

BIOCHAR PRODUZIDO A PARTIR DE LIGNINA COM APLICAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES

**LUIS VINICIO DILELIO RODRIGUES JUNIOR¹; MAICON OLIVEIRA LUIZ²;
PAULO RENATO DA SILVA WESTPHAL³; CLAUDIA FERNANDA
LEMONS DA SILVA⁴; JULIANA SILVA LEMÕES⁵; RUBIA FLORES
ROMANI⁶**

¹Universidade Federal de Pelotas – junior1234dilelio@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – maicon.oliveiraaluz@gmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas – paulwesthal@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – lemosclau@gmail.com

⁵Universidade Federal de Rio Grande – julianalemoes@yahoo.com.br

⁶Universidade Federal de Pelotas – fgrubia@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

A lignina residual proveniente da produção de etanol de segunda geração tem se destacado como uma matéria-prima de baixo custo e alto potencial para a produção de biochar (SILVA et al., 2022). É a fonte natural mais abundante de aromáticos e sua valorização oferece uma oportunidade incomparável para a química verde e a economia circular (MILLOTTI et al., 2020).

O biochar pode apresentar características promissoras como adsorvente (WANG et al., 2020), no entanto, as propriedades específicas dependem em grande parte do processo de ativação empregado na preparação. Apesar do interesse nesta matéria prima como alternativa de baixo valor para aplicação como adsorventes de contaminantes em matrizes aquosas, os estudos ainda são incipientes para a aplicação em larga escala, com desafios que requerem otimização dos custos de síntese.

Como alternativa, a síntese de biochar a partir da lignina sem ativação química, seria uma opção que reduziria etapas do processo, insumos e impactos ambientais. Entre os principais desafios estão a obtenção de alta eficiência adsorvente por rotas térmicas. Diante disto, o objetivo deste estudo é investigar uma rota de síntese com maior viabilidade econômica, para a valoração de lignina residual de segunda geração, com aplicabilidade para o tratamento de efluente.

2. METODOLOGIA

A lignina utilizada foi oriunda do processo de pré-tratamento alcalino da produção de etanol de segunda geração do arundo (*Arundo donax* L.) e da palha do arroz (LEMÕES et al., 2018), a partir do licor negro gerado no pré-tratamento da biomassa (BES et al., 2019). O material foi separado por filtração a vácuo, lavado e seco a 40°C. Posteriormente, o precursor foi macerado, peneirado (200 mesh) e acondicionado em cadinhos de porcelana. Os cadinhos foram submetidos ao tratamento térmico em forno mufla, com rampa de aquecimento de 10 °C/min até a temperatura de 500 °C. Essa temperatura foi mantida por 120 minutos, *overnight*. O material obtido foi denominado LL500.

Antes e após o tratamento térmico, as amostras foram pesadas individualmente para controle de rendimento (equação 1), equalizadas, maceradas e peneiradas (200 mesh), para uniformização granulométrica.

$$r = \frac{m_1}{m_2} * 100 \quad (1)$$

Sendo:

r= rendimento (%)

m₁= massa obtido após processo

m₂= massa inicial utilizada no processo

O composto orgânico modelo utilizado foi o corante azul de metileno (número de registro do Chemical Abstracts Service 61-73-4)), vastamente utilizado em estudos de remoção de compostos orgânicos de soluções aquosas. Para determinação de cor, as amostras foram previamente filtradas em membrana PVDF 0,45µm (Millipore) e analisadas espectrofotometricamente (UV-1650 PC, Shimadzu), no máximo comprimento de onda (λ_{max}=600nm), característico do corante.

As isotermas de adsorção da solução corante de azul de metileno sobre o LL500 foram determinadas pelo método estático, em temperaturas controladas de 20, 25 e 30 °C. Testes preliminares indicaram que o tempo de contato de 24 horas era suficiente para que o equilíbrio termodinâmico fosse estabelecido. Soluções aquosas de azul de metileno (150 mL) com concentração inicial de 200 mg·L⁻¹ foram colocadas em frascos de Erlenmeyer contendo massas de biochar de 0,025; 0,05; 0,10; 0,25; 0,50 e 1,00 g, sob agitação constante em agitador orbital (SOLAB, incubadora bancada, Saker SL-22T) e temperatura controlada, conforme ASTM 3860 (1998). Após o equilíbrio, os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Freundlich (equações 2 e 3 (forma linearizada)) e Langmuir (equações 4 e 5 (forma linearizada)), a fim de avaliar o comportamento da adsorção.

$$q_e = K_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

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

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (4)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L \cdot q_{max}} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad (5)$$

Sendo:

q_e= quantidade de soluto adsorvido

C_e= concentração de equilíbrio em solução

1/n= constante relacionada à heterogeneidade da superfície

K_F= constante de capacidade de adsorção de Freundlich

q_{max}= capacidade máxima de adsorção de Langmuir

K_L= constante de capacidade de adsorção de Langmuir

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos rendimentos (Tabela 1) estão diretamente associados ao tratamento a temperaturas elevadas, que intensificam a liberação de compostos voláteis durante o processo de carbonização. Os valores semