
PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS NA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS**Lennon Alonso ARAUJO^{1*}; Luara LUPEPSA¹; Angela Cristina MAGATÃO¹; João Arthur dos Santos OLIVEIRA¹; Hélio CONTE¹**

1. Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil.

*Autor Correspondente: alonso_new@live.com

Recebido em: 21 de maio de 2019 – **Aceito em:** 07 de outubro de 2019

RESUMO: Grande parte dos efluentes produzidos por indústrias e domicílios são lançados no ambiente tornando-se altamente nocivos aos seres vivos e ao ambiente. Muitos destes efluentes apresentam em sua composição metais pesados. Os metais pesados podem favorecer a inativação de algumas enzimas essenciais para o metabolismo celular causando diversos danos à saúde. Em efluentes líquidos há diversas técnicas que podem ser empregadas na remoção desses contaminantes, entretanto, alguns desses métodos apresentam custo elevado, baixa remoção do metal e alta demanda de reagentes. Uma perspectiva crescente, é o uso de materiais de origem biológica para remoção dessas substâncias nocivas. Neste trabalho, buscamos realizar uma revisão de literatura (1997-2019) acerca de métodos alternativos, especialmente os biotecnológicos como bioissorção e fitorremediação, para remoção de metais pesados do meio aquoso. Tais técnicas foram escolhidas por apresentarem baixo custo associado e serem ecologicamente favoráveis. Para bioissorção, encontramos diferentes subprodutos de origem vegetal capazes de remover diversos íons metálicos, como a casca de laranja, coco verde, folhas de bananeira e sementes. Fungos (*Pleurotus ostreatus*), bactérias (*Bacillus licheniformis*) e microalgas (*Spirulina platensis*) também foram descritos como bons removedores de metais pesados. As plantas, por meio da fitorremediação, também demonstraram-se eficazes, notadamente as espécies: *Lemna aequinoctialis*, *Helianthus annuus*, *Commelina benghalensis*, *Zea mays*, *Amaranthus hybridus*, *Pistia stratiotes*. Nesta perspectiva, podemos concluir que os processos de bioissorção e fitorremediação empregando produtos/subprodutos vegetais, microbianos ou animais são viáveis pelo seu baixo custo e boa disponibilidade, além de apresentarem taxas expressivas na remoção de substâncias recalcitrantes, notadamente de metais pesados.

PALAVRAS-CHAVE: Bioissorção. Fitorremediação. Íons metálicos.

INTRODUÇÃO

Com o aumento exponencial da população mundial e consequentemente industrial, novas problemáticas ambientais tem surgido. Os recursos hídricos sofrem o maior impacto e apesar de ser um recurso renovável pode tornar-se escasso em razão do desperdício e da contaminação (BOAS et al., 2012).

Grande parte dos efluentes produzidos por indústrias e domicílios são lançados nos corpos d'água tornando-se altamente nocivos aos seres vivos e ao ambiente (BELTRAME; LHAMBY e BELTRAME, 2016). Muitos destes efluentes apresentam em sua composição metais pesados (chumbo, cobre, cádmio, zinco, cromo e mercúrio) que são altamente tóxicos para os seres vivos

(ACOSTA, 2016). Diante desta perspectiva, faz-se necessário alcançar o equilíbrio entre o avanço industrial e o impacto sobre o meio ambiente (FU e WANG, 2011; SILVA; PIRES, 2014).

Os metais pesados podem favorecer a inativação de algumas enzimas essenciais para o metabolismo celular, pois muitos deles são capazes de formar ligações entre os grupos funcionais de proteínas causando danos irreversíveis (LENNTECH, 2016). Estas substâncias tornam-se nocivas aos seres humanos quando sua concentração excede os níveis aceitáveis estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA) (WANG et al., 2014). A Tabela 1 descreve os principais efeitos da intoxicação por metais pesados.

Tabela 1 – Efeitos da intoxicação por metais pesados em seres humanos.

Metal pesado	Efeitos	Referência
Chumbo	Induz a danos neurológicos e distúrbios cardiovasculares	BILAL, et al., 2013
Cobre	No organismo é depositado no fígado, leva a quadros de vômitos e problemas respiratórios	BILAL, et al., 2013
Cádmio	Disfunções renais, bronquite, doenças gastrointestinais, podendo causar até a morte	FU e WANG, 2011
Zinco	Em altas concentrações, pode-se causar dores estomacais, febre, distúrbios respiratórios, alterações no crescimento, e o aparecimento de cânceres	CAPRARESCU et al., 2015
Cromo	Dermatites alérgicas e câncer	WU et al., 2014; KUSHWAHA et al., 2015
Mercúrio	Afeta o sistema nervoso e renal	WU et al., 2014; KUSHWAHA et al., 2015

Em efluentes líquidos há diversas técnicas que podem ser usadas na remoção desses contaminantes como a adsorção, flotação, eletrocoagulação, oxidação avançada, precipitação química, processo biológico de troca iônica, extração com solvente, ultrafiltração e deposição eletroquímica (SHYAM et al., 2013). Entretanto, alguns desses métodos apresentam desvantagens, como custo elevado, baixa remoção do metal e alta demanda de reagentes e ainda podem ser ineficazes, especialmente quando se tratam de grandes volumes e baixas concentrações (PEREIRA, 2008; MÓDENES et al., 2013). Nas últimas décadas, diferentes pesquisas biotecnológicas têm buscado formas mais viáveis economicamente e ecologicamente para remediar do ambiente essas substâncias xenobióticas (WEI et al., 2011; RAVIKUMAR et al., 2012).

Uma perspectiva crescente, é o uso de materiais de origem vegetal como resíduos fibrosos oriundos da agricultura (como milho, bagaço de cana-de-açúcar, casca da laranja, casca de arroz e fibra de coco) para remoção de substâncias recalcitrantes do ambiente (KRISHNANI et al., 2008).

Esses subprodutos agrícolas, na maioria das vezes, possuem na sua constituição lignina e celulose que apresentam grupos químicos como álcoois, aldeídos, cetonas, carboxilas, fenóis e ésteres. Em metais pesados, estes grupos ligam-se por meio da substituição de íons de hidrogênio com íons metálicos em solução (BARROS et al., 2017).

Diante deste contexto, buscamos neste trabalho realizar uma revisão de literatura (1997/2019) acerca de métodos alternativos, especialmente os biotecnológicos como biossorção e fitorremediação, para remoção de metais pesados do meio aquoso. Tais técnicas foram escolhidas por apresentarem baixo custo associado, serem ecologicamente favoráveis e potencialmente eficazes.

MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa foi realizada em bases de dados *online*, sendo elas: Google Acadêmico, ScienceDirect, PubMed e Scielo. Foram utilizados descritores em português (metais pesados, biossorção, fitorremediação) e inglês

(heavy metals, biosorption e phytoremediation) entre os anos de 1997 à 2019.

BIOSSORÇÃO

O processo de biossorção é um processo de separação que destaca-se no tratamento de efluentes com base nas suas características, pois utiliza de materiais adsorventes residuais de origem natural e renováveis em sua maioria bem como de baixo valor econômico agregado (RODRIGUES et al., 2006). A biossorção apresenta redução nos custos operacionais, minimização do volume de lodo químico e/ou biológico e alta eficiência em comparação com tratamentos convencionais (VOLESKY, 2001). Algumas desvantagens relacionadas aos tratamentos convencionais, são remoção incompleta de metais, alta exigência de reagentes e energia, geração de lodo tóxico ou outros resíduos que requerem um cuidadoso descarte (GADD, 2009).

Trata-se de um fenômeno que ocorre na superfície sólida, em que determinado elemento ou substância se acumula na camada externa do biossorvente (SOUSA et al., 2007). Baseado nas interações eletrostáticas e formação de complexos íons metálicos e grupos funcionais presente no material, exibindo assim afinidade pelo metal (RODRIGUES et al., 2006). Este processo se destaca por possuir baixos custos de obtenção e altas taxas de remoção de substâncias recalcitrantes do ambiente (BOAS et al., 2012; MÓDENES et al., 2013). Além disso a massa do biossorvente é diretamente proporcional a remoção iônica (SILVA; OLIVEIRA, 2011).

Os metais pesados podem ser biossorvidos empregando resíduos da agroindústria como adsorvente ou até mesmo micro-organismos (como bactérias, fungos filamentosos e leveduras) (SANTAELLA et al., 2009; PASSOS et al., 2009). Este método alternativo apresenta grande eficácia quando comparado a outros métodos convencionais (BARROS et al., 2017).

