo, tintas, baterias, cerâmicas e lixo eletrônico proeminente, são fontes de poluição ambiental potencial ⁽¹⁰⁾. A OMS tem um valor de referência para chumbo na água potável de 10 $\mu g/L$ ⁽¹¹⁾. Doses contínuas de chumbo podem causar pressão arterial sistólica em adultos e impactar o aprendizado de crianças ⁽¹²⁾, doenças cardiovasculares e morte. ⁽¹³⁾

Tendo em vista os impactos no meio ambiente e na saúde humana, diversos estudos têm reestudado tecnologias para a adsorção de chumbo e cádmio, principalmente seus íons $2+$, por serem a forma mais encontrada nos recursos hídricos e no solo. Vários estudos relatam a atividade adsorvente do carvão ativado de *Cocos nucifera* frente a íons $2+$ de Pb, Cd, Ni, Mg e outros íons metálicos, livremente formados ou associados a assembleias microbianas e ácidos orgânicos. ⁽¹⁴⁻¹⁶⁾

Além das características do adsorvente escolhido, fatores como o tipo de adsorção, níveis de concentração do contaminante, dose do adsorvente, pH, temperatura e outras características físico-químicas podem interferir no processo de adsorção de íons metálicos. Visualizando a complexidade das tecnologias de adsorção e os danos causados pelos íons Cd^{2+} e Pb^{2+} , o presente estudo teve como objetivo descrever novas tecnologias adsorventes e fatores que podem auxiliar ou dificultar a adsorção desses íons, por meio de um estudo bibliográfico sobre bases de trabalho relevantes no tema na última década.

2. METODOLOGIA

Para a realização do estudo, optou-se por realizar uma revisão bibliográfica relacionada às tecnologias descritas na literatura com potencial de adsorção contra íons Cd(II) e Pb(II), a fim de coletar informações

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

relevantes como capacidade, tempo, curva de adsorção e aspectos físico-químicos que podem influenciar o processo de adsorção.

As bases de dados foram utilizadas para a busca de artigos em fontes primárias de pesquisa, incluindo Scopus, Web of Science, CAB, ScienceDirect e Engineering Village, e as bases de dados foram acessadas por meio do Portal de Periódicos da CAPES – MEC (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, órgão vinculado ao Ministério da Educação). Foram analisados artigos publicados nos últimos 10 anos (2013-2023).

Para a busca nas fontes pesquisadas, foram utilizados os termos: "Tecnologias de adsorção", "Cd(II)", "Pb(II)", "Adsorção iônica", "Meios de influência" e "Adsorção de Cd(II) e Pb(II)", juntamente com os operadores booleanos *AND* e *OR*, os termos foram pesquisados em português, inglês e espanhol.

Para a seleção dos artigos que compõem a revisão, inicialmente, foram excluídos os estudos fora do período, após a retirada das duplicatas no software *Rayyan*, os estudos foram selecionados por meio da leitura dos resumos e palavras-chave, após serem selecionados novamente por meio da leitura na íntegra, resultando na seleção dos artigos que fazem parte da versão final da revisão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, foram encontrados 1172 artigos, sendo 612 na Scopus, 104 na Web of Science, 91 na CAB, 348 na ScienceDirect e 17 na Engineering Village, 831 artigos foram excluídos por não estarem no prazo descrito para o estudo, passando 341 artigos para análise e leitura duplicada. Usando o software *Rayyan*, 167 artigos foram excluídos por serem duplicados, a taxa de duplicação é alta porque as bases de dados Scopus e ScienceDirect são gerenciadas pela Elsevier e ambas agregam algumas das revistas da mesma editora. Foram lidos exaustivamente 174 estudos com títulos, resumos e palavras-chave, e excluídos 111 artigos por não estarem dentro do tema, relatando métodos de adsorção mecânica ou trabalhando com outros íons que não são objeto de estudo do presente estudo. Foram lidos 63 artigos completos e selecionados 09 artigos para compor a revisão final, por estarem dentro de todos os critérios de inclusão propostos. A base de dados Scopus teve o maior número de artigos incluídos na versão final da revisão com 4 artigos, seguida pela ScienceDirect com 3, CAB com 1 e Web of Science com 1, Engineering Village não foi selecionado artigos.

A literatura retrata diferentes espécies vegetais com atividade adsorvente para os íons Pb(II) e Cd(II), assim como para outros íons, foi demonstrada a ação adsorvente do pó foliar, cascas, raízes e caule contra íons metálicos em meio aquoso, bem como a biomassa de diversas plantas, algas e microalgas, através da aplicação em diferentes meios, como a fitorremediação.

Al-Onazi *et al.* (2021) ⁽¹⁷⁾ verificaram a ação dos íons de adsorção de Cd²⁺ e Pb²⁺ com o uso de carvão ativado de cascas de *Punica granatum* (romã) e *Phoenix dactylifera* (tâmara). As cascas foram trituradas

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

e peneiradas para obtenção de pó fino com média de $<120 \mu\text{m}$, para ativação de H_3PO_4 e ZnCl_2 na proporção de 1:1 por 24 horas. Para avaliar a adsorção de $\text{Cd}(\text{II})$ e $\text{Pb}(\text{II})$, avaliou-se em uma faixa de pH de 2,5 – 7 com concentração de 100 mg/L do metal, tempo de contato de 90 minutos e dose adsorvente de 0,5 g/L para romã e 1 g/L para tâmara. Os resultados demonstram a capacidade de adsorção dos carvões avaliados, a taxa máxima de remoção para $\text{Pb}(\text{II})$ foi de 91,1% para o carvão ativado de romã (CAR) e de 88,8% para o carvão ativado de tâmara (CAT) em pH 6. A taxa máxima de eliminação para $\text{Cd}(\text{II})$ foi de 92,5% para CAR e 87,3% para CAT em pH 6,5. Devido ao processo de protonação e à formação de óxidos hidratados protonados, as doses de adsorventes são ineficientes em soluções de pH baixo. ^(1,3)

Um estudo mostrou que o uso da macrófita *Potamogeton malaianus* permite obter altos resultados na adsorção de cádmio e chumbo em água, através da fitorremediação, a adsorção ocorre rapidamente (2 horas) e atinge um equilíbrio dinâmico em menos de 72 horas. A adsorção média para os íons $\text{Pb}(\text{II})$ e $\text{Cd}(\text{II})$ é de 94%, com capacidade de adsorção de equilíbrio de 6,29-6,97 mg kg⁻¹. O estudo também revelou que os íons metálicos estão concentrados nas folhas (12,44-38,15 mg kg⁻¹) e raízes (10,32-26,10 mg kg⁻¹), a espectroscopia no infravermelho mostra que a ação C = N pode estar envolvida na capacidade de adsorção da espécie. ⁽¹⁸⁾

Wang e Sol (2013) ⁽¹⁹⁾ estudaram a capacidade adsorvente de uma espécie mutante de *Bacillus subtilis* (B38), que em estudo anterior já havia demonstrado resistência quatro vezes maior a soluções de cádmio (Cd) ⁽²⁰⁾. Os estudos de Wang e Sol utilizaram concentrações de 56 mg/L de Cd e 104 mg/L de Pb, preparadas com água destilada e concentrações de 5×10^9 células/mL, 2-100 mL/L de material adsorvente, na faixa de pH 3 a 9. *Bacillus subtilis* (B38) tem afinidade por íons metálicos catiônicos, exibindo taxas de sorção de equilíbrio de 210,6 e 420,9 mg/g para $\text{Cd}(\text{II})$ e $\text{Pb}(\text{II})$, respectivamente, mostrando a espécie mutante como um bioadsorvente promissor.

