

Estudo do equilíbrio de adsorção de ácido oxálico por carvões vegetais: Isotermas de Langmuir e Freundlich

Study of oxalic acid adsorption balance by charcoals: Langmuir and Freundlich isotherms

RESUMO

A diminuição de resíduos sólidos, em especial as cascas de coco verde, transformando-as em carvão vegetal pode ser uma saída sustentável para a cultura do coqueiro. Neste trabalho foram avaliadas as isotermas de Langmuir e Freundlich para o carvão de casca de coco verde (CCC) e para o carvão ativado comercial (CAC) com massas de aproximadamente 4,0000 g (A) e 0,2000 g (B) identificadas como: CCCA, CCCB, CACA e CACB. Os dados experimentais das isotermas foram encontrados empregando padrão primário (ácido oxálico) em determinações volumétricas com hidróxido de sódio. Os resultados obtidos no equilíbrio das isotermas de Langmuir e Freundlich se apresentaram de maneira satisfatória para o uso do ácido oxálico nas amostras de CCC e CAC. As análises de CCCA e CACA, que utilizaram maiores massas de carvão, em relação à CCCB e CACB obtiveram desempenhos semelhantes na quantidade de ácido oxálico adsorvida por grama de carvão. O que corrobora para um uso menor de adsorvente com diminuição de custos. Contudo, a amostra de CCCB apresentou as melhores quantidades máximas de ácido oxálico adsorvido nas amostras deste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão vegetal. Isotermas de Langmuir. Isotermas de Freundlich.

ABSTRACT

The reduction of solid residues, especially green coconut shells, transforming them into charcoal can be a sustainable way out for the coconut cultivation. This work evaluated Langmuir and Freundlich isotherms for green coconut shell charcoal (CCC) and commercial activated carbon (CAC) with masses of approximately 4.0000 g (A) and 0,2000 g (B) identified as: CCCA, CCCB, CACA and CACB. Experimental isotherm data were found using a primary standard (oxalic acid) in volumetric determinations with sodium hydroxide. The results obtained in the balance of Langmuir and Freundlich isotherms were satisfactorily presented for the use of oxalic acid in the CCC and CAC samples. The analyzes of CCCA and CACA, which used larger masses of charcoal, in relation to CCCB and CACB obtained similar performances in the amount of oxalic acid adsorbed per gram of coal. This corroborates for a lower cost. However, the CCCB sample showed the best maximum amounts of oxalic acid adsorbed in the samples of this work.

KEYWORDS: Charcoal. Langmuir isotherms. Freundlich isotherms.

Letícia Bittencourt Melani
leticia.melani99@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Gisely Luzia Ströher
gisely@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Gylles Ricardo Ströher
gylles@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Obtenção de lenha a partir do desmatamento de matas nativas, condições precárias de trabalho e a poluição causada por fornos primitivos de alvenaria são características da atividade carvoeira no Brasil, país responsável por cerca de 1/3 da produção de carvão vegetal mundial (SANTOS; HATAKEYAMA, 2012).

A carbonização, método onde ocorre a decomposição térmica de matéria com alto teor de carbono, como a madeira, cascas de frutos e sementes é o processo responsável pela geração do carvão (MORAIS, 2014).

Formada principalmente por lignina, a casca do coco verde apresenta uma estrutura parecida com a madeira empregada na produção de carvão, podendo passar por um processo de carbonização e se transformar em carvão vegetal, sendo assim uma saída sustentável para o problema do descarte indevido do mesocarpo do fruto (SILVA *et al.*, 2019).

O Brasil se destaca por estar entre os quatro maiores produtores mundiais de coco (JORNAL ESTADO DE MINAS, 2018). Com a chegada do verão, a procura pelo principal produto extraído desse fruto, a água de coco, cresce, resultando no descarte indevido das cascas (em média oito anos para a decomposição) em aterros sanitários e beiras de estradas, uma vez que a porcentagem desse resíduo sólido que é destinada à reciclagem é bem pequena (BBC BRASIL, 2014).

É também no verão que o número de casos de doenças transmitidas por mosquitos que necessitam de água parada para se reproduzirem, como o *Aedes aegypti*, aumenta. A união desses dois aspectos gera um grande problema para a saúde pública, uma vez que as cascas de coco descartadas desempenham a função de reservatório para a proliferação dessas espécies (BBC BRASIL, 2015).

