

REVISÃO ACERCA DA CONTAMINAÇÃO COM MERCÚRIO E SUA REMOÇÃO COM O EMPREGO DE FUNGOS FILAMENTOSOS

Judith Liliana Solórzano Lemos¹

Pérola Souza Moreira²

Flávio de Almeida Lemos³

Resumo

A contaminação do meio ambiente por metais pesados tem a sua origem, principalmente, nas atividades industriais, agrícolas e de mineração. Os metais pesados não são degradados biologicamente na natureza, e podem se acumular no organismo dos seres vivos. Os metais pesados, de um modo geral, são capazes de causar afecções nos seres vivos mesmo em baixas concentrações. Por sua vez o mercúrio, já seja na forma orgânica ou inorgânica pode afetar a saúde dos seres humanos, chegando a ser fatal em alguns casos. O presente trabalho de revisão se propõe evidenciar as atividades antrópicas que causam as contaminações com mercúrio, no estado do Rio de Janeiro, além de destacar um método biológicos para a remediação de áreas contaminadas, bem como as espécies fúngicas envolvidas nesses processos de bioissorção. Os fungos filamentosos apresentam um grande potencial, pois demonstram resistência a ambientes poluídos, são bons competidores naturais quando comparados a outros microrganismos, inclusive, apresentam altas taxas de bioissorção em comparação a outros organismos.

Palavras chave: Mercúrio. Contaminação antrópica. Fungos filamentosos.

¹Doutora em Ciências (Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) da UFRJ. Docente e Pesquisadora no UEZO.

²Bióloga pelo UEZO.

³Doutor em Metalurgia pelo COPPE.

REVIEW ABOUT MERCURY CONTAMINATION AND ITS REMOVAL WITH THE USE OF FILM FUNGI

Abstract

Contamination of the environment by heavy metals originates mainly from industrial, agricultural and mining activities. Heavy metals are not biologically degraded in nature, and can accumulate in the body of living things. Heavy metals, in general, are capable of causing disease in living beings even at low concentrations. In turn, mercury, whether in organic or inorganic form can affect the health of humans, being fatal in some cases. This review paper aims to highlight the anthropic activities that cause mercury contamination in the state of Rio de Janeiro, and highlight a biological method for the remediation of contaminated areas, as well as the fungal species involved in these biosorption processes. Filamentous fungi have great potential because they show resistance to polluted environments, are good natural competitors when compared to other microorganisms, and even have high biosorption rates compared to other organisms.

Keywords: Mercury. Anthropic Contamination. Filamentous Fungi.

Introdução

As atividades industriais, agrícolas e de mineração tem sido as principais responsáveis pela poluição do meio ambiente por metais pesados. Esses elementos se acumulam nos organismos vivos, os quais são incapazes de degradá-los, causando efeitos letais em todas as formas de vida e destruindo diversos ecossistemas (BRAGA *et al.*, 2005; LOPES, 2009; VENEU *et al.*, 2012).

Os efeitos tóxicos provindos do mercúrio metálico acontecem como consequência da sua oxidação no organismo. A desnaturação das proteínas ocorre

quando grupos SH dos aminoácidos reagem como o mercúrio. O mercúrio causa também sérios danos ao interferir nas funções da membrana celular, especialmente nos neurotransmissores cerebrais (SOUZA & BARBOSA, 2000). Por tanto, existe uma preocupação ambiental gerada pela toxidez dos íons metálicos, notadamente o mercúrio.

As contaminações por mercúrio são de dois tipos: naturais e antropogênicas. Cerca de 1/3 das emanações de mercúrio tem origem natural e os outros 2/3 são causadas pelo homem (MORAES, 2014). Com a finalidade de proteger a saúde humana e o meio ambiente de emissões antropogênicas de mercúrio, foi publicado em 14 de agosto de 2018 o Decreto Lei nº 9470, que promulgou a Convenção de Minamata firmada pelo governo brasileiro em 10 de outubro em 2013 na cidade japonesa de Kumamoto (BRASIL, 2018).

