

Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão

BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A.
Universidade Federal do Tocantins

RESUMO

Atualmente, associado ao grande número de indústrias como as têxteis, de papel e celulose, tintas, petróleo e de pesticidas, existe uma grande preocupação com seus efluentes, os quais são altamente tóxicos. Um dos principais poluentes presentes nesses efluentes são os metais pesados, cujo tratamento inclui diversos métodos físicos, químicos e biológicos. Também existem outros tipos de métodos de tratamento de efluentes tóxicos menos convencionais como o método de biossorção, que consiste na adsorção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais como adsorvente, ou seja, a utilização de um biossorvente. Além disso, também podem ser utilizados microrganismos como fungos, bactérias e leveduras, nos quais a biossorção ocorre por meio de mecanismos como a complexação, quelação, microprecipitação, sendo todos baseados na ligação entre a célula do adsorvente com o adsorvato, e dependentes de fatores como temperatura, pH, estruturas químicas dos íons metálicos e das moléculas. Para a biossorção de metais pesados é empregado um biorreator chamado de reator de coluna de leito fixo, que consiste em uma coluna contendo o material adsorvente e o efluente escorre por essa coluna para que o íons entrem em contato com as células e façam a ligação.

Palavras-chave: Biossorção, resíduos agroindustriais, biossorvente.

INTRODUÇÃO

No mundo industrial moderno, se encontra presente um grande número de setores, como o têxtil, papel e celulose, impressão, petróleo, pesticidas, tintas, solventes, farmacêutico, e de produtos químicos, que consomem grandes volumes de água, e substâncias químicas de base orgânica. No final dos processos industriais, certa parte deste volume, é descartada de forma não controlada, prejudicando o meio ambiente. Estes descartes, denominados de efluentes industriais, contêm vários compostos tóxicos, como metais pesados, corantes, e alimentos orgânicos, que podem ter potencial efeito prejudicial sobre seres humanos, causando doenças graves, e também à vida aquática, podendo levar a morte de espécies da região (CHOJNACKA, 2009).

Entre os poluentes presentes em efluentes industriais, estão os metais pesados, também conhecidos como metais tóxicos, são assim denominados por serem mais densos que os demais, um mesmo volume contém

maior massa. Outro critério que os define é o fato de serem bio-acumulativos, ou seja, se acumulam na cadeia alimentar (plantas e animais) e, conseqüentemente, no homem. Chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, cobre, e arsênio são exemplos dos mais tóxicos e cancerígenos que podem existir em efluentes. Não são facilmente eliminados do corpo humano (podendo atingir uma alta dosagem) causando doenças ou envenenamento por metais pesados (LESMANA et al., 2009).

No corpo humano, a presença acumulativa destes metais tóxicos podem causar sérias doenças como saturnismo, doença de Minamata, e câncer, mas até mesmo contato com a pele pode causar dermatite alérgica e, mais raramente, provocar ulcerações na pele formando cicatrizes, perfurações do septo nasal, distúrbios, irritação neuromuscular, cefaleia, náuseas e desmaios (COLLA et al., 2014)

Muitas indústrias lançam efluentes diretamente nas águas, mas até mesmo descartes domésticos podem levar esses

metais para o curso da água. Lâmpadas fluorescentes e fosforescentes são produzidas com vapor de mercúrio; computadores, aparelhos celulares e pilhas contêm metais como mercúrio, chumbo, cádmio, manganês e níquel; as tintas de impressão são produzidas com pigmentos a base de metais pesados como o chumbo. O descarte destes produtos deve ser feito com critério para evitar a contaminação. Por isso deve-se tomar cuidado com o destino final dado às lâmpadas queimadas, pois se lançadas em locais inapropriados podem quebrar-se, libertando vapor de mercúrio e trazendo riscos à saúde e ao meio ambiente. A troca desenfreada por novos lançamentos de computadores e celulares gera o descarte indevido de aparelhos, mesmo quando são descartados em aterros sanitários esses metais são carregados pelas águas das chuvas e lançados no lençol freático contaminando nossas águas (CHEN e WANG, 2008).

Vários processos de tratamento, tais como precipitação química, filtração por membranas, troca de íons, ultrafiltração, e adsorção, são usados na remoção de compostos tóxicos de efluentes. Tais processos, e seus rendimentos correspondentes estão presentes na Tabela 1. É possível notar que muitas técnicas possuem rendimentos semelhantes, e entre as três classes (física, química e biológica), as técnicas físicas são as mais comumente utilizadas. (PALLU, 2006).

Remoções de tais poluentes de diferentes efluentes industriais podem ser alcançadas fisicamente, quimicamente, ou biologicamente. Os processos físicos incluem adsorção, troca de íons, filtração em membrana, e coagulação. Métodos químicos incluem soluções ácidas ou básicas ou oxidação, enquanto métodos biológicos podem ser aeróbios, anaeróbios, ou enzimáticos (GADD, 2009). Esses processos conhecidos como métodos de tratamento convencionais têm várias desvantagens principalmente, altas consumo de energia e custo de produção, e baixa eficiência. Recentemente, várias abordagens têm sido propostas por muitos pesquisadores ao redor do mundo para o desenvolvimento de métodos não convencionais e utilização de

adsorventes de baixo custo. Entre estes métodos não convencionais se destaca a biossorção, que se tornou uma atraente técnica comum por muitas razões, como sendo de um bom custo-benefício, altamente eficiente e facilidade implementação, sendo assim uma boa alternativa para os métodos convencionais (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

A biossorção consiste na adsorção de metais pesados por meio da utilização de resíduos agroindustriais como um adsorvente, ou seja, utilização de um bioadsorvente, ou também pelo emprego de micro-organismos vivos ou mortos, como bactérias, fungos ou leveduras (LESMANA et al, 2009). De acordo com Pietrobelli et al. (2009), a biossorção é um método alternativo com grande eficácia se comparados aos tratamentos convencionais já empregados, pois, os microrganismos retém os metais promovendo uma autorregeneração do efluente e qualificando o processo.

Os mecanismos que envolvem o processo de biossorção são diferenciados de forma qualitativa e quantitativa, dependendo da origem da biomassa e seu processamento. São ao todo 6 mecanismos diferentes que funcionam em sinergismo, são eles: (i) Complexação : formação de um complexo por meio da associação das duas espécies ; (ii) Coordenação: ligação covalente de um átomo central com outros átomos; (iii) Quelação: Os complexos formados por um composto orgânico são unidos por pelo menos dois sítios; (iv) Troca iônica: formação de complexos a partir do intercâmbio de íons; (v) Adsorção: Sorção através da superfície do tecido orgânico; e (vi) Precipitação inorgânica: Modificação no meio aquoso levando a precipitação do despejo (SILVA, et al. 2014).

