



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04  
de dezembro 2020

## Isotermas de Langmuir e Freundlich em carvões vegetais

**Letícia Bittencourt Melani**

Coordenação de Engenharia Química - UTFPR

**Gisely Luzia Ströher**

Coordenação de Química – UTFPR

**Gylles Ricardo Stroher**

Coordenação de Engenharia Química – UTFPR

**Resumo:** Visando a redução de resíduos sólidos, especialmente as cascas de coco verde, este trabalho propõe a viabilidade da transformação do mesocarpo do fruto em carvão vegetal através da análise das isotermas de Langmuir e Freundlich para o carvão de casca de coco verde (CCC) e para o carvão ativado comercial (CAC) com massas distintas de aproximadamente 4,0000 g (A) e 0,2000 g (B), resultando assim em 4 ensaios diferentes: CCCA, CCCB, CACA e CACB. Os dados experimentais das isotermas foram obtidos usando padrão primário (ácido oxálico) em determinações volumétricas com hidróxido de sódio. Os resultados obtidos a partir da obtenção do equilíbrio nas amostras apontaram desempenhos satisfatórios para o uso do ácido oxálico nas amostras. As análises de CCCA e CACA que utilizaram massas maiores de adsorvente, em relação à CCCB e CACB atingiram atividades semelhantes na quantidade de ácido oxálico adsorvida por grama de carvão, contribuindo para um menor uso de adsorvente o que implica na diminuição de custos. Entretanto, a amostra de CCCB demonstrou melhores quantidades máximas de adsorção do ácido oxálico.

**Palavras-chave:** Isotermas de Langmuir, isotermas de Freundlich, carvão vegetal, casca de coco.

## Langmuir and Freundlich isotherms in charcoal

**Abstract:** Aiming at reducing solid residues, especially green coconut shells, this work proposes the transformation viability of the fruit mesocarp into charcoal by analyzing Langmuir and Freundlich isotherms for green coconut shell (CCC) and commercial activated charcoal (CAC) with distinct masses of approximately 4.0000 g (A) and 0.2000 g (B), resulting in 4 different tests: CCCA, CCCB, CACA and CACB. The experimental data of isotherms were obtained using primary pattern (oxalic acid) in volumetric determinations with sodium hydroxide. The results found from the obtained equilibrium in the samples indicated satisfactory performances for the use of oxalic acid in the samples. The analyses of CCCA and CACA that used larger masses of adsorbent, in relation to CCCB and CACB, achieved similar activities in the amount of oxalic acid adsorbed per gram of coal, contributing to a lower use of adsorbent, which implies a reduction in costs. However, the CCCB sample demonstrated better maximum amounts of oxalic acid adsorption.

**Keywords:** Langmuir isotherms, Freundlich isotherms, charcoal, coconut shell.

## 1. Introdução

O setor químico e outras áreas como a de combustíveis, medicina e a cosmética empregam o carvão ativado como uma ferramenta indispensável aos seus diferentes objetivos. O interesse neste produto se deve a sua excelência em adsorção (MORAIS, 2014).

A adsorção, fenômeno físico-químico onde gases e líquidos são transferidos para uma superfície sólida, pode ser aplicada em diversos fins, que vão desde os mais delicados como o branqueamento dos dentes, limpeza de pele, purificação do ar até tratamentos mais duros como o de águas e efluentes (MURANAKA, 2010).

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

O Brasil se destaca por ser o quarto maior produtor de coco verde no mundo, de onde é extraído o principal produto de maior valor comercial, a água de coco (JORNAL ESTADO DE MINAS, 2018).

Com a chegada do verão, o consumo da água de coco verde se torna um grande problema para a saúde pública, uma vez que nessa estação, o número de casos de doenças transmitidas por mosquitos que precisam de água parada para se reproduzirem, como o *Aedes aegypti*, são maiores do que em qualquer outra época do ano, já que a casca desse fruto desempenha a função de reservatório para a proliferação dessas espécies (BBC BRASIL, 2015).

