

AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE ELEMENTOS TÓXICOS, CÁDMIO E CHUMBO EM AGRORESÍDUO BAMBU: IN NATURA E EM CARVÃO ATIVADO

Alice Celeste de Araújo Rocha (IC) e Márcia Guekezian (Orientador)

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

Estudar a interação entre o material in natura e os metais tóxicos, cádmio e chumbo, em agrosíduos para futuras aplicações no tratamento de efluentes industriais, na remediação de águas contaminadas com elementos tóxicos e também como fase sólida para separação e concentração de íons metálicos, usando detecção espectrofotométrica. Tem-se o estudo da cinética, em batelada, da adsorção do cádmio e chumbo no agrosíduo bambu *in natura* e em carvão ativado. Para a compreensão dos mecanismos e da cinética de adsorção, diferentes conjuntos de dados experimentais serão aplicados em modelos cinéticos e termodinâmicos. Sendo elas as seguintes, primeiro a coleta e preparação do agrosíduo, com a obtenção, lavagem, secagem, moagem, separação granulométrica do bambu; o preparo das soluções estoque dos elementos tóxicos; a avaliação do efeito da granulometria do adsorvente; a avaliação da quantidade do adsorvente; a avaliação do efeito do valor do pH da solução do adsorbato; a avaliação da capacidade de adsorção em função do tempo. Em seguida a segunda parte, o estudo do equilíbrio e da cinética de adsorção, com a obtenção das isotermas de adsorção; e análise dos dados experimentais destas isotermas. E em terceiro a caracterização físico-química do agrosíduo, bambu, por meio da espectroscopia de infravermelho (IV) com transformada de Fourier, microscopia eletrônica de varredura, difratometria de Raios-X, análise elementar e análise termogravimétrica.

Palavras chave

Agrosíduo, metais tóxicos, adsorção.

ABSTRACT

Study the interaction between the material fresh and toxic metals, cadmium and lead in agro-waste for future applications in the treatment of industrial effluents in water remediation contaminated with toxic elements and also as solid phase for separation and concentration of metal ions, using spectrophotometric detection. It has been the study of the kinetics, batchwise adsorption of cadmium and lead in agro-waste (in nature) bamboo and activated charcoal. To understand the mechanisms and the adsorption kinetics, different sets of experimental data

will be used in kinetic and thermodynamic models. These being the following first the collection and preparation of agro-waste, obtaining, washing, drying, grinding, size separation of the bamboo; the preparation of the stock solutions of toxic elements; the evaluation of the adsorbent particle size effect; evaluating the amount of the adsorbent; assessing the effect of the pH of the adsorbate solution; evaluating the adsorption capacity versus time. Then the second part of the study equilibrium and kinetic adsorption, obtaining the adsorption isotherm; and analyzing the experimental data of these isotherms. And third physico-chemical characterization of agro-waste, bamboo, by infrared spectroscopy (IR) Fourier transform, scanning electron microscopy, X-ray diffraction, elemental analysis, and thermal gravimetric analysis. **Keywords**

Agro-waste, toxic metals, adsorption.

INTRODUÇÃO

Dos 2,9 milhões de toneladas de resíduos tóxicos gerados no Brasil, somente 850 mil recebem tratamento adequado, conforme estimativa da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais (ABETRE). Os 72% restantes são depositados indevidamente em lixões ou descartados em cursos d'água sem qualquer tipo de tratamento. Muitos estudos apresentados na literatura mostram que os elementos tóxicos presentes nas águas, mesmos em pequenas concentrações, são bioacumulados em peixes e moluscos bivalves, tornando-os impróprios para o consumo. Na tentativa de minimizar os impactos negativos causados ao meio ambiente, pela contaminação com elementos tóxicos, algumas rotas tecnológicas, baseadas em métodos físico-químicos, são aplicadas no tratamento dos efluentes. As desvantagens desses procedimentos são o custo elevado, a dificuldade na implementação e a geração de subproduto com elevada toxidez. Atualmente tem-se procurado alternativas para o tratamento desses efluentes. Entre outras, destaca-se a utilização de resíduos provenientes de atividades de produção e consumo de produtos da agricultura, os chamados agrosresíduos, fibra de coco verde, bagaços de cana, uva, laranja, casca de banana, sabugo e palha de milho, entre outros, que, também são considerados um problema ambiental devido ao grande volume gerado anualmente, mas que devido às suas características químicas, presença de grupos carboxílicos e fenólicos, adsorvem elementos tóxicos como os íons metálicos. A literatura relata a utilização de diversos materiais provenientes da agricultura como potenciais adsorventes na remoção de íons metálicos de águas residuárias. Entretanto, a maioria dos estudos investiga o processo de preparação de bioadsorvente carbonizado e este é um processo de reciclagem oneroso. Por outro lado, poucos são os trabalhos que relatam o estudo do equilíbrio e a cinética da adsorção de íons metálicos em adsorventes não carbonizados denominados neste projeto de agrosresíduos *in natura*.

Neste projeto é proposto um estudo da retenção de diferentes elementos tóxicos aos resíduos provenientes das atividades e do consumo de produtos agrícolas (agrosresíduos). Pretende-se avaliar a retenção de cádmio e chumbo no bambu (*in natura* e em carvão ativado). Serão avaliados, a fim de promover a máxima retenção, parâmetros como o tempo de contato (cinética de adsorção); granulometria do adsorvente; efeito da quantidade do adsorvente e a influência do valor de pH. Mantendo-se constantes algumas variáveis e alterando a quantidade de adsorbato, os resultados experimentais obtidos serão aplicados aos modelos cinéticos e de isoterma de adsorção. Finalmente, será aplicado na retenção dos elementos tóxicos de efluentes provenientes de indústrias.

REFERENCIAL TEÓRICO

O avanço tecnológico e o aumento da atividade industrial durante as últimas décadas tem resultado em muitos benefícios e melhorias nas condições de vida do homem. Por outro lado, tem ocasionado a geração de um grande volume de efluentes contendo uma diversidade considerável de elementos tóxicos que devido ao descarte irregular tem provocado impactos ambientais como a contaminação dos aquíferos e rios. A presença dos elementos tóxicos, cádmio e chumbo em águas naturais pode estar relacionada ao descarte inadequado de baterias de automóveis e celulares, lançamentos de efluentes gerados em indústrias extrativistas de metais, de tintas e pigmentos, de galvanoplastia, de formulação de compostos orgânicos e inorgânicos, de couro, pele e produtos similares, de ferro e aço e de petróleo. Os elementos tóxicos descartados de forma inadequada em águas naturais são transportados através do ecossistema e podem ser rapidamente adsorvidos por animais marinhos e entrar na cadeia alimentar do homem, causando sérios riscos à saúde. A remoção de metais tóxicos, oriundos de soluções aquosas, pode ser realizada por diversos processos, dentre os mais utilizados têm-se a redução química, troca iônica, ultrafiltração e osmose reversa. No entanto, estes processos geralmente apresentam alto custo não conseguem remover totalmente os íons metálicos e podem gerar outros elementos tóxicos que devem ser removidos em etapas posteriores.

Devido ao impacto causado ao meio ambiente, possíveis efeitos adversos à saúde humana e aprimoramento das leis ambientais, o tratamento dos efluentes industriais contendo elementos tóxicos tem se tornado a cada dia mais importante. Alternativas aos processos de tratamento existentes têm sido estudadas, e entre outras, destaca-se a possibilidade de adsorção dos elementos tóxicos em materiais oriundos da agroindústria (agrosíduos) que devido ao baixo custo e abundância mostram-se como uma alternativa ou complemento aos processos de tratamento usuais. A adsorção de elementos tóxicos aos agrosíduos pode ser atribuída à presença de grupos carboxílicos e fenólicos, os quais existem tanto na matriz celulósica como nos materiais associados à celulose, por exemplo, hemicelulose e lignina. Os processos de adsorção de íons metálicos por sólidos podem ser avaliados quantitativamente por meio das isotermas de adsorção, que são representadas por equações matemáticas. O comportamento gráfico das isotermas é dependente do valor de pH, da temperatura e, principalmente, do tipo de adsorvente. O estudo das isotermas de adsorção indica a capacidade de adsorção de adsorventes em condições experimentais previamente definidas e os modelos mais usados são: Langmuir, Freundlich, Henry e Brunauer, Emmett e Teller (BET). Dados experimentais da cinética (adsorção em função do tempo de contato) fornecem informações valiosas no entendimento do processo de adsorção e normalmente são

analisados usando-se modelos de cinética de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem e equação de difusão intrapartícula.

1.1. Resíduos da agricultura (agroresíduos)

A agricultura é uma atividade que utiliza extensivamente os recursos naturais para produção de alimentos e outros derivados. O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, sendo o primeiro produtor de cana-de-açúcar e exportador de açúcar e álcool do mundo. O Estado de São Paulo é responsável por 60% de todo o açúcar e álcool produzido no País e por 70% das exportações nacionais de açúcar. Por outro lado tem crescido a preocupação nacional e internacional com os impactos ambientais causados pelos resíduos não assimiláveis produzidos nas atividades agropecuárias e que implicam no esgotamento de recursos naturais ou na degradação do meio ambiente. Isso tem levado ao desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a reutilização dos resíduos rurais e urbanos, a reciclagem de nutrientes e a disposição, ambientalmente correta, dos dejetos animais.

O Brasil é o país com maior número de tipos de bambu da América Latina. De acordo com um relatório das Nações Unidas de março de 2005, o país possui mais de 130 espécies da planta. O bambu é uma planta tropical fácil de ser encontrada em diversos países do mundo, com destaque para a China, além de alguns países da América Latina, especialmente o Brasil. Um dos possíveis usos do bambu é na geração de energia, e isso se dá através da produção do carvão de bambu, sendo uma alternativa viável que gera benefícios múltiplos. Alguns estudos apontam que a *Guadua angustifolia* (Bambusoideae, Poacea) é um bambu nativo da América do Sul e Central, que apresenta colmos robustos, altos e espinhosos, e consideráveis potenciais para a fitorremediação de metais tóxicos por diversas razões, tais como: ter a capacidade de multiplicação e reprodução vegetativa, e também de poder resgatar CO₂ da atmosfera eficientemente. Porém, ainda são poucos os estudos de adsorção de metais com o agroresíduo bambu (*in natura* e em carvão ativado).

São vários os exemplos de resíduos provenientes da agroindústria, que apesar da aplicação em alguns setores, apresentam impacto ambiental que se estende desde a sobrecarga dos aterros sanitários até a poluição da atmosfera devido às queimadas. O bagaço da cana de açúcar, obtido após a moagem da cana, é o maior resíduo da agroindústria brasileira. As próprias usinas utilizam 60 a 90% deste bagaço como fonte energética, que também é empregado como matéria-prima na indústria de papel e papelão, na fabricação de aglomerados, na indústria química, como material alternativo na construção civil, como ração

animal e na produção de biomassa microbiana. Vários são os agroresíduos gerados em grande quantidade no Brasil, dentre eles pode-se destacar ainda os bagaços de uva e de laranja. A última está entre as frutas mais produzidas e consumidas no mundo (ultrapassa 80 milhões de toneladas/ano) e em média 34% da produção é transformada em suco, porém, em países produtores como Brasil e Estados Unidos esta porcentagem chega a 96%, o que gera uma grande quantidade de resíduos. Atualmente os principais usos do agroresíduo da laranja são como complemento para a ração animal, obtenção de fertilizantes orgânicos, óleos essenciais, compostos com atividades antioxidantes, entre outros. Porém, devido ao alto teor de umidade, dificuldade de coleta, transporte e armazenamento, os resíduos da indústria de suco de laranja permanecem em sua maior parte, inutilizados.

1.2. Avaliação dos processos de adsorção: equilíbrio e cinética

Como mencionado, a retenção de elementos tóxicos envolve processos de adsorção. A distribuição do adsorbato, líquido ou gasoso, entre a fase fluida e a fase adsorvida envolve um equilíbrio de fases, atribuída ao princípio da termodinâmica. Estes dados de equilíbrio são registrados na forma de isotermas de adsorção, que são modelos que descrevem as relações, no equilíbrio, entre a quantidade do elemento adsorvido por uma matriz e a quantidade remanescente na solução, numa dada temperatura. Dentre os modelos de isoterma destacam-se os de Langmuir, de Freundlich e de Dubinin-Radushkevich. O Modelo de Langmuir descreve a quantidade de gases adsorvidos por sólidos. Sua principal vantagem é permitir a determinação da capacidade de adsorção de espécies em adsorventes e avaliar a constante relacionada ao equilíbrio de adsorção. Esta teoria baseia-se em algumas hipóteses: quantidade máxima possível de adsorção corresponde a monocamada em superfície homogênea; as moléculas são adsorvidas em pontos discretos da superfície chamada "sítio de adsorção"; cada sítio pode manter apenas uma molécula adsorvida; o calor de adsorção é o mesmo para todos os sítios e não depende da fração coberta, isto é, a superfície é completamente uniforme sob o ponto de vista energético. O Modelo de Freundlich representa uma relação quantitativa, em que a adsorção do soluto aumenta indefinidamente com o aumento de concentração. Neste modelo tem-se como os sítios ativos energéticos estão distribuídos na adsorção, de forma homogênea ou heterogênea. No Modelo de Dubinin-Radushkevich (D-R) permite distinguir entre a adsorção física e química. É um modelo mais geral que o de Langmuir por não assumir uma superfície homogênea ou um potencial de sorção constante. Os modelos de cinética indicam de ocorrência cinética de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem ou ainda o modelo de difusão intrapartícula.

1.3. Estudos e utilização de materiais alternativos em processos de adsorção, remediação de água, tratamento de efluentes e suporte sólido (extração líquido-sólido)

Vários são os materiais que podem ser utilizados como adsorventes, por exemplo, celulose, sílica-gel, espumas de poliuretana, carvão ativado, alumina, vermicompostos, turfa, bagaço de cana, fibra de coco, casca de laranja, bagaço de uva, casca de banana e casca de arroz. Devido à presença de grupos funcionais, como os ácidos carboxílicos, fenóis e hidroxilas de álcoois, as substâncias húmicas nos vermicompostos apresentam uma alta capacidade de adsorção de metais. Matos e Arruda avaliaram, usando o modelo de Langmuir, a capacidade de adsorção dos íons metálicos Cd(II), Cu(II), e Zn(II) em vermicompostos e aplicaram este material no tratamento de efluentes provenientes de laboratório de pesquisa na UNICAMP.

A casca de arroz, na sua forma natural, modificada com NaOH e em diferentes granulometrias, foi avaliada como adsorvente de íons Mn(II). O processo de modificação permitiu um aumento na capacidade de adsorção de até 32% quando comparado ao material na forma natural. A preparação e avaliação de um novo adsorvente obtido pela modificação da casca de laranja, por saponificação alcalina, diferentes concentrações de ácido cítrico e temperaturas, foi realizada por Xuan *et al.* O estudo do equilíbrio e da cinética de adsorção do Pb(II) no material foi realizado usando o modelo de Langmuir e a equação de Lagergren seguindo o modelo de pseudo-primeira ordem. Experimentos, em coluna de leito fixo, foram realizados para avaliar a remoção de hidrocarbonetos (hexano, heptano e iso-octano) em bagaço de cana de açúcar. Os resultados demonstraram uma retenção, em função da concentração dos hidrocarbonetos, de 30 a 100%. Mall *et al.* destacaram a viabilidade de uso das cinzas de bagaço de cana, comparada ao carvão ativo, no tratamento de águas residuárias provenientes da indústria têxtil contaminadas com os indicadores violeta de metila e laranja-G.

O potencial de adsorção de Cd(II) e Al(III) em bagaço de uva, material proveniente do processo de produção de vinho, foi avaliado por Farinella *et al.* Caracterizaram o material por difratometria de Raios-X, espectroscopia de IV com transformada de Fourier e microscopia eletrônica de varredura. Realizaram um estudo cinético e termodinâmico do processo de adsorção e os resultados mostraram que esse material pode ser empregado como alternativa do tratamento de efluente. Casca de banana foi avaliada como adsorvente de Cu(II) e Ni(II) em soluções sintéticas e de efluentes provenientes de processos de eletrodeposição. O mesmo material, na sua forma natural, foi usado para a retenção de indicadores usados na indústria têxtil. Em ambos os trabalhos a adsorção foi avaliada usando os modelos de

Langmuir e Freundlich. A eficiência de diversos tratamentos químicos dados à casca de coco verde, visando emprego no tratamento de efluentes aquosos contaminados por metais tóxicos (Cd, Ni e Zn), foi investigada por Sousa *et al.* Após o tratamento do material foram avaliadas as concentrações do adsorvente, efeito da granulometria e cinética de adsorção em solução aquosa sintética multielementar de íons metálicos.

METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida está descrita a seguir:

Foi feita a coleta e preparação do agrosíduo e as avaliações preliminares das variáveis que afetam no processo de adsorção. O agrosíduo passou por um processo de pré-tratamento que consistiu na separação e corte manual; lavagem com água desionizada, para eliminação de contaminantes retidos na superfície; secagem e moagem, com o auxílio de moinho de facas e torno mecânico. Estas etapas visam a maior homogeneidade do adsorvente. O processo de adsorção é influenciado por algumas variáveis tais como tempo de contato do adsorbato e adsorvente, tamanho (granulometria) e quantidade de adsorvente, temperatura e valor de pH da solução de adsorbato. Após a coleta, preparou-se o agrosíduo, bambu, através dos seguintes processos: obtenção, lavagem, secagem, moagem e separação granulométrica. Foram preparadas soluções estoque dos elementos tóxicos partindo-se de soluções padrão dos íons metálicos contendo Cádmio e Chumbo. Avaliou-se o efeito da granulometria do adsorvente: fixando-se o valor de pH, temperatura, velocidade e tempo de agitação e quantidades de adsorvente e adsorbato, a capacidade de adsorção em função da granulometria foi determinada com base na diferença entre as concentrações iniciais dos íons metálicos e as restantes no sobrenadante após o contato do adsorbato com o adsorvente em diferentes frações. Analisou-se a quantidade do adsorvente fixando-se o valor de pH, temperatura, velocidade e tempo de agitação e quantidade de adsorbato, a capacidade de adsorção em função da quantidade de adsorvente foi determinada com base na diferença entre as concentrações iniciais dos íons metálicos e as restantes no sobrenadante após contato com diferentes quantidades de adsorventes. O efeito do valor do pH da solução do adsorbato foi avaliado fixando-se a temperatura, velocidade e tempo de agitação, granulometria do adsorvente e quantidades de adsorvente e adsorbato, capacidade de adsorção em função do pH foi determinada com base na diferença entre as concentrações iniciais dos íons metálicos e as restantes no sobrenadante após contato com soluções de adsorbato em diferentes valores de pH. A capacidade de adsorção em função do tempo foi avaliada fixando-se o valor do pH, temperatura, velocidade de agitação e quantidades de adsorvente e adsorbato, a capacidade de adsorção em função do tempo foi determinada com

base na diferença entre as concentrações iniciais dos íons metálicos e as restantes no sobrenadante após tempo de contato pré-determinado.

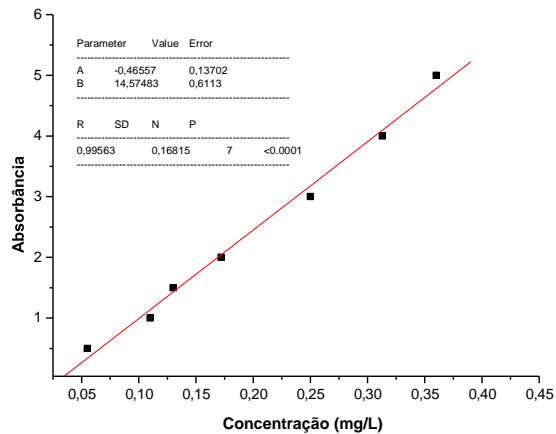
A adsorção de elementos tóxicos ao agrosíduo pode ser atribuída à presença de grupos carboxílicos e fenólicos na matriz celulósica e nos materiais associados a celulose, hemicelulose e lignina. Os processos de adsorção de solutos por sólidos podem ser avaliados quantitativamente através das isotermas de adsorção que apresentam um comportamento gráfico dependente do valor de pH, da temperatura e, principalmente, do tipo de adsorvente e podem fornecer informações importantes sobre o mecanismo de adsorção juntamente com o estudo cinético.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram adquiridos os bambus das espécies *Dendrocalamus Asper*, *Guada Angustifolia*, *Phyllostachys Pubescens*, e o bambu em carvão ativado. Fez-se a moagem da espécie *Dendrocalamus Asper* com o auxílio de um moinho de facas e das espécies *Guada Angustifolia* e *Phyllostachys Pubescens* com o auxílio de um torno mecânico. As espécies foram lavadas e colocadas na estufa a 40°C para secagem. Após esse processo, o bambu foi macerado e peneirado em granulometria de 1,19 mm. A partir das soluções padrões de Cádmio e Chumbo na concentração de 100 mg/L foram preparadas soluções diluídas de cada metal nas concentrações de 10, 20 e 30 mg/L.

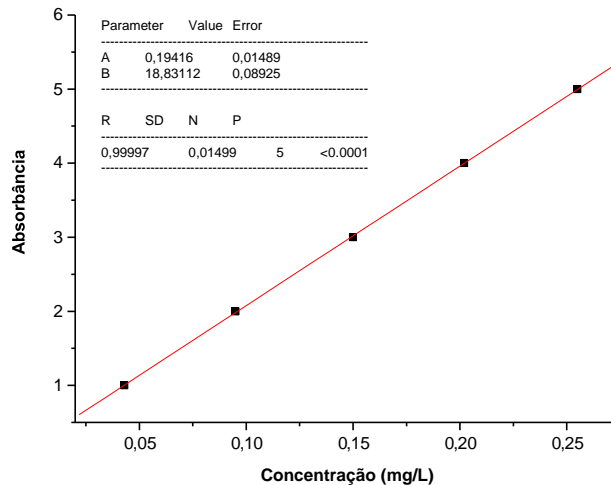
1.1 Curva Analítica do Cádmio

A curva analítica foi construída a partir da leitura dos padrões de concentrações igual a 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 mg/L preparados a partir de uma solução padrão de concentração igual a 1000 mg/L, e suas respectivas absorbâncias, utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica como mostra a figura 1.

Figura 1: Curva Analítica do Cádmiu (II)

1.2 Curva Analítica do Chumbo

A curva analítica foi construída a partir da leitura dos padrões de concentrações igual a 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 mg/L preparados a partir de uma solução padrão de concentração igual a 1000 mg/L, e suas respectivas absorbâncias, utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica como mostra a figura 2.

Figura 2: Curva Analítica do Chumbo (II)

2. Influência da Granulometria

Mantendo-se temperatura ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), velocidade e tempo de agitação (30 minutos) constante foi avaliada a influência da granulometria do agrosedimento. Para isso uma massa de 0,3 g ($0,3 \pm 0,0001$ g) do material seco, nas granulometrias de 1,19; 2,00 e 100,0 μm foi

mantido em contato com uma solução de Chumbo e Cádmiu de concentração igual a 10 mg/L, separadamente.

3. Estudo Cinético

Para estudar a adsorção dos metais, foi adquirida uma massa fixa e exata de 0,3 g ($0,3 \pm 0,0001$ g) de bambu e colocada em contato com 50 mL de solução de Cd^{2+} e 50 mL de solução de Pb^{2+} , separadamente, de concentrações iguais a: 10, 20 e 30 mg/L durante 1, 5, 10, 20 e 30 minutos, todos em triplicata. Os resultados permitiram conhecer qual o tempo mínimo de contato e qual a melhor concentração para que a adsorção seja máxima.

Para a espécie de bambu (*in natura*) *Dendrocalamus Asper*, o estudo cinético que foi realizado com três concentrações iniciais de Cd^{2+} teve como resultado a Figura 3, que mostra os valores de absorvância na concentração de 10 mg/L em função do tempo; Figura 4 que mostra os valores de absorvância na concentração de 20 mg/L em função do tempo e a Figura 5 que mostra os valores de absorvância na concentração de 30 mg/L em função do tempo.

Figura 3: Variação da absorvância de Cádmiu em função do tempo, na concentração inicial de 10,0 mg/L.

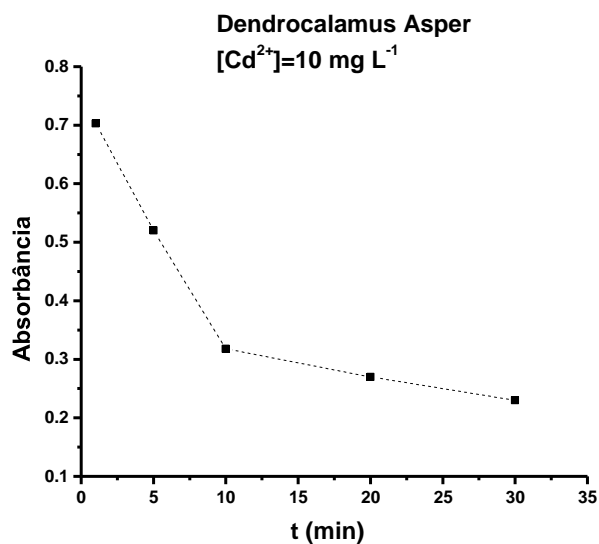


Figura 4: Variação da absorbância de Cádmio em função do tempo, na concentração inicial de 20,0 mg/L

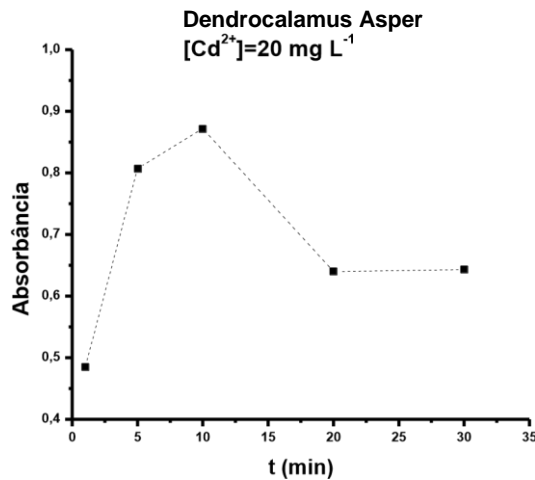
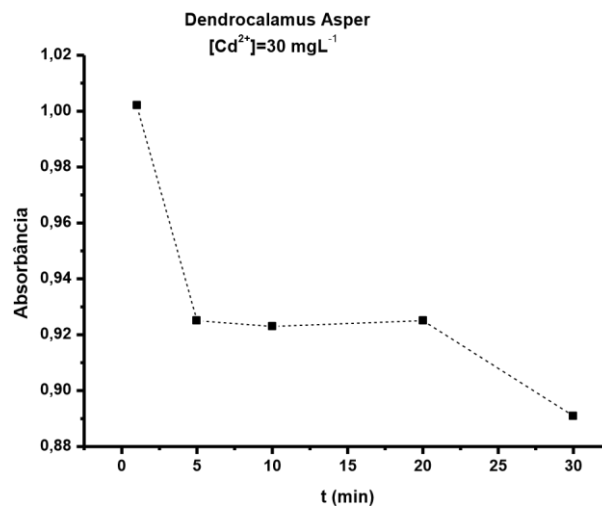


Figura 5: Variação da absorbância de Cádmio em função do tempo, na concentração inicial de 30,0 mg/L



De acordo com a figura 3 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do metal Cádmio em 10 mg/L foi aproximadamente 10 minutos, na figura 4 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do mesmo metal em 20 mg/L foi aproximadamente 20 minutos e na figura 5 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do mesmo metal em 30 mg/L foi aproximadamente 5 minutos.

O Estudo Cinético que foi realizado com duas concentrações iniciais de Pb²⁺ teve como resultado a Figura 6, que mostra os valores de absorbância na concentração de 10 mg/L em função do tempo e a Figura 7 que mostra os valores de absorbância na concentração de 20 mg/L em função do tempo.

Figura 6: Variação da absorbância de Chumbo em função do tempo, na concentração inicial de 10,0 mg/L

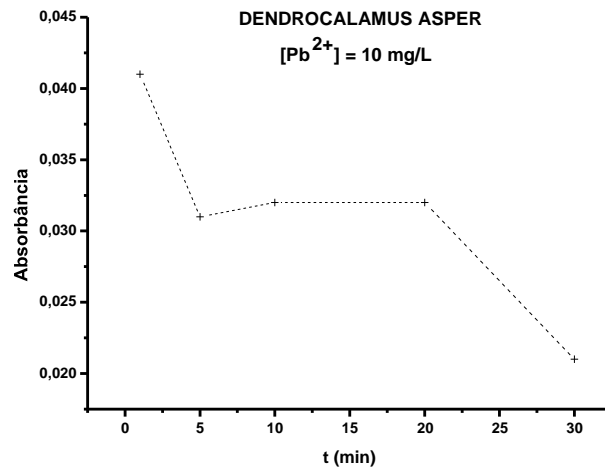
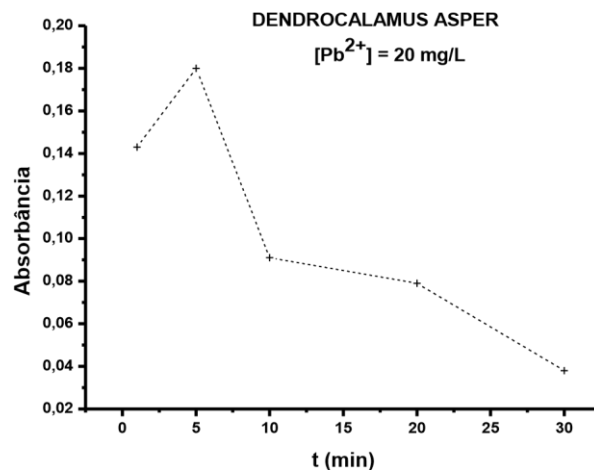


Figura 7: Variação da absorbância de Chumbo em função do tempo, na concentração inicial de 20,0 mg/L



De acordo com a figura 6 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do metal Chumbo em 10 mg/L foi aproximadamente 5 minutos e na figura 7 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do mesmo metal em 20 mg/L foi aproximadamente 30 minutos.

Para a espécie de bambu (*in natura*) *Guada Angustifolia*, o estudo cinético que foi realizado com duas concentrações iniciais de Cd^{2+} teve como resultado a Figura 8, que mostra os valores de absorbância na concentração de 10 mg/L em função do tempo e a figura 9 que mostra os valores de absorbância na concentração de 20 mg/L em função do tempo.

Figura 8: Variação da absorbância de Cádmio em função do tempo, na concentração inicial de 10,0 mg/L

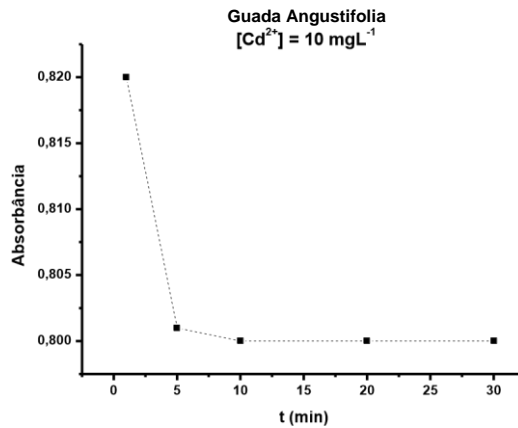
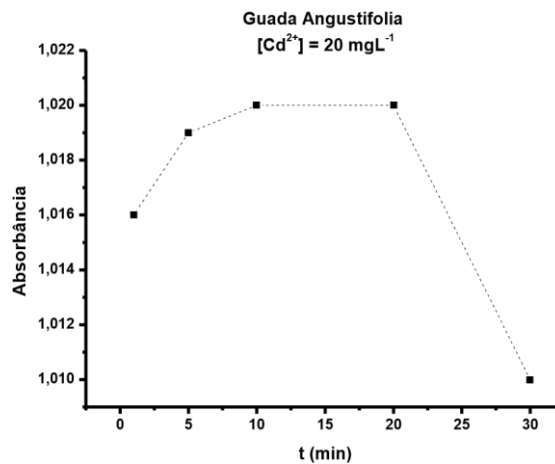


Figura 9: Variação da absorbância de Cádmio em função do tempo, na concentração inicial de 20,0 mg/L



De acordo com a figura 8 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do metal Cádmio em 10 mg/L foi aproximadamente 5 minutos e na figura 9 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do mesmo metal em 20 mg/L foi aproximadamente 30 minutos.

O Estudo Cinético que foi realizado com duas concentrações iniciais de Pb²⁺ teve como resultado a Figura 10, que mostra os valores de absorbância na concentração de 10 mg/L em função do tempo e a Figura 11 que mostra os valores de absorbância na concentração de 20 mg/L em função do tempo.

Figura 10: Variação da absorbância de Chumbo em função do tempo, na concentração inicial de 10,0 mg/L

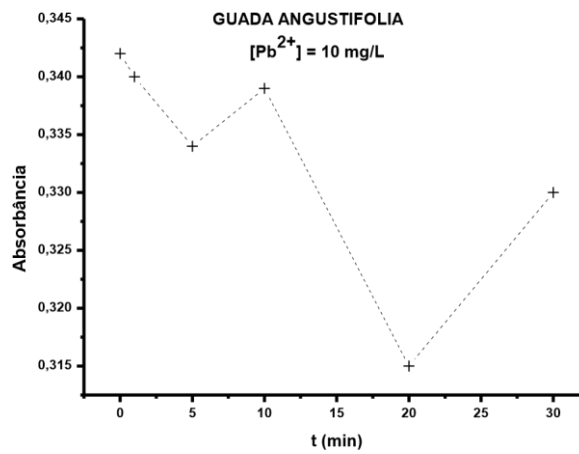
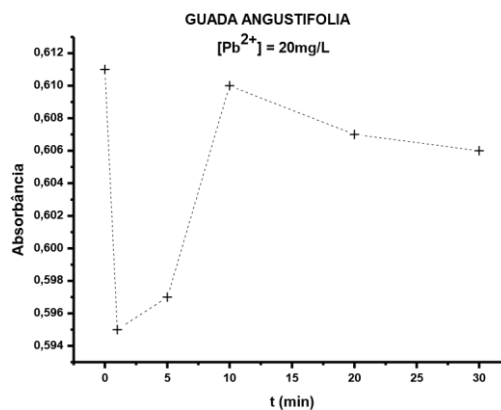


Figura 11: Variação da absorbância de Chumbo em função do tempo, na concentração inicial de 20,0 mg/L



De acordo com a figura 10 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do metal Chumbo em 10 mg/L foi aproximadamente 20 minutos e na figura 11 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do mesmo metal em 20 mg/L foi aproximadamente 1 minuto.

Para a espécie de bambu (*in natura*) *Phyllostachys Pubescens*, o estudo cinético que foi realizado com três concentrações iniciais de Cd²⁺ teve como resultado a Figura 12, que mostra os valores de absorbância na concentração de 10 mg/L em função do tempo; Figura 13 que mostra os valores de absorbância na concentração de 20 mg/L em função do tempo e a Figura 14 que mostra os valores de absorbância na concentração de 30 mg/L em função do tempo.

Figura 12: Variação da absorbância de Cádmiu em função do tempo, na concentração inicial de 10,0 mg/L

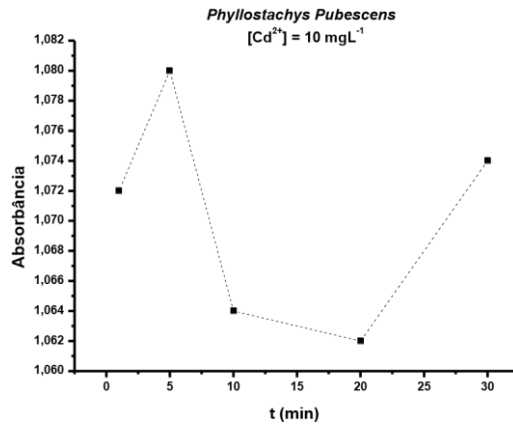


Figura 13: Variação da absorbância de Cádmiu em função do tempo, na concentração inicial de 20,0 mg/L

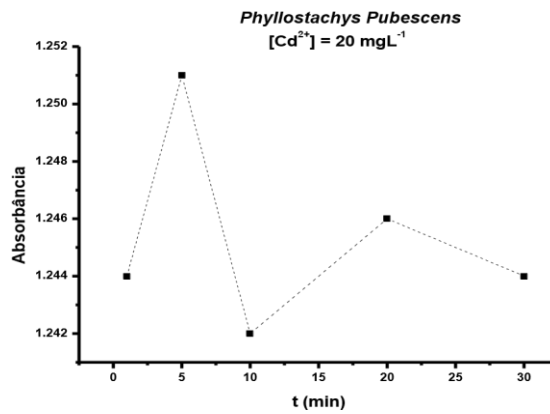
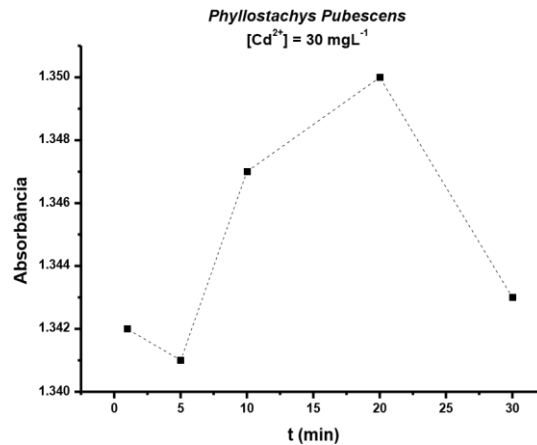


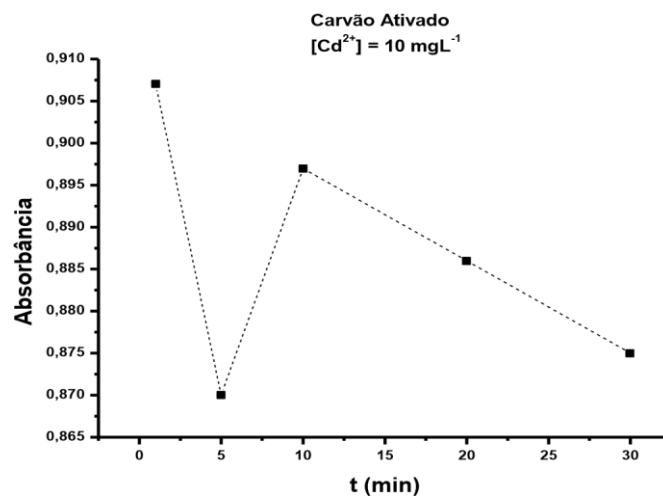
Figura 14: Variação da absorbância de Cádmiu em função do tempo, na concentração inicial de 30,0 mg/L



De acordo com a figura 12 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do metal Cádmio em 10 mg/L foi aproximadamente 10 minutos, na figura 13 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do mesmo metal em 20 mg/L foi aproximadamente 1 minuto e na figura 14 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do mesmo metal em 30 mg/L foi aproximadamente 5 minutos.

Para o bambu em carvão ativado, o estudo cinético foi realizado com uma concentração inicial de Cd^{2+} que teve como resultado a Figura 15, que mostra os valores de absorvância na concentração de 10 mg/L em função do tempo.

Figura 15: Variação da absorvância de Cádmio em função do tempo, na concentração inicial de 10,0 mg/L



De acordo com a figura 15 pode-se concluir que o melhor tempo para adsorção do metal Cádmio em 10 mg/L foi aproximadamente 5 minutos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu conhecer o comportamento do bambu em carvão ativado e *in natura* das espécies *Dendrocalamus Asper*, *Guada Angustifolia* e *Phyllostachys Pubescens*; sua interação com os íons de Chumbo e Cádmio e a potencial possibilidade de seu uso como adsorvente economicamente interessante, visto sua facilidade de obtenção, baixos custos no tratamento uma vez que não necessita os sofisticados condicionamentos, além de diminuir os resíduos agroindustriais lançados ao meio ambiente.

O método desenvolvido para o tratamento das amostras possibilitou a minimização de efeitos de interferências da matriz. O estudo da influência da granulometria do bambu

permitiu concluir que o diâmetro das fibras, quanto menor melhor é a adsorção, devido a uma maior superfície de contato com os sítios adsorptivos. O estudo cinético mostrou que o tempo adequado para a máxima adsorção na espécie *Dendrocalamus Asper* dos íons de Cádmio na concentração de 10 mg/L foi de 10 minutos; para a concentração de 20 mg/L foi de 20 minutos; e para a concentração de 30 mg/L foi de 5 minutos. Já o tempo adequado para a máxima adsorção dos íons de Chumbo na concentração de 10 mg/L foi de 5 minutos; e para a concentração de 20 mg/L foi de 30 minutos.