A casca do coco verde compõe em média cerca de 70% da massa do fruto. Converter esse resíduo em combustível ou em adsorvente agregando valor ao produto são processos viáveis de baixo custo que transformam a sociedade (BBC BRASIL, 2014).

Empregado em diversos fins, desde seguimentos mais simples a processos mais complexos, o carvão ativado é conhecido pela sua alta capacidade de adsorção (MURANAKA, 2010).

A adsorção é um fenômeno físico-químico onde ocorre a retirada de substâncias indesejáveis (líquidos ou gases) de determinado meio através de um sólido adsorvente (MURANAKA, 2010).

As isotermas têm como finalidade avaliar a capacidade de adsorção do material, sendo elas encontradas a partir da realização de procedimentos experimentais que consistem em colocar em contato o adsorvente com gases ou líquidos e analisar a quantidade de matéria que foi adsorvida (MURANAKA, 2010).

Isotermas são definidas como a curva que associa a massa inicial de adsorvente com a quantidade de material adsorvido através da concentração de adsorvato restante no equilíbrio. Duas das isotermas que serão abordadas nesse estudo são as isotermas de Langmuir e Freundlich (MURANAKA, 2010).

Langmuir se fundamenta na teoria da adsorção aplicada a superfícies homogêneas, onde há a formação de uma camada monomolecular, baseando-se

na ideia de que cada sítio ativo acomoda apenas uma unidade adsorvida e que a energia é distribuída igualmente para todos os sítios (MORAIS, 2014).

Esse modelo é representado através da seguinte equação:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m K_L} + \frac{1}{K_L} C_e \quad (1)$$

Onde K_L representa a constante de Langmuir, C_e indica a concentração de adsorvato no equilíbrio, Q_m é a constante relacionada à energia de adsorção e Q_e é a razão entre a quantidade de adsorvato e o adsorvente no equilíbrio (FERNANDES, 2008; ATKINS e PAULA, 2008).

O modelo de Langmuir ainda apresenta o parâmetro de equilíbrio (R_L) que indica uma adsorção favorável quando os valores são acima de zero e abaixo de um (FERNANDES, 2008).

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L Q_m)} \quad (2)$$

Em contrapartida, o modelo de Freundlich considera aspectos opostos ao modelo anterior como a presença de multicamadas heterogêneas e a distribuição logarítmica de sítios ativos (MORAIS, 2014; ATKINS e PAULA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O modelo de Freundlich é dado pela seguinte equação:

$$\log Q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (3)$$

No qual K_F é a constante de Freundlich que indica a capacidade de adsorção e n é um parâmetro que indica o desenvolvimento da isoterma. Valores de n que se encontram no intervalo entre 1 e 10 demonstram uma adsorção favorável (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Neste trabalho foram avaliadas as isotermas de Langmuir e Freundlich no carvão de casca de coco verde e no carvão ativado comercial usando o ácido oxálico como adsorvato.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras deste trabalho são de carvão ativado comercial (CAC) e carvão vegetal de casca de coco verde (CCC) preparadas pela metodologia do Edital PROREC 04/2016 Bolsas UTFPR Inovação que utilizou cascas de coco verde como matéria-prima na obtenção do produto (SILVA *et al.*, 2019).

A secagem das amostras (CAC e CCC) foi realizada em estufa *New Lab, AR NL 82-150*, a 105°C por 4h, de acordo com a metodologia da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1998).

As isotermas de Langmuir e Freundlich foram determinadas com concentrações distintas de padrão primário (ácido oxálico) e quantificadas por volumetria com hidróxido de sódio (PERRY, 1988; VALENCIA, 2007).

As testagens ocorreram em amostras de CAC e em CCC com diferentes massas de adsorvente, sendo elas de aproximadamente 4,0000 g (A) e 0,2000 g (B), gerando um total de quatro experimentos (CACA, CCCA, CACB e CCCB). Tanto nos experimentos com maior massa de carvão (A) quanto nos de menor massa (B)

foram adicionadas em diferentes *erlenmeyers* quantidades distintas das soluções iniciais de ácido oxálico ($0,250 \text{ mol.L}^{-1}$ e $0,012 \text{ mol.L}^{-1}$, respectivamente) com a finalidade de se obter os resultados necessários para o cálculo das isotermas de Langmuir e Freundlich em um volume de 100 mL, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Volumes de solução em cada ensaio

