



X Oktoberfórum – PPGEQ

04 a 07 de outubro de 2011

REMOÇÃO DE ÍONS Zn^{2+} POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO EM ÁGUAS CONTAMINADAS GERADAS NO SETOR METAL MECÂNICO COM FINS DE REÚSO

DUTRA, L.¹, TESSARO, C. I.², FÉRIS, A. L.¹

¹ Laboratório de Separação e Operações Unitárias

² Laboratório de separação por membranas

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,

E-MAIL: {lilidt@enq.ufrgs, liliana@enq.ufrgs}

Resumo: Os efluentes industriais comumente contaminados com cátions, ânions, particulados e colóides trazem grande preocupação ambiental. Processos de tratamento de efluentes são geralmente empregados adotando técnicas convencionais, sem a avaliação criteriosa de novas alternativas que impliquem em eficiência e baixo custo. Desta forma, torna-se muito importante a implementação de tecnologias que minimizem o volume de efluentes produzido e que possibilitem a reciclagem do efluente ou extração de elementos contaminantes. Assim, o presente estudo objetiva verificar a eficiência da utilização do mecanismo de sorção por carvão ativado para remoção de cátions para reúso de águas industriais. A remoção de Zn^{2+} através da sorção em carvão ativado comercial está sendo avaliada como alternativa de tratamento para efluentes de setores industriais como o de galvanoplastia. Foi realizada uma revisão da bibliografia para melhor compreensão do tema e direcionamento do estudo. Ensaios preliminares em bancada estudaram a capacidade de sorção do sólido sorvente, pH e tempo de residência. Os dados seguem sendo analisados. Ensaios em planta piloto serão realizados para avaliar a viabilidade de aplicação industrial. A realização dos testes objetiva a transferência de processo tecnicamente viável com custo acessível para o setor produtivo.

Palavras-chave: sorção, carvão ativado, tratamento, efluentes, reúso.

1 Introdução

Um dos grandes problemas que afeta os materiais metálicos é a corrosão. Uma vez corroídos, esses materiais perdem suas características, têm sua qualidade reduzida, tornando-se inadequados para função a que foram designados. Principalmente em equipamentos ou estruturas de difícil acesso ou perigosas, fica difícil a manutenção e a substituição de peças ou estruturas danificadas pela corrosão. A galvanoplastia é um tipo de tratamento de superfícies que serve para proteção da peça, melhora na condutividade, auxílio na soldagem, melhora na aparência, redução de atrito, e aumento da resistência mecânica e química. Esse processo, muitas vezes torna essa manutenção desnecessária, ou bem menos frequente, reduzindo custos e períodos de inatividade.

Apesar de todos os benefícios trazidos pelo processo galvânico, existe uma grande preocupação quanto aos efluentes lançados por essas empresas devido à toxicidade dos elementos encontrados. Pereira *et al.* (2010) descrevem que os efluentes inorgânicos dessas indústrias contém metais tóxicos como Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn. Segundo Kazemipour *et al.* (2007), esses metais causam diversos problemas ambientais devido à sua persistência e não biodegradabilidade, podendo se acumular em elementos da

cadeia alimentar, trazendo problemas, inclusive à saúde humana.

O zinco é um dos mais importantes metais usados nas galvânicas. Esse metal é um dos elementos essenciais como ativador de enzimas nos humanos e sua deficiência causa severos danos à saúde. No entanto, em níveis superiores a 100mg/dia essa substância se torna tóxica. A intoxicação por zinco pode gerar deficiência de cobre, levando à anemia. Além disso, pode causar muitos outros danos como microcitose dos glóbulos vermelhos, neutropenia, redução de imunidade, etc..

Muitos métodos de remoção podem ser utilizados industrialmente no tratamento de efluentes: precipitação eletroquímica, ultrafiltração, troca iônica, osmose inversa, entre outros. O mais comumente aplicado para remoção de metais pesados é a precipitação ou coagulação/floculação do efluente. No entanto, a grande desvantagem desses métodos é a grande quantidade de lodo formado. A troca iônica, por exemplo, traz excelentes resultados, no entanto, possui alto custo de operação. Nesse cenário, a sorção surge como excelente alternativa para remoção de metais pesados, devido à elevada eficiência de remoção associada a pequenos volumes de lodo e resíduo sólido.

O objetivo geral do presente projeto consiste em estudar a remoção de cátions de águas contaminadas através da realização de ensaios de sorção em escala laboratorial e piloto visando o reúso da mesma. A remoção de Zn^{2+} através de processo de sorção em carvão ativado em planta piloto será avaliada como alternativa de tratamento para efluentes de setores industriais como o da galvanoplastia, simulando o processo industrial. O estudo será realizado nas seguintes etapas:

- a) Estudo experimental em bancada do efeito do pH, tempo de contato, concentração de sólido sorvente na remoção de íons zinco a partir de águas contaminadas utilizando carvão ativado como sorvente;
- b) Determinação dos parâmetros ótimos de estudo visando implementação futura em planta piloto.
- c) Estudo de isotermas de sorção do sistema.
- d) Realização de ensaios em escala piloto utilizando efluente sintético. Estudo do efeito da vazão de efluente, concentração inicial dos contaminantes, altura de leito e avaliação da formação de caminhos preferenciais.
- e) Ensaios em planta piloto utilizando efluentes industriais a fim de que se possa adaptar o processo, ao setor produtivo, considerando a possível variabilidade do efluente gerado.
- f) Avaliação das características do efluente tratado para fins de reúso.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Galvanoplastia

O processo de galvanoplastia é chamado de galvanização quando a peça a ser revestida é um metal. A galvanização pode ser feita de duas formas gerais distintas: galvanização eletrolítica, indicada para peças que requerem um acabamento brilhante, além de uma boa proteção contra a corrosão; galvanização a fogo, indicada para produtos que exigem alta proteção contra a corrosão, com um melhor custo/benefício. A técnica mais conhecida e eficiente é a de zincagem por imersão a quente. Nesse processo, a peça a ser revestida é mergulhada em um banho do metal que dará o revestimento. Geralmente, o metal utilizado para o banho é o zinco. Sendo assim, geralmente o termo “galvanização a quente” é utilizado como sinônimo para o processo de zincagem por imersão a quente.

A galvanização consiste em diferentes etapas:

- a) desengraxe e decapagem para eliminar substâncias que possam reagir durante o banho e para melhorar a aderência do revestimento à peça;
- b) fluxagem para dissolver e escorificar os resíduos e proporcionar o molhamento efetivo da peça pelo zinco fundido;
- c) Galvanização propriamente dita, onde o substrato é imerso em um banho de zinco líquido dentro de uma cuba metálica ou cerâmica, a uma temperatura em torno de 450°C. O substrato é retirado do banho e o excesso de zinco é removido por vibração e/ou centrifugação. Nesse processo, são formadas sobre a superfície do metal base várias camadas de diferentes ligas Fe-Zn.
- d) Pós-tratamento para acabamento da peça.

Entre cada etapa, ocorre a lavagem das peças para que não ocorra contaminação do banho sequinte, e desta forma, geram-se grande parte dos efluentes contaminados com o íon Zn^{2+} .

2.2 Zinco

Como elemento essencial, o zinco exerce importantes funções. A deficiência de zinco pode produzir retardamento no crescimento, perda de cabelo, diarreias, impotência sexual e imaturidade sexual nos adolescentes, apatia, cansaço e depressão, lesões oculares e de pele, inclusive acne, unhas quebradiças, amnésia, perda de apetite, perda de peso e problemas de crescimento, aumento do tempo de cicatrização de ferimentos e anomalias no sentido do olfato.

