



PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE BAMBU GIGANTE UTILIZANDO CLORETO DE FERRO III (FeCl_3) COMO AGENTE ATIVANTE.

Fabio Wéliton Jorge Lima⁽²⁾, Ana Livia de Jesus Costa⁽¹⁾, Alberto Valadares Neto⁽⁴⁾, Cláudio Júnior Andrade Ribeiro⁽²⁾, Lucas Barros Souza⁽³⁾, Ricardo Gomes de Oliveira⁽³⁾.

(1) Estudante de Agronomia IFMG/Campus São João Evangelista, (2) Professor orientado, (3) FMG/Campus Arcos. Técnico colaborador IFMG/Campus São João Evangelista. (4) Professor orientador colaborador/ Colégio Militar de Minas Gerais.

RESUMO

A retirada de contaminantes de efluentes aquosos é cada vez mais necessário principalmente devido as legislações ambientais mais vigorosas. Um dos caminhos é a utilização de adsorvente, mas os que estão disponíveis no mercado são produzidos a partir de derivados de olefinas e tem custos elevados. Uma das alternativas, é a utilização de carvão ativado produzidos a partir de biomassa de crescimento rápido e de baixo custo. O objetivo desse trabalho é produzir carvão ativado a partir do Bambu Gigante (*Dendrocalamus Goganteus*) uma fonte renovável e de baixo custo. Para realizar esse trabalho o Bambu Gigante (*Dendrocalamus Goganteus*) que é conhecido na região de São João Evangelista como “Bambu de Ponte” foi colhido no campus do IFMG, seco a sombra, e triturado em moinho de faca da ACB Labor, o biomaterial processado foi condicionado em um reator e pirolisado utilizando uma mufla com baixo fluxo de oxigênio o biocarvão obtido foi lavado a exaustão até o pH da água de lavagem estiver constante. As propriedades químicas dos biocarvões obtido foram determinadas utilizando espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR) e o potencial de carga zero (pH_{pcz}). As características físicas, área superficiais e volume de poros foram determinados por BET. A capacidade do biocarvão em remover contaminantes de fluidos aquosos foram realizados utilizando o azul de metileno como molécula modelo. Os resultados sugerem que o biocarvão produzido a partir do Bambu Gigante (*Dendrocalamus Goganteus*) tem potencial para retirar contaminantes do meio aquoso e com o acréscimo na temperatura de pirolise contata aumento significativo da área superficial do carvão ativado.

Palavras chaves: biocarvão; bambu; renovável; baixo custo.



1 INTRODUÇÃO

O carvão ativado é um material carbonáceo muito utilizado tanto para a adsorção de compostos na fase gasosa quanto na fase líquida. Sua ampla utilização se deve a sua elevada porosidade e área superficial. Essas duas características permitem que os carvões ativados sejam empregados em diversos setores tais como: remediação ambiental, industrial e na recuperação e remoção de uma ampla gama de espécies contaminantes presentes, nas fases gasosa e líquida (Marsh *et al.*, 2006).

O carvão ativado é produzido a partir de precursores carbonáceos “materiais ricos em carbono”, tais como madeira, carvão, casca de coco, casca de arroz, resíduos agroindustriais e bambu. Esses adsorventes possuem algumas características importantes, tais como, elevadas áreas superficiais, baixo custo de síntese e estabilidade química de sua estrutura, que estão relacionadas ao precursor utilizado (Karanfil *et al.* 1999 (1), Karanfil *et al.* 1999 (2), Torrellas S.A. *et al.* 2017). A produção do carvão ativado, pode ser feita por dois caminhos: a ativação física e a ativação química, e pode ser executada em uma ou duas etapas, a depender do processo de ativação utilizado.

O processo de ativação do carvão é a etapa de desenvolvimento da textura física (poros) e química (funcionalidade), que pode ser pelos processos físicos e químicos em baixa temperatura (600°C). Já em outros casos a porosidade e a funcionalidade é alcançada na etapa de carbonização, não sendo necessário a etapa de ativação (Oliveira e Franca, 2008). A Figura 1 apresenta alguns exemplos de grupos funcionais que podem estar presentes na superfície de alguns carvões ativados.