Ensaio	CACA e CCCA	CACB e CCCB	Água (mL)
	Volume de ácido oxálico $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$ (mL)	Volume de ácido oxálico $0,012 \text{ mol.L}^{-1}$ (mL)	
1	100,0	100,0	0,0
2	90,0	90,0	10,0
3	80,0	80,0	20,0
4	60,0	60,0	40,0
5	50,0	50,0	50,0
6	40,0	40,0	60,0
7	20,0	20,0	80,0
8	10,0	10,0	90,0
9	5,0	5,0	95,0
10	4,0	4,0	96,0

Fonte: Autoria própria (2020).

Os *erlenmeyers* foram lacrados e enumerados. Os experimentos foram realizados sob agitação por 1 h a 200 rpm em incubadora de agitação orbital, *Cienlab, CE 725*, para maior interação entre adsorvente e adsorvato, e deixados em repouso por 15 h para equilíbrio.

Foram filtradas as amostras e tituladas alíquotas de 10,00 mL com hidróxido de sódio utilizando fenolftaleína como indicador (PERRY, 1988; VALENCIA, 2007).

Após a obtenção dos resultados dos experimentos foi possível determinar os parâmetros das isotermas através dos ajustes de curva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de CCCA e CACA que utilizaram massas maiores de adsorvente (4,0000 g) em relação à CCCB e CACB (0,2000 g) obtiveram desempenhos semelhantes na quantidade de ácido oxálico adsorvida por grama de carvão, conforme mostra a Tabela 2.

Os experimentos foram feitos com massas distintas de carvões vegetais, pois a ASTM (2000) aceita que valores acima de 100 mg.L^{-1} de adsorvato utilizem volume de 100 mL de amostra com massas de carvão entre 0,05 – 10,0 g.

Tabela 2 - Quantidade adsorvida de ácido oxálico por grama de adsorvente (Q_e) nas diferentes amostras dos 10 ensaios

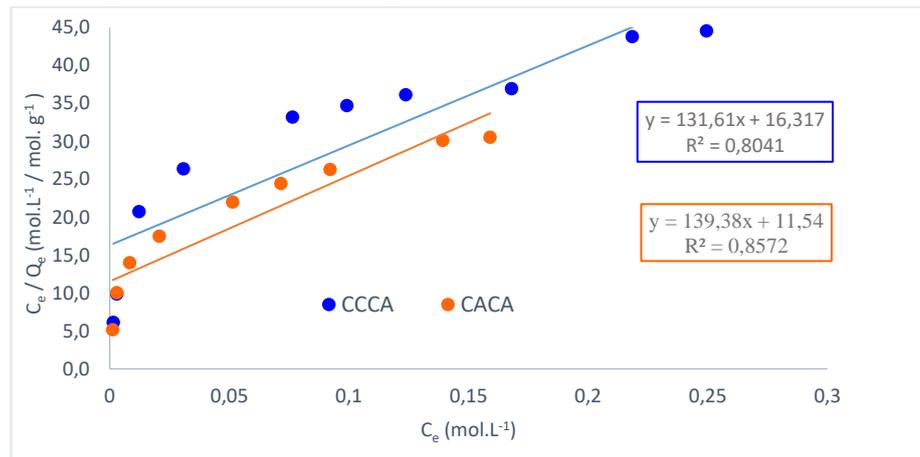
Ensaio	CCCA	CACA	CCCB	CACB
1	0,0056	0,0058	0,0057	0,0057
2	0,0050	0,0052	0,0050	0,0050
3	0,0045	0,0046	0,0046	0,0046
4	0,0034	0,0035	0,0034	0,0034
5	0,0029	0,0029	0,0029	0,0028
6	0,0023	0,0023	0,0023	0,0022
7	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012

8	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
9	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
10	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002

Fonte: Autoria própria (2020).

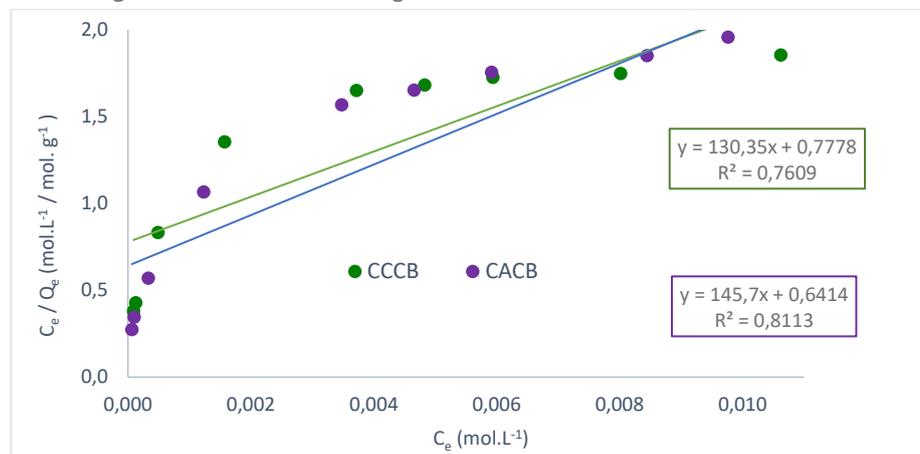
As isotermas de Langmuir típicas em materiais microporosos com adsorção química para as amostras CCCA com a CACA e CCCB com CACB, estão representadas, respectivamente, nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Isotermas de Langmuir das amostras CCCA com CACA.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 2 – Isotermas de Langmuir das amostras CCCB com CACB.



Fonte: Autoria própria (2020).

Essas isotermas indicam que adsorvente e adsorvato têm afinidade podendo ser relacionadas com a adsorção em microporos (BRUNAER et al., 1938; HAMADAQUI e NAFFRECHOUX, 2007).

De acordo com SILVA (2015), microporos ($d < 2$ nm) são capazes de proporcionar uma alta capacidade de adsorção para gases e solventes comuns.

A partir da equação 2, foi possível encontrar os valores dos parâmetros de equilíbrio indicados na Tabela 3. Eles indicam que a adsorção foi favorável em todos os ensaios (FERNANDES, 2008).

Tabela 3 – Principais parâmetros obtidos a partir das isotermas de Langmuir

Parâmetro	CCCA	CACA	CCCB	CACB
Qm (mol.g ⁻¹)	7,6 x 10 ⁻³	7,2 x 10 ⁻³	7,7 x 10 ⁻³	6,9 x 10 ⁻³
KL	8,07	12,08	167,59	227,16
RL	4,7 x 10 ⁻³	6,2 x 10 ⁻⁴	9,8 x 10 ⁻³	1,1 x 10 ⁻²

Fonte: Autoria própria (2020).

A área superficial obtida neste trabalho com carvões de casca de coco verde (CCC) foi próxima à área encontrada com o carvão feito a partir de casca de amêndoas (998 m².g⁻¹) no trabalho de SAVOVA *et al.* (2001), conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Área de carvão (m².g⁻¹) nas diferentes amostras

Amostra	Área de carvão (m ² .g ⁻¹)
CACA	907,02
CACB	867,67
CCCA	960,54
CCCB	969,85

Fonte: Autoria própria (2020).

É interessante acrescentar que os carvões de cascas de nozes, não ativados (408 m².g⁻¹) e ativados com ZnCl₂ (427 m².g⁻¹) apontados no estudo de COSTA *et al.* (2015) apresentaram área superficial inferior à média encontrada nos CCC deste trabalho (965, 20 ± 6,58 m².g⁻¹).

O trabalho de ZUIM *et al.* (2011) que apresentou o carvão de casca de coco ativado com CO₂, encontrou valores de 772,0 m².g⁻¹ de área. Este valor é 20% inferior à média (965, 20 ± 6,58 m².g⁻¹) deste estudo que empregou a mesma matéria-prima, porém sem passar pela etapa de ativação.

Em contrapartida, no trabalho de Macedo *et al.*, (2006) onde foi utilizado o carvão de casca de coco seguido ativado com ZnCl₂ obteve área superficial de 1884 m².g⁻¹, valor acima do encontrado neste estudo com CCC.

Frequentemente aplicadas à adsorção de solutos sobre sólidos a partir de soluções líquidas, as isotermas de Freundlich forneceram melhores valores de coeficiente de correlação nos experimentos estudados, conforme indica a Figura 3 e a Tabela 5.