Embora seja vital em pequenas quantidades, a ingestão de zinco acima dos limites necessários pode ter efeitos tóxicos. Essa toxicidade pode ser aguda - a qual ocorre pela ingestão de doses maiores que 25 mg, podendo resultar em alteração de paladar (paladar metálico), náuseas e diversas perturbações gástricas - ou crônica - a qual ocorre pelo consumo prolongado de quantidades moderadamente altas de Zinco. Pode aumentar o risco de doença coronária, e ainda, pode ocorrer interação antagônica entre zinco e cobre (redução da absorção de Cobre), o que pode resultar na deficiência desse elemento, causando anemia.

2.3 Sorção

Existem diferentes métodos para remoção de metais pesados nos efluentes. O método mais utilizado é o método físico-químico que envolve as etapas de precipitação, coagulação e floculação. Entretanto, existem outros processos de tratamento mais eficientes como a sorção, troca iônica e processos de separação por membranas.

A sorção surge como uma técnica versátil, com operação simples e efetiva para a remoção de metais pesados presentes em efluentes industriais (ACHARYA *et al.*, 2009; GARG *et al.*, 2009). Tradicionalmente, o carvão ativado é empregado como sorvente, pois sua eficiência de remoção é superior a 99% para alguns metais. O termo sorção é utilizado para abranger os mecanismos de adsorção e absorção. Esses dois mecanismos diferem, principalmente, pois na adsorção ocorre a concentração do soluto na superfície ou interface da outra fase, enquanto que na absorção, ocorre a incorporação do soluto na estrutura da outra fase. Muitas vezes, esses dois processos ocorrem simultaneamente, ou torna-se difícil definir qual dos dois está ocorrendo no momento. Dessa forma, para se fazer referência ao processo pode-se falar simplesmente em sorção.

Para analisar o processo de sorção, utilizam-se, na maioria das vezes, as isotermas de sorção. Essas isotermas descrevem estados de equilíbrio, e a partir das curvas obtidas, podem-se obter dados importantes, como área superficial, volume e distribuição de poros, calor de sorção, entre outros. Para obtenção das isotermas, devem-se conhecer dois importantes parâmetros: a quantidade de substância sorvida por quantidade de sorvente (q_e) e a concentração de sorvato em solução (C_e). Valencia (2007) explica o procedimento experimental que deve ser feito para obtenção dos dados necessários: Coloca-se em um

recipiente o sorvente e a solução que contém o elemento a ser sorvido, agitando-se até atingir o equilíbrio. São testadas diferentes massas de adsorvente ou soluções de diferentes concentrações iniciais do íon. A partir desse procedimento, obtém-se a concentração do sorvato em equilíbrio na solução e também se sabe a quantidade de material adsorvido para cada massa estudada.

As isotermas obtidas podem ser de diferentes tipos: Linear, Langmuir, Freundlich, Alta afinidade, sigmoideal, entre outras. Geralmente, as obtidas com maior frequência dão as de Langmuir e Freundlich.

a) Modelo de Langmuir: característico de sorventes com poros pequenos (de 0,8 a 1,8nm) e considera uma aproximação gradual da adsorção limite que corresponde à monocamada. Esse modelo corresponde a um tipo de sorção ideal, a qual considera que as moléculas são sorvidas discretamente na superfície e que a energia das espécies sorvidas é a mesma em qualquer ponto, independente das moléculas vizinhas, representando uma superfície energeticamente uniforme (ROCHA, 2006). A Equação (1) representa a isoterma de Langmuir de forma linearizada.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{1}{q_{\max}} C_e \quad (1)$$

Onde q_e é a massa do sorvato sorvida por unidade de massa de sorvente expressa em mg/g de, C_e é a concentração no equilíbrio do sorvato em solução após sorção(mg/l), q_{\max} é uma constante que indica a capacidade de sorção em monocamada e b é a constante relacionada à energia livre de sorção.

b) Modelo de Freundlich: difere do modelo de Langmuir por descrever superfícies heterogêneas e não considerar monocamada. A forma linearizada é apresentada na Equação (2).

$$\log q_e = \log K_{ad} + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

O fenômeno da sorção é muito influenciado por determinadas variáveis. O tempo de contato entre a solução e o sorvente, pH do meio, concentração inicial do elemento a ser sorvido, a quantidade de sorvente utilizado, são algumas variáveis que interferem no processo, e devem ser otimizadas para obtenção de melhores resultados.