Uma das indústrias que mais contribui para a contaminação ambiental por mercúrio é a indústria soda-cloro. Segundo Lacerda (1997) ela é responsável por emissões na ordem de 10,1% do total lançado ao ambiente. Estima-se que as células eletrolíticas de mercúrio emitem cerca de 127 g desse metal por tonelada de cloro produzido (SILVA *et al.*, 2017). Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Álcali /Abiclor, (2019) a tecnologia de células de mercúrio ainda responde por 14% da capacidade instalada total para produção de cloro no país. Considerando que a produção brasileira de cloro do primeiro trimestre de 2019 foi de 254.900 toneladas, projeta-se uma emissão de 18 t/ano de mercúrio no meio ambiente.

Para o tratamento de efluentes da indústria soda-cloro emprega-se na maioria dos casos a precipitação química, formando uma lama de sulfeto de mercúrio (HgS), um sal que apresenta baixa solubilidade em meio aquoso. Além da formação deste resíduo, o efluente tratado por esta rota, na maioria dos casos, não atende os padrões estabelecidos pelos órgãos ambientais, havendo a necessidade de realização de um tratamento secundário, que normalmente ocorre em colunas de troca iônica ou membranas filtrantes, processos que ainda apresentam elevados custos operacionais (LACERDA, 1997).

Por outro lado, o descarte de efluentes contendo mercúrio inorgânico nos corpos d'água promoverá a formação de compostos metilados, devido a ação de

bactérias anaeróbicas na interface água/sedimento, sendo o primeiro passo nos processos de bioacumulação, que ocorrem nos ecossistemas aquáticos (MICARONI, *et al.*; 2000; BENOIT *et al.*; 1999).

A biossorção empregando fungos filamentosos para remoção de metais pesados se mostra uma técnica promissora, devido à possibilidade de adsorção dos metais nos grupos funcionais que se encontram nas paredes celulares destes microrganismos, que resulta, a partir de mecanismos independentes do metabolismo celular, graças às interações físico-químicas (GADD, 1992). De outra forma, os fungos são conhecidos por tolerar e desintoxicar metais por vários mecanismos como a transformação de valência, precipitação intra e extracelular e absorção ativa (VIJAYARAGHAVAN & BALASUBRAMANIAN, 2015). Concomitantemente, o uso de fungos filamentosos tem se destacado em relação aos dos outros microrganismos na remoção de metais do ambiente, pois eles apresentam maior resistência aos metais, o que proporciona seu crescimento e desenvolvimento em meios que contém altas concentrações desses poluentes, considerados tóxicos para vários microrganismos (COLLINS & STOTZKY, 1992).

Portanto, o presente trabalho de revisão se propõe evidenciar as atividades antrópicas que promovem as contaminações com mercúrio, no estado do Rio de Janeiro, além de destacar um método biológico para a remediação de áreas contaminadas, bem como as espécies fúngicas envolvidas nesses processos de remoção de metais.

Panorama da Contaminação com Mercúrio no Brasil

A partir de 1970, houve alguns aspectos no cenário brasileiro que modificaram o padrão de contaminação por mercúrio. Começou a haver um melhor controle das emissões industriais conhecidas pela substituição de tecnologias ditas “suja” por tecnologias limpas. Entretanto, a explosão do garimpo de ouro no Brasil, mais especialmente na Amazônia, começou a se intensificar. Foi nos idos dos anos 80 que as atividades de garimpo se acentuaram durante a intensa corrida pelo ouro

na Serra Pelada, provocando consequências graves para a região – contaminações do solo e dos próprios trabalhadores, levando alguns a óbito (LACERDA, 1997).

Alguns metais se ingeridos em pequenas quantidades, são essenciais para o metabolismo dos seres vivos. Enquanto outros como o mercúrio, não possuem nenhuma função para os organismos, sendo o seu acúmulo, sobretudo nos seres humanos, causa de graves doenças, podendo até mesmo levar à morte (LIMA & MERÇON, 2011; SALES, 2013).

Dentre as indústrias poluidoras, a de soda-cloro e a siderurgia são as que mais contribuem em termos de contaminação de mercúrio. Segundo informações de Lacerda (1997) as emissões antropogênicas atmosféricas de mercúrio considerando o cenário de 1990 se resumem aos seguintes números: 67,3% provenientes do garimpo; 10,4 da produção de aço e ferro e 10,1 % da produção de cloro. No Estado do Rio de Janeiro conta-se com duas grandes indústrias produtoras de aço, uma localizada na Zona Industrial de Santa Cruz, a TERNIUM, e a outra instalada em Volta Redonda, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Bem comona cidade do Rio de Janeiro, existe a produção de soda cáustica e cloro, pela empresa KATRIUM.

