

## PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE RESÍDUOS VEGETAIS

*Eliana Betina Werlang*<sup>1</sup>  
*Rosana de Cassia de Souza Schneider*<sup>2</sup>  
*Adriane Lawisch Rodriguez*<sup>3</sup>  
*Carolina Niedersberg*<sup>4</sup>

### RESUMO

Este trabalho de revisão objetiva reconhecer as potencialidades dos resíduos da colheita da agricultura para a produção de carvão ativado. Foram discutidas questões sobre a geração de resíduos vegetais, material precursor, produção de carvão e o método de adsorção. Positivamente, os resíduos da agricultura são abundantemente disponíveis e relativamente baratos. As matérias primas utilizadas na produção de adsorventes mostram-se eficientes para a remoção de inúmeros poluentes da água e tratamento de efluentes. Portanto, a inserção deste subproduto na produção de carvão se torna econômica e ambientalmente vantajosa, uma vez que o resíduo é apresentado como uma alternativa de baixo custo para a indústria de carvão ativado com escassez e grande demanda pelo produto.

**Palavras-Chaves:** Resíduos Vegetais. Carvão Ativado. Adsorção.

### ABSTRACT

This literature review aims to recognize the crop waste potentialities for activated carbon production. It was discussed issues about crop waste, precursor material, carbon production and adsorption method. Positively, the agricultural waste is found in abundance and it is relatively inexpensive. The raw materials used in the adsorbents production were shown to be efficient, removing several water pollutants and treating the effluent. Therefore, the byproduct insertion in the active carbon production becomes economically and environmentally advantageous since it is a low cost alternative for the active carbon industry with shortage in their high demand material.

**Keywords:** Vegetable Waste. Active Carbon. Adsorption.

---

<sup>1</sup> Acadêmica do Curso de Química Industrial na Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Bolsista ITI-A CNPq. <eliana\_werlang@hotmail.com>

<sup>2</sup> Professora Vinculada ao Departamento de Química e Física da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. <rosana@unisc.br>

<sup>3</sup> Professora Vinculada ao Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. <adriane@unisc.br>

<sup>4</sup> Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. <carolina@rgghisleni.com.br>

## 1 INTRODUÇÃO

O carvão Ativado é um material que apresenta alta capacidade de adsorção, sendo eficiente e amplamente utilizado para o tratamento de água e efluentes. Entretanto, a fabricação desses adsorventes por vezes é de alto custo devido à origem e o valor da matéria-prima (BACCAR *et al.*, 2009). Aliado a isso, tem-se também perdas durante o processo de recuperação do adsorvente, tornando sua utilização, muitas vezes, onerosa. Nesse sentido, existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado (GONÇALVES, 2007; AUTA; HAMEED, 2011).

Aliado à produção mais limpa e à diminuição de gastos durante o processo de produção, diferentes materiais agrícolas podem ser utilizados na produção de carvão ativado, tais como: fibra de juta (SENTHILKUMAAR *et al.*, 2005), torta de oliva (STAVROPOULOS; ZABANIOTOU, 2005), caroço e casca de nozes (AYGÜN *et al.*, 2003), caule de algodão (DENG *et al.*, 2011) e casca de tungue (NIEDESBERG *et al.*, 2012), dentre outros.

O carvão ativado é produzido a partir da desidratação de matérias-primas e carbonização seguida de ativação. Suas características são influenciadas, sobretudo, pelo material precursor e pelo método utilizado na sua preparação. Além disso, geralmente tem uma estrutura muito porosa com grande área superficial e grupos funcionais na superfície do material adsorvente (DURAL *et al.*, 2011; BHATNAGAR e SILLANPAA, 2010).

Dessa forma, tendo em vista a necessidade de novas aplicações para resíduos originários dos processos agrícolas, o presente trabalho objetiva avaliar a produção de carvão ativado oriundo dessas atividades geradoras de subprodutos que podem ser reaproveitados dando-lhes maior valor agregado. Para isso, foram investigadas as características do carvão ativado e suas melhores condições de processamento e operação, bem como os materiais precursores.

## 2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS

Os resíduos vegetais, dentre eles o caule, folhas e biomassa, são produzidos largamente na agricultura brasileira. Estes possuem características distintas e, somadas ao

problema ambiental da geração excessiva de resíduos, podem ser aproveitados, agregando assim maior valor ao processo.