2.4 Reutilização de recursos hídricos

A utilização irresponsável dos recursos hídricos no decorrer dos anos, cuja característica principal é o desperdício, ocasionou o cenário de escassez encontrado atualmente. Nesse contexto, o reúso de água e efluentes surge como uma inteligente alternativa, sendo uma técnica segura e confiável, que vem recebendo cada vez mais investimentos.

Muitas vezes, como no caso do Brasil, o reúso não é aplicado de forma eficaz. O principal problema nesse caso, não é a falta de água, e sim, o padrão cultural estabelecido, caracterizado pelo uso descontrolado e falta de investimentos em tecnologias limpas. Apesar dos muitos desafios descritos, a aplicação do reúso é extremamente

viável, considerando-se as diversas técnicas de tratamento de efluentes existentes, amplamente aplicadas e conhecidas. Técnicas como troca iônica, sorção, processos de separação por membranas e eletrodialise geram efluentes que apesar de não potáveis, possuem excelentes características para reutilização em processos industriais, irrigação agrícola e alguns fins domésticos menos exigentes. De acordo com os objetivos de reúso, devem ser avaliados os critérios de segurança necessários, níveis de tratamento adequados e custos envolvidos.

Na indústria, o uso irresponsável de recursos hídricos já causou grandes desastres ambientais. Esse histórico, associado com os elevados volumes de efluentes gerados, pressão da opinião pública e aumento da rigidez de órgãos fiscalizadores, gera grande motivação para o reúso. A água pode ser reutilizada como matéria-prima, meio de transporte, agente de limpeza, em sistemas de refrigeração, fonte de vapor e produção de energia.

A maximização da eficiência de utilização dos recursos hídricos na indústria, melhora a imagem ambiental, traz maior garantia na qualidade da água utilizada, já que o tratamento é próprio, minimiza o descarte de efluentes e torna a empresa mais independente do sistema público de abastecimento. No entanto deve-se observar o tipo de aplicação da água/efluente reutilizada, realizando a segregação das correntes, para que se possa dar o tratamento adequado para cada caso. A aplicação de técnicas eficientes e econômicas de tratamento, como a sorção, associada ao controle de perdas e ao conceito de substituição de fontes, torna viável a reutilização de efluentes nos processos industriais, trazendo grandes benefícios econômicos, ambientais e sociais.

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais e Reagentes

Material sorvente: Carvão ativado comercial granulado.

Reagentes: Zn metálico; HNO₃; ascorbato de sódio; solução de cianeto de potássio (KCN); solução tampão com pH 9, contendo NaOH e H₃BO₃; Reagente zincon (2-carboxy-2-hidroxi-5sulformazyl benzeno); ciclohexanona purificada e HCl (conc, 1N).

Filtros: Para separação do carvão ativado modificado e do efluente clarificado serão utilizados filtros qualitativos de porosidade fina.

Equipamentos: pHmetro, balança, mesa agitador de Wagner, espectrofotômetro ($\lambda=620\text{nm}$) e vidrarias de laboratório.

3.2 Métodos

3.2.1 Análises

a) Determinação de Zn²⁺: A determinação de Zn será feita através do método colorimétrico descrito em Standard Methods 3500 - Zn.

b) Caracterização do sólido sorvente: Massa específica aparente (d), Massa específica real (p), Porosidade (ϵ), Área Superficial (S): A área superficial será determinada experimentalmente pelo método de Van Den Hul e

Lyklema (1968), por absorção do corante azul de metileno. Os valores de densidade e porosidade serão determinados experimentalmente por métodos convencionais de medição.