A Convenção de Minamata estabeleceu o prazo máximo de 2025 para que haja a eliminação de todas as células eletrolíticas de mercúrio, empregadas no processo produtivo da indústria de soda-cloro, com a implantação de células com membranas ou diafragmas, que são sistemas mais limpos (TOXISPHERA ASSOCIAÇÃO DE SAÚDE AMBIENTAL, 2013).

Biorremediação

Dentre os métodos mais eficazes de biorremediação destacam-se a bioissorção e bioacumulação, uma vez que ambos têm baixo custo de operação e se mostraram bem-sucedidos para a remediação de solos e efluentes contaminados (SINGH & KUMAR, 2019). A bioissorção pode ser considerada um processo muito semelhante ao de troca iônica ou adsorção. A distinção que se interpõe entre os dois é a natureza do sorvente. Basicamente, a adsorção é um processo de transferência de massa, através do qual uma substância é transferida da fase líquida para a

superfície de um sólido e permanece ligada por interações físicas e/ou químicas. No caso da bioadsorção, células inativas metabolicamente ou mortas constituem biomassa designada para o processo. Como a bioadsorção independe do metabolismo, geralmente é reversível, e a cinética de ligação dos metais é muito rápida, em alguns casos em cerca de um minuto (KADUKOVA & VIRCIKOVA, 2005).

Devido às interações entre os íons metálicos com os polissacarídeos e outros polímeros carregados negativamente, os microrganismos combinam-se com os metais e os adsorvem na superfície celular. A proteína de camada S-paracristalina, por exemplo, na célula bacteriana, composta de subunidades de proteínas e glicoproteínas, auxilia na adesão de metais pesados à superfície da célula por processos de troca iônica, adsorção física, forças de Van der Waals e/ou precipitação inorgânica. Também existem alguns grupos funcionais ligados a proteínas e lipídeos da parede celular dos microrganismos como carboxilato, fosfato, hidroxila, grupo amino e sulfato, que ajudam na ligação do metal à superfície da célula (VEGLIO & BEOLCHINI, 1997; WANG & CHEN, 2009; PLAZA *et al.*, 2011).

Essencialmente, a origem, disponibilidade e custo-efetividade desempenham um papel importante durante a seleção de bioadsorventes. O bioadsorvente é um material biológico renovável que atua como agente potencial para a absorção de metais pesados, quando na forma ativa, (HANSDA & KUMAR, 2016).

Enquanto que na bioadsorção a remoção do metal pesado é feita por biomateriais metabolicamente inativos ou mortos, a remoção de metais pesados por bioacumulação é feita por células vivas, por meio do acúmulo de poluentes dentro das células bioadsorventes (KADUKOVA & VIRCIKOVA, 2005). Desta forma, a bioacumulação apresenta maior complexidade do que o processo de bioadsorção (CHOJNACKA, 2010). Além disso, o processo sortivo por microrganismos vivos compreende duas fases: uma primeira, independente do metabolismo, na qual um processo conhecido como ligação extracelular caracteriza um passo inicial de rápida acumulação, responsável pela ligação do íon metálico à superfície da célula do bioadsorvente, e uma fase secundária, na qual o processo dependente do metabolismo, também conhecido como ligação intracelular, na qual ocorre o

acúmulo de quantidades expressivas de íons metálicos, contudo, esta etapa é relativamente mais lenta que o primeiro processo (AKSU & DÖNMEZ, 2005).

A utilização da célula viva e da atividade metabólica para remoção de um metal determina que os parâmetros físicos, como temperatura e fontes de luz, possam afetar as funções metabólicas. Além disso, a captação do íon metálico é realizada por compostos intracelulares via transporte ativo movido a ATP ou via precipitação intracelular (por descarga de íons sulfato ou fosfato), ou por mecanismo de metilação, desmetilação, oxidação e redução (HANSDA *et al.*, 2016). A síntese de proteínas metalotioneínas, ricas em tiol e de baixo peso molecular, que auxilia na ligação de íons metálicos, suporta o processo de bioacumulação (SINGH & KUMAR, 2019).