Outra espécie do gênero *Bacillus* sp também apresentou bons resultados na adsorção de $\text{Cd}(\text{II})$. A biomassa morta de *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628), a capacidade máxima de adsorção foi medida a partir do modelo de Langmuir, definido por Ec. (1):

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (1)$$

C_0 é a concentração inicial dos veículos metálicos (mg/L) e b a constante de Langmuir (mg/L). As isoterms de adsorção apresentam a eficiência em todas as temperaturas avaliadas para a adsorção de $\text{Cd}(\text{II})$, pela biomassa de *B. laterosporus*, com doses de 84,03, 85,47 e 86,20 mg/g, a 20, 30 e 40 °C, respectivamente. Os resultados revelam que o aumento da temperatura influencia a adsorção de cádmio pela biomassa de *B. Laterosforo*. ⁽²¹⁾

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

Um nanocompósito superparamagnético baseado na rede de poli(N-vinilpirrolidona-co-anidrido) reticulado (PNVPMA) em reação com o ácido 3-aminobenzóico, foi identificado como um agente modificador de reticulação. Através de um sistema em batelada, a capacidade de adsorção do novo nanocompósito foi testada contra Pb(II) e Cd(II), e a influência de múltiplos fatores na adsorção foi observada, incluindo o pH da solução e a dosagem do nanocompósito. Os resultados das isotermas de adsorção são semelhantes às isotermas de adsorção de Langmuir, o nanocompósito apresentou capacidade máxima de adsorção de 312,5 mg/g e 32,78 mg/g para os íons chumbo e cádmio, respectivamente. ⁽²²⁾

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise dos artigos que compõem o estudo foi possível observar uma diversidade de novos compostos que são utilizados como matéria adsorvente dos íons Pb(II) e Cd(II). Os estudos dentro deste tema são relevantes para discutir e investigar novas tecnologias para o tratamento de solos e águas contaminadas com metais pesados, diferentes estudos relatam a possível capacidade adsorvente destes materiais frente a outros íons metálicos, como níquel, manganês, zinco e alumínio

Este artigo contribui para o aprofundamento e desenvolvimento de novas reflexões sobre a adsorção de íons 2+ de chumbo e cádmio, a fim de fornecer uma base bibliográfica de apoio científico para outros estudos na área.

REFERÊNCIAS

- [1] Sthanadar, A. A., Sthanadar, I. A., Muhammad, A., Ali, P. A., Shah, M., Zahid, M., & Yousaf, M. Bioaccumulation profile of heavy metals in the liver tissues of Wallago attu (MULLEY) from Kalpani River Mardan, Khyber Pakhtunkhwa Pakistan. *Int. J. Biosci.*, vol. 3, nº 11, pp. 92-103, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.11.92-103>
- [2] Zhou, D., Yu, M., Yu, J.B., Li, Y.Z., Guan, B., Wang, X.H., Wang, Z.K., Lv, Z.B., Qu, F.Z., & Yang, J.S. Impacts of inland pollution input on coastal water quality of the Bohai Sea. *Sci. Total Environ.*, vol. 765, 2021. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.142691](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142691)
- [3] Sankhla, M.S., M. Kumari, M. Nandan, R. Kumar, & Agrawal, P. Heavy metals contamination in water and their hazardous effect on human health - a review. *Int. j. curr. microbiol. appl. Sci.*, vol. 5, nº 10, pp. 759-766, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.510.082>
- [4] Krishna, A.K., Satyanarayanan, M., & Govil, P.K. Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District,

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

Andhra Pradesh, India. *J. Hazard. Mater.*, vol. 167, pp. 366-373, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.131>

[5] Nies, D.H. Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes. *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 27, pp. 313-339, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(03\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(03)00048-2)

[6] Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. Cadmium in soils and groundwater: a review. *Appl. Geochemistry*, 108, 104388, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>

[7] Khan, M.A., Khan, S., Khan, A., & Alam, M. Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. *Sci. Total Environ.*, vol. 601, pp. 1591-1605, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.030>

[8] Kumar, O. P., Ahmad, M., Nazir, M. A., Anum, A., Jamshaid, S. S., Shah, A. M., & Rehman, A. Strategic combination of metal-organic frameworks and C₃N₄ for expeditious photocatalytic degradation of dye pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, n° 23, pp. 35300-35313, 2022. DOI: [10.1007/s11356-021-17366-w](https://doi.org/10.1007/s11356-021-17366-w)

[9] Shahzad, K., Hussain, S., Nazir, M. A., Jamshaid, M., Rehman, A., Alkorbi, A. S., & Alhemiary, N. A. Versatile Ag₂O and ZnO nanomaterials fabricated via annealed Ag-PMOS and ZnO-PMOS: An efficient photocatalysis tool for azo dyes. *J. Mol. Liq.*, vol. 356, 119036, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119036>

[10] Nakata, H., Nakayama, S. M., Yabe J., Muzandu K., Kataba A., Ikeda-Araki A., & Ishizuka M. Narrative review of lead poisoning in humans caused by industrial activities and measures compatible with sustainable industrial activities in Republic of Zambia. *Sci. Total Environ.*, 157833, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157833>

[11] WHO - *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva: World Health Organization, 4th ed., 2017.