3.2.2 Estudos de sorção

a) Ensaios em bancada

Os ensaios de sorção são realizados em frascos Schott de 250 mL com soluções sintéticas contendo íons Zn^{2+} , nas quais é adicionado carvão ativado comercial (CA) com granulometria entre 2 e 5 mm. O ajuste de pH é realizado após adição do CA, com soluções de NaOH e HCl. A sorção dos íons pelo sólido é realizada nos frascos agitados em agitador de Wagner durante o tempo de residência indicado para cada ensaio. Diferentes ensaios são necessários para determinação de pH, tempo de residência, concentração inicial e massa de sorvente ótimos. Na separação dos sólidos suspensos utiliza-se a filtração. As alíquotas da solução tratada são analisadas por espectrofotometria. A eficiência de sorção é determinada pela diferença entre a concentração dos íons analisada em amostras recolhidas antes da adição do CA e depois de decorrido o tempo de reação. Encontradas as melhores condições de processo, estas servem aos ensaios em planta piloto.

Serão construídas isotermas de sorção de acordo com Langmuir e Freundlich, verificando-se o modelo que melhor descreve o fenômeno de sorção envolvido.

b) Ensaios em planta piloto

A Figura (1) apresenta a planta piloto a ser utilizada, a qual permite sorção de soluções aquosas à pressão atmosférica e em temperaturas, na coluna de sorção, entre ambiente e 50°C.

A solução aquosa de trabalho pode ser armazenada em três diferentes tanques de alimentação. O bombeamento da solução é realizado por uma bomba peristáltica através da planta. A planta é composta por: tubos de aço inoxidável, válvulas, instrumentação e a coluna de adsorção. A coluna de vidro que comporta o leito tem diâmetro interno de 20 mm. Diferentes alturas de leito (até 600 mm) podem ser utilizadas, mediante o ajuste de um pistão móvel presente especialmente para esta finalidade. Na base da coluna e na base do pistão existem placas de vidro sinterizado que impedem que pequenas partículas de adsorvente passem para o restante da tubulação. A coluna possui camisa de aquecimento e a corrente de saída da coluna pode ser direcionada para um dos três tanques de efluente ou para o sistema de descarga.

Diferentes instrumentos permitem observar os parâmetros do processo online: bomba de escoamento, medidores de pressão, temperatura e queda de pressão. No caso de a bomba ter que ser removida durante a operação, duas válvulas manuais bloqueiam o fluxo para que o sistema seja drenado. Dois independentes suportes para amostra podem ser usados para retirar amostras da corrente efluente (saída). Duas válvulas conduzem o fluido para uma bancada de amostragem onde dois békers podem ser colocados.

O medidor de vazão é usado para verificar se a vazão decai no decorrer do experimento (ex: mudança na resistência do leito adsorvente, falha na bomba, vazamentos, etc.). O medidor é muito sensível a partículas e sujeira no fluido. Assim, a planta pode operar sem o medidor usando apenas o indicador da bomba. Com soluções limpas e equipamento limpo o FI pode ser utilizado. As válvulas da planta são do tipo solenóide, desenvolvidas para operação 100% aberta. Essas válvulas funcionam através de acionamento automático. O equipamento está ligado a um microcomputador para que se possa realizar a operação automática. A ligação entre a planta e o microcomputador é feita através de módulos de aquisição de dados denominados Nudam®. Esses módulos permitem o acionamento e controle do sistema, através de uma porta serial RS-232 no PC. O Nudam GND 6017 permite a entrada de dados analógicos, o Nudam GND 6063 funciona como um relé de saída de dados e, o Nudam GND 6013 realiza a aquisição de dados resistivos (os valores dos dados são em Volt).

A interface gráfica para comando e monitoramento da planta é realizada através do software Eclipse Windows. Esse software permite a comunicação com os módulos Nudam da planta, podendo-se configurar uma tela de controle, através da qual podem ser acionadas as válvulas, direcionando o fluxo da maneira desejada, e ainda, podem ser feitas as leituras de fluxo e pressão.