A capacidade de manipulação laboratorial das vias de adsorção são um atrativo inerente a diversas culturas microbiológicas, que permitem a capacidade de sequestro efetivo de metais e outros contaminantes por meio de métodos de modificação e aprimoramento (WANG & CHEN, 2009; PLAZA *et al.*, 2011).

Emprego de Fungos Filamentosos na Biorremediação de Mercúrio

Os fungos e leveduras crescem facilmente e produzem elevadas quantidades de materiais celulares (biomassas), concomitantemente podem ser manipulados geneticamente e morfológicamente. Entender o comportamento biorremediador de um fungo contribui para o melhor conhecimento da origem da elevada sorção que estes microrganismos possuem e suas aplicações em sistemas de biorremediação. Em adição, considerando o intensivo emprego de fungos em bioprocessos industriais, há a possibilidade de utilização da biomassa gerada como bioissorvente, contribuindo para a sustentabilidade do planeta (KAPOOR & VIRARAGHAVAN, 1995).

Recentemente Gaza *et al.* (2017), caracterizaram a espécie *Aspergillus flavus* como um exímio bioissorvente, altamente eficiente para a remoção de íons de metais pesados tóxicos como mercúrio, cádmio e chumbo. Os fungos filamentosos possuem a capacidade de crescer sob condições de estresse ambiental, uma vez

que suas hifas formam redes que se estendem na área superficial do meio a procura de nutrientes, auxiliadas pelo potente sistema de biodegradação constituído por enzimas extracelulares.

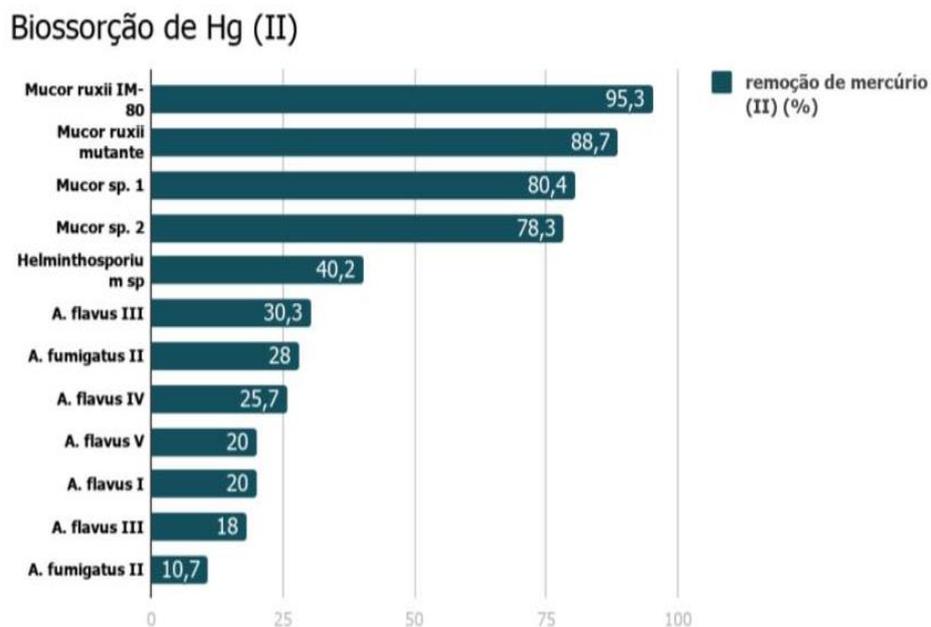
Ramos (2018) observou que as estirpes *Aspergillus flavus* IOC 05, *Aspergillus flavus* IOC 4053 e *Aspergillus flavus* IOC 4133 mostraram-se tolerantes ao mercúrio na concentração de, aproximadamente, 10 mg de Hg^{2+}/L , quando cultivadas em placas de Petri. Partindo do observado, Almeida (2018) conduziu estudos empregando a estirpe 4133, que foi selecionada considerando sua maior capacidade de tolerância ao mercúrio, com a finalidade de determinar comparativamente a quantidade de metal bioissorvido por grama de biomassa inativa e ativa, esta última submetida aos sistemas agitado e estático em solução aquosa contendo 7,39 mg de Hg^{2+}/L . As condições experimentais para a realização de experimentos biossorbitivos foram o cultivo da biomassa (ativa e inativa) em meio Batata Dextrose Ágar, durante duas semanas de acordo com o estudo desenvolvido por Kurniati *et al.*, (2014). O sistema com a biomassa ativa sob agitação apresentou valor de remoção de 1,26 mg Hg^{2+}/L do meio de cultura contaminado, enquanto que no sistema contendo a biomassa inativa submetida a agitação foi removido 0,12 mg Hg^{2+}/L desse meio. Por outro lado, no tratamento com a biomassa ativa em meio estático o fungo não apresentou capacidade de remoção do metal.