A biossorção pode ser considerada de "baixo-custo" se considerar as seguintes condições: (i) abundância na natureza, (ii) a exigência de menor ou nenhum tratamento, e (iii) sendo um desperdício material ou um subproduto de outras indústrias. O maior desafio sobre a técnica de biossorção, e saber qual o biossorvente mais adequado para cada tipo de metal tóxico presente, e também como melhorar o rendimento realizando uma

combinação com outras técnicas físicas, químicas, ou biológicas (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

Neste presente estudo, buscamos informar os avanços relacionados à aplicação da técnica de biossorção, e os variados biossorbentes, avaliando o seus respectivos potenciais. Baseando-se em alguns trabalhos, este artigo trará dados comparativos entre variadas técnicas de remoção de metais tóxicos, inclusive técnicas combinadas. Também destacar as novas opções para continuar a explorar e as possibilidades de melhoria da técnica de biossorção.

2. FONTES E APLICAÇÕES DE BIOSORVENTES

As biomassas que promovem a biossorção são chamadas de biossorbentes como exemplos, a casca do coco verde, fibra de coco, casca de amendoim, casca de banana, casca de arroz e a serragem de madeira, representam uma alternativa aos tratamentos de efluentes. Nos estudos sobre biossorção de íons metálicos, os mesmos são removidos de uma solução na forma de cátions, já que a maioria dos metais existe numa solução na forma catiônica. Entretanto, alguns metais podem existir em solução tanto como cátion ou ânion, dependendo do estado de valência do metal.

A biossorção tem sido aplicada principalmente para tratar soluções sintéticas contendo um único íon metálico. A redução de um metal pode ser influenciada pela presença de outros metais, uma vez que, os resíduos industriais aquosos contêm várias espécies de compostos poluentes, sistemas multicomponentes necessitam de estudos detalhados. Um dos requisitos básicos dos estudos visando à utilização de biomassa como adsorvente é avaliar sua capacidade de regeneração para ciclos sucessivos de sorção/dessorção. Os metais depositados na biomassa são lavados (dessorvidos) e o biossorvente regenerado para aplicação em um novo ciclo. Este processo deve ter como premissas básicas não diminuir a capacidade de biossorção e nem causar danos físico-químicos ao biossorvente (DEMIRBAS,2009).

Um dos maiores desafios no campo da biossorção é selecionar a biomassa mais promissora, em um meio de resíduos agroindustriais bastante amplo e de baixo custo. Embora muitos materiais biológicos podem ligar a metais pesados, apenas aqueles com capacidade de ligação a metais suficientemente elevado, e que também possua uma maior seletividade para determinados metais pesados que são adequados para utilização num processo de biossorção de alta escala (ZIAGOVA et al.,2007). Um grande número de tipos de biomassa foi investigado, para avaliar suas capacidades para se ligar a metais, sua seletividade, rendimento, e também adequação a métodos combinados (CHEN e WANG, 2008).

Os diferentes tipos de fontes dos adsorbentes convencionais e não-convencionais são ilustrados no fluxograma da Figura 1.

Subprodutos agrícolas são na sua maioria compostos de lignina e celulose, bem como de outros compostos contendo grupos funcionais, que incluem álcoois, aldeídos, cetonas, e carboxilas, fenóis e éteres. Esses grupos são capazes de se ligar aos metais pesados através da substituição de íons de hidrogênio com íons metálicos em solução, ou por doação de um par de elétrons a partir desses grupos para formar complexos com íons metálicos em solução (LESMANA et al, 2009).

Biomassa morta tem sido utilizada por muitos pesquisadores como um biossorvente eficaz para a remoção de diferentes poluentes. Sua adsorção ocorre de forma mais facilitada do que as que empregam biomassa viva. Biomassas vivas incluem fungos, algas e outras culturas microbianas com diferentes cepas também são usadas como biossorbentes de baixo custo. A Agricultura de biossorbentes representa uma grande categoria de resíduos que atraiu a atenção de muitos pesquisadores no mundo inteiro utilizando de tais resíduos dependo da sua disponibilidade local (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

No caso da biomassa viva, a bioacumulação, processo pelo qual ocorre a remoção dos metais pesados dos efluentes,

está direcionada ao sistema de defesa do microrganismo, que reage na presença da espécie metálica tóxica. A interação entre o metal pesado e o micro-organismo se dá por meio do metabolismo do micro-organismo. Uma vez dentro da célula, os íons metálicos podem se localizar em organelas, ou ligar-se a proteínas, deslocando alguns íons de suas posições habituais, prejudicando assim, as funções metabólicas (GADD, 2004).

Entre os micro-organismos considerados como bons bioabsorventes se encontram os fungos filamentosos, esta classe de micro-organismos podem ser cultivados em resíduos agroindustriais como cascas de banana, de arroz entre outros, este processo de fermentação em estado sólido pode levar a produção de ácidos orgânicos, ácido cítrico, ácido gálico, e também produção de enzimas, como amilases, glucoses isomerases, pectinases, glucanases e lipases. Uma vez obtido estes produtos, o farelo fermentado é utilizado no processo de bioabsorção. Onde ocorre a remoção do metal pela interação com a célula microbiana, viva ou morta e também com o material de suporte, no caso o próprio resíduo (COLLA et al., 2014).

Algas marinhas produzidas em larga escala também foram estudadas, quanto a sua capacidade em remoção de metais pesados (PAL et al., 2006). Consideradas também como uma fonte de baixo custo, por serem cultivadas com baixa necessidade de nutrientes e também podendo ser reaproveitadas de algas utilizadas para produção de biocombustível, as algas marinhas, principalmente as marrons *Sargassum vulgare*, apresentaram bons resultados quando utilizadas como bioabsorventes (CHEN e WANG, 2008).

As carboxilas, hidroxilas, sulfatos, e grupos aminas na parede celular das algas agem como locais de ligação para os metais. As características das algas, propriedades físico-químicas dos metais alvo, e pH da solução são grandes fatores de impacto na bioabsorção com algas (RAO et al., 2005).

3. FATORES QUE INFLUENCIAM A BIODSORÇÃO

O comportamento e desempenho da bioabsorção são afetados pelas características

físicas e químicas de cada um dos bioabsorventes e sorbatos, além do processo e suas condições de funcionamento. As características dos bioabsorvente e sorbato incluem a composição, estrutura, tipo de grupos funcionais carregados e descarregados e o tamanho de partícula. Também foi relatado que em solventes de biomassa, a composição da parede celular influencia tanto a capacidade de absorção de sorção e a seletividade. Estes fatores requerem essencial atenção, pois estes podem variar de acordo com o bioabsorvente ou sorbato (AL-BARAK e EL-SAID, 2010).

Os parâmetros de funcionamento são: pH, temperatura, concentração inicial do sorbato, dose do bioabsorvente, tempo de contato, velocidade de agitação, características físico-químicas do adsorvente, e modo de operação (PALLU, 2006).

3.1 ÁREA SUPERFICIAL

Na maior parte dos estudos relatados, a taxa inicial de sorção foi rápida e diminuiu gradativamente até atingir um valor considerado constante. Esta ocorrência prova que a ligação ocorre na superfície sólida, e que o poro de difusão do íon não apresenta influência significativa (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

Em relação ao granulometria do bioabsorvente, foi então observado que, quanto menor for o bioabsorvente, maior é sua área de superfície de contato, e subsequente maior será a taxa de desenvolvimento da reação. Em outras palavras, com uma superfície de contato maior, haverá mais partículas entrando em colisão e aumentará a probabilidade desses choques serem efetivos, ou seja, de resultarem na quebra das ligações dos reagentes e na formação de novas ligações (LORENA et al., 2014).

3.2 PROPRIEDADES DO ADSORVENTE E DOSAGEM

Devido então a velocidade de adsorção ser diretamente relacionada à área de superfície do adsorvente, as características físico-químicas do adsorvente são fatores muito relevantes no rendimento da bioabsorção. Outras propriedades tais como porosidade, volume específico dos poros,

distribuição do tamanho dos poros, grupos funcionais presentes no adsorvente também são de suma importância (SILVA et al., 2014).

Geralmente à medida que aumenta a dose de biossorvente, o número de sites ativos disponíveis aumenta e, portanto, consequentemente aumenta a remoção de metais pesados. Por outro lado, a capacidade de adsorção diminui provavelmente devido à diminuição da área de superfície de contato (JAIKUMAR e RAMAMURTHI, 2009).

3.3 PROPRIEDADES DO ADSORVATO E DOSAGEM

As características físicas e químicas do adsorvente, também são parâmetros a serem observados. O tamanho da molécula é importante quando a velocidade de adsorção é dependente do transporte intra-particular (DOMINGUES, 2005).

Outras propriedades dos adsorvatos, que merecem destaque, são raio atômico, potencial de hidrólise e eletronegatividade. A Tabela 2 foi montada para expor os valores das características acima citadas dos principais metais pesados encontrados em efluentes industriais (STREY, 2013).

Quanto maior for a eletronegatividade, maior será a afinidade para o processo de sorção, e também por outro lado, compostos com raio atômico menor possuem maior acessibilidade à área de superfície e aos poros do adsorvente (KUMAR et al., 2008). Segundo Lesmana et al. (2009), quanto maior o potencial de hidrólise maior será a afinidade, e consequentemente maior será a adsorção.

Enquanto em relação à concentração inicial de adsorvato, o seu aumento atua como uma força motriz para superar a resistência de transferência de massa e, portanto, aumentar a adsorção. Esse comportamento foi relatado para os metais pesados e corantes. Em um estudo, lidando com a sorção de mercúrio com o emprego de resíduos de coco ralado, os resultados foram positivos perante o ao emprego de um biossorvente com grande quantidade de adsorvato livres (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

3.4 VELOCIDADE DE AGITAÇÃO

A velocidade de agitação deve ser aumentada para melhorar a eficiência de remoção, reduzindo assim as resistências de transferência de massa, mas apenas até ao limite ideal acima do qual a eficiência cai, provavelmente devido à fragmentação da biomassa (PARVATHI et al., 2007).

3.5 TEMPERATURA

Em geral, o efeito da temperatura torna-se importante quando se lida com efluentes de águas residuais que são descarregadas em altas temperaturas devido ao processamento das indústrias. Devido a este motivo a faixa de temperatura para a biossorção é relativamente ampla, podendo situar entre 10 a 70°C. É constatado que em processos de adsorção, o efeito da temperatura sobre o sistema, irá afetar diretamente a velocidade que ocorre a adsorção (SILVA et al., 2014).

Caso a reação seja considerada endotérmica, a elevação da temperatura leva a um aumento da energia cinética e da mobilidade das moléculas do adsorvato, disponibilizando mais sítios ativos. Sendo assim, o aumento da temperatura acelera o processo de adsorção, melhorando o rendimento do processo. E vice-versa se a reação for exotérmica (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

A variação de entalpia (ΔH) indica se o processo de adsorção é de caráter exotérmico ou endotérmico, e a variação da entropia (ΔS) está relacionada à ordem do sistema após o processo de adsorção (AKSU, 2005). Estes parâmetros podem ser calculados a partir das seguintes equações:

$$\Delta G = -RT \ln K_d \quad (1)$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (2)$$

Onde R é a constante universal dos gases (8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹), T é a temperatura em Kelvin utilizada no experimento, K_d corresponde a relação entre a quantidade adsorvida por unidade de adsorvente e a concentração em equilíbrio na solução. Os

valores de ΔH e ΔS foram obtidos por meio do gráfico de $\ln K_d$ em função de $1/T$ (STREY, 2013).

4. MÉTODOS ATUAIS DE REMOÇÃO DE ÍONS METÁLICOS

Os íons metálicos expõem o ser humano à uma alta toxicidade quando estão em concentrações inadequadas, o que pode causar diversas doenças e distúrbios. A tolerância ambiental para estes íons é estabelecida pelo Conselho Nacional de Meio-Ambiente, CONAMA. Eles são encontrados nos resíduos provenientes de algumas indústrias, os quais quando não são devidamente tratados, são despejados de forma inadequada nos rios e por não serem biodegradáveis, tendem a se acumular. (JANEGITZ et al., 2007)

Dentre os diversos métodos existentes, o processo de adsorção é um dos métodos eficazes usados para remoção de metais pesados a partir de solução aquosa (ÖZACAR et al., 2008).