[12] Levallois, P., Barn, P., Valcke, M., Gauvin, D., & Kosatsky, T. Public health consequences of lead in drinking water. *Curr. Environ. Health Rep.*, vol. 5, pp. 255-262, 2018. DOI: [10.1007/s40572-018-0193-0](https://doi.org/10.1007/s40572-018-0193-0)

[13] Lanphear, B.P., Rauch, S., Auinger, P., Allen, R.W., & Hornung, R.W. Low-level lead exposure and mortality in US adults: a population-based cohort study. *Lancet Glob. Health.*, vol. 3, n° 4, pp. e177-e184, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(18\)30025-2](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(18)30025-2)

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

- [14] Baskaran, P., & Abraham, M. Adsorption of cadmium (Cd) and lead (Pb) using powdered activated carbon derived from Cocos Nucifera waste: A kinetics and equilibrium study for long-term sustainability. *Sustain. Energy Technol. Assess.*, vol. 53, pp. 102709, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102709>
- [15] Chwastowski, J., & Staroń, P. Influence of *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells immobilized on Cocos nucifera fibers for the adsorption of Pb (II) ions. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 632, pp. 127735, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127735>
- [16] Asadu, C. O., Anthony, E. C., Elijah, O. C., Ike, I. S., Onoghwarite, O. E., & Okwudili, U. E. Development of an adsorbent for the remediation of crude oil polluted water using stearic acid grafted coconut husk (Cocos nucifera) composite. *Appl. Surf. Sci.*, vol. 6, pp. 100179, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100179>
- [17] Al-Onazi, W. A., Ali, M. H., & Al-Garni, T. Using pomegranate peel and date pit activated carbon for the removal of cadmium and lead ions from aqueous solution. *J. Chem.*, vol. 2021 pp. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5514118>
- [18] Lyu, R., Gu, B., Zhang, T., & Yang, Z. Simultaneous removal of Cd (II), Ni (II), and Pb (II) from water by a submerged macrophyte pondweed (*Potamogeton malaianus*). *WER*, vol. 93, n° 11, pp. 2637-2647, 2021. DOI: [10.1002/wer.1617](https://doi.org/10.1002/wer.1617)
- [19] Wang, T., & Sun, H. Biosorption of heavy metals from aqueous solution by UV-mutant *Bacillus subtilis*. *Environ Sci Pollut Res*, vol. 20, n° 10, pp. 7450–7463, 2013. DOI: [10.1007/s11356-013-1767-x](https://doi.org/10.1007/s11356-013-1767-x)
- [20] Jiang, C., Sun, H., Sun, T., Zhang, Q., & Zhang, Y. Immobilization of cadmium in soils by UV-mutated *Bacillus subtilis* 38 bioaugmentation and NovoGro amendment. *J Hazard Mater* vol. 167, n° 1, pp. 1170–1177, 2009. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2009.01.107](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.107)
- [21] Kulkarni, R., Shetty, K. V., & Srinikethan, G. (2014). Cadmium (II) and nickel (II) biosorption by bacillus laterosporus (MTCC 1628). *J Taiwan Inst Chem Eng*, vol. 45, n° 4, pp. 1628-1635, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.11.006>
- [22] Zare, E. N., Lakouraj, M. M., & Masoumi, M.. Efficient removal of Pb (II) and Cd (II) from water by cross-linked poly (N-vinylpyrrolidone-co-maleic anhydride)@ eggshell/Fe₃O₄ environmentally friendly nano composite. *Desalin. Water Treat.*, vol. 106, pp. 209-219, 2018. DOI: [10.5004/dwt.2018.22104](https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22104)

PUC-Campinas

EESC USP

Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11

evento

23/11

100% online

24/11

e gratuito