Em 2012, quatorze espécies de fungos resistentes a vários metais pesados, isolados de diferentes áreas contendo resíduos de minério, foram objetos de estudo por Martínez-Juárez *et al.*, (2012) visando a remoção de Hg (II) em solução. Os biossorventes utilizados foram as biomassas fúngicas de *Aspergillus flavus* I-V e *Aspergillus fumigatus* I-II isolados de resíduos de mineração em Zimapan (México), *Helminthosporium* sp., *Cladosporium* sp., *Mucor* sp. 1 e 2, isolados do ar coletado próximo a uma planta de fundição, *Mucor rouxii* M-80 (selvagem) e *Mucor rouxii* (mutante), obtido por mutagênese com etilmetanosulfonato e *Candida albicans*, isolada de peças de couro. Neste estudo, os desempenhos dos biossorventes foram analisados em função das condições de operação, em especial do tempo de incubação, do pH, da concentração inicial de íons metálicos, da biomassa fúngica e da concentração de íons mercúrio em solução. Cabe salientar, que a concentração

de Hg^{2+} foi determinada espectrofotometricamente a 492 nm, sendo a concentração mínima detectável de 1,0 $\mu g/10$ mL de solução de ditizona.

Na Figura 1 são apresentados os valores máximos de capacidade de bioadsorção dos 12 bioadsorventes mais eficazes na remoção de íons de mercúrio de sistemas aquáticos. Verificou-se, por exemplo, que a biomassa dos fungos *M. rouxii* IM-80, *M. rouxii*, *Mucor* sp1 e *Mucor* sp2 foi eficiente na remoção do metal em solução (95,3%, 88,7%, 80,4% e 78,3%, respectivamente) e constituem um biomaterial muito promissor para remoção do íon mercurioso (MARTÍNEZ-JUÁREZ *et al.*, 2012).

Figura 1. Bioadsorção de Hg^{2+} por diferentes biomassa fúngicas a partir de solução contendo 100 mg/L de Hg^{2+}



Fonte: MARTÍNEZ-JUÁREZ *et al.*, (2012)

A estirpe de *Aspergillus flavus* KRP-1, estudada por Kurniati e colaboradores, (2014) demonstrou alta capacidade de remoção de mercúrio II, apresentando uma eficiência de remoção de 97.50%, a partir de uma solução de 10 mg/L de Hg^{2+} , em

um sistema agitado em *shaker*, e 98.73% em um sistema estático. Esses dados divergem quando comparados a outros fungos encontrados na literatura, pois sugere que o sistema agitado foi menos eficaz do que o sistema estático.

Em estudos realizados por Karunasagar *et al.*, (2013), a estirpe de *Aspergillus niger* foi empregado para avaliar o potencial de remoção de uma espécie inorgânica de mercúrio (Hg^{2+}) e outra orgânica, o metil mercúrio (CH_3Hg^+), em soluções aquosas. Para a realização dos experimentos foi utilizada uma solução com concentração inicial de $20\mu g/L$ de metil mercúrio em três valores de pH (2,5; 5,2 e 7,0). A maior remoção alcançada, 60%, foi obtida quando o valor do pH foi fixado em 5,2. Os autores também realizaram o experimento com íons de Hg^{2+} sob as mesmas condições. Foi possível observar uma remoção de 90 %, após 15 minutos de experimento, independentemente do valor do pH da solução.

Segundo Das *et al.*, (2007), o *Aspergillus versicolor* foi capaz de remover 95% de Hg^{2+} de uma solução aquosa com concentração de $20mg/L$, utilizando pH 6, e temperatura de $30\text{ }^\circ C$. Foi também constatado que baixos valores de pH tornaram a superfície da célula carregada positivamente, desfavorecendo a biossorção.

Segundo Say *et al.*, (2014), o *Penicillium purpurogenum* foi capaz de absorver 20% de Hg^{2+} de um meio contendo 100 mg/L deste íon, alcançando a absorção máxima em um período de 6 minutos, a $20\text{ }^\circ C$, e pH em torno de 7. Cabe salientar que houve uma redução de 50% na eficiência de remoção de Hg^{2+} , quando o valor do pH foi reduzido para 2,0.

A seguir mostra-se uma recopilação dos principais fungos empregados na remoção de mercúrio, juntamente com as suas principais características (Tabela 1).

Tabela 1. Principais fungos empregados na remoção de mercúrio

Microrganismo	Características	Remoção de mercúrio
<i>Aspergillus flavus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • alta resistência a diversos tipos de metais pesado. • produção numerosa de conídios aéreos que facilita a dispersão no ambiente. <p>faixa de temperatura ideal para seu crescimento foi de 25 a 35 °C e atividade de água de 0.86 a 0.96% .</p>	<ul style="list-style-type: none"> • alta capacidade de remoção de Hg²⁺, em uma solução de 10 mg Hg/L. - 97.50% em um sistema agitado em <i>shaker</i>. - 98.73% em um sistema estático.
<i>Aspergillus niger</i>	<ul style="list-style-type: none"> • cresce em temperaturas que vão dos 6°C aos 47°C. • pH ótimo de crescimento situa-se em 6, pode ser encontrado em pH entre 1.5 a 9,8. • umidade ideal entre 96 – 98%. 	<ul style="list-style-type: none"> • remoção de 60% de CH₃Hg⁺ em pH 5,2 de uma solução contendo 20 µg/L. • remoção de 90% de Hg²⁺ independente do valor do pH de uma solução contendo 20 µg/L.
<i>Aspergillus versicolor</i>	<ul style="list-style-type: none"> • crescimento em temperaturas entre 4 °C – 40 °C. • tolera variações de pH entre 2-8. • resistente a baixas taxas de umidade. • germinação dos conídios ocorre entre 15 °C - 32 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de 95% de Hg²⁺ de uma solução aquosa contendo 20mg/L, utilizando pH 6, e temperatura de 30 °C.
<i>Penicillium purpurogenum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • prolifera sob condições de 80 a 90% de umidade relativa do ar intergranular e teor de umidade dos grãos de 15 a 18%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorção de 20% de Hg²⁺ de em meio contendo 100 mg/L de Hg²⁺, em 6 minutos, temperatura de 20 °C e pH em torno de 7.

Fonte: Pesquisa dos Autores

Considerações Finais

A geração de efluentes contendo mercúrio ainda é um problema que vai persistir nos próximos anos pela indústria soda-cloro. Diversos estudos encontrados na literatura indicam que os fungos filamentosos são eficazes na remoção de mercúrio de soluções aquosas. Os bioprocessos apresentam baixos custos, quando comparadas as tecnologias convencionais o que viabiliza o seu emprego em escala industrial. Estes fatores aumentam o interesse no tratamento de efluentes contendo metais pesados, mediante a utilização de resíduos agroindustriais, biomassas vegetais e microbianas (bactérias, algas e fungos).

Agradecimentos

Agradecimento à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ pela bolsa concedida.

Referências

ABICLOR, (2019). Disponível em <http://www.abiclor.com.br/>. Acesso em: 07 de nov. de 2019.

ALMEIDA, Mariana Ferreira de. Potencial de biossorção do mercúrio pela estirpe *Aspergillus flavus* IOC-4133. 2018. 49f. Monografia (Graduação em Ciências Biológica – Modalidade Produção e Biotecnologia) – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro.

AKSU, Zümriye.; DÖNMEZ, Gönül. **Combined effects of molasses sucrose and reactive dye on the growth and dye bioaccumulation properties of *Candida tropicalis***. Process Biochem S.I. vol. 40. n. 7. p. 2443 – 2454. 2005.