4.1 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado possui uma capacidade de adsorção que depende de vários fatores, tais como a área de superfície, tamanho de poros, grupos funcionais sobre o adsorvente, polaridade, solubilidade, e molecular tamanho do adsorvato, pH da solução e da presença de outros íons em solução, e assim por diante. Este método é amplamente utilizado, possui propriedades microporosas, têm áreas de superfície elevadas, e como consequência, mostra alta eficiência para a adsorção de compostos de baixo peso molecular e para moléculas maiores. (KYZAS, FU E MATIS, 2013)

Um exemplo de fonte de carvão ativado são resíduos agrícolas. Existem dados na literatura que fornecem informações sobre alguns tipos de resíduos agrícolas mais abundantes e que também representam uma fonte barata e renovável de carvão ativado. Estes resíduos materiais possuem pouco ou até mesmo nenhum retorno econômico e muitas vezes representam grandes problemas de eliminação. Assim, seria extremamente viável utilizar estes resíduos para a remoção

de íons metálicos. (SHAMA, 2012; DEMIRBAS, 2009)

Sharma (2012) descreveu uma grande variedade de carvão ativado preparado a partir de agro-resíduos, tais como a madeira de pinho, sabugo de milho, pedras de frutas, cascas de nozes, casca de mandioca, casca de tapioca, bambu, bagaço de cana, casca de arroz, casca, folhas e folhas de chá. A adsorção de íons metálicos com o uso de carvão ativado é um método bem conhecido e eficaz para a remoção de contaminantes, porém o alto custo do carvão ativado restringe o seu uso. Desta forma, alternativas mais baratas e eficazes devem ser priorizadas (HSU, 2009 *apud* COELHO et al., 2014).

4.2 QUITOSANA

A quitosana, além de ser encontrada em grande quantidade e de ter um custo relativamente baixo, é considerada um ótimo adsorvente de metais pesados. Ela apresenta alta capacidade de adsorção, maior que um mmol do cátion metálico/g de quitosana para grande parte dos íons metálicos. Essa capacidade de adsorção da quitosana varia de acordo com a cristalinidade, afinidade por água, porcentagem de desacetilação e quantidade de amino-grupos. Com alta massa molar e grande repetição dos grupos funcionais, a quitosana pode ser utilizada juntamente com materiais de menor custo para obtenção de alta eficiência. (JANEGITZ et al., 2007).

4.3 BIOSSORÇÃO

A biossorção consiste em uma técnica empregada para remoção ou recuperação de metais pesados que se mostra bastante eficiente e possui viabilidade econômica em comparação aos tratamentos convencionais. Além disso, a mesma possibilita a utilização de resíduos agroindustriais como biossorventes o que faz com que ocorra o reaproveitamento dos mesmos. O processo de biossorção ocorre em diferentes etapas, que engloba as seguintes fases: a adsorção, uma separação sólido-líquido e uma possível regeneração da biomassa carregada com o metal. (KYZAS, FU E MATIS, 2013; BENVINDO L et al., 2003 *apud* SILVA et al., 2014).

Quanto à natureza do material de origem biológica que pode ser utilizado como biossorvente, ele deve apresentar as seguintes características: ter baixo custo e ser reciclável; ter um tamanho de partículas, forma e força mecânica adequada para ser usado em biorreatores sobre condições de fluxo contínuo; a captura do metal deve ser eficiente e rápida; a separação do biossorvente da solução deve ser rápida, eficiente e barata; deve possuir uma alta seletividade; a regeneração deve ser seletiva de metal e economicamente viável. (CALFA BA, 2007).

Materiais naturais ou determinados resíduos de operação industrial ou agrícola são fontes de adsorventes de baixo custo, geralmente, estes materiais são localmente e facilmente disponíveis em grandes quantidades. Portanto, eles são baratos e têm pouco valor econômico. Com isso, a biossorção surge como um processo alternativo em decorrência de características como preço reduzido do material biossorvente, aplicação em sistemas com capacidade de desintoxicar grande volume do efluente com custo baixo operacional, possível seletividade e recuperação da espécie metálica. (MOHAN e PITTMAN JR., 2007; PINO e TOREN, 2011 *apud* SILVA et al., 2014).

4.3.1 Biossorção de metais pesados utilizando bactérias e fungos

Segundo Lesmana et al. (2009) bactérias são organismos cujas células não têm um núcleo delimitado por uma membrana ou outra membrana-delimitada organelas como mitocôndrias e cloroplastos. Por outro lado, fungos são organismos eucarióticos. A maioria dos fungos crescem como filamentos tubulares chamados hifas. A massa entrelaçada de hifas é chamada de micélio. A quitina apresenta uma quantidade considerável de hifas para apoiar a sua força. Em suma, as paredes e envelopes de bactérias e fungos possuem desejáveis recursos para biossorção uma vez que contêm grupos carregados. Um número de estudos recentes sobre a biossorção de metais pesados utilizando bactérias, fungos e leveduras foram investigados pelos autores e estão resumidos nas Tabelas 3 e 4.

5. RESULTADOS DE OUTROS TRABALHOS

Janegitz et al. (2007) mostraram em seus estudos que a quitosana previamente solubilizada em meio ácido e, posteriormente precipitada com o cátion metálico, em meio básico foi mais eficiente na remoção dos cátions metálicos, tendo rendimento superior à quitosana sólida empacotada em coluna ou precipitação com solução de hidróxido de sódio.

El-Sayed e El-Sayed (2014) mostraram em uma revisão que a biossorção utilizando processamento industrial de alimentos e resíduos farmacêuticos poderão se tornar eficazes com relação ao custo-benefício, além de ser favoráveis ao meio ambiente, pois são meios viáveis de tratamento de efluentes de águas, visto que com o bom uso destes materiais evita-se com que os mesmos sejam desperdiçados. Entretanto, os autores ressaltam que mais trabalhos devem ser feitos com o intuito de ampliar os conhecidos sobre este tipo de biossorção, além de estudos relacionados à sua viabilidade tecnológica como também é necessário um estudo para a utilização desses biossorventes para o tratamento de diferentes classes de contaminantes como, por exemplo, compostos fenólicos e micotoxinas.

6. MECANISMOS DE BIOSSORÇÃO

A definição imprecisa ou errada de biossorção pode causar a ideia de que o mecanismo seja complexo, e a caracterização do sistema seja difícil de ser feita, exceto em sistemas de laboratório que sejam mais simplificados. Existe uma complexidade no material, mas existe uma diversidade de mecanismos que podem funcionar para tal processo dependendo das condições oferecidas (GADD, 2009).