Analisando o potencial biossorvente de produtos agroindustriais para remoção de chumbo (Pb) e níquel (Ni), Moraes et al. (2011) obtiveram sucesso na remoção destes metais com pó proveniente da casca de laranjas. Para Ni^{+2} e Co^{+2} , Babarinde et al., (2012) descrevem uma biossorção de 60% empregando folhas de bananeira.

Pino e Torem (2011), relataram uma remoção significativa de cromo (Cr) e cádmio (Cd) empregando pó da casca de coco verde. Magalhães et al. (2011) também atestam o potencial de biossorção destes produtos agroindustriais, especialmente para o coco, indicando uma taxa de biossorção de até 96% dos íons metálicos.

A biossorção de Zn^{+2} , Cu^{+2} e Cd^{+2} por meio de subprodutos de sementes de *Moringa oleífera* podem atingir eficiência de 76, 74 e 50% para Zinco, Cobre e Cádmio, respectivamente (FRANCO, 2015).

Outra alternativa proposta é a modificação química dos biossorventes, especialmente no pH, uma vez que este pode influenciar diretamente a adsorção de íons metálicos (COLOMBO et al., 2015). No processo de biossorção a influência do pH é de extrema importância por afetar as taxas de dissociação dos grupos funcionais encontradas nos sítios ativos do adsorvente (MALL et al., 2006). Santos et al. (2011), obtiveram taxas satisfatórias de biossorção de ferro (Fe - >62%) e Cr (>99%) em meio ácido (pH 4). Vieira e Pavan (2010) e Boas et al. (2012) relatam resultados semelhantes para remoção de Cobre II (Cu^{2+}) em pH igual a 5. Melo et al. (2013) apresentam uma eficiência de 63% em pH 8 para remoção de Cd. Silva e Pires (2014), relatam uma biossorção de Cu^{2+} em pH 4. Empregando casca de soja, Colombo et. al. (2015), descreveram remoções significativas de íons de Cd em pH 4.

Algumas espécies de bactérias, fungos e microalgas também são promissoras. Em 2008, Zhou descreveu uma espécie de *Bacillus licheniformis* capaz de remover Cr^{+6} de soluções aquosas (ZHOU, 2008). Bactérias rizosféricas também já foram descritas como removedoras de metais pesados como Mercúrio (Hg), Pb, Cd e Cr (BERNAL et al.,

2012). Em seu estudo Fein e colaboradores (1997), observaram que a carga da parede celular bacteriana apresenta carga negativa em pH ácido, possibilitando assim que haja um aumento na afinidade com os íons metálicos em solução, acumulando-os em sua superfície.

O fungo *Pleurotus ostreatus* avaliado por Buratto et al., (2012), demonstrou ser capaz de bioissorver 86% de Cu^{2+} em soluções aquosas. Os fungos produzem grandes quantidades de micélio, e são considerados bons bioissorventes devido a quitina encontrada em sua parede celular. Ela é responsável por atrair e reter os metais na biomassa fúngica por interações eletrostáticas (GUPTA; RASTOGI, 2009).

Microalgas também são utilizadas para a remoção de metais pesados, tais como a espécie *Spirulina platensis*, estudada por Magro et al., (2013), a qual apresentou um índice de remoção de Cromo (Cr^{+6}) de aproximadamente 62% em âmbito laboratorial, usufruindo de ensaios de bioissorção passiva, utilizando concentrações de bioissorvente e de contaminante diferentes, mantendo o tempo de exposição de 1 hora e 3 horas. A remoção de cromo também foi testada por Costa et al., (2019) utilizando biomassa da alga *Chlorella vulgaris*, tendo uma cinética de absorção favorável nas primeiras horas experimentais devido aos poucos sítios ativos ocupados, sendo mais lenta ao longo da absorção, sugerindo que a difusão do cromo é realizada pelos poros da alga.

Os agentes de bioissorção também podem ser obtidos de exoesqueletos quitinosos (BARROS, et al., 2017). Pájaro et al., (2013) obtiveram quitosana (um biopolímero) a partir de exoesqueletos de camarão empregando-a no processo de remoção de Cr^{+6} de águas residuais.

