

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÕES ATIVADOS DERIVADOS DO SABUGO DE MILHO

Synthesis and characterization of activated carbons derived from corn cob

LOPES, C. W.
BERTELLA, F.
PERGHER, S. B. C.
FINGER, P. H.
DALLAGO, R. M.
PENHA, F. G.

Recebimento: 04/07/2013 - Aceite: 02/09/2013

RESUMO: A adsorção com carvões ativados é uma importante técnica usada na remoção de grande número de poluentes orgânicos da água. Estes adsorventes podem ser produzidos a partir de diferentes materiais, como resíduos agrícolas, tipo sabugo de milho. Nesta pesquisa, carvões ativados foram produzidos a partir do resíduo agrícola, sabugo de milho, por ativação química com $ZnCl_2$, utilizando duas temperaturas de pirólise: 450 e 550 °C, em somente uma etapa de síntese. Estes materiais foram comparados com um carvão ativado comercial e caracterizados por diferentes técnicas. O teor de cinzas demonstrou que os carvões ativados do sabugo de milho obtiveram os menores resultados (~1%), mostrando pequenas quantidades de substâncias inorgânicas. O número de iodo foi determinado e os maiores resultados foram obtidos para os carvões ativados do sabugo de milho (>1000 mg I_2/g). As áreas específicas obtidas pelo método BET dos carvões do sabugo de milho foram maiores que a área do carvão comercial. A análise de MEV mostra diferentes morfologias entre as amostras do sabugo de milho e do carvão ativado comercial.

Palavras-chave: Carvão ativado. Resíduo. Sabugo de milho.

ABSTRACT: Adsorption with activated carbons is an important technique used to remove a great number of organic pollutants from water. These adsorbents can be produced from different materials, like agricultural waste corn cob. In this research, activated carbons were produced from agricultural

waste corn cob by chemical activation with $ZnCl_2$, using two different temperatures of pyrolysis: 450 and 550 °C. These materials were compared with a commercial activated carbon and characterized with different techniques. The ashes content was calculated and activated carbons from corn cob obtained the lowest results (1%), showing little content of inorganic substances. The iodine adsorption number was also determined and the biggest results were obtained for activated carbons from corn cob (>1000 mg I_2/g). The specific surface areas obtained by BET method of carbons from corn cob were bigger than to commercial activated carbon. The analysis of SEM showed different morphologies between the samples from corn cob and commercial activated carbon.

Keywords: Activated carbon. Waste. Corn cob.

Introdução

A adsorção de compostos orgânicos em carvão ativado é uma tecnologia importante utilizada no tratamento de efluentes industriais e no tratamento de água potável (RIVERA-UTRILLA et al., 2005). O carvão ativado é usado para remoção de moléculas orgânicas presentes em pequenas concentrações e que causam cor e odor a água. O processo de remoção é por adsorção física, o qual é reversível, se energia suficiente for aplicada (MARSH e RODRÍGUEZ-REINOSO, 2006).

O carvão ativado é constituído basicamente de uma base grafítica, em que os vértices e as bordas podem acomodar uma série de elementos como O, N, H, que se apresentam como grupos funcionais. Estes grupos funcionais e a alta área específica (RAMOS et al., 2009; CASTRO et al., 2009; EL-HENDAWY, 2009; WU et al., 2005), são recorrentes do processo de ativação, que pode ser química ou física (WU et al., 2005; ÖNAL et al., 2007; SRINIVASAN e HU, 2001). A ativação química é feita utilizando reagentes químicos (agentes desidratantes), normalmente $ZnCl_2$, H_3PO_4 , KOH, em temperaturas de 400 °C a 600 °C sob fluxo de N_2

(o qual tem a função de evitar a queima total da matéria orgânica) (WU et al., 2005; ÖNAL et al., 2007; EL-HENDAWY et al., 2001; MOLINA-SABIO et al., 2003). A ativação física é feita empregando uma fonte oxidante (CO_2 , vapor d'água) a maiores temperaturas (> 700 °C) (WU et al., 2005). Uma vantagem da ativação física em relação à química é a não geração de resíduos decorrentes da etapa de impregnação. O produto gerado pode ser o carvão ativado em pó, o carvão ativado granular ou o carvão ativado fibroso, dependendo das etapas finais de preparação (WU et al., 2005).