O tempo adequado para a máxima adsorção na espécie *Guada Angustifolia* dos íons de Cádmio na concentração de 10 mg/L foi de 5 minutos; e para a concentração de 20 mg/L foi de 30 minutos. Já o tempo adequado para a máxima adsorção dos íons de Chumbo na concentração de 10 mg/L foi de 20 minutos; e para a concentração de 20 mg/L foi de 1 minuto. O tempo adequado para a máxima adsorção na espécie *Phyllostachys Pubescens* dos íons de Cádmio na concentração de 10 mg/L foi de 10 minutos; para a concentração de 20 mg/L foi de 1 minuto e para a concentração de 30 mg/L foi de 5 minutos. Para o carvão ativado, o tempo adequado para a máxima adsorção dos íons de Cádmio na concentração de 10 mg/L foi de 5 minutos.

O processo de adsorção dos íons de chumbo e cádmio no bambu a temperatura ambiente ($25^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$), apresentou bons resultados de adsorção.

O bambu, sendo abundante na agricultura, biodegradável, renovável e de baixo custo, apresenta boas perspectivas para ser utilizado em um processo alternativo de tratamento de rejeito de efluentes para remoção de chumbo e cádmio, entretanto, para sua viabilização, mais estudos deverão ser realizados, tais como: a caracterização físico-química do agrosíduo (bambu).

As características físico-químicas e morfológicas do agrosíduo são extremamente variáveis, dependendo da origem, método de processamento e das condições de secagem, transporte e armazenamento. Sendo assim, a caracterização é uma etapa fundamental para o conhecimento de algumas propriedades destes materiais. O agrosíduo será caracterizado por espectroscopia de infravermelho (IV) com transformada de Fourier; microscopia eletrônica de varredura; difratometria de Raios-X, análise elementar e análise termogravimétrica.

REFERÊNCIAS

- ALBERTINI, S. ; CARMO, L. F. ; PRADO FILHO, L. G. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* v. 27, n. 1, p. 113-118, 2007.
- ALEXANDRINO, A. M.; *et al.* *Ciênc. Tecnol. Aliment.* v. 27, n. 2, p. 364-368, 2007.
- ANTONIO, P.; IHA, K.; SUÁREZ-IHA, M.E.V. *Colloid and Interface Science.* v. 307, p. 24, 2007.
- ANTONIO, P.; IHA, K.; SUÁREZ-IHA, M.E.V. *Talanta.* v. 64, p. 484, 2004.
- AYYAPPAN, R.; *et al.* *Process Biochemistry.* v. 40, p. 1293-1299, 2005.
- BARROS, A. C. A. Estudos sobre o potencial do bambu *Guadua angustifolia* para a fitorremediação dos metais pesados Zinco e Cádmio. Universidade Federal de Alagoas, 2007.
- DETCHEVA A.; GROBECKER, K. H. *Spectrochim. Acta Part B.* v. 61, n. 4, p. 454-459, 2006.
- EMBRAPA. Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o agronegócio brasileiro-Cenário, 2002-2012, setembro de 2013, Brasília, 92 p.
- FARINELLA. N.V.; MATOS, G.D.; ARRUDA, M.A.Z. *Bioresource Technology.* v. 98, p. 19401946, 2007.
- FERREIRA, J. M.; *et al.* *Quím. Nova.* v. 30, n. 5, p. 1188-1193, 2007.
- FURTADO, M. ; *Química e Derivados.* v. 15, p. 142, 2010.
- GAUBEUR, I.; FIRMINO, M.; *et al.* IN: 14º ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA. João Pessoa, PB, 2007.
- Governo do Estado de São Paulo-Secretaria de Economia e Planejamento. REGIÃO metropolitana de São Paulo. 11 p., São Paulo, 2011.
- HO, Y.S. ; PORTER, J.F. ; MCKAY, G. *Water, Air and Soil Pollution.* v. 141, p. 1, 2011.
- <http://www.abetre.org.br>. Acesso em 17/04/2016.
- JAHN, Gonzalo. Microcurso M-20- El Humilde Bambú- "Acero Vegetal". Segundo Congreso Virtual de Arquitectura, Caracas, Venezuela. 2001.
- KILISLIOGLU, A. ; BILGIN, B. *Radiochim. Acta.* v. 90, p. 155, 2002.
- LANGMUIR, I. *J. Am. Chem. Soc.*, v. 40, p. 1361, 1918.
- MALL, I.D. ; SRIVASTAVA, V.C. ; AGARWAL, N.K. *Dyes and Pigments.* v. 69, p. 210, 2006.
- MASTRAL, A.M. *et al.* *Ind. Eng. Chem. Res.* v. 42, p. 155, 2003.
- MATOS, G. D. ; ARRUDA, M. A. Z. *Spectroscopy Letters.* v. 39, p. 755-768, 2006.
- MCKAY, G. ; PORTER, J.F. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* v. 69, p. 309, 2007.

NAMASIVAYAM,C.; PRABBA, D.; KUMUTHA, M. *Bioresource Technology*. v.64, p.77-79, 2008.

PROPRIEDADES do bagaço de cana de açúcar. *Revista Fapesp*. Abril 2008.

RONNING, H. T.; EINARSEN, K.; ASP, T. N. *J. Chrom. A*. v. 1118, n. 2, p. 226-233, 2006.

SILVA, V. L. M. M. ; GOMES, W. C. ; ALSINA, O. L. S.; *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* (www.dema.ufcg.edu.br/revista). v. 2, n. 1, p. 27-32, 2007.

SOUSA, F. W. *et al. Quími. Nova*. v. 30, n. 5, p. 1153-1157, 2007.

WAGNER, A.; BOMAN, J. *Spectrochim. Acta Part B*. v. 59, n. 8, p. 1125-1132, 2004.

XUAN, Z.; *et al. Biochemical Engineering Journal*. v. 31, p. 160-164, 2006.

Contatos: aliceceleste27@gmail.com e marcia.guekezian@mackenzie.br