O carvão vegetal de casca de coco verde é uma saída sustentável para um resíduo sólido constituído em média por 70% da massa do fruto comercializado. A casca se transformando em combustível ou em aplicações com maior valor agregado transforma a sociedade que o comercializa desde os trabalhadores rurais até o consumidor final (BBC BRASIL, 2014).

O tempo necessário para a decomposição da casca de coco é aproximadamente oito anos, ou seja, durante todo esse tempo, o rejeito atua como reservatório para a proliferação de insetos transmissores de doenças, afetando população que vive na região (CARRIJO *et al.*, 2002).

É válido ressaltar que as indústrias de envasamento de água de coco geram um maior volume de rejeitos do fruto que corroboram para maior desequilíbrio ambiental (CARRIJO *et al.*, 2002).

O Brasil é responsável por grande parte da produção mundial de carvão vegetal, onde aproximadamente 75% desse material é produzido artesanalmente em condições precárias, sendo a principal matéria prima a mata nativa (SANTOS e HATAKEYAMA, 2012).

O emprego do endocarpo do coco na geração de carvão vegetal une a sustentabilidade, ciência e a saúde pública a fim de solucionar problemas como a destinação indevida do fruto, minimizar focos de mosquitos e evitar que árvores sejam derrubadas para que a madeira seja utilizada como matéria prima em carvoarias (SANTOS e HATAKEYAMA, 2012).

O baixo custo, a alta disponibilidade, a simplicidade do processo de carbonização, o uso de uma matéria prima reciclada e o valor agregado ao produto final são grandes vantagens adicionais do uso desse substrato (SANTOS e HATAKEYAMA, 2012).

Os adsorventes comerciais como o carvão ativado podem possuir área superficial específica de 600 – 1200 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, valores similares também são encontrados na sílica gel (600 – 800 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>) enquanto a alumina ativada apresenta valores inferiores (200 – 500 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>) (SANTIAGO *et al.*, 2005).

A avaliação da real capacidade de adsorção de um material pode ser realizada com isotermas. Os parâmetros necessários para fazer essa estimativa são obtidos através de procedimentos experimentais simples, que misturam elementos a serem adsorvidos com o adsorvente (carvão) até o equilíbrio ser atingido (MURANAKA, 2010).

As isotermas podem ser definidas como a curva que associa a quantidade de substância adsorvida com a massa inicial do adsorvente em questão a partir da concentração restante de adsorvato durante o equilíbrio. Duas das isotermas mais conhecidas são as isotermas de Langmuir e Freundlich (MURANAKA, 2010).

Langmuir se baseia na teoria da adsorção aplicada a superfícies homogêneas, onde há a formação de uma camada monomolecular, fundamentando-se na ideia de que a energia é distribuída igualmente para todos os sítios e que cada sítio ativo acomoda apenas uma unidade adsorvida (MORAIS, 2014).

A isoterma de Langmuir é definida através da seguinte equação:

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

Onde  $K_L$  é a constante de Langmuir,  $C_e$  é a concentração de adsorvato no equilíbrio,  $Q_m$  é a constante relacionada à energia de adsorção e  $Q_e$  é a relação da quantidade de adsorvato sobre o adsorvente no equilíbrio (FERNANDES, 2008; ATKINS e PAULA, 2008).

O modelo de Langmuir apresenta o parâmetro de equilíbrio ( $R_L$ ) que aponta uma adsorção favorável quando os valores estão entre zero e um (FERNANDES, 2008).

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

Por outro lado, o modelo de Freundlich leva em conta aspectos opostos ao modelo anterior como a distribuição logarítmica de sítios ativos e a presença de multicamadas heterogêneas (MORAIS, 2014; ATKINS e PAULA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O modelo de Freundlich é dado pela seguinte equação:

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

Onde  $K_F$  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).