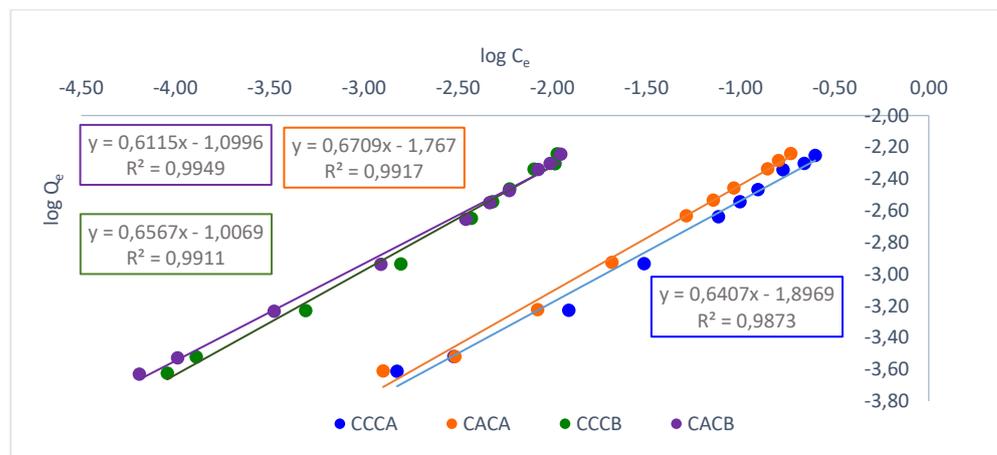
Tabela 5 – Principais parâmetros obtidos a partir das isotermas de Freundlich

Parâmetro	CCCA	CACA	CCCB	CACB
KF (10 ⁻² mol.g ⁻¹)	1,3	1,7	10	80
n	1,56	1,49	1,52	0,61
R2	0,9873	0,9917	0,9911	0,9949

Fonte: Autoria própria (2020).

A constante de Freundlich foi maior nas amostras CCCB em relação à CACB e maiores em CACA em relação à CCCA.

Figura 3 – Isotermas de Freundlich obtidas nas amostras CCCA, CACA, CCCB e CACB



Fonte: Autoria própria (2020).

Na isoterma de Freundlich a adsorção foi favorável ($n > 1$), assim como foi na isoterma de Langmuir (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Contudo, a amostra de CCCB apresentou melhores quantidades máximas de ácido oxálico adsorvido nas amostras deste trabalho.

CONCLUSÃO

O presente estudo determinou as isotermas de Langmuir e Freundlich no carvão de casca de coco verde e no carvão ativado comercial (CCC e CAC, respectivamente).

A partir dos parâmetros encontrados através dos dois tipos de isotermas e dos dados obtidos experimentalmente, foi possível avaliar o desempenho dos carvões em diferentes massas.

Os ensaios CCCA e CACA que possuíam massa maior em relação ao CCCB e CACB obtiveram desempenhos semelhantes, o que contribui para um uso menor de carvão em estudos futuros, baixando os custos.

As amostras de CCC obtiveram área média ($965,20 \pm 6,58 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) superior às amostras de CAC ($887,35 \pm 27,82 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$).

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil. Voluntário da UTFPR/Brasil.

REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC international**, v. 1. 16. ed. Arlington: AOAC Internacional, 1988.

ASTM. **American Society for Testing Materials** – Standarts on Activated Carbon. 2. ed. Filadélfia: EEUU, 2000.

ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química**, v. 1 e 2. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BBC BRASIL. **Conheça cinco focos de reprodução do mosquito *Aedes aegypti* frequentemente ignorados.** Disponível em:

https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151211_focos_dengue_mw_rb. Acesso em: 14 ago. 2020.

BBC BRASIL. **Indústria de coco cresce, mas alto desperdício gera desafio tecnológico.** Disponível em:

https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/02/140207_coco_reciclagem_a_bre_pai. Acesso em: 01 mar. 2020.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **J. Am. Chem. Soc.**, v. 60, p. 309, 1938.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/hb/v20n4/14486.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de Turfa e sua utilização na remoção de poluentes.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/86346>. Acesso em: 16 jul. 2020.

COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1272 – 1285, jul./ago. 2015. Disponível em: <http://static.sites.sbgq.org.br/rvq.sbgq.org.br/pdf/v7n4a14.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2020.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl₂ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto.** 2008. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008. Disponível em:

http://www.ppgq.quimica.ufpb.br/teses/Tese_Fabiana_Lopes.pdf. Acesso em: 19 ago. 2020

HAMDAOUI, O.; NAFFRECHOUX, E. Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorofenols onto granular activated carbon. Part II. Models with more than two parameters. **Journal Hazardous materials**, v. 147, p. 381 - 394, jan. 2007. Disponível em: <http://files.aprendiendoquimica7.webnode.com.co/200000004-9f142a00d8/Hamdaoui,%200%20->

[%20Naffrechoux,%20E.%20Modeling%20of%20adsorption%20isotherms%20of%20phenol%20and%20chlorophenols%20onto%20granular%20activated%20carbon.pdf](#). Acesso em: 14 out. 2020.

JORNAL ESTADO DE MINAS. **A sede por água de coco estimula produção brasileira**. Disponível em:
https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/2018/04/11/interna_internacional,950855/a-sede-por-agua-de-coco-estimula-producao-brasileira.shtml.
Acesso em: 14 ago. 2020.

KOEHLERT, K. Activated Carbon: Fundamentals and New Applications. **Chemical Engineering**, v.1, p. 32-40, 2017.

MACEDO, J. S.; JUNIOR, N. B. C.; ALMEIDA, L. E.; VIEIRA, E. F. S.; CESTARI, A. R.; GIMENEZ, I. F.; CARREÑO, N. L. V.; BARRETO, L. S. Kinetic and calorimetric study of the adsorption of dyes on mesoporous activated carbon prepared from coconut coir dust. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 298, p. 515 - 522, jun. 2006. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979706000270?via%3Dihub>. Acesso em: 14 out. 2020.

MONTES, V. HILL, J. M. Activated carbon production: Recycling KOH to minimize waste. **Materials Letters**, v. 220, p. 238 – 240, jun. 2018. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X18303768>.
Acesso em: 14 out. 2020.

MORAIS, E. D. **Produção de carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (cocosnuciferalinn) utilizando H3PO4, CH3COONa e KOH como ativantes**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/22732>. Acesso em: 14 ago. 2020.

MURANAKA, C. T. **Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para tratamento de efluentes contendo fenol**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em:
https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-20082010-145336/publico/Tese_Cynthia_Tiemi_Muranaka.pdf. Acesso em: 14 ago. 2020.

OLIVEIRA, F. M.; COELHO, L. M.; MELO, E. I. Avaliação de processo adsorvivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante azul de metileno. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, e12223, dez. 2018. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000400414&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 ago. 2020.

PERRY, J. **Manual del Ingeniero Químico**. 6.ed. México: Mc Graw Hill, 1998.

SANTIAGO, B. H. S.; FRANCA, G. H. C.; FERNANDES, R.; SELVAM, P. V. P. Estudo da viabilidade tecno-econômica preliminar para produção de carvão ativado no Brasil a partir de resíduos do coco: estudo comparativo de cenários de produção. **Revista Analytica**, São Paulo, v.17, n. 17, p. 52-55, jul. 2005.

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, Curitiba, v. 22, n. 2, p. 309-321, mar./abr. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01036513201200200011&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 14 ago. 2020.

SAVOVA, D.; APAK, E.; EKINCI, E.; YARDIM, F.; PETROV, N.; BUDINOVA, T.; RAZVIGOROVA, M.; MINKOVA, V. Biomass conversion to carbon adsorbents and gas. **Biomass and Bioenergy**, v. 21, p. 133, ago. 2001.

SILVA, S. V. T. O. **Resíduos de coco, acerola e caju para produção de carvão ativado**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/644/1/ricardo_vandre_trotsky_oliveira_silva.pdf. Acesso em 19 ago. 2020.

SILVA, T. H. G.; STROHER, G. R.; STROHER, G. L. Avaliação do uso de casca de coco verde para a produção de carvão vegetal. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2019, Uberlândia. **Anais do COBEQ IC 2019**. Uberlândia: UFU, 2019.

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 (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=10607@1>. Acesso em: 14 fev. 2020.

ZUIM, D. R.; CARPINÉ, D.; DISTLER, G. A. R.; SCHEER, A. P.; MAFRA, L. I.; MAFRA, M. R. Adsorption of two coffee aromas from synthetic aqueous solution onto granular activated carbon derived from coconut husks. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 284–292, mai. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877410006114>. Acesso em: 14 out. 2020.