Existem diversos materiais precursores na síntese de carvões ativados, porém nos últimos tempos, devido a demanda por alternativas energéticas, os resíduos agrícolas tem sido bastante utilizados na síntese de carvões ativados (RAO et al., 2000a; TENG e LIN, 2002), tais como, endocarpo do côco (SRINIVASAN e HU, 2001; CAMBUIM, 2009), sabugo de milho (EL-HENDAWY et al., 2001; WEBLEY e SUN, 2010; ZHANG et al., 2013; PUZIY et al., 2012), casca de arroz (SCHETTINO JR et al., 2007), bagaço de cana (ÖNAL et al., 2007; RAO et al., 2000a; RAO et al., 2000b), etc.

No Rio Grande do Sul, dentre os diferentes cultivos, destaca-se o cultivo de milho, gerando um resíduo com grande porcentagem de lignina e baixo custo, que é o sabugo. Estes

fatores são de extrema importância na escolha do material a ser utilizado na síntese de carvões ativados, pois são alternativas a outros materiais precursores (VALENTE NABAIS et al., 2009), como o carvão mineral, que é mais poluente e tem maior valor agregado.

Webley e Sun (2010) sintetizaram carvões ativados a partir do sabugo de milho em duas etapas de síntese: primeiro, pré-carbonizando o material precursor (sabugo de milho) a 450 °C seguido de impregnação do material precursor com KOH (agente ativante), e a segunda etapa, pirólise a 800 °C. Em virtude disto, muitos artigos na literatura relatam o uso de altas temperaturas. Wu et al. (2005) utilizaram 780 °C na ativação; Teng e Ling (2002) utilizaram 900 °C; Valente Nabais et al. (2009), utilizaram 700 °C; Streat et al. utilizaram 800 °C; etc. Além disso, alguns autores também utilizam duas etapas de síntese (SCHETTINO et al., 2007; VALENTE NABAIS et al., 2009; MOURÃO et al., 2006). Neste contexto, devido às altas temperaturas utilizadas nas referências acima, este trabalho reporta a síntese e caracterização de carvões ativados sintetizados a partir de sabugo de milho, empregando temperaturas alternativas (menores) às utilizadas na literatura e em uma etapa de síntese somente.

Experimental

O material de partida (espiga de milho) foi obtido no comércio local, os grãos foram retirados da espiga e o sabugo foi deixado 6 horas na estufa a 100 °C para remoção da umidade. A quantidade de carbono, hidrogênio e nitrogênio do sabugo foi determinada por análise elementar (CHN) e resultou em: 42% de carbono, 5% de hidrogênio e 0,6% de nitrogênio. A porcentagem restante é relativa a oxigênio e outros elementos não detectados.

Após a secagem, o sabugo de milho foi triturado em moinho de facas e passado em

peneiras com abertura de 1mm para posterior carbonização e ativação.

Foram realizados experimentos com um carvão ativado comercial fornecido pela empresa Guaramex para fins de comparação.

Preparação dos Carvões Ativados

Foram preparados dois carvões ativados em diferentes temperaturas de carbonização, a 450 °C, denominado carvão ativado da espiga de milho (CAEM450) e a 550 °C (CAEM550). 10g do material de partida foram deixados em contato com uma solução de $ZnCl_2$ 1:0,5 m/m (sabugo:zinco) em 100 mL de água, sob agitação a 80 °C até completa evaporação da solução. O sólido foi deixado em estufa a 105 °C por 1 hora, e posteriormente o mesmo foi submetido à etapa de pirólise, em forno tubular com atmosfera de N_2 . As duas temperaturas de pirólise estudadas, foram realizadas em reator de vidro (450 °C) e quartzo (550 °C), com uma rampa de temperatura controlada de 5 °C/min até a temperatura desejada (450/550°C) e permanecendo uma hora nesta temperatura.

Após o processo de pirólise, os sólidos resultantes foram lavados com HCl 6 mol/L e depois lavados com água destilada (100 °C) para lixiviação do Zn presente na estrutura dos carvões, e abertura dos poros, até pH = 4.

Os carvões ativados sintetizados foram nomeados CAEM (Carvão Ativado proveniente da Espiga de Milho) e o comercial foi nomeado CAC (Carvão Ativado Comercial).

Caracterização dos Carvões Ativados

Os carvões ativados foram caracterizados por: análise textural por adsorção/dessorção

de N₂, difração de raios X, Teor de Cinzas, Número de Iodo e Microscopia Eletrônica de Varredura.

Difração de raios X

As análises por difração de raios X foram realizadas em um Rigaku MiniFlex II Desktop X-Ray Diffraktometer, utilizando radiação CuK α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). As análises foram realizadas em ângulo de 2 θ (1,5 a 65°), utilizando um tubo de raios X, voltagem de 30,0 (kV) e corrente de 15,0 (mA). Velocidade de varredura de 5° / min e 0,05 de passo.

Análise textural por adsorção/dessorção de N₂

As análises foram realizadas por adsorção de nitrogênio, utilizando o aparelho QuantaChrome Nova 2200e. As amostras foram pré-tratadas por 3 horas a 130 °C, sob pressão reduzida, antes da realização da análise. Depois do pré-tratamento foram realizadas as medidas de adsorção de N₂ na temperatura do nitrogênio líquido (-196 °C).

Microscopia Eletrônica de Varredura

A caracterização por microscopia eletrônica de varredura foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura modelo ESEM-XL30 PHILIPS. As amostras foram revestidas com ouro para evitar o surgimento de cargas na superfície que poderiam levar a distorção na imagem.

Número de Iodo

Os números de iodo dos carvões foram realizados de acordo com a norma ABNT MB

– 3410. O método baseia-se na obtenção da quantidade em miligramas de iodo absorvido por 1,0 g de carvão ativado pulverizado.

Teor de Cinzas

O teor de cinzas foi realizado deixando 1g de cada amostra dentro de cadinhos de porcelana e levados a mufla por 12 horas sob temperatura de 700 °C para garantir a completa queima da matéria orgânica. Após o processo de calcinação, os cadinhos foram resfriados em dessecador e o material resultante foi pesado e então calculado o teor de cinzas de cada amostra. Calculou-se o percentual de cinzas segundo a Equação 1 abaixo:

$$c = \frac{Mr}{Mc} \times 100 \tag{1}$$

em que:

c = teor de cinzas do carvão ativado (%);

Mr = massa residual do carvão calcinado (g);

Mc = massa de carvão ativado (g).

Resultados e Discussões

Os carvões ativados sintetizados e comercial foram, inicialmente, caracterizados por teor de cinzas e índice de iodo. Na Tabela 1 encontram-se os resultados do teor de cinzas e o índice de iodo dos carvões ativados e do sabugo de milho.

Tabela 1 – Teor de cinzas e número de iodo do sabugo de milho e dos carvões ativados

Amostra	Teor de Cinzas (%)	Número de Iodo (mg I ₂ /g carvão)
Sabugo de Milho	1,01	-
CAEM450	1,00	1128
CAEM550	0,70	1188
Carvão Ativado Comercial	15,20	767

O teor de cinzas da amostra CAEM450 se manteve próximo a 1%, isso demonstra que mesmo com o tratamento térmico e ácido as cinzas não decomporam em relação ao precursor (sabugo). Em compensação, a amostra CAEM550 teve um decréscimo de 0,3% no teor de cinzas em relação ao CAEM450, possivelmente pelo acréscimo de 100 °C na sua temperatura de carbonização. O carvão ativado comercial teve um teor de cinzas de 15,20 %, o que mostra um alto teor de matéria inorgânica presente neste carvão. As cinzas são aditivos minerais não carbônicos e suas presenças em carvões ativados são prejudiciais no processo de adsorção, já que modificam a interação entre a superfície do carvão e a espécie a ser adsorvida (RIVERA-UTRILLA et al., 2005). As cinzas reduzem a adsorção por bloquear a porosidade da matriz carbônica e adsorver preferencialmente água, devido a seu caráter hidrofílico (RAO et al., 2000b). A composição das cinzas varia com a matéria-prima utilizada durante a produção do carvão ativado. Quando o carvão deriva de materiais lignocelulósicos (madeira, endocarpo de coco, caroço de pêssego, etc.), gera cinzas compostas por silicatos, aluminosilicatos e por baixas concentrações de cálcio, magnésio, ferro, potássio, sódio, zinco, chumbo, cobre e etc. Valores da literatura, variam o teor de cinzas de 0,2% a 9,5% (EL-HENDAWY et al., 2001; WEBLEY e SUN, 2010).

O número de iodo se tornou cada vez mais importante nas indústrias produtoras de carvão por medir a habilidade de adsorção. Na análise de adsorção e dessorção de N₂, como o nitrogênio tem um tamanho relativamente pequeno em relação a estrutura de moléculas de poluentes, o número de iodo é realizado a fim de ter uma comparação, devido o iodo ser maior que o nitrogênio. A molécula de nitrogênio possui acessibilidade a poros que possivelmente moléculas orgânicas não possuem acessibilidade, tornando o valor

de área específica enganoso quando trata-se de adsorção. Os carvões sintetizados com o sabugo do milho obtiveram altos valores de número de iodo, >1000 mg I₂/g, evidenciando que este carvão é um material com potencialidade para a adsorção. O carvão ativado comercial teve um número de iodo inferior aos carvões sintetizados, 767 mg I₂/g.

As quantidades de N₂ adsorvidas foram convertidas em área específica, utilizando-se o método BET. A superfície específica de microporos é calculada pelo método t-plot. A superfície externa é a diferença entre a BET e a de microporo, que compreende a contribuição de meso e macroporos. Os resultados obtidos estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Área Específica, área de microporos e área externa dos Carvões Ativados.

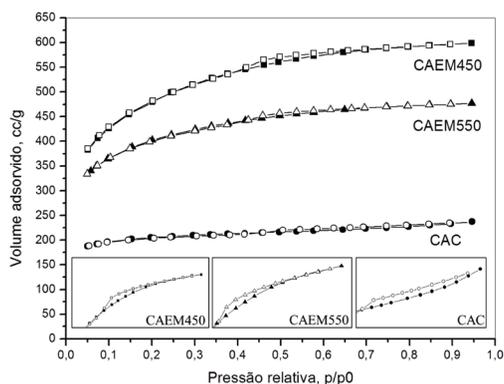
Amostra	Área Específica, m ² g ⁻¹	Área de Microporos, m ² g ⁻¹	Área Externa, m ² g ⁻¹
CAEM450	1602	957	646
CAEM550	1300	908	393
Carvão Ativado Comercial	678	576	102

O CAEM450 foi o carvão que apresentou maior área específica (1602 m²g⁻¹), seguido do CAEM550 (1300 m²g⁻¹), e com menor área específica o carvão ativado comercial (678 m²g⁻¹). Webley e Sun (2010), obtiveram carvões microporosos da ordem de 3012 m²g⁻¹ utilizando KOH como ativante químico e El-Hendawy et al. (2001) obtiveram carvões com até 960 m²g⁻¹ utilizando H₃PO₄. A área específica do carvão ativado é um dos parâmetros mais importantes na determinação de sua capacidade adsorviva. Normalmente, quanto maior seu valor, maior será a adsorção (CAMBUIM, 2009). Carvões ativados comerciais apresentam área na faixa de 600 - 2000 m²g⁻¹ (STREAT et al., 1995). Os carvões ativados apresentaram um índice muito maior

de microporos em relação à área externa (microporos e macroporos). O desenvolvimento de microporosidade está diretamente relacionada ao agente de impregnação e processo de ativação (RAO et al., 2000b). A existência de microporos é propícia para adsorção em fase gasosa, assim como meso e macroporos propícia para adsorção em fase líquida (TENG e LIN, 2002).

Na Figura 1 estão expostas as isotermas de adsorção e dessorção de N_2 do carvão ativado comercial e dos carvões ativados sintetizados.

Figura 1 - Isotermas de Adsorção e Dessorção de N_2 dos carvões ativados comercial e sintetizados. Símbolos cheios: Adsorção; Símbolos vazios: Dessorção. Inserts: Histereses dos materiais.



De acordo com as isotermas de adsorção e dessorção de N_2 , os sólidos apresentaram um volume de adsorção maior em baixas pressões. Este efeito é característico para materiais altamente microporosos (WEBLEY e SUN, 2010), e há um aparecimento de um platô (efeito de histerese) (insert) em todas as isotermas apresentadas, o que é indício de mesoporosidade nos carvões ativados (SRINIVASAN e HU, 2001).

Observa-se pela forma da isoterma que as amostras CAEM450 e CAEM550 podem ser classificadas como isotermas do tipo 1 ou de Langmuir, sendo côncavas ao eixo p/p_0 e a quantidade de adsorbato se aproxima de um

valor limite assim como p/p_0 se aproxima de 1. Esse tipo de isoterma é característico de materiais microporos, o que está de acordo com a Tabela II, onde observa-se que as amostras CAEM450 e CAEM550 apresentaram altas áreas específicas, sendo que a maior contribuição para isso, deve-se à alta área de microporos dessas amostras, onde os carvões sintetizados apresentam aproximadamente 60% de microporos para o carvão CAEM450, aproximadamente 70% de microporos para o carvão ativado CAEM550.

Já a amostra de carvão ativado comercial apresentou uma forma diferente de isoterma das demais estudadas. Verifica-se que sua forma é correspondente a do tipo IV, segundo a classificação de BDDT, a qual está associada a condensação capilar em mesoporos. O ciclo de histerese é do tipo B, típico de poros tipo fenda (“Slit-Shape Pores”). Neste tipo de poros, a adsorção ocorre pela formação de multicamadas, enquanto que a dessorção, por evaporação capilar (GREGG e SING, 1982; PERGHER e SPRUNG, 2005).

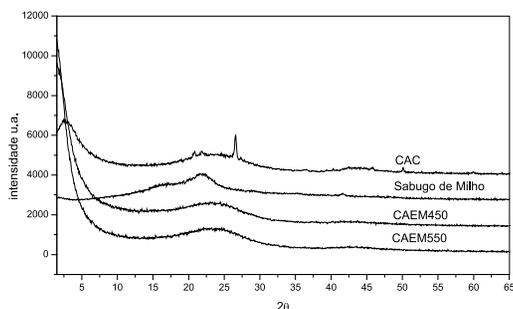
Comparando as três isotermas, observa-se que as amostras CAEM450 e CAEM550 adsorveram maior quantidade de adsorbente em baixas pressões do que a amostra de carvão ativado comercial. Para p/p_0 em aproximadamente 0,2, a quantidade de N_2 adsorvido pela amostra comercial é de 205, enquanto que para as amostras CAEM450 e CAEM550 é de 479 e 402 cm^3/g , ou seja, o volume de gás adsorvido é aproximadamente 2 vezes maior do que o avaliado para o carvão ativado comercial.

Na Figura 2 encontram-se os difratogramas de raios-X do material precursor e dos carvões ativados sintetizados e comercial.

Os difratogramas de raios X das amostras de sabugo de milho e carvões provenientes do mesmo, apresentam-se semelhantes, com platôs na região entre 15° a 30° , efeito carac-

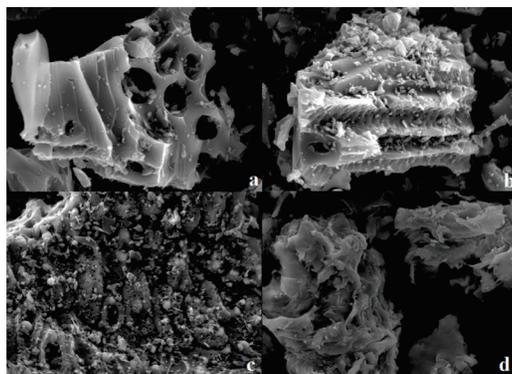
terístico de materiais amorfos. O difratograma de raios X da amostra CAC se mostra diferente dos outros difratogramas, possivelmente pelo fato de o material precursor usado ter sido diferente. Um indicativo disto é a presença de um pico em 26° , característico de quartzo, e outros picos menos intensos, mas que indicam certa cristalinidade, que não está presente nas amostras provenientes do sabugo de milho. A análise de DRX está de acordo com o fato do carvão comercial apresentar um maior teor de cinzas.

Figura 2 - Difratogramas de raios X do material precursor e dos carvões ativados



A Figura 3 demonstra as morfologias dos carvões estudados e do material precursor a $20\ \mu\text{m}$. São demonstradas mudanças significativas na morfologia dos carvões “a” e “b” em relação ao material precursor “d”, onde a morfologia fibrosa e sem porosidade dá lugar a macroporos criados pelo processo de ativação do carvão.

Figura 3 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura do material precursor e dos carvões estudados com aproximação de $20\ \mu\text{m}$. (a) CAEM450 – (b) CAEM550 – (c) Carvão Ativado Comercial – (d) Sabugo de milho.



Conclusões

Carvões ativados foram sintetizados a partir de sabugo de milho, usando apenas uma etapa de síntese e temperaturas moderadas (450 e $550\ ^\circ\text{C}$) e os resultados foram comparados com um carvão ativado comercial. Valores elevados de área específica foram obtidos, sendo que os carvões CAEM450 e CAEM550 mostraram-se microporosos, com valores de área específica de 1600 e $1300\ \text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente. Estes valores são semelhantes aos da literatura, porém neste trabalho foram utilizadas temperaturas moderadas comparadas as utilizadas na literatura.

AGRADECIMENTOS

A URI - Câmpus de Erechim e a UFRN pelo desenvolvimento das atividades e análises deste trabalho.

AUTORES

Christian W. Lopes - Aluno de pós-graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. E-mail: chriswittee@gmail.com

Francine Bertella - Aluna de pós-graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

Sibebe B. C. Pergher - Professora do curso de Química do Petróleo e da pós-graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

Pedro H. Finger - Aluno do curso de Química, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim - RS.

Rogério M. Dallago - Professor, Departamento de Química, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim - RS.

Fábio G. Penha - Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Pau dos Ferros - RN.

REFERÊNCIAS

CAMBUIM, K.B. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H₃PO₄ e fisicamente com vapor d'água**: produção, caracterização e aplicações. Tese de Doutorado (Doutorado em Química) – Departamento de Química, UFPB, João Pessoa, 2009.

CASTRO, C.S.; et al. Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H₂O₂. **Química Nova**, v.32, n.6, p. 1561-1565, 2009.

EL-HENDAWY, A.A. An insight into the KOH activation mechanism through the production of microporous activated carbon for the removal of Pb²⁺ cations. **Applied Surface Science**, v. 255, p. 3723-3730, 2009.

EL-HENDAWY; et al. Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 180, p. 209-221, 2001.

GREGG, S.I.; SING, K.S.W. **Adsorption, Surface Area and Porosity**. London: Academic Press, 1982.

MARSH, H.; RODRÍGUEZ-REINOSO, F. **Activated Carbon**. 1st Edition. Amsterdam: Elsevier, 2006.

MOLINA-SABIO, M.; et al. Phosphoric acid activated carbon discs for methane adsorption. **Carbon**, v. 41, p. 2113-2119, 2003.

MOURÃO, P.A.M.; et al. Application of different equations to adsorption isotherms of phenolic compounds on activated carbons prepared from cork. **Carbon**, v. 44, p. 2422-2429, 2006.

ÖNAL, Y.; et al. Textural development of sugar beet bagasse activated with ZnCl₂. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, p. 138-143, 2007.

PERGHER, S.B.C.; SPRUNG, R. Pilarização de uma argila brasileira com poliidroxições de alumínio: preparação, caracterização e propriedades catalíticas. **Química Nova**, v. 28, n.5, p. 777-782, 2005.

PUZIY, A.M.; et al. Porous structure and surface chemistry of phosphoric acid activated carbon from corncob. **Applied Surface Science**, v. 261, p. 75-82, 2012.

- RAMOS, P.H.; et al. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (pva) do café. **Química Nova**, v. 32, n.3, p. 1139-1143, 2009.
- RAO, R.M.; et al. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. **Bioresource Technology**, v. 71, p. 113-123, 2000a.
- RAO, R.M.; et al. Surface properties of granular activated carbons from agricultural by-products and their effects on raw sugar decolorization. **Bioresource Technology**, v. 71, p. 103-112, 2000b.
- RIVERA-UTRILLA, J.; et al. Bisphenol A removal from water by activated carbon. Effects of carbon characteristics and solution chemistry. **Environmental Science & Technology**, v. 39, p. 6246-6250, 2005.
- SCHETTINO JR, M.A.; et al. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. **Química Nova**, v. 30, n.7, p. 1663-1668, 2007.
- SRINIVASAN, M.P.; HU, Z. Mesoporous high-surface-area activated carbon. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 43, p. 267-275, 2001.
- STREAT, M.; et al. Sorption of phenol and para-chlorophenol from water using conventional and novel activated carbons. **Water Research**, v. 29, p. 467-472, 1995.
- TENG, H.; LIN, Y. Mesoporous carbons from waste tire char and their application in wastewater discoloration. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 54, p. 167-174, 2002.
- VALENTE NABAIS, J.M.; et al. Phenol removal onto novel activated carbons made from lignocellulosic precursors: Influence of surface properties. **Journal of Hazardous Materials**, v. 167, p. 904-910, 2009.
- WEBLEY, P.A.; SUN, Y. Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. **Chemical Engineering Journal**, v.162, p. 883-892, 2010.
- WU, F.; et al. Comparisons of porous and adsorption properties of carbons activated by steam and KOH. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 283, p. 49-56, 2005.
- ZHANG, C.; et al. Microstructure regulation of super activated carbon from biomass source corncob with enhanced hydrogen uptake. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 38, p. 9243-9250, 2013.