BENOIT, J. M.; GILMOUR, C. C.; MASON, R. P.; HEYES, A. **Sulfide Controls on Mercury Speciation and Bioavailability to Methylating Bacteria in Sediment Pore Waters**. Environ. Sci. Technol., v. 33, n. 6, p. 951–957, 1999.

BRAGA, Benedito, HESPANHOL, Ivanildo, CONEJO, João G. Lotufo, MIERZWA, José Carlos, BARROS, Mário Thadeu L., SPENCER, Milton, PORTO, Mônica, NUCCI, Nelson, JULIANO, Neusa, EIGER, Sérgio. O meio aquático. In: BRAGA, B. (org). **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. p. 73-124.

BRASIL. Decreto – lei nº 9470, de 14 de agosto de 2018. Promulgação da Convenção de Minamata sobre Mercúrio, firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de outubro de 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9470.htm. Acesso em: 07 nov. 2019.

COLLINS, Y. E.; STOTZKY, G. **Heavy metal alter the electrokinetic properties of bacteria, yeast and clay minerals**. Appl. Environ. Microbiol., New York, v. 58, n. 5, p. 1592-1600, 1992.

CHOJNACKA, Katarzyna. **Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications**. Environ Int vol. 36 n. 3. p. 299–307. 2010.

DAS S. K.; DAS A. L. R.; GUHA A. K. **A study on the adsorption mechanism of Mercury on Aspergillus versicolor biomass**. Environ. Sci. Technol. v.41, p. 8281-8287, 2007.

GADD, G. M. Biosorption. **J. Chem. Technol. Biotech.**, v. 55, n.3, p. 302-304, 1992.

GAZA, Mohamed A., LUKMAN H., AKHMAD S. S. B. S. **Evaluation on Mercury, Cadmium, and Lead in the Hair Sample as an Indicator of Autism for Children**. International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research; 9(12): 710-715, 2017.

GREENBERG Arnold E., CLESCERI, Lenore. S., EATON, Andrew D. **Standard Methods For the Examination of Water and wasteWater**, vol. 3, American Public Health Association, Washington, DC, USA, 18 edition, 1992.

HANSDA, Arti, KUMAR, Vipin. **A comparative review towards potential of microbial cells for heavy metal removal with emphasis on biosorption and bioaccumulation**. World J Microbiol Biotechnol vol. 32. n. 10. 170 p. 2016.

KADUKOVA, Jana, VIRCIKOVA, Edita. **Comparison of differences between copper bioaccumulation and biosorption**. Environ Int vol. 31. n. 2. p. 227–232. 2005.

KAPOOR, Anoop, VIRARAGHAVAN, Thiruvenkatachari. Fungal Biosorption — **An Alternative Treatment Option for Heavy Metal Bearing Wastewaters: A Review**. Bioresource Technology, 53, 195-206 1995.

KARUNASAGAR, D.; ARUNACHALAM, J.; RASHMI K., LATHA N. L.; MOHAN, M. **Biosorption of inorganic and methyl Mercury by a biosorbent from Aspergillus niger**. World Journal of Microbiology & Biotechnology, Netherland. V.19, p. 291–295, 2003

KURNIATI, Evi, ARFARITA, Novi, IMAI, Tsuyoshi, HIGUCHI, Takaya, KANNO Ariyo, YAMAMOTO, Koichi, SEKINE Masahiko. **Potential bioremediation of mercury-contaminated substrate using filamentous fungi isolated from forest soil**. Journal of Environmental Sciences vol. 26, p. 1223–123, 2014.

LACERDA, L. D. **Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro**. Química Nova, v. 20, n 2, p. 196-199, 1997.

LIMA, Verônica Ferreira, MERÇON, Fábio. **Metais Pesados no Ensino de Química**. Química Nova na Escola, Brasil, v. 33, n. 6, p. 199–205, 2011.

LOPES, Ana Maria Ribeiro Marques. **Avaliação da contaminação em metais pesados no pescado: Análise da situação do pescado comercializado em Portugal e dos alertas emitidos pelo sistema RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed)**.

2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.2009.