## 2. Materiais e métodos

As amostras empregadas neste trabalho são de carvão vegetal comercial (CAC) e os preparados pela metodologia de SILVA *et al.*, 2019 que utilizou cascas de coco verde como matéria-prima para obtenção do produto (CCC).

As amostras de carvões (CAC e CCC) foram secadas em estufa *New Lab, AR NL 82-150*, a 105°C durante 4h, segundo a metodologia da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1998) antes de serem submetidas a qualquer procedimento experimental.

As isotermas foram encontradas com diferentes concentrações de padrão primário (ácido oxálico) e quantificadas por titulações volumétricas com hidróxido de sódio (PERRY, 1988; VALENCIA, 2007).

Os testes foram realizados em amostras de CAC e em CCC com massas de aproximadamente 4,0000 g (A) e 0,2000 g (B), totalizando quatro ensaios (CACA, CCCA, CACB e CCCB). Tanto nos experimentos com maior massa de carvão (A) e com menor massa (B) foram adicionadas em diferentes *erlenmeyers* quantidades distintas das soluções iniciais de ácido oxálico (0,250 mol.L<sup>-1</sup> e 0,012 mol.L<sup>-1</sup>, respectivamente) afim de se obter os resultados necessários para as isotermas de Langmuir e Freundlich em um volume de 100 mL, conforme mostra a tabela 1.

**Tabela 1 – Volume de solução em cada experimento**

Ensaio	Tabela 1 – Volume de solução em cada experimento		Água (mL)
	CACA e CCCA	CACB e CCCB	
	Volume de ácido oxálico 0,25 mol.L <sup>-1</sup> (mL)	Volume de ácido oxálico 0,012 mol.L <sup>-1</sup> (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 enumerados e lacrados. Os experimentos ocorreram sob agitação durante 1 h a 200 rpm em incubadora de agitação orbital, *Cienlab, CE 725*, e foram posteriormente colocados em repouso por 15 horas para que o equilíbrio fosse atingido.

Filtraram-se as amostras (descartando os primeiros 5 mL) e alíquotas de 10,00 mL foram tituladas com hidróxido de sódio utilizando o indicador fenolftaleína (PERRY, 1988; VALENCIA, 2007).

### 3. Resultados e discussão

As amostras de CCCA e CACA que possuíam massas maiores de adsorvente (4,0000 g) em relação à CCCB e CACB (0,2000 g) atuaram de forma semelhante em relação à quantidade de ácido oxálico adsorvido por grama de carvão. Com isso se pode sugerir que estudos futuros empreguem uma massa de 0,2000 g sem comprometimento de resultados corroborando para a melhoria dos custos, conforme mostra a Tabela 2.

Os ensaios foram realizados com massas distintas de carvões vegetais, pois a ASTM (2000) aceita que valores acima de 100 mg.L<sup>-1</sup> de adsorvato utilizem volume de 100 mL de amostra com massas de carvão entre 0,05 – 10,0 g.

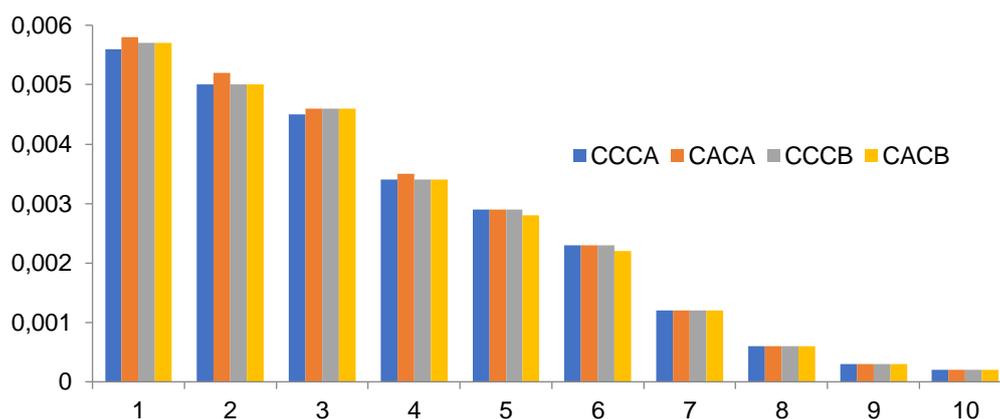
**Tabela 2 – Quantidade de ácido oxálico adsorvido por grama de carvão ( $Q_e$ ) nos 10 ensaios**

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)

A Figura 1 facilita a visualização dos dados apresentados na Tabela 2.