Diante de todo o contexto apresentado, pode-se inferir que os processos de bioissorção gerados a partir de produtos/ subprodutos vegetais, microbianos ou animais são viáveis pelo seu baixo custo e boa disponibilidade, além de apresentarem taxas expressivas na

remoção de substâncias recalcitrantes, notadamente de metais pesados.

FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação refere-se a utilização de plantas, associadas ou não a outros organismos presentes no meio, com o objetivo de reduzir as concentrações de contaminantes nos ambientes, podendo ser solo, água ou ar. Esta técnica baseia-se na tolerância que algumas espécies possuem a determinados compostos ou mecanismos de ação (PROCÓPIO et al., 2005) e pode ser usada para a remoção de metais pesados e radionuclídeos, bem poluentes orgânicos (hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, bifenilos policlorados e pesticidas) (ALI; KHAN; ANWAR, 2013). Esta técnica apresenta custos reduzidos devido a utilização de recursos naturais e disponíveis. O sucesso do tratamento empregando plantas para fitorremediação vai além do baixo custo, há muitas possibilidades de reciclagem da biomassa produzida que pode ser utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia (biogás ou queima direta), fabricação de papel, extração de proteínas pra uso em rações, extração de substâncias quimicamente ativas de suas raízes para uso como estimulante de crescimento de plantas, entre outros (GLASS, 1998). Dessa forma o uso de plantas para a recuperação de áreas contaminadas vem se expandindo em países desenvolvidos, uma vez que o baixo custo possibilita a aplicação em áreas de grande extensão, e diferentes classes de poluente, possibilitando a aplicação da fitorremediação sozinha ou em conjunto com outras técnicas (SILVA et al., 2019).

Apesar de ser uma técnica de baixo custo e ecologicamente correta, é importante ressaltar que a fitorremediação está diretamente relacionada com os ciclos biológicas de cada planta podendo ocorrer de forma lenta (SARWAR et al., 2017; CAMESELLE et al., 2019). Outro fato restritivo descrito por Silva et al., (2019) é a profundidade da raiz, uma vez que para se

efetivar o processo de fitorremediação, há a necessidade de a planta estar em contato direto com o poluente. Consequentemente, é necessário ter o conhecimento dos poluentes presentes no ecossistema a ser tratado juntamente com a melhor técnica a ser aplicada (ESTRELA, CHAVES, SILVA, 2018). O pH e a condutividade elétrica da água também influenciam na remoção do contaminante pela fitorremediação. A condutividade fornece informações sobre as condições do sistema, desde a disponibilidade de nutrientes, minerais e compostos orgânicos e também fornece uma medida indireta da concentração de poluentes (MARTINS et al., 2007). Já a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido aos seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies; também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados e efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (MARTINS et al., 2007).

A aplicação e classificação de técnicas fitorremediadoras dependem da natureza química do contaminante a ser remediado, por isso há diferentes classes de fitotecnologias, podendo reduzir os compostos contaminantes por fitoextração caracterizada como a capacidade da planta para extrair e acumular determinados contaminantes na parte aérea, rizofiltração onde o processo ocorre principalmente no sistema radicular da planta. A degradação de xenobiontes através da ação enzimática presente no tecido vegetal de plantas é chamada de fitodegradação. Já a fitoestabilização promove uma fixação e imobilização do contaminante, reduzindo assim sua biodisponibilidade. (GONÇALVES JUNIOR et al., 2014), além da fitovolatilização que converte os poluentes para a forma volátil, em seguida liberando esses compostos para a atmosfera (ALI et al., 2013).

A macrófita flutuante *Lemna aequinoctialis* foi estudada por Pio et al. (2013). Foram encontrados resultados significativos para a fitorremediação de Cr (74

$\mu\text{g g}^{-1}$), Ni (54 $\mu\text{g g}^{-1}$), Cu (70 $\mu\text{g g}^{-1}$), Fe (167 $\mu\text{g g}^{-1}$), Zn (20 $\mu\text{g g}^{-1}$) e Mn (5 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Nathan et al. (2012), avaliando o processo fitorremediador de diversas plantas, descrevem resultados promissores para a remediação de Pb, Cu e Cd em águas residuais empregando *Helianthus annuus* e *Commelina benghalensis*. Os autores também concluíram que *Zea mays* e *Amaranthus hybridus* foram capazes de bioacumular zinco (Zn).

A tolerância da planta com potencial fitorremediador em ambientes com altas concentrações de íons metálicos deve-se ao aumento de sua biomassa. Rodrigues et al., (2016) observou que *Pistia stratiotes* foi capaz de fitoextrair e biocumular Cd^{+2} em diferentes tecidos. Contudo, é importante salientar que o processo fitorremediador em efluentes brutos, depende não somente da espécie vegetal envolvida, mas também alterações no pH do ambiente aos quais podem selecionar a precipitação de determinados metais pesados, visando que cada metal pesado apresenta um pH ótimo de insolubilidade, e outro fator dependente é a condutibilidade elétrica da água levando em consideração que o efluente bruto possui precipitados de metais pesados, que podem alterar a capacidade de absorção das substâncias de interesse (PIO et al., 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É sabido que muitos processos industriais, agrícolas e urbanos são gerados inúmeros resíduos que são descartados de forma errônea, podendo permanecer no ambiente por décadas. Diferentemente dos poluentes que são biodegradáveis, as substâncias recalcitrantes (como os metais pesados) necessitam ser removidas do ambiente, pois em concentrações elevadas, podem ser tóxicas para os seres vivos.

A utilização de biomassa seja ela de plantas ou algas vêm sendo uma alternativa viável para o tratamento de efluentes contaminados com metais pesados, demonstrando ser eficiente de acordo com os estudos dos autores citados. A aplicação de processos de biossorção reduz a geração de

resíduos secundários, apresenta custo minimizado e está disponível em grandes quantidades de biomassa. Em relação aos processos de fitorremediação, há diversos relatos na literatura de diferentes espécies apontadas como tolerantes a metais pesados e seus derivados, além disso há muitas possibilidades de reciclagem da biomassa produzida que pode ser utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia, etc.

Há diferentes métodos que podem ser empregados para remoção destes

contaminantes, no entanto alguns são inviáveis do ponto de vista econômico ou ecológico. Os processos biotecnológicos empregando seres vivos ou produtos oriundos deles apresentam-se como uma excelente ferramenta em comparação aos métodos convencionais. Contudo, é necessário aliar tais estratégias ecologicamente corretas com políticas ambientais que auxiliem em sua execução e ampliação e que criem um equilíbrio entre o aumento populacional e industrial com os recursos disponíveis na natureza.

HEAVY METALS REMOVAL BY BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES-MEDIATED

ABSTRACT: Most of the effluents produced by industries and households are released into the environment getting highly harmful to living things. Many of these effluents present heavy metals in their composition. Heavy metals may favor the inactivation of some enzymes essential for cellular metabolism. In liquid effluents several techniques could be employed in the removal of these contaminants, however, some of these methods have a high added value, low metal removal and high reagent demand. A new perspective is the use of materials of biological origin for the removal of these recalcitrant substances. Herein, we seek to carry out a literature review (1997-2019) about alternative methods, especially biotechnologies such as biosorption and phytoremediation, for the removal of heavy metals from contaminated areas. These techniques were chosen because they have low associated values and are ecofriendly. For biosorption, we find out different by-products of vegetable origin capable of removing several metallic ions such as orange peel and green coconut, banana leaves and seeds. Fungi (*Pleurotus ostreatus*), bacteria (*Bacillus licheniformis*) and microalgae (*Spirulina platensis*) have also been described as good heavy-mediated remediators. The plants, through phytoremediation, have also been shown to be a viable process, notably the species *Lemna aequinoctialis*, *Helianthus annuus*, *Commelina benghalensis*, *Zea mays*, *Amaranthus hybridus* and *Pistia stratiotes*. In summary, we can conclude that the biosorption and phytoremediation processes using vegetable / microbial products or by-products are feasible due to their low values and good availability, besides having significant rates of removal of recalcitrant substances, especially heavy metals.

KEYWORDS: Biosorption. Phytoremediation. Metallic ions.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, B., I., JUNIOR, V., S., A., SILVA, F., E., CARDOSO, F., T., CALDAS, S., J., JARDIM, D., J., CORCINI, D., C. Effects of exposure to cadmium in sperm cells of zebrafish, *Danio rerio*. **Toxicology Reports**, v.3, p. 696-700, 2016.

ALI, H., KHAN, E., SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals- Concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, n.7, p.869-881, 2013.