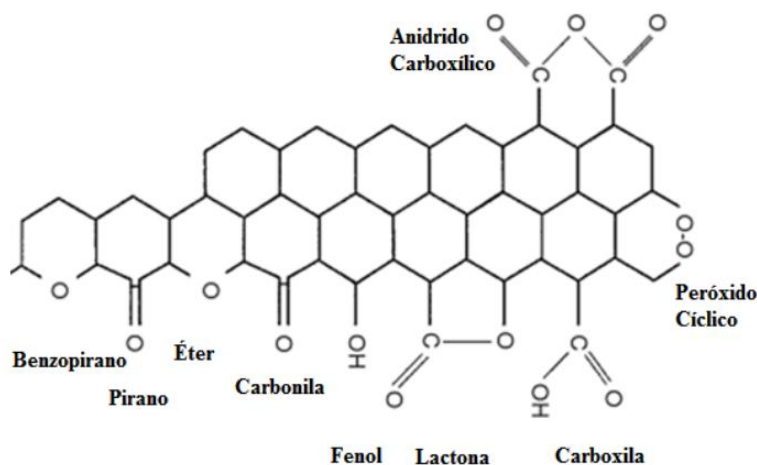


Figura 1: Grupos funcionais na superfície do carvão ativado (Rodrigues-Reinoso *et al.*, 2008).



Quando há a necessidade de se fazer a ativação, ela pode ser feita pelo processo físico ou químico: para esse trabalho utilizamos o segundo caso.

Um catalisador é impregnado ao precursor carbonáceo utilizado na síntese do carvão ativado. Na ativação química são os cloretos metálicos ($ZnCl_2$), $FeCl_3$ e $CaCl_3$), hidróxidos metálicos ($NaOH$ e KOH) e ácidos (H_3PO_4 e H_2SO_4) (Oliveira e Franca, 2011; Uçar *et al.*, 2009; Niedersberg *et al.*, 2012; Zang *et al.*, 2013).

A escolha do agente ativante é feita de acordo com as características desejadas da superfície do carvão ativado, o material precursor, também pode influenciar na escolha do agente ativador. No processo de ativação química, uma solução saturada do agente ativante é impregnada e seca sobre a superfície do precursor carbonáceo. Em seguida, o material precursor impregnado com o agente ativante passa pelo tratamento térmico para se obter o carvão ativado. O produto obtido passa por tratamento para a remoção do agente ativante residual depositado sobre a superfície do carvão ativado obtido (Oliveira e Franca, 2011; Niedersberg *et al.*, 2012; Zang *et al.*, 2013).

A ativação química possui algumas vantagens sobre a ativação física tais como: menor consumo de energia e maior rendimento mássico do produto (Arami-Niya *et al.*, 2010). Por outro lado, a ativação física tem a vantagem de gerar baixos teores de gases, CO_2 e CO , como subprodutos.

A ativação química produz poros maiores, chamados de mesoporos, essa característica permite o aumento da capacidade de adsorção do carvão ativado, além de possibilitar a adsorção de moléculas maiores (ex. corantes e pesticidas). As moléculas com dimensões maiores são muito comuns em águas contaminadas. Portanto, o carvão ativado, produzido pela rota da ativação química pode ser uma boa opção para removê-las.

Outra característica muito importante dos carvões ativados é sua forma física. Os carvões ativados na forma granular estão sendo priorizados, na indústria, pela sua facilidade em serem manipulados e recuperados quando são utilizados em larga escala. Nesta forma física eles podem ser pulverizados por aplicadores ou aviões sem que se altere as suas propriedades físicas e químicas, área superficial, tipo de poros, grupos funcionais produzidos sobre a superfície do carvão etc. (Corwin *et al.*, 2010). Outra variável que pode influenciar nas características do carvão ativado é o seu precursor. Aygun *et al.*, 2003, realizaram a síntese de



carvão granular com diferentes precursores carbonáceos, casca de amêndoa, casca de avelã, casca de noz e semente de damasco, utilizando o cloreto de zinco ($ZnCl_2$) como agente ativante. Nesse trabalho, os carvões ativados produzidos, foram testados na remoção de fenol e azul de metileno.

O tempo e a temperatura de carbonização influenciaram na adsorção dos contaminantes. Outra importante questão discutida neste trabalho, foi a origem da fonte precursora do carvão ativado. Segundo os autores, a fonte precursora também influencia na capacidade de adsorção, sendo que, a melhor fonte foi a casca de avelã e a pior a casca de amêndoas: casca de avelã > casca de noz > semente de damasco > casca de amêndoa.

A escolha de fontes precursoras de carvão ativado depende de fatores: tais como disponibilidade, custos e estrutura físico-química. Esses fatores estimulam a procura de fontes alternativas para a produção de carvão ativado. Sendo que, tem se tornado comum o uso de resíduos agroindustriais ou material de baixo custo de aquisição e alta quantidade de carbono, para a produção de carvão ativado (Ahmed *et al.*, 2016).

Além dessas características, estes materiais devem possuir como principais componentes estruturais lignina, celulose e hemicelulose, substâncias que possuem grupos funcionais oxigenados como hidroxila, éter e carbonila, que desempenham um importante papel na adsorção. Um destes materiais de baixo custo e fácil acesso, que está chamando a atenção de alguns pesquisadores é o bambu. Segundo Santana *et al*, 2017, os carvões ativados obtidos do bambu parecem ser promissores devido a elevada área superficial obtida, acima de $1000 \text{ m}^2/\text{g}$.

Além da fonte precursora de carbono, neste trabalho também será abordado o agente ativante. Neste projeto será utilizado o cloreto de ferro III ($FeCl_3$), segundo Pereira e Oliveira, 2008, o cloreto de férrico, possui baixa temperatura de vaporização (600°C), isso pode ajudar a reduzir os custos de produção de carvão ativado, quando comparado a outros agentes ativantes, como o cloreto de zinco ($ZnCl_2$), que possui uma temperatura média de ativação em torno de 700°C (Pereira e Oliveira, 2008).



Resultados e discursões

Rendimento do material

Carvão ativado produzido a partir de bambu

O rendimento do material foi calculado pela relação entre a massa de carvão ativado e a massa de matéria-prima utilizada na produção. O rendimento dos carvões ativados carvão ativado foram mais elevados nos materiais produzidos em baixas temperaturas conforme mostradas (Tabela 1). O maior rendimento em baixas temperaturas podem ser atribuídos a pequena decomposição térmica das ligninas, celulosas, hemicelulosas e outros constituintes da estrutura do bambu. Já em temperaturas mais elevadas a decomposição ocorrem em maior extensão por isso foi constatado o baixo rendimento na produção de carvão ativado.

Tabela 1: Rendimento percentual do carvão ativado em diferentes temperaturas.

Temperatura	Peso inicial (g)	Peso após lavagem (g)	Peso final (g)	Rendimento
200 °C	12,31	8,01	7,33	59,54%
300 °C	10,57	7,84	6,3	59,60%
400 °C	11,03	5,96	4,01	36,35%
500 °C	11,12	4,16	3,19	28,67%

Caracterização química do carvão ativado produzido com FeCl_3 .

Na Figura 1 está apresentado os espectros do FT-IR dos carvões ativados produzidos a partir do bambu foram analisadas as bandas entre 4.000 cm^{-1} e 500 cm^{-1} . No espectro de infravermelho, constata-se uma banda larga na região 3.375 cm^{-1} atribuído ao estiramento do grupo O-H. Essa banda vai diminuindo de intensidade com o aumento da TP sugerindo a perda de oxigênio pelo material linocelulósico durante o processo de pirolise. Outra banda de interesse é em 2.933 cm^{-1} (Figura 1) que pode ser atribuída a deformação axial C-H, ela desaparece com o aumento da TP sugerindo que o material de partida está perdendo hidrogênio durante a pirolise.

As bandas localizadas em 1.750 cm^{-1} e 1.625 cm^{-1} (Figura 1) podem ser atribuídas aos estiramentos C=C, essas bandas, estão mais intensas sugerindo que com o aumento do



temperatura de pirolise há o incremento do teor de carbono. Também constata o surgimento de uma banda de absorção em 1.593 cm^{-1} que é referente a deformação C=O, essa banda pode ser a evidência da presença de carbonila conjugada a anéis aromáticos, essa característica pode sugerir que a superfície desse carvão possui características básicas. A banda de absorção em 1.250 cm^{-1} (Figura 1) pode estar relacionada as ligações C-O dos grupos ésteres, fenóis e hidroxilas presentes na superfície do material de partida (bambu), esses constituintes fazem parte da matriz celulósica. A banda intensa de adsorção em 1.037 cm^{-1} (Figura 1) pode ser atribuída a deformação axial simétrica dos grupos C-O-C também pertencente aos grupos dos materiais de partida. Essa banda fica menos intensa quando a temperatura de pirolise aumenta sugerindo a decomposição da matriz celulósica.