A utilização de resíduos agroindustriais é uma alternativa para desenvolver adsorventes de baixo custo, contribuindo para a redução dos custos na eliminação dos resíduos (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010).

Os resíduos das plantas da agricultura são abundantemente disponíveis e relativamente baratos. Os materiais agrícolas, principalmente aqueles que contêm celulose, mostram potencialidade na adsorção de diversos poluentes. Além do mais, os resíduos agrícolas são uma fonte rica para a produção de carvão ativado devido ao seu baixo teor de cinzas e durabilidade (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010).

Os resíduos gerados ao longo do processo de colheita estão disponíveis em abundância a preço desprezível. Assim, incorporá-los em processos de tratamento de soluções aquosas é uma alternativa viável e de baixo custo (JAIN *et al.*, 2009).

Com o crescente aumento do cultivo e produção agrícola no Brasil, a reutilização dos subprodutos predominantes desta atividade é indispensável. Assim, utiliza-se um resíduo de processo para aplicá-lo e valorá-lo em processos tecnológicos como, por exemplo, produção de adsorventes de baixo custo, sendo alternativa promissora para o tratamento de águas residuais que podem ser preparados a partir de uma ampla variedade de matérias-primas.

### **3 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO**

Resíduos de petróleo, carvão natural e madeiras foram por um longo período de tempo os principais precursores do carvão ativado (ZHANG, *et al.*, 2010). Os resíduos e subprodutos da agricultura têm sido utilizados como adsorventes para a remoção de poluentes oriundos da atividade industrial devido ao seu baixo custo e disponibilidade em abundância (DENG *et al.*, 2011).

Com relação às características, um bom material precursor é aquele que possui um elevado teor de carbono em sua composição, como cascas de arroz, de nozes, carvões minerais, madeiras, ossos de animais, caroços de frutas, grãos de café, entre outros. Os precursores do carvão ativado são materiais que se enriquecem durante o tratamento térmico, sem que haja fusão ou abrandamento que impeça a formação de microporos. Caso a porosidade dos precursores seja baixa, é necessário ativá-los (CLAUDINO, 2003). Em virtude

disso, comumente são utilizados resíduos agrícolas como matéria prima para a fabricação do carvão ativado, por serem materiais ricos em carbono e lignocelulose (HAYASHI, 2000).

Diferentes materiais agrícolas podem ser utilizados na produção de carvão ativado, tais como fibra de juta (SENTHILKUMAAR *et al.*, 2005), torta de oliva (STAVROPOULOS; ZABANIOTOU, 2005), caroço e casca de nozes (AYGÜN *et al.*, 2003), caule de algodão (DENG *et al.*, 2011), os quais mostram-se eficazes no método de adsorção.

Os principais precursores do carvão ativado produzido em escala comercial são as madeiras do pinus e do eucalipto e o endocarpo do coco-da-baía, sendo que a principal utilização das madeiras das árvores citadas é na produção de papel e celulose. O Brasil encontra-se, atualmente, em falta de matéria-prima para a produção de carvão ativado. Embora este insumo venha desempenhando um papel muito importante, ele possui uma produção inferior à sua crescente demanda.

O carvão de fibra de juta, obtida a partir do caule da planta, foi utilizado com eficiência na remoção do corante azul de metileno de soluções aquosas (STAVROPOULOS; ZABANIOTOU, 2005). O resíduo das sementes de oliva, após a extração do óleo, foi utilizado para produzir carvão ativado através de tratamento químico com NaOH. Com o aumento do tempo de ativação e temperatura houve mais eficiência da adsorção do azul de metileno empregado o carvão ativado de torta de oliva como adsorvente (STAVROPOULOS; ZABANIOTOU, 2005).

Caroço e casca de nozes também foram utilizados como matéria-prima para carvão ativado granulado. O estudo produziu carvões ativados com elevadas áreas de superfície e foi desenvolvida estrutura de microporos. O tempo de ativação e a temperatura influenciaram na adsorção de azul de metileno (AYGÜN *et al.*, 2003).

A bolota de concha pode ser utilizada como adsorvente dependendo das condições de ativação, sendo elas de  $ZnCl_2$  juntamente com atmosfera inerte de  $N_2$  para produção de carvão ativado eficiente na remoção de poluentes em soluções aquosas (SAKA, 2012).

Materiais adsorventes foram desenvolvidos a partir das fibras da juta e do coco. A fibra do coco, carbonizada e ativada quimicamente com ácido fosfórico, apresentou alta área superficial (maior que  $1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e alto índice de microporos (em torno de 80% do volume total de poros). Com o estudo, o material apresentou-se eficiente no tratamento de efluente contendo fenol (PHAN *et al.*, 2006).

A partir de resíduos gerados na colheita do algodão, Deng *et al* (2011) desenvolveram carvões ativados tratados quimicamente com  $H_2SO_4$  e  $H_3PO_4$ , com alta capacidade de adsorção em testes realizados no tratamento do corante azul de metileno.

Resíduo de erva mate foi utilizado como matéria prima para a produção de carvão ativado. A erva mate foi carbonizada e testada como adsorvente no tratamento de três efluentes distintos: o corante vermelho reativo, o corante azul de metileno e o herbicida atrazina. Os carvões obtidos apresentaram elevada área superficial específica, com grande quantidade de microporos, apresentando boa remoção dos poluentes, principalmente no caso do corante azul de metileno (GONÇALVEZ, *et al.*, 2007).

Estudos da caracterização do carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café também foram feitos. A matéria prima, carbonizada e ativada quimicamente com  $ZnCl_2$ , foi submetida a testes de adsorção do corante azul de metileno, apresentando uma boa capacidade máxima de adsorção, comparável ao carvão ativado comercial (BRUM *et al.*, 2008).

O Bagaço de azeitona também foi utilizado para produção de carvão ativado. O material precursor foi ativado fisicamente com vapor d'água e carbonizado a uma temperatura de 900 °C por um tempo de 45 minutos, obtendo elevada área superficial e volume total de poros (DEMERAL *et al.* 2011).

Em relação a isso, estudos referentes à preparação de carvão ativado produzidos a partir de resíduos podem nos trazer, além de benefícios ambientais, soluções na busca por matérias-primas mais baratas e abundantes (NUNES, 2009).

Embora muitos métodos de ativação química e atmosfera inerte na produção de carvões ativados sejam eficientes para a remoção de corantes em efluentes, nota-se que há um déficit em relação à produções de carvões que não necessitem de nenhum tratamento prévio antes e após a carbonização. Salienta-se também a necessidade de testar materiais *in natura*, avaliando sua capacidade adsortiva, gerando um ganho importante em relação aos custos de produção de adsorventes eficientes.

A produção de carvão ativado é geralmente de origem vegetal, no qual o produto sólido é obtido através da carbonização da madeira, onde as técnicas utilizadas para a obtenção e seu uso posterior determinaram as características do carvão produzido. Com base na madeira seca, seu rendimento é em torno de 25 a 35% (COELHO *et al.*, 2008).

O carvão ativado é caracterizado conforme sua forma física: pulverizado (pó) e granulado, sendo estes muito aplicados industrialmente. O carvão na forma de pó é empregado como adsorvente para o tratamento em meio aquoso para a remoção de cor, cheiro e outras impurezas. O carvão granulado é utilizado para a remoção de gases (CENDOFANTI *et al.*, 2005).

O controle da granulometria ao final da produção do carvão ativado pode ser feito por moagem, aglomeração ou classificação utilizando peneiras. Para a remoção das cinzas, o produto pode ser lavado ou ainda impregnado por espécies químicas para o aumento dos microporos (CENDOFANTI *et al.*, 2005).

#### 4 ATIVAÇÃO DO CARVÃO

O carvão ativado é produzido a partir da desidratação de matérias-primas e carbonização seguida de ativação. O produto obtido é conhecido como carvão ativado e geralmente tem uma estrutura muito porosa com grande área superficial (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010).

Carvões ativados são adsorventes versáteis para remoção de diversos tipos de poluentes, tais como íons metálicos (HUANG; SU, 2010), ânions (WANG *et al.*, 2010; DEMIRAL; GUNDUZOGLU, 2010), corantes (VARGAS, *et al.* 2011; LI LI *et al.*, 2010), entre outros. Esse material é o mais comum adsorvente de alta eficiência utilizado em processos de adsorção de compostos orgânicos.

Como métodos mais aplicados na preparação de carvão ativado têm-se a ativação física e ativação química. A ativação física consiste em tratamentos térmicos, com temperaturas relativamente elevadas, utilizando fluido inerte por períodos prolongados. Entretanto, na ativação química utilizam-se agentes químicos para, na etapa de pirólise, promover a ativação do material precursor (FOO; HAMEED, 2011).

O impregnamento químico utilizando agentes químicos, como carbonato de potássio (FOO; HAMEED, 2011) e cloreto de zinco (ROCHA *et al.*, 2006), é o método mais utilizado para a produção de carvão ativado.

O principal efeito do produto químico ocorre durante o tratamento térmico, devido à pirólise ser alternada em relação ao precursor impregnado. O produto químico impregnado fixa-se no interior das partículas carbonizadas e exige lavagem do material com água para criar microporosidade. Desta maneira, o efeito sobre a distribuição do tamanho da partícula microporosas do carvão ativado final é devido à distribuição e a quantidade de produto químico impregnado (ALMANSA *et al.*, 2004).

Além disso, a melhor temperatura para a carbonização é de 720°C sob atmosfera inerte. Aliado a isso, a impregnação do produto químico aumenta a área superficial do material adsorvente (ROCHA *et al.*, 2006).

O custo de produção dos carvões ativados é considerado relativamente alto. Entretanto, os resíduos e subprodutos gerados pela agricultura são materiais de baixo custo devido à sua produção em larga escala e abundância (DENG *et al.*, 2011).

## 5 MÉTODO DE ADSORÇÃO POR CARVÃO ATIVADO

O ritmo acelerado da industrialização contribui largamente para a poluição das águas. O despejo de efluentes industriais sem tratamento prévio é a principal fonte de contaminação. A descarga de poluentes na água gera preocupações ambientais devido aos impactos nocivos, que estes causam ao meio ambiente. Tem-se, desta maneira, a necessidade de métodos eficazes para o tratamento das águas residuais para a disposição, posterior ao tratamento, em corpos d'água.

Alguns métodos de tratamento incluem coagulação química, oxidação e adsorção. O processo de adsorção é considerado um método universal, pois tem a capacidade de remover inúmeros tipos de poluentes da água, utilizando como adsorvente carvão ativado, sílica gel, alumina ativada, etc. A adsorção refere-se ao acúmulo de uma substância na interface entre duas fases, como sólido e líquido ou sólido e gás. A substância que se acumula na interface é chamada de adsorbato e o sólido em que a adsorção ocorre é adsorvente (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010).

O processo de adsorção depende de vários fatores, os quais incluem: natureza do adsorvente, adsorbato e as condições de adsorção. A capacidade de adsorção de um material é determinada pela sua área superficial específica, presença, tamanho e distribuição de poros, teor de cinzas, densidade e a natureza de grupos funcionais presentes em sua superfície (FERNANDES, 2008).

De maneira geral, têm-se dois processos de adsorção. Na adsorção química há o envolvimento de interações químicas entre o adsorbato (fluido adsorvido) e o adsorvente (carvão ativado), onde há a transferência de elétrons, formando ligações químicas entre o adsorbato e a superfície do sólido. No caso da adsorção física, formam-se camadas moleculares sobrepostas (multicamadas), enquanto que na adsorção química tem-se a formação de monocamada, ou seja, uma única camada molecular adsorvida (PORPINO, 2009).

As principais diferenças entre a adsorção física e química são mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características da adsorção física e química.

<b>Adsorção Física</b>	<b>Adsorção Química</b>
Causada por forças eletrostáticas, como de <i>van der Waals</i>	Causada por compartilhamento de elétrons
Não há transferência de elétrons	Há transferência de elétrons
Calor de adsorção = 2 - 6 kcal mol <sup>-1</sup>	Calor de adsorção = 10 - 200 kcal mol <sup>-1</sup>
Fenômeno geral para qualquer espécie	Fenômeno específico e seletivo
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento a temperatura acima a de adsorção
Formação de multicamada abaixo da temperatura crítica	Somente há formação de monocamadas
Acontece somente abaixo da temperatura crítica	Acontece também a altas temperaturas
Lenta ou rápida	Instantânea
Adsorvente quase não é afetado	Adsorvente altamente modificado na superfície

Fonte: Clark, 2010.