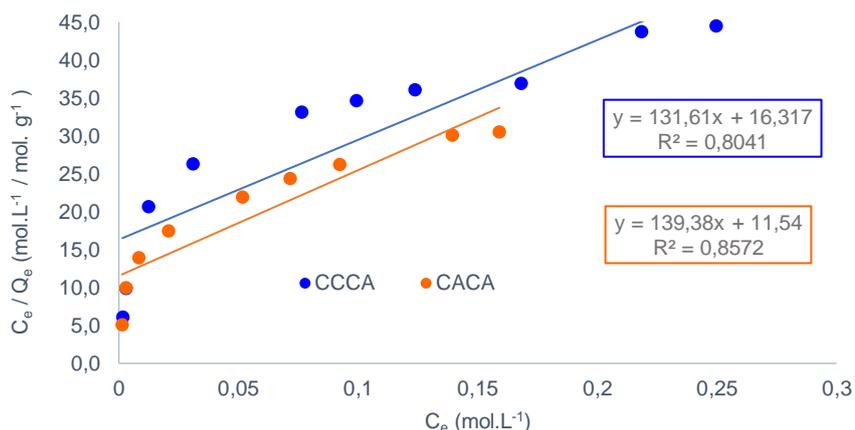
**Figura 1 – Comparativo da quantidade de ácido oxálico adsorvido por grama de carvão ( $Q_e$ ) nos 10 experimentos**



Fonte: Autoria própria (2020)

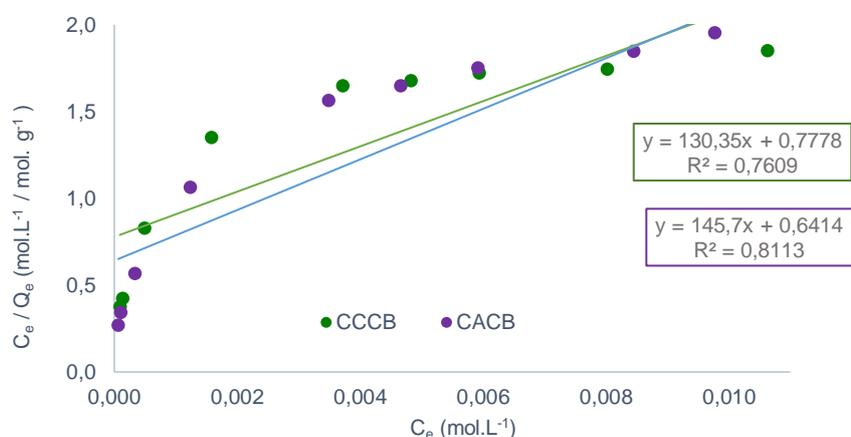
As isotermas de Langmuir típicas em materiais microporosos com adsorção química para os experimentos CCCA com a CACA e CCCB com CACB, estão representadas, respectivamente, nas Figuras 1 e 2.

**Figura 2 – Isotermas de Langmuir nas amostras CCCA e CACA**



Fonte: Autoria própria (2020)

**Figura 3 – Isotermas de Langmuir nas amostras CCCB e CACB**



Fonte: Autoria própria (2020)

Essas isotermas, indicam que o adsorvato e adsorvente (ácido oxálico e carvão) têm afinidade e podem ser relacionadas com adsorção em microporos devido à primeira região da curva apresentar-se altamente vertical (formação da monocamada) seguida ao *plateau* (saturação limite correspondente ao enchimento dos microporos) característicos das isotermas descritas por Langmuir (BRUNAER *et al.*, 1938; HAMADAQUI e NAFFRECHOW, 2007).