BABARINDE, N. A. A., BABALOLA, J. O., ADEGOKE, J., MARAIZU, U., OGUNBANWO, T., OGUNJINRIN, F. Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of the biosorption of Ni(II), Cr(III) and Co(II) from aqueous solutions using banana (*Musa acuminata*) leaf. **International Journal of Physical Sciences**, v.7, n.9, p. 1376-1385, 2012.

BARROS, D. C., CARVALHO, G., RIBEIRO, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia & Ciência**, v.6, n.1, p.01-15, 2017.

BELTRAME, T.F., LHAMBY, A.R., BELTRAME, A. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET**, v.20, n.1, p. 351–362, 2016.

BERNAL, I. S., VALDÉS, M. E. C., SARDIÑAS, A. M., ARIAS, M. C., BAZÚA, M. D. C. D, D. Interacción de aislados bacterianos rizosféricos con metales de importancia ambiental. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v.3, n. 3, p. 83-95, 2012.

BILAL, M., SHAH, J.A., ASHFAG, T., GARDAZI, S.M., TAHIR, A.A., PERVEZ, A., HAROON, H., MAHMOOD, Q. Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial wastewater – A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 263, n. 1, p. 322-333, 2013.

BOAS, N. V., CASARIN, J., CAETANO, J., JUNIOR, A.C.G., TARLEY, C.R.T., DRAGUNSKI, D.C. Biossorção de cobre utilizando-se o mesocarpo e o endocarpo da macadâmia natural e quimicamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 45, p. 1359–1366, 2012.

BURATTO, A. P., COSTA, R. D. Aplicação de biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus* em processo de biossorção de íons cobre (II). **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 413–420, 2012.

CAMESELLE, C., GOUVEIA, S., URREJOLA, S. Benefits of phytoremediation amended with DC electricfield. Application to soils contaminated with heavy metals. **Chemosphere**, v.229, p.481-488, 2019.

CAPRARESCU, S. RADU, A-L., PURCAR, V., EBRASU, D. IANCHIS, R., SARBU, A., GHIUREA, M., NICOLAE, C., MODROGAN, C., VAIREANU, D-I., PERICHAUD, A. Adsorbents/ion exchangers-PVA blend membranes: Preparation, characterization and performance for the removal of Zn²⁺ by electrodialysis. **Applied Surface Science**, v. 329, n. 1, p. 65-75, 2015.

COLOMBO, A., GERALDI, C.A., OLIVEIRA, S. P. D., MARIN, P., MÓDENES, A.N., SCHEUFELE, F.B. Biossorção do íon Cádmio pela casca de Soja. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v.1, p. 5649-5656, 2015.

COSTA, I. G. F., REIS, M. H. M., BATISTA, F. R. X. Determinação da cinética de biossorção de CR (VI) utilizando alga *Chlorella vulgaris*. Simpósio de Tecnologia Ambiental e de Biocombustíveis. **Ciência e Tecnologia**, v.11, p.81-85, 2019.

ESTRELA, M. A., CHAVES, L. H. G., SILVA, L. N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 31. p. 160-172. 2018.

FEIN, J. B., DAUGHNEY, C. J., YEE, N., DAVIS, T. A chemical equilibrium model for metal adsorption onto bacterial surfaces. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.61, 3319–3328, 1997.

FRANCO, M. **Remoção de metais pesados da água por filtração lenta em não tecidos com auxílio de coagulante extraído de sementes de *Moringa oleífera***. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola – Campinas, São Paulo, 2015.

FU, F., WANG, Q. Removal of heavy Metal Ions from wasterwaters: A Review. **Journal of Environmental Management**, v.3, p. 407-417, 2011.

GADD, G. M. Biosorption : critical review of scientific rationale , environmental importance and significance for pollution treatment. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, n. April 2008, p. 13–28, 2009.

GLASS, D. J The 1998 United States Market for Phytoremediation, **D. Glass Associates, Needham**, p.139 (1998).

GUPTA, V. K., RASTOGI, A. Biosorption of hexavalent chromium by raw and acid treated green alga *Oedogonium hatei* from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, p. 396–402, 2009.

GONÇALVES JUNIOR, A. C., NACKE, H., SCHWANTES, D. COELHO, G. F. Heavy Metal contaminations in Brazilian Agricultural Soils due to Application of Fertilizers. **Environmental Risk Assessment of Soil contamination**. Ed. Intech Open. 2014.