MARTÍNEZ-JUÁREZ, Victor M., CÁRDENAS-GONZÁLEZ, Juan F., TORREBOUSCOULET, María Eugenia, ACOSTA-RODRÍGUEZ, Ismael. **Biosorption of Mercury (II) from Aqueous Solutions onto Fungal Biomass**. Hindawi Publishing Corporation. Bioinorganic Chemistry and Applications Volume 2012. 5 p.

MICARONI, Regina Célia da C. M.; BUENO, Maria Isabel M.S., JARDIM, Wilson de Figueiredo. **Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte**. Química Nova, v. 23, n. 4, p. 487-495, 2000.

MORAES, Hermann. Intoxicação por mercúrio. **MedClick**, 23 out. 2014. Disponível em: <http://www.medclick.com.br/saude/2014/10/intoxicacao-por-mercurio>. Acesso em 10 nov. 2018.

PLAZA, Josefina, VIERA, Marisa, DONATI, Edgardo, GUIBAL, Eric. **Biosorption of mercury by Macrocyctis pyrifera and Undaria pinnatifida: influence of zinc, cadmium and nickel**. J Environ Sci vol. 23. n. 11. p. 1778 –1786. 2011.

RAMOS, Hanna Beatriz Vieira da Silva. Pesquisa de fungos filamentosos que apresentam resistência a mercúrio. 2018. 46f. Monografia (Graduação em Ciências Biológica – Modalidade Produção e Biotecnologia) – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro.

SALES, Suellen Cristina Moreira. **Avaliação ecotoxicológica de impactos da contaminação por metais e arsênio em áreas de mineração e beneficiamento de ouro em Minas Gerais**. 2013. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.

SAY, Ridvan, YILMAZ, Nalan, DENIZLI, Adil. **Biosorption of Cadmium, Lead Mercury and Arsenio Ions by the Fungus *Penicillium purpurogenum***. SEPARATION SCIENCE AND TECHNOLOGY, London. v. 38, n 9, p. 2039–2053, 2003.

SILVA, Rafaela Rodrigues da, BRANCO, Jeffer Castelo, THOMAZ, Silvia Maria Tagé, CESAR, Augusto. **Convenção de Minamata: análise dos impactos socioambientais de uma solução em longo prazo**. Saúde em debate , v. 41, n. especial, p. 50-62, jun 2017. Disponível em http://www.scielo.br/pdf/sdeb/v41nspe2/en_0103-1104-sdeb-41-spe2-0050.pdf. Acesso em: 07 nov. 2019.

SINGH, Shalini, KUMAR, Vipin. **Mercury Detoxification by absorption, mercuric ion reductase, and exopolysaccharides: a comprehensive study**. Sustainable Industrial and Environmental Bioprocesses. Environmental Science and Pollution Research (ESPR): p.1–21. 2019.

SOUZA, Jurandir Rodrigues, BARBOSA, Antônio Carneiro. **Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia.** Química e Sociedade. Química Nova na Escola, nov. de 2000. Disponível em< <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc12/v12a01.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2018.

TOXISPHERA ASSOCIAÇÃO DE SAÚDE AMBIENTAL. Emissões Atmosféricas de Mercúrio da Indústria de Cloro-Álcalis no Brasil: Medição de mercúrio na atmosfera do entorno de quatro fábricas de cloro-álcalis no período de 31 de maio a 07 de junho de 2012. Brasil, 2013.

VEGLIÒ, Francesco, BEOLCHINI Francesca. **Removal of metals by biosorption: a review.** Hydrometallurgy, vol.44, p.301–16, 1997.

VENEU, D. M.; PINO, Gabriela A. Huamán; TOREM Maurício Leonardo; SAINTPIERRE, T. D. **Biosorptive removal of cadmium from aqueous solutions using a *Streptomyces lunalinharesii* strain.** Minerals Engineering, v. 29, p. 112-120, 2012.Supl.I.

VIJAYARAGHAVAN K.; BALASUBRAMANIAN R. **Is biosorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters? A critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions.** J Environ Manag.,v. 1, n. 160, p. 283–296, 2015.

WANG, Jialong, CHEN Can. Biosorbents for heavy metals removal and their future. Biotechnol Adv vol. 27. n. 2. p.195–226. 2009.