Os mecanismos de biossorção podem ser do tipo físico, por ligações de Van Der Waals ou também por interações eletrostáticas de troca iônica, do tipo químico, que pode ocorrer por quelação, complexação ou microprecipitação, e o que é utilizado na maioria dos casos é uma combinação destes mecanismos (EL-SAYED; EL-SAYED, 2014).

O mecanismo de complexação consiste em uma formação de um complexo a partir de uma associação de duas espécies, o de quelação os complexos formados por um composto orgânico são unidos ao metal por no mínimo dois sítios de ligação, e a precipitação ocorre por uma alteração do meio aquoso ocasionando a precipitação do despejo (LORENA et al., 2014).

O mecanismo de troca iônica é caracterizado pela substituição de um íon em uma fase sólida, que esta em contato com uma solução de íons por outro. Mais especificamente, é a substituição de um íon absorvido que tem facilidade para a troca por outro íon, apesar do fato de parecer um mecanismo simples, pode se tornar um processo complexo mecanicamente de acordo com o sistema adotado (GADD, 2009).

Há algumas regras existentes para a ligação entre o metal e o ligante, que se diferenciam pelo tipo de ácido (ácido forte e ácido fraco), as regras são que ácidos fortes tem preferência por realizar ligações com ligantes de oxigênio, já os ácidos fracos de se ligar a íons de metais preciosos com prata, mercúrio, ouro entre outros (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

Esse processo ocorre em algumas etapas diferentes, que vão desde a adsorção, separação sólido-liquido e também uma recuperação da biomassa carregada de metal se possível que isso seja feito, as fases líquidas e sólidas citadas são adsorvente (sólida) e adsorvato (líquida) (LORENA et al., 2014).

O adsorvato será atraído pelo adsorvente por possuir uma afinidade grande entre eles, o mecanismo de remoção dos metais é diferente para cada tipo de biossorvente, isso ocorre devido à remoção depender dos grupos funcionais existentes na estrutura dos mesmos (LORENA et al., 2014).

A variedade de componentes estruturais presentes na biomassa usada nestes processos possibilita também uma grande variedade de grupos funcionais que são capazes de interagir com os metais pesados realizando a união destes a superfície do ligante, como por exemplo, carboxila, fosfato, hidroxila, amina, tiol, entre outros, para diferentes tipos e graus de ligação, sendo

influenciados por fatores físico-químicos (GADD, 2009).

Para o controle destes mecanismos são levados em consideração alguns fatores, como por exemplo, o tipo de ligantes ou sítios disponíveis no adsorvente, outras características importantes são estruturas químicas e características dos íons ou moléculas alvo, além de condições físico-químicas, como pH, temperatura e força iônica (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

Existem dois tipos de biomassa utilizados para adsorver os metais, que são biomassa viva com células ativas e biomassa morta. O primeiro tipo se baseia nas atividades metabólicas, e a adsorção ocorre através da membrana celular, e por ser dependente do metabolismo sofre limitações em relação a toxicidade e manutenção dos nutrientes. No segundo tipo a ligação ocorre na parede da célula, onde as proteínas e os polissacarídeos possuem sítios de ligação, não sofrendo com a toxicidade e nem com a manutenção de nutrientes, porém frequentemente ocorrem ligações mais fracas e encontra-se também problemas com a adsorção (EL-SAYED e EL-SAYED, 2014).

6.1 BIORREATORES NA BIORSORÇÃO DE METAIS

Para realizar a biossorção de metais são utilizados reatores, os utilizados com maior frequência nesse tipo de procedimento são do tipo reator de coluna de leito fixo, nesse tipo de reator o biossorvente é colocado na coluna e o fluxo corre no sentido de cima para baixo aproveitando a força da gravidade, os íons presentes são removidos quando passam pelo adsorvente e o efluente sai da coluna do reator com uma concentração menor destes, biorreatores deste modelo permitem a reutilização do adsorvente que é feita por um processo de dessorção, o que faz com que os mesmos venham sendo bastante utilizados (LORENA et al., 2014).

7. EQUILÍBRIO E MODELAGEM CINÉTICA

Os dados obtidos pelo equilíbrio de adsorção fornecem resultados físico-químicos, que são muito importantes para avaliação da aplicabilidade, ou viabilidade

dos processos de sorção em uma operação unitária empregada no sistema, já os dados cinéticos possibilitam a descrição por completo dos mecanismos de transporte do adsorvato para o adsorvente (LESMANA et al., 2009).

7.1 EQUILÍBRIO DA BIORSORÇÃO

O equilíbrio da biossorção é obtido pelo conceito de isotermas, que relaciona a quantidade de metal que pode ser adsorvido, por unidade de massa do adsorvente, e a concentração deste metal na solução em equilíbrio a uma dada temperatura, onde o equilíbrio se estabelece com o contato entre a solução contendo metais e o biossorvente em uma temperatura constante (LORENA et al., 2014).

Na literatura são descritos diversos modelos de isotermas que vão de equações muito complexas até equações mais simples, algumas utilizadas são, por exemplo, a de Radke e Prausnitz, Redlich Peterson, Brunauer-Emmett-Teller (BET), Dubinin-Raduchkevich, Langmuir, Freundlich, porém as mais utilizadas são as duas últimas citadas, por serem as que melhor ajustam os dados e resultados experimentais (LORENA et al., 2014).

O modelo de Langmuir foi descrito levando em conta várias suposições em relação a interação adsorvente e adsorvato, se a superfície é homogênea, a adsorção sobre a mesma é localizada, se este local suporta apenas uma molécula ou átomo, a fórmula que descreve o modelo é a seguinte: $[qe = q_{max} * \frac{KlCe}{1+KlCe}]$, onde qe representa a quantidade adsorvida no estado de equilíbrio e q_{max} representa a constante de Langmuir que é a capacidade de adsorção, Kl é a sorção no estado de equilíbrio e Ce a concentração no mesmo (LESMANA et al., 2009).

O modelo de Freundlich proporciona uma das primeiras equações empíricas para prever o equilíbrio de adsorção e sua equação é a seguinte: $[q = Kf * Ce^{1/n}]$, onde Kf e n representam as constantes de Freundlich, e Kf define a capacidade de adsorção e n a heterogeneidade do sistema, (LESMANA et al., 2009).

7.2 MODELAGEM CINÉTICA DA BIORSORÇÃO

A modelagem cinética é a primeira parte para entender-se o processo de biossorção, por este método de estudo é possível descrever a velocidade de reação e por consequência, o tempo necessário para que se acumule o metal no adsorvente, proporcionando assim uma previsão do tempo necessário para remoção dos poluentes, para desenvolvimento de um adequado sistema de tratamento para tal efluente (LORENA et al., 2014).