KRISHNANI, K. K., MENG, X., CHRISTODOULATOS, C., BODDU, V. M. Biosorption mechanism of nine different heavymetals onto biomatrix from rice husk. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 3, p. 1222–1234, 2008.

KUSHWAHA, S., SREEDHAR, B., BHATT, R., SUDHAKAR, P. P. Spectroscopic characterization for remediation of copper, cadmium and mercury using modified palm shell powder. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 46, n. 1, p. 191-199, 2015.

LENNTECH. **Agua residual & purificación del aire**. Holding B.V. Site institucional disponível em:<<http://www.lenntech.com/espanol/tablapeiodica.html>>. Acesso em 01/2016.

MAGALHÃES, V. H. P., FERNANDES, M. A., NEVES, S. Utilização do pericarpo de coco verde (*Cocos nucifera* L. - Arecaceae) para a remoção de resíduos de íons cromo (VI) em soluções aquosas. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v.3, n.1, 2011.

MAGRO, C. D., DEON, M. C., THOMÉ, A., STEFFANELLO, P., COLLA, L.M. Biossorção passiva de cromo (vi) através da *Spirulina platensis*. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1139-1145, 2013.

MALL, I. D., SRIVASTAVA, V. C., AGARWAL, N. K. Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash – kinetic study and equilibrium isotherm analyses. **Dyes and Pigments**, v. 69, p. 210-223, 2006.

MARTINS, A. P. L. et al. Capacidade da *Typha dominguensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí – Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, n. 41, p. 324–330, 2007.

MELO, R. E. S., FERREIRA, D. C., BEGNINI, M. L. Alternativa para remoção de metal tóxico em tratamento de água utilizando gramíneas oriundas da poda de jardinagem. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9. n.16. p. 2787. 2013.

MÓDENES, N. A., QUIÑOMES, E.R.F., LAVARDA, L. F., COLOMBO, A., BORBA, E.C., LEICHTWEIS, A.W., MORA, D.N. Remoção dos metais pesados Cd(II), Cu(II) e Zn(II) pelo processo de bioabsorção utilizando macrófita *Eichhornia crassipes*. **Revista Escola de Minas**, v. 3, n. 66, p. 355-362, 2013.

MORAES, A. B. V. D., RIBEIRO, A. M. C., PRADO, B. G., ALMEIDA, C. B. S., LUZ, C. P., CINALLI, D. P., DANIEL F. A., SARAVALLI, F. M., CHAVES, M. L. C., DANIEL, M. S., MELLO, P. H. **Bioabsorção de metais pesados**. Anais do IX Simpósio de Bases Experimentais das Ciências Naturais da Universidade Federal do ABC. São Paulo, 2011.

NATHAN, O., NJERI, K. P., RANG'ONDI, O. E., SARIMA, C. J. The potential of *Zea mays*, *Commelina benghalensis*, *Helianthus annuus* and *Amaranthus hybridus* for phytoremediation of waste water. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n.3, 51-60, 2012.

PÁJARO, Y., DÍAZ, F. Remoción de cromo hexavalente de aguas contaminadas usando quitosano obtenido de exoesqueleto de camarón. **Revista Colombiana de Química**, v.41, n 2:282-297, 2013.

PASSOS, C. T., BURKET, J. F. M., KALIL, S. J., BURKET, C. A. V. Biodegradação de fenol por uma linhagem de *Aspergillus niger* SP. Isolada de um solo contaminado do sul do Brasil, **Química Nova**, v.32, n.4, p. 950-954, 2009.

PEREIRA, F.V. (2008). **Remoção de íons zinco (II) de efluentes derivados de processos de galvanoplastia utilizando rejeitos de fibras vegetais modificadas quimicamente**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

PINO, G. H., TOREM, M. L. Aspectos fundamentais da bioabsorção de metais não-ferrosos- estudo de caso. **Tecnologia em Metalúrgica Materiais e Mineração**, v. 8, n.1, p. 57-63. 2011.

PIO, M. C. S., SOUZA, K. S., SANTANA, G. P. Capacidade da *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. **Acta Amazonica**, v.43, n.2, p.203 – 210, 2013.

PROCÓPIO, S. O. et al. Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v. 23, n. 01, p. 9-16, 2005.