A superfície dos adsorventes é ácida com algum grupo funcional de oxigênio na superfície. Os sítios ativos do adsorvente são ocupados por moléculas da água, através das pontes de hidrogênio. Porém, o tamanho molecular do contaminante é maior que a água, assim, uma molécula de corante, por exemplo, em um sítio ativo, substituiria várias moléculas de água na superfície. As moléculas do corante adsorvidas na superfície liberam energia que não é forte o suficiente para superar a ligação de hidrogênio entre as moléculas de corante e o adsorvente. Portanto, a reação de adsorção global do adsorvente é endotérmica (HUNG-LUNG, *et al.*, 2007).

A técnica de adsorção, empregando carvão ativado, é um método prático, especialmente para efluentes com concentrações baixa a moderada de corantes (FENG-CHIN WU *et al.*, 2005). Contudo, o uso generalizado de carvão ativado comercial é restrito, devido ao seu custo elevado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário atual, em que os subprodutos oriundos das atividades agroindustrias possuem alto valor agregado no que diz respeito à suas propriedades e características, é interessante que estes sejam reutilizados para o desenvolvimento de processos tecnológicos.

Isso acarreta numa maior geração de renda aos agricultores, pois agrega maior valor a estes subprodutos, dando-lhes novas formas de reaproveitamento.

O carvão ativado torna-se mais uma alternativa de reaproveitamento para os resíduos vegetais, dando-lhes outra finalidade, que anteriormente eram, na sua grande maioria, utilizados para alimentação animal e adubo para o solo.

Aliado a isto, destaca-se o método de adsorção, o qual utiliza majoritariamente carvão vegetal ativado para o tratamento de águas residuárias. Por ter elevado custo de produção destes adsorventes, devido principalmente às matérias primas, a utilização desta técnica é por muitas vezes restrita.

De maneira geral, com a geração excessiva de resíduos sólidos que não podem ser reintegrados no processo de produção, usos alternativos para a biomassa residual são necessários para que esta possa ter outras formas de aproveitamento em processos tecnológicos.

## REFERÊNCIAS

ALMANSA, C.; MOLINA-SABIO, M.; RODRÍGUEZ-REINOSO, F. Adsorption of methane into ZnCl<sub>2</sub>-activated carbon derived discs. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 76, p. 185–191, 2004.

AYGÜN, A.; YENISOY-KARAKAS, S.; DUMAN, I. Production of granular activated carbon from fruit Stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 66, p. 189–195, 2003.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye, *Chemical Engineering Journal*, v. 171, p. 502-509, 2011.

BACCAR, R.; BOUZID, J.; FEKI, M.; MONTIEL, A. Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 1522–1529, 2009.

BHATNAGAR, A.; SILLANPAA, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical Engineering Journal*, v. 157, p. 277–296, 2010.

BRUM, S. S. *et al.* Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café, *Revista Química Nova*, v. 31, p. 1048-1052, 2008.

- CENDOFANTI, A., C.; PAWLOWSKY, U. *Minimização de resíduos de um processo de carvão ativado e de goma resina*. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2005.
- CLARK, H. L. M. *Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café*. Dissertação em Ciência dos Alimentos. Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte, 115 p, 2010.
- CLAUDINO, A. *Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes*. Dissertação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 90 p, 2003.
- COELHO, S., T.; GREGOTUR, C.; TACCINI, M., M.; SALES, B., B. de; DALMOLIN, K., P., P.; FIGUEIREDO, N., J., V.; BARBOSA, R., M.; GRISOLI, R., P., S.; *Carvão vegetal aspectos Técnicos, Sociais, Ambientais e Econômicos*. CEMBIO. Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGE) da Universidade de São Paulo (USP), 2008.
- DEMERAL, H. *et al.* Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation”, *Chemical Engineering Research and Design*. n. 89, p. 206-213, 2011.
- DEMIRAL, H.; GUNDUZOGLU, G. Removal of nitrate from aqueous solutions by activated carbon prepared from sugar beet bagasse. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 1675–1680, 2010.
- DENG, H.; *et. al.* Optimization of preparation of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted phosphoric acid-chemical activation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 182, p. 217–224, 2010.
- DENG, H.; LU, J.; LI, G.; ZHANG, G.; WANG, X. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chemical Engineering Journal*, v. 172, p. 326– 334, 2011.
- DURAL, M. U. *et al.* “Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from *Posidonia oceanica* (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies”. *Chemical Engineering Journal*, v. 168, p. 77-85, 2011.
- FERNANDES, F., L. *Carvão de endocarpo de coco da baía ativado Quimicamente com  $zncl_2$  e fisicamente com vapor d’água: Produção, caracterização, modificações químicas e Aplicação na adsorção de íon cloreto*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza. João Pessoa – PB, Novembro – 2008.
- FENG, Chin Wu; RU, Ling Tseng; CHI, Chang Hu. Comparisons of pore properties and adsorption performance of KOH-activated and steam-activated carbons. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 80, p. 95–106, 2005.
- FOO, K. I.; HAMEED, B. H. Preparation and characterization of activated carbon from sunflower seed oil residue via microwave assisted  $K_2CO_3$  activation. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 9794–9799, 2011.