Para se obter um sistema de adsorção com um adsorvente adequado para maior eficiência, o equilíbrio deve ser usado em conjunto com a modelagem cinética, e para tanto vários modelos destes estudos estão disponíveis, mas existem dois tipos de equações que são as mais utilizadas, elas são conhecidas como equações de pseudo-primeira ordem descrito por Lagergren e de pseudo-segunda ordem descrito por Ho e colaboradores, (LESMANA et al., 2009).

Muitos modelos foram cinéticos foram descritos para descrever a ordem de adsorção, tendo como parâmetro a concentração da solução, mas também foram propostos modelos que se baseiam na capacidade de adsorção do adsorvente, que são as equações citadas à cima de primeira e segunda ordem que (WANG e CHEN, 2009).

Estas equações são respectivamente: $[\frac{dq}{dt} = K1 * (q - qt)]$ e $[\frac{dq}{dt} = K2 * (q - qt)^2]$.

O estudo cinético de sistemas de biossorção é de grande importância para determinação de parâmetros como os já citados, velocidade de adsorção, capacidade de adsorção, além de características hidrodinâmicas do processo, poré segundo a literatura até hoje estes não suficientes para descrever todo o processo, o que se tem até os dias atuais ainda é insuficiente (WANG; CHEN, 2009).

8. CONCLUSÃO

O presente trabalho expôs que a contaminação do meio ambiente por consequência de atividades da indústria é um grande problema e trás várias consequências negativas contra todos os tipos de seres vivos.

Com isso a bioadsorção apresentou além de uma alta eficiência, um custo relativamente baixo em comparação aos métodos tradicionais que são mais caros e menos eficientes.

Neste contexto, a bioadsorção de metais pesados utilizando resíduos agroindustriais mostrou-se uma técnica bastante promissora no sentido de que além de estar resolvendo um problema e protegendo o meio ambiente, também há o proveito de resíduos que antes seriam descartados sem alguma utilidade.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKSU Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review, **Process Biochemistry**, v.40, n.3-4, p.997-1026, 2005.
- AL-BARAK A. B. S, E EL-SAID S. M. The use of some food industrial by-products for waste water purification. **Research Journal of Environmental Sciences**, v.4, n.6, p.566-572, 2010.
- ANSARI, M.I. MALIK, A. Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater, **Bioresource Technol.** v.98, p.3149-3153, 2007.
- CALFA BA, TOREM ML. Uso de Biomassas em Processos de Combinação Bioadsorção/Flotação para remoção de Metais Pesados. [Dissertação Mestrado]. Pontifícia Universidade Católica – PUC, Rio de Janeiro. 2007.
- CHEN, W.M. WU, C.H. JAMES, E.K. CHANG, J.S. Metal biosorption capability of *Cupriavidus taiwanensis* and its effects on heavy metal removal by nodulated *Mimosa pudica*, **J. Hazard. Mater.** v.151, p.364-371, 2008.
- CHOJNACKA K. Biosorption and bioaccumulation—the prospects for practical applications. **Environment International**, v.36, n.3, p.299-307, 2010.
- COELHO, G. F., GONÇALVES JR, A. C., SOUSA, R. F. B., SCHWANTES, D., MIOLA, A. J., DOMINGUES, C. V. R. Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas. **Journal of Agronomic Sciences**, v.3, n.especial, p.291-317, 2014.
- COLLA, Luciana Maria et al. BIOSORÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE DE EFLUENTE UTILIZANDO RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS FERMENTADOS POR CEPAS DE *ASPERGILLUS*. **Science & Engineering Journal**, São Paulo, p.67-70, dez. 2014.
- DEMIRBAS, A. Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. **J. Hazard. Mater.** v.167, p.1-9, 2009.
- DURSUN, A.Y. A comparative study on determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of biosorption of copper(II) and lead(II) ions onto pretreated *aspergillus niger*, **Biochem. Eng. J.** v.28, p.187-195, 2006.
- EL-SAYED, H. E. M.; EL-SAYED, M. M. H. **Assessment of Food Processing and Pharmaceutical Industrial Wastes as Potential Biosorbents** : A Review. v. 2014, 2014.
- GADD, G. M. **Biosorption : critical review of scientific rationale , environmental importance and significance for pollution treatment.** n. April 2008, p. 13-28, 2009.
- HSU, T. C. Experimental assessment of adsorption of Cu²⁺ and Ni²⁺ from aqueous solution by oyster shell powder. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n. 1-3, p. 995-1000, 2009.
- JAIKUMAR V., E RAMAMURTHI V. Effect of biosorption parameters kinetics isotherm and thermodynamics for acid green dye biosorption from aqueous solution by brewery waste. **International Journal of Chemistry**, v.1, n.1, p.2-12, 2009.
- JANEGITZ, B. C., LOURENÇÃO, B. C., LUPETTI, K. O., & FATIBELLO-FILHO. O. Desenvolvimento de um método empregando quitosana para remoção de íons metálicos de águas residuárias. **Química Nova**, v.30, n.4, p.879, 2007.
- KANG, S. LEE, J. KIMA, K. Biosorption of Cr(III) and Cr(VI) onto the cell surface of *Pseudomonas aeruginosa*, **Biochem. Eng. J.** v.36, p.54-58, 2007.
- KUMAR, R. BISHNOI, N.R GARIMA. BISHNOI, K. Biosorption of chromium(VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass, **Chem. Eng. J.** v.135, p.202-208, 2008.
- KYZAS, GEORGE Z.; FU, JIE; MATIS, KOSTAS A. The change from past to future for adsorbent materials in treatment of dyeing wastewaters. **Materials**, v.6, n.11, p.5131-5158, 2013.
- LESMANA, S. O. et al. **Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater.** v. 44, 2009.
- LORENA, J. et al. **BIOSORPTION HEAVY METALS : A REVIEW.** v. 3, n. 1, p. 137-149, [s.d.].
- MOHAN, D. PITTMAN JR., C.U. Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents – A critical review. **Journal of Hazardous Material**, v. 142, n. 1-2, p. 1-53, ago, 2007.
- MUNGASAVALLI, D.P. VIRARAGHAVAN, T. JIN, Y.C. Biosorption of chromium from aqueous solutions by pretreated *aspergillus niger*: batch and column studies, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects* v.301, p.214-223, 2007.
- ORHAN, Y. HRENOVIC, J. BUYUKGUNGOR, H. Biosorption of heavy metals from wastewater by biosolids, **Eng. Life Sci.** v.6, p.399-402, 2006.
- ÖZACAR, M. SENGIL, I.A.; TURKMENLER, H. Equilibrium and kinetic data, and adsorption mechanism for adsorption of lead onto valonia tannin resin. **Chemical Engineering Journal**, v.143, n.1-3, p.32-42, set. 2008.
- PAL, A. GHOSH, S. PAU, A.K. Biosorption of cobalt by fungi from serpentine soil of Andaman, **Bioresource Technol.** v.97,p.1253-1258, 2006.