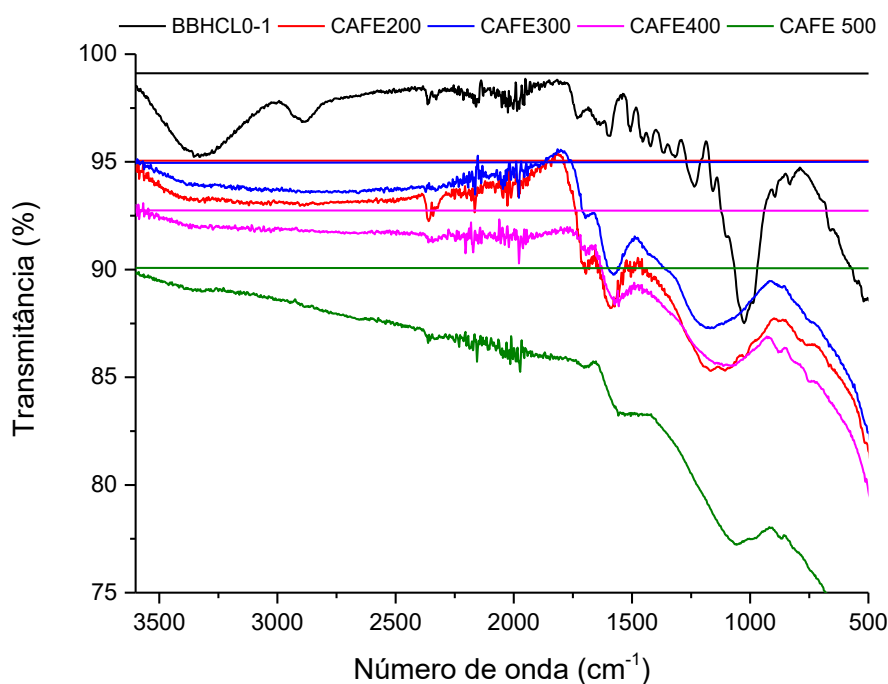


Figura 1: Espectroscopia de absorção na região do infravermelho do carvão ativado com o agente FeCl_3 .

Na Tabela 2 são apresentados os valores do ponto de carga zero dos carvões ativados produzidos nesse trabalho foi constatado que eles possuem características superficiais ácida.



Tabela 2: Potencial de carga zero dos carvões ativados produzidos em diferentes temperaturas.

Temperatura de ativação (°C)	Carvão ativado
200	2,64
300	2,64
400	2,64
500	2,64

Caracterização física dos carvões ativados produzido

Áreas superficiais medidas por BET.

Na Tabela 3 estão as propriedades texturais dos carvões ativados produzidos neste trabalho. Constata que a área superficial dos materiais produzidos em baixas temperaturas são significativamente menores que os produzidos em temperaturas mais elevadas.

Tabela 3: Áreas superficiais obtidas por BET dos carvões ativados produzido nesse experimento.

	S _{BET} (m ² /g)	Volume de poros cm ³ /g
Bambu	0,381	0,000135
CA 200	3,18	0,001200
CA 300	76,96	0,032800
CA 400	229,5	0,105100
CA 500	105,9	0,050600

Testes de adsorção química.

No gráfico 1, apresenta o decaimento de adsorção do azul de metileno, para os carvões ativados produzidos entre as temperaturas de 200°C e 500°C.

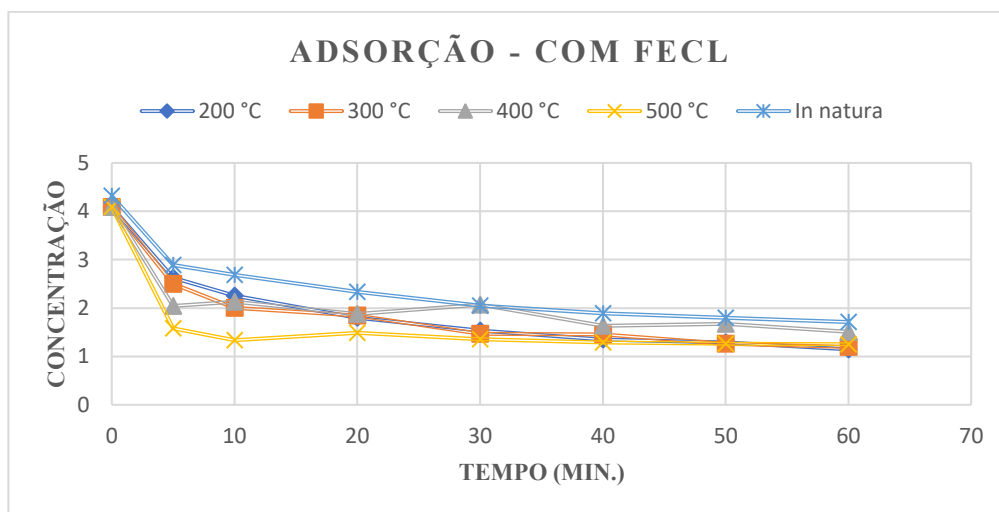


Gráfico 1: Resultados dos testes de adsorção do carvão ativado com FeCl_3 em diferentes temperaturas.