Para realização dos ensaios em planta piloto serão considerados os dados obtidos nos experimentos em bancada. Os parâmetros (pH, tempo de contato, concentração de sorvente) serão ajustados para cada experimento piloto. Para otimização dos parâmetros já citados e estudo de outras variáveis como altura de leito, vazão e caminhos preferenciais, serão utilizados efluentes sintéticos em diferentes concentrações iniciais.

O efluente sintético será alimentado nos tanques de 20 litros de capacidade. Posteriormente, será bombeado através da coluna de adsorção recheada com diferentes quantidades de carvão ativado. Para avaliar a remoção de íons Zn^{2+} , a coluna será recheada com carvão ativado comercial (2 a 6 mm). Após passar pela coluna recheada, amostras do efluente da coluna serão coletadas através das duas válvulas que conduzem o fluido para bancada de amostragem. O restante do efluente será direcionado para o tanque de coleta de efluente.

Depois de avaliar os parâmetros de forma satisfatória, pretende-se testar a planta piloto de adsorção utilizando efluentes industriais.

4 Considerações finais e etapas futuras

4.1 Ensaios em bancada

Foram realizados ensaios preliminares em bancada para definir os parâmetros ótimos do sistema de sorção carvão-zinco. Testes de pH, tempo de contato e capacidade de sorção foram avaliados. Todos os ensaios foram realizados em agitador de Wagner, utilizando-se frascos Schott contendo, cada um, 200 ml de solução de zinco preparada a partir de diluições de $ZnSO_4$ em água destilada e deionizada, sendo adicionado em cada frasco, 1g de carvão ativado comercial.

a) pH

Para encontrar o pH ótimo de bancada, foram utilizadas 5 soluções com 10 ppm de Zn, e pH de 2, 4, 6, 8 e 10. O pH inicial das soluções foi medido, bem como o pH após adição do carvão. Posteriormente, o pH das

soluções foi ajustado nos diferentes valores através de adições de NaOH e HCl. Cada frasco, com diferentes valores de pH, foi agitado durante 30 min, e então, mediu-se o pH final

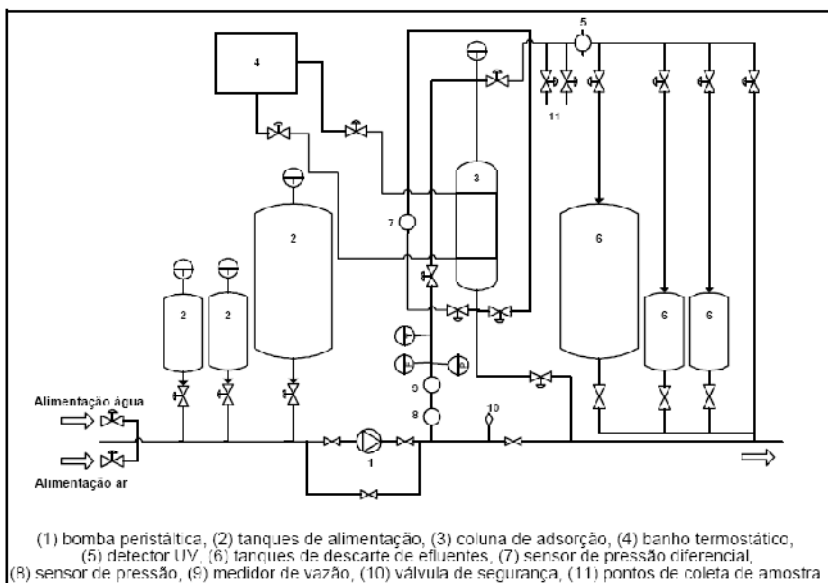


Figura 1. Fluxograma esquemático da planta de testes de adsorção PTA/TI

b) Tempo de contato

No teste de tempo, foi utilizado o pH ajustado em 6, soluções de 10 ppm de Zn, e o tempo de agitação de cada frasco foi variado da seguinte forma: 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min. Para tempos superiores a 10 minutos, o pH foi ajustado durante a agitação de 10 em 10 minutos.