RAVIKUMAR, S., GANEHS, I., YOO, IK-KEUN., HONG, S. H. Construction of a bacterial biosensor for zinc and copper and its application to the development of multifunctional heavy metal adsorption bacteria. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 5, p. 758–765, 2012.

RODRIGUES, A. C. D., SANTOS, A. M., SANTOS, F. S., PEREIRA, A. C. C., SOBRINHO, N. M. B. A. Mecanismos de Respostas das Plantas à Poluição por Metais Pesados: Possibilidade de Uso de Macrófitas para Remediação de Ambientes Aquáticos Contaminados. **Revista Virtual Química**, v. 8, n 1, p. 262-276, 2016.

RODRIGUES, R. F., TREVENZOLI, R.L., SANTOS, L. R. G., LEÃO, V. A., BOTARO, V., R. Adsorção de metais pesados em serragem de madeira tratada com ácido cítrico. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 11, n. 3, 2006.

SANTAELLA, S.T. SILVA, JÚNIOR, G. C. F., GADELHA, C. A. D., COSTA, O. K., AGUIAR, R., ARTHAUD, B. D. I., LEITÃO, C.R. Tratamento de efluentes de refinaria de petróleo em reatores com *Aspergillus niger*, **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.14, n.1, p.139-148, 2009.

SANTOS, F. A., PIRES, M. J. R., CANTELLI, M. Tratamento de efluente de galvanoplastia por meio da bioadsorção de cromo e ferro com escamas da pinha da *Araucária angustifolia*. **Metallurgy and materials**, p. 499-504. 2011.

SARWAR, N., IMRAN, M., SHAHEEN, M.R., ISHAQUE, W., KAMRAN, M.A., MATLOOB, A., HUSSAIN, S. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. **Chemosphere**, v.171, p. 710-721, 2017.

SHYAM, R., PURI, J. K., KAUR, H., AMUTHA, R., KAPILA, A. Single and binary adsorption of heavy metals on fly ash samples from aqueous solution. **Journal Molecular Liquids**, v.1, p. 31-36, 2013.

SILVA, B.H., PIRES, L. J. Utilização De Adsorvente Natural Da Amazônia Como Bioadsorvente Para Remoção De Metais Em Soluções Aquosas. **Revista Acadêmica Discente de Marabá**, n. 3, 2014.

SILVA, R. C. O., OLIVEIRA. **Bioadsorção de cromo (VI) utilizando cascas de jabuticaba**. Trabalho de conclusão de curso de Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2011.

SILVA, T.J., HANSTED, F. A. S., TONELLO, P. S., GOVEIA, D. Fitorremediação de solos contaminados com metais: Panorama atual e perspectivas de uso de espécies florestais. **Revista Virtual de Química**, v 11, n.1, 2019.

SOUSA, F. W., MOREIRA, S. A., OLIVEIRA, A. G., CAVALCANTE, R. M., NASCIMENTO, R. F., ROSA M. F. The use of green coconut shells as absorbents in the toxic metals. **Química Nova**, v.30, p.1153-1157, 2007.

VIEIRA, D. N., PAVAN, F. **Estudo da adsorção de cobre empregando mamão formosa como adsorvente**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. 2010.

VOLESKY, B. Detoxification of metal-bearing effluents : biosorption for the next century. **Hydrometallurgy**, v. 59, p. 203–216, 2001.

WANG, J., XIA, S., and YU, L. Structure and bonding nature of [PbCl]⁺ adsorption on the kaolinite (001) surface in aqueous system. **Applied Surface Science**, v.330, p.411– 417, 2015.

WEI, X., FANG, L., CAI, P., HUANG, Q., CHEN, H., LIANG, W., RONG, X. Influence of extracellular polymeric substances (EPS) on Cd adsorption by bacteria. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 5, p. 1369-1375, 2011.

WU, M. D. J., YING, T., SHEN, Z., WANG, H. Effect of low-level prenatal mercury exposure on neonate neurobehavioral development in China. **Pediatric Neurology**, v. 51, n. 1, p. 93-99, 2014.

ZHOU, M. LIU, Y. ZENG, G. LI, X. XU, W. T. Fan, Kinetic and equilibrium studies of Cr(VI) biosorption by dead *Bacillus licheniformis* biomass. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, v.23, p.43–48, 2007.