PAN, J.H. LIU, R.X. TANG, H.X. Surface reaction of bacillus cereus biomass and its biosorption for lead and copper ions, **J. Environ. Sci.** v.19, p.403–408, 2007.

PALLU, ANA PAULA SOUZA. Biossorção de Cádmio por linhagens de *Aspergillus* sp. DISSERTAÇÃO, Piracicaba, p.11-20, 2006.

K. PARVATHI K., NAGENDRAN R., NARESHKUMAR R. Lead biosorption onto waste beer yeast by-product, a means to decontaminate effluent generated from battery manufacturing industry, **Electronic Journal of Biotechnology**, v.10, n.1, p.92–105, 2007.

PINO, G. H. TOREM, M. L. **Aspectos Fundamentais da biossorção de metais não ferrosos - estudo de caso.** Tecnol. Metal. Master. Miner., São Paulo. 2011; (8 Pt 1): p.57-63

Sharma, N.; Tiwari, D.P.; Singh, S.K. Decolourisation of synthetic dyes by agricultural waste—A review. **Int. J. Sci. Eng. Res.**, v.3, p.1–10, 2012.

SILVA, J. L. B. C. et al. Biossorção de metais pesados: Uma revisão. **Revista Saúde & Ciência Online**, v. 3, n. 3, p. 137-149, 2014.

STREY, LEONARDO. **Biossorção de íons metálicos em águas utilizando casca de Pinus como material adsorvente alternativo.** 2013. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2013.

TRIVEDI, B.D. PATEL, K.C. Biosorption of hexavalent chromium from aqueous solution by a tropical basidiomycete BDT-14 (DSM 15396), **World J. Microbiol. Biotechnol.** v.23, p.683–689, 2007.

TUNALI, S. AKAR, T. OZCAN, A.S. KIRAN, I. OZCAN, A. Equilibrium and kinetics of biosorption of lead(II) from aqueous solutions by cephalosporium aphidicola, **Sep. Purif. Technol.** v.47, p.105–112, 2006.

VENKATESWARLU P., RATNAM M. V., RAO D. S., RAO M.V. Removal of chromium from aqueous solution using *Azadirachta indica* (neem) leaf powder as an adsorbent, **International Journal of Physical Sciences**, v.2, p.188–195, 2007

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 J. Microbiol. Biotechnol.** v.23, p.43–48, 2007.

ZIAGOVA, M. DIMITRIADIS, G. ASLANIDOU, D. PAPAIOANNOU, X. TZANNETAKI, E.L. LIAKOPOULOU-KYRIAKIDES, M. Comparative study of Cd(II) and Cr(VI) biosorption on *staphylococcus xylosus* and *pseudomonas* sp. in single and binary mixtures, **Bioresource Technol.** v.98, p.2859–2865, 2007.

WANG, J.; CHEN, C. Biosorbents for heavy metals removal and their future. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 2, p. 195–226, 2009.

Tabela 1: Diferentes processos de remoção de metais pesados e seus resultados correspondentes.

Método	Metal	Concentração inicial	Remoção máxima (%)	Referências
Adsorção por carvão ativado	Cu(II)	0.580	99.93	(NGAH <i>et al.</i> ,2011)
	Zn(II)	0.410	80.00	
	Cr(VI)	0.180	72.00	
Adsorção por zeólita	Co(II)	1.700	77.96	(DEMIRBAS, 2009)
	Cu(II)	1.600	66.10	
	Zn(II)	1.500	45.96	
Biossurfactante	Cu(II)	20.000	81.13	(KAUSHIK E MALIK, 2009)
	Cd(II)	10.000	71.17	
	Pb(II)	80.000	89.95	
Coagulação química	Cr(VI)	0.480-2.400	11.50	(PEARCE <i>et al.</i> ,2003)
Eletrocoagulação	Cu(II)	1.600-16.000	42.00	(CRINI E BADOT,2008)
Gradiente de separação	Cd(II)	n.a	n.a	(SUD <i>et al.</i> , 2008)
	Cu(II)	n.a	n.a	
	Zn(II)	n.a	n.a	
Troca de íons	Cu(II)	4.730-18.900	n.a	(SALLEH <i>et al.</i> ,2011)
	Ni(II)	4.730-18.900	n.a	
Ultrafiltração	Cd(II)	1.000	95%	(LESMANA <i>et al.</i> , 2009)
	Cu(II)	1.000	95%	
	Zn(II)	1.000	95%	

Tabela 2: Características de alguns metais pesados.

	Cd	Pb	Cr
Raio atômico	4,26	4,01	4,61
pK hidrólise	10 ^{-10.1}	10 ^{-7.7}	10 ⁻⁴
Eletronegatividade	1,52	1,85	1,6