Segundo SILVA (2015) os microporos ( $d < 2$  nm) são capazes de proporcionar alta performance de adsorção para gases e solventes comuns.

Através dos resultados, foi possível obter os parâmetros das isotermas.

**Tabela 3 – Principais parâmetros obtidos pela isoterma de Langmuir**

Parâmetro	CCCA	CACA	CCCB	CACB
$Q_m$ (mol.g <sup>-1</sup> )	$7,6 \times 10^{-3}$	$7,2 \times 10^{-3}$	$7,7 \times 10^{-3}$	$6,9 \times 10^{-3}$
$K_L$	8,07	12,08	167,59	227,16
$R_L$	$4,7 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$

Fonte: Autoria própria (2020)

As quantidades máximas de ácido oxálico adsorvido foram próximas em todos os

experimentos deste trabalho, sendo o maior valor em CCCB ( $7,7 \times 10^{-3} \text{ mol.g}^{-1}$ ) e o menor em CACB ( $6,9 \times 10^{-3} \text{ mol.g}^{-1}$ ).

Os resultados obtidos para os parâmetros de equilíbrio ( $R_L$ ) evidenciam que a adsorção se comportou de maneira satisfatória em todos os experimentos (FERNANDES, 2008).

A área superficial encontrada neste trabalho com carvões de casca de coco verde (CCC) foi próxima à área obtida com o carvão feito com casca de amêndoas ( $998 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) no trabalho de SAVOVA *et al.* (2001), conforme mostra a Tabela 4.

**Tabela 4 – Área superficial do carvão ( $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ )**

Amostra	Área de carvão ( $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ )
CACA	907,02
CACB	867,67
CCCA	960,54
CCCB	969,85

**Fonte: Autoria própria (2020)**

Os ensaios realizados com o carvão de casca de coco obtiveram área média ( $965,20 \pm 6,58 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) superior aos realizados com carvão ativado comercial ( $887,35 \pm 27,82 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ).

A área superficial deste trabalho (CCC) foi próxima à área obtida com carvão de casca de amêndoas  $998 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  no trabalho de SAVOVA *et al.* (2001).

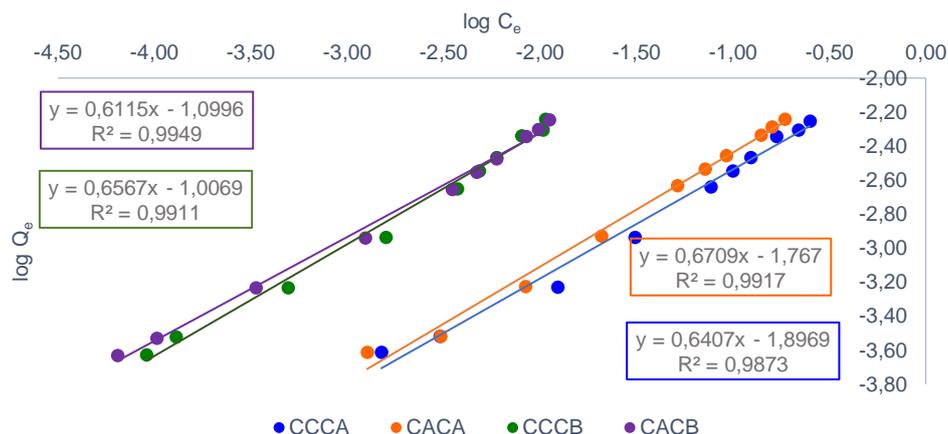
Os carvões de cascas de nozes sem ativação ( $408 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) e ativados com  $\text{ZnCl}_2$  ( $427 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) apresentados no trabalho de COSTA *et al.* (2015) obtiveram área superficial inferior à média dos dados deste trabalho nos carvões de casca de coco verde (CCC) que foram iguais a  $965,20 \pm 6,58 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ .

ZUIM *et al.* (2011) trabalhou com carvão de casca de coco ativado com  $\text{CO}_2$  obtendo valores de  $772,0 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  de área superficial. Valor este 20% inferior à média ( $965,20 \pm 6,58 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) deste trabalho que empregou a mesma matéria-prima sem ativação.

No entanto, o trabalho de Macedo *et al.*, (2006), com carvão de casca de coco seguido de ativação com  $\text{ZnCl}_2$  obteve área superficial de  $1884 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ . Valor este bem acima ao deste estudo com CCC.

Usualmente aplicada à adsorção de solutos sobre sólidos a partir de soluções líquidas, a isoterma de Freundlich forneceu melhores valores de coeficiente de correlação nos experimentos estudados, conforme mostra a Figura 3.

**Figura 4 – Isoterma de Freundlich aplicada aos ensaios**



Fonte: Autoria própria (2020)

As isotermas de Freundlich forneceu melhores valores de coeficiente de correlação nos experimentos estudados, conforme mostram as figuras 4 e 5 e a tabela 5.

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

Parâmetro	CCCA	CACA	CCCB	CACB
$K_F (10^{-2} \text{ mol.g}^{-1})$	1,3	1,7	10	80
$n$	1,56	1,49	1,52	0,61
$R^2$	0,9873	0,9917	0,9911	0,9949

Fonte: Autoria própria (2020)

Os parâmetros de Freundlich dependem de diversos fatores experimentais. Os valores de  $n$  acima de 1, como mostra a Tabela 5, demonstram que a adsorção neste estudo se comportou de maneira satisfatória.

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

#### 4. Conclusão

Este estudo realizou a análise das isotermas de Langmuir e Freundlich em carvão vegetal produzido com casca de coco verde (CCC) e em carvão ativado comercialmente (CAC).

Os resultados deste estudo no equilíbrio das isotermas de Langmuir e Freundlich demonstraram um comportamento satisfatório tanto nas amostras de CCC quanto nas de CAC.

Os ensaios CCCA e CACA que utilizaram massas maiores de adsorvente (4,000 g) em relação à CCCB e CACB com massas menores (0,2000 g) obtiveram desempenhos semelhantes na quantidade de ácido oxálico adsorvida por grama de carvão. O que corrobora para um uso menor de adsorvente em estudos futuros melhorando os custos.

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

## 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](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\\_abre\\_pai](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/02/140207_coco_reciclagem_abre_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, 2002.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de Turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Florianópolis, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina.

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, 2015.

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**. João Pessoa, 2008. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba.

HAMDAOUI, O.; NAFFRECHOW, 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. 401, 2007.

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,95085/5/a-sede-por-agua-de-coco-estimula-producao-brasileira.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/2018/04/11/interna_internacional,95085/5/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, 2006.

MONTES, V. HILL, J. M. Activated carbon production: Recycling KOH to minimize waste. **Materials Letters**, v. 220, p. 238 – 240, 2018.

MORAIS, E. D. **Produção de carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (cocosnuciferalinn) utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COONa e KOH como ativantes**. Natal, 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MURANAKA, C. T. **Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para tratamento de efluentes contendo fenol**. São Paulo, 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

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

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, 2012.

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, 2001.

SILVA, S. V. T. O. **Resíduos de coco, acerola e caju para produção de carvão ativado**. Recife, 2015. Dissertação de mestrado (Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco.

SILVA, T. H. G.; STROHER, G. R.; STROHER, G. L. Avaliação do uso de casca de coco verde para a produção de carvão vegetal. Uberlândia: UFU. **Anais do XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 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**, Rio de Janeiro, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais) - Pontifícia Universidade Católica.

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, 2011.