\_\_\_\_\_. Preparation of oil palm (*Elaeis*) empty fruit bunch activated carbon by microwave-assisted KOH activation for the adsorption of methylene blue. *Desalination*, v. 275, p. 302–305, 2011.

GONÇALVES, M. *et al.* “Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso”, *Revista Ciência Agrotécnica*, v. 31, p. 1386-1391, set-out. 2007.

HAYASHI, J. *et al.* Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. *Carbon*, v. 38, p. 1873-1878, 2000.

HUNG-LUNG, C. *et al.* Dye adsorption on biosolid adsorbents and commercially activated carbon. *Dyes and Pigments*, v. 75, p. 52-59, 2007.

HUANG; C-C.; SU, Y-J. Removal of copper ions from wastewater by adsorption/electrosorption on modified activated carbon cloths. *Journal of Hazardous Materials*, v. 175, p. 477–483, 2010.

LI LI; LIU, S.; ZHU, T. Application of activated carbon derived from scrap tires for adsorption of Rhodamine B. *Journal of Environmental Sciences*, v. 22, n. 8, p. 1273–1280, 2010.

JAIN, M.; GARG, V. K.; KADIRVELU, K. Chromium (VI) removal from aqueous system using *Helianthus annuus* (sunflower) stem waste. *Journal of Hazardous Materials* v. 162, p. 365–372, 2009.

NIEDERSBER, C. *Ensaio de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (Aleurites Fordii), resíduo do processo de produção de óleo*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental. Outubro 2012.

NUNES, A. A.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Activated carbons from waste biomass: An alternative use for biodiesel production solid residues. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 1786–1792, 2009.

PHAN, N. H. *et al.* Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications, *Carbon*. v. 44. p. 2569-2577, 2006.

PORPINO, Karina Karla Pacheco. *Biossorção de ferro (II) por casca de caranguejo ucides Cordatus*. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Química - UFPB/CCEN. João Pessoa, 2009.

ROCHA, W. D. de; LUZ, J. A. M.; LENA, J. C. de; BRUNÃ-ROMERO, O. *Adsorção de cobre por carvões ativados de endocarpo de noz macadâmia e de semente de goiaba*. Minas, Ouro Preto, p. 409-414, 2006.

SAKA, Cafer. BET, TG–DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* v. 95, p. 21–24, 2012.

SENTHILKUMAAR, S. et al. Adsorption of methylene blue onto jute fiber carbon: kinetics and equilibrium studies. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 284, p. 78-82, 2005.

STAVROPOULOS, G. G.; ZABANIOTOU, A. A. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 82, p. 79–85, 2005.

VARGAS, A. M. M.; CAZETTA, A. L.; KUMITA, M. H.; SILVA, T. S.; ALMEIDA, V. A. Adsorption of methylene blue on activated carbon produced from flamboyant pods (*Delonix regia*): Study of adsorption isotherms and kinetic models. *Chemical Engineering Journal*, v. 168, p. 722–730, 2011.

WANG, L. et al. Removal of bromate ion using powdered activated carbon. *Journal of Environmental Sciences*, v. 22, n. 12, p. 1846–1853, 2010.

ZHANG, Z.; ZHANG, Z.; FERNÁNDEZ, Y.; MENÉNDEZ, J. A. NIU, H.; PENG, J.; ZHANG, L.; GUO, S. Adsorption isotherms and kinetics of methylene blue on a low-cost adsorbent recovered from a spent catalyst of vinyl acetate synthesis. *Applied Surface Science*, n. 256, p. 2569–2576, 2010.