c) Capacidade de sorção

Para avaliar a capacidade de sorção do carvão, o pH foi mantido em 6 e o tempo de contato utilizado foi de 30 min. Porém foi variada a concentração da solução inicial da seguinte forma: 5, 10, 20, 30, 40 e 50 ppm. Medindo as concentrações iniciais e finais (equilíbrio), consegue-se calcular os valores de C_e e Q_e e plotar-se as curvas de capacidade de sorção.

Os dados dos ensaios ainda estão sendo analisados. Ensaios complementares precisam ser realizados para obtenção de resultados satisfatórios.

4.1. Ensaios piloto

Antes de iniciar os ensaios na planta PTA/TI, diversos problemas tiveram que ser resolvidos. Por estar sem uso há bastante tempo, existiam problemas elétricos e na interface com o software. Os problemas foram resolvidos e pôde-se rodar a planta. Primeiramente foram feitos ensaios apenas com água para se observar o comportamento do equipamento, existência de vazamentos, conhecer melhor cada componente e fazer a calibração dos instrumentos.

Ensaios preliminares foram feitos com soluções de sulfato de zinco para avaliar a dinâmica dos testes,

comportamento do carvão na coluna, estipular métodos de agitação e ajustes de pH na solução inicial. Pôde-se observar que a planta encontra-se agora em plenas condições de funcionamento, pronta para realização dos testes.

As próximas etapas do trabalho são:

- a) definição dos parâmetros ótimos baseando-se nos ensaios de bancada;
- b) estudo de isotermas de sorção do sistema;
- c) realização de novos ensaios em escala piloto utilizando efluente sintético. Estudo do efeito da vazão de efluente, concentração inicial dos contaminantes, altura de leito e avaliação da formação de caminhos preferenciais;
- d) avaliação das características do efluente tratado para fins de reúso;

5 Referências

- ACHARYA, J.; SAHU, J. N.; SAHOO, B. K.; MOHANTY, C. R.; MEIKAP, B. C. Removal of chromium(VI) from wastewater by activated carbon developed from Tamarin wood activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Journal*, v. 150, p. 25-39, 2009.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and waste water. 23 ed. Washington, 2000.

GARG, U. K.; KAUR, M. P.; SUD, D.; GARG, V. K. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by adsorption on treated sugarcane bagasse using response surface methodological approach. *Desalination*, v. 249, p. 475-479, 2009.

KAZEMIPOUR. M; ANSARI. M; TAJROBEHKAR. S; MAJDZADEH. M; KERMANI. H. Removal of lead, cadmium, zinc, and copper from industrial wastewater by carbon developed from walnut, hazelnut, almond, pistachio shell, and apricot stone. *Journal of Hazardous Materials*. 150 (2008) 322–327.

PEREIRA, V.F; GURGEL, A, V.L; GIL, F.L. Removal of Zn²⁺ from aqueous single metal solutions and electroplating wastewater with wood sawdust and sugarcane bagasse modified with EDTADianhydride (EDTAD). *Journal of Hazardous Materials* 176 (2010) 856–863.

ROCHA, O., MATSUMURA-TUNDISI, T., SAMPAIO, E.V. 1997. Phytoplankton and Zooplankton community structure and production as related to trophic state in some Brazilian lakes and reservoirs. *Verth. Internat. Verein. Limnol.* 26: 599-604.

VALENCIA, C. A. V. *Aplicação da Adsorção em Carvão Ativado e outros Materiais Carbonosos no Tratamento de Águas Contaminadas por Pesticidas de Uso Agrícola*. 2007. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

VAN DEN HUL, H. J.; LYKLEMA, J. Determination of specific surface areas of dispersed materials. *Journal of the American Chemical Society*, v. 9, n. 12, p. 3010-3015, 1968.