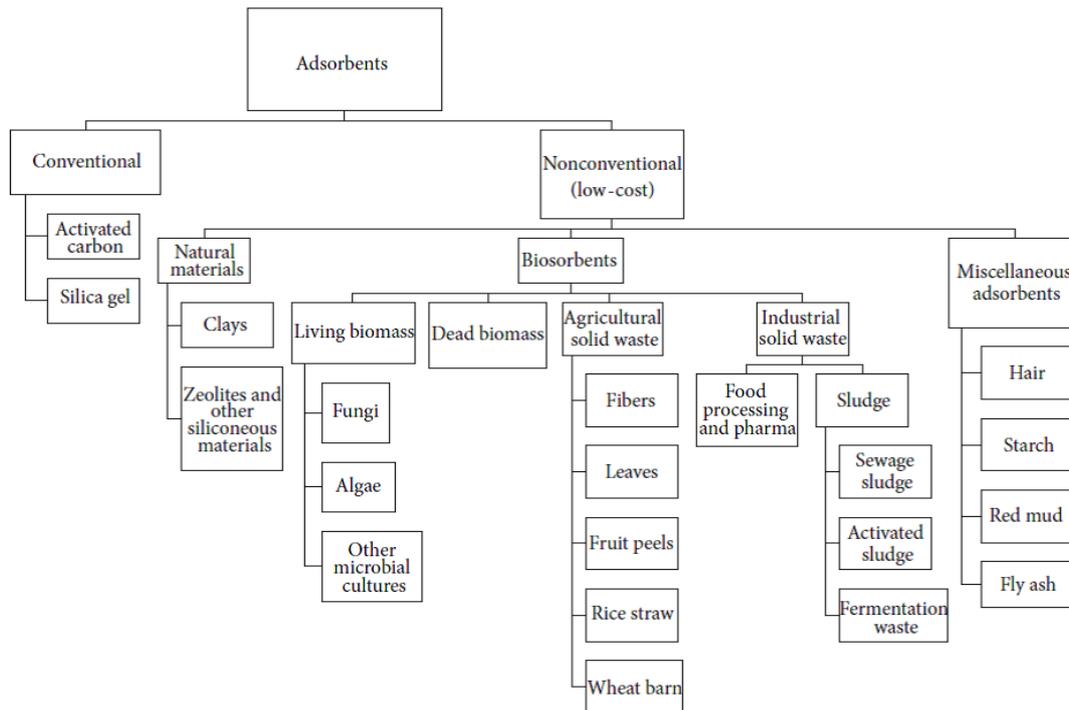


Figura 1: Fluxograma, métodos convencionais e não convencionais.

Tabela 3: Biossorção de metais pesados em soluções aquosas utilizando bactérias.

Micro-organismo usado	Metais pesados	Notas	Tipo de reator e modo de operação	Referências
<i>Bacillus cereus</i>	Pb(II) e Cu(II)	Superfície grupos funcionais desta bactéria, principalmente contêm carboxila, hidroxila, grupos fosfato, amino e amida. Modelo de três cidades e três pKas, conforme descrito pelas reações de superfície, pode razoavelmente descrever os comportamentos ácido-base de superfície de <i>B. cereus</i> biomassa / água sistema.	BSR	Pan (2007)
<i>Bacillus licheniformis</i>	Cr(VI)	Os resultados mostraram que as células mortas de <i>Bacillus licheniformis</i> foram um adsorvente eficiente de Cr em soluções diluídas. O modelo de Langmuir ajustou aos dados experimentais melhor do que o modelo de Freundlich. O modelo cinético de segunda ordem é melhor descrever o sistema de sorção, como demonstrou pelos maiores valores do coeficiente de correlação.	BSR	Zhou (2008)
<i>Escherichia coli</i>	Ni(II) e Cd(II)	Biossorção de Ni e Cd estudados numa gama de concentrações de íons metálicos. Estudos de sistemas individuais e bi-metálicos mostrou que a adsorção de Cd e Ni estava dependente das concentrações e seguiu te de adsorção de Freundlich isotérmica.	BSR	Ansari e Maliki (2007)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Cr(VI), Ni(II), Cd(II), Cu(II) Zn(II)	As isotermas de sorção de <i>P. aeruginosa</i> para Cr (III) foram descritos bem, Langmuir modelos de isotermas e Cr (VI) apareceu para ajustar modelos de Freundlich. Absorção rápida e alta capacidade de adsorção. Sistema de coluna Biossólido parece ser eficaz na purificação de um contendo metal-chapeamento de águas residuais.	BSR	Kang e Lee (2007) e Orhan (2006)
<i>Pseudomonas sp.</i>	Cd(II) e Cr(VI)	Estes resultados mostram que em misturas binárias, a adsorção é um tanto complicada mecanismo de adsorção afetada por uma série de fatores, incluindo a carga de superfície, grupos funcionais, as propriedades da solução (por exemplo pH) e os adsorbatos (e.g. concentração, força e peso iônica).	BSR	Ziagova et al. (2007)
<i>Staphylococcus xylosus</i>	Cd(II) e Cr(VI)	Estes resultados mostram que em misturas binárias, a adsorção é um tanto complicada o mecanismo de adsorção, afetada por uma série de fatores, incluindo a carga de superfície, grupos funcionais, as propriedades da solução (por exemplo pH) e os adsorbatos (e.g. concentração, força e	BSR	Ziagova et al. (2007)

peso iônica).

Tabela 4: Biossorção de metais pesados em soluções aquosas utilizando fungos.

Micro-organismo usado	Metais pesados	Notas	Tipo de reator e modo de operação	Referências
<i>Aspergillus sydoni</i>	Cr (VI)	Modelos de Langmuir e Freundlich foram usadas para correlacionar os dados experimentais. A remoção do Cr (VI) a partir de águas residuais galvanoplastia observado foi inferior a partir de solução sintética.	BSR	Kumar (2008)
<i>Basidiomycete</i> BDT-14 (DSM 15396)	Cr (VI)	Ajustar os dados de adsorção bem com a isotérmica de modelos de Langmuir e Freundlich. Caracterização completa de parâmetros indica biomassa BDT-14 como um material promissor para o Cr (VI) de adsorção.	BSR	Trivedi e Patel (2007)
<i>Cupriavidus taiwanensis</i> TJ208	Pb (II), Cd (II), e Cu (II)	O nodulação parecia dar a maior efeito de reforço sobre a absorção de Pb, o que é consistente com a preferência de capacidade de adsorção de metais de TJ208. Isto parece indicar o papel crucial que a cepa rizóbio pode jogar para estimular a captação de metal da planta modulada. Este trabalho demonstra a viabilidade e a eficácia do uso de plantas moduladas para promover a fito-remoção de metais pesados a partir de ambiente poluído, assim como para restringir os contaminantes de metal do região unharful da planta.	BSR	Chen et al. (2008)
<i>Cephalosporium aphidicola</i>	Pb(II)	Os resultados experimentais bem equipado para o Langmuir, Freundlich e Dubinin-Radushkevich (D-R) equações isotérmicos. Cinética de chumbo (II) de íons de biossoro <i>Onto B. aphidicola</i> seguido pela equação de pseudo-segunda ordem. A capacidade máxima de biossorção <i>C. aphidicola</i> pela liderança remoção (II) foi obtida a pH 5.	BSR	Tunali et al. (2006)
Onze tipos de fungo		Onze fungos isolados do solo serpentina de Andaman foram utilizados para estudo de adsorção. Modelos de isotérmicas de Freundlich e Langmuir foram usadas para prever os dados de biossorção. Influências de pH e temperaturas sobre o processo de biossorção foram também estudou.	BSR	Pal et al. (2006)