Os testes de adsorção indicaram que o carvão ativado produzido a 200°C foi menos eficiente na adsorção do corante quando comparado ao produzido a 500°C . A maior capacidade de adsorção se deve as propriedades superficiais do carvão ativado, já que, constata uma redução de área quando comparado ao carvão produzido a 400°C conforme mostrado Tabela 3. Outro dado que chamou a atenção foi a capacidade adsorptiva do bambu *in-natura* sugerindo que o bambu pode ser utilizado sem o tratamento térmico reduzindo os custos e obtendo bons resultados.

Conclusões

O biocarvão produzido a partir do Bambu Gigante (*Dendrocalamus Goganteus*) possui elevada área superficial quando produzido em temperaturas acima de 300°C . Essa característica reflete na maior capacidade de adsorção do azul de metileno utilizado como molécula modelo. Isso sugere que o Bambu Gigante (*Dendrocalamus Goganteus*) pode ser uma fonte barata e abundante de biomassa para a produção de bi adsorvente na forma de biocarvão.

Bibliográfica.

Ahmed A, Kurian J, Raghavan V (2016) Biochar influences on agricultural soils, crop production, and the environment: a review. Environ Rev 24:495–502. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0008>.



Arami-Niya, A., Daud, W. M.A. , Mjalli, A. S., Using granular activated carbon prepared from oil palm shell by $ZnCl_2$ and physical activation for methane adsorption. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. V 86, p 197-203, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.08.006>.

Aygün, A, Yenisoy-Karakaş, S., ^b, I Duman, 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. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2003.08.028>.

Corwin, C., J., Summers, R., S., Scaling Trace Organic Contaminant Adsorption Capacity by Granular Activated Carbon. *Environmental Science & Technology*. v. 44, p 5403–5408. 2010. <https://doi.org/10.1021/es9037462>.

James F. Kwiatkowski. (Org.). *Activated Carbon: Classifications, Properties and Applications*, Chapter 3. New York: Nova Publishers, p. 205-238, 2011.

Karanfil, T.; Kitis, M.; Kilduff, J. E.; Wigton, A. Role of Granular Activated Carbon Surface Chemistry on the Adsorption of Organic Compounds. 2. Natural Organic Matter. *Environ. Sci. Technol.* **1999**, v. 33, p. 3225– 3233, DOI: <https://doi.org/10.1021/es9810179>. Acesso em: 26/09/2025.

Karanfil, T.; Kilduff, J. E. Role of Granular Activated Carbon Surface Chemistry on the Adsorption of Organic Compounds. 1. Priority Pollutants. *Environ. Sci. Technol.* **1999**, v. 33, p. 3217– 3224, <https://doi.org/10.1021/es981016g>. Acesso em: 26/09/2025.

MARSH, H.; REINOSO, F. R. *Activated Carbon* [S.l.]: Elsevier, 2006.

NIEDERSBERG, 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, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2012

OLIVEIRA, L.S., FRANCA, A.S. e LATINI, A.F., Low cost food waste-based adsorbent for the removal of phenylalanine from aqueous solutions, *Abstracts/Journal of Biotechnology* 136, Supplement S460–S495, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2008.07.1088>. Acessado em: 15/03/2025.

OLIVEIRA, L.S., FRANCA, A.S; Conventional and Non-Conventional Thermal Processing for the Production of Activated Carbons from Agro-Industrial Wastes. In:



Elaine Pereira, E., Oliveira, L. C. A., Vallone, A. Sapag, K., Pereira, M., Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl_3 como agente ativante. *Quim. Nova.* v. 31, p. 1296-1300, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600004>.

Santana, G. M., Lelis, R. C. C. Lelis, Jaguaribe, E. F., Morais, R. de M., Paes, J., B., Trugilho, P., F.,. DEVELOPMENT OF ACTIVATED CARBON FROM BAMBOO (*Bambusa vulgaris*) FOR PESTICIDE REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS. v. 23, p. 123-133, 2017. <https://doi.org/10.1590/01047760201723012256>.

Torrellas, A. S; Peres, J.A.; Álvarez, V. G; Ovejero, G.; García, J; Effective adsorption of non-biodegradable pharmaceuticals from hospital wastewater with different carbon materials. *Chemical Engineering Journal.* 2017, v. 320, p 3019-3029. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.077>. Acesso em : 26/09/2025.

Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., Bolan, N.S., Pei, J., Huang, H., Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research.* V 20, p. 8472–8483, (2013). <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-013-1659-0>. Acesso em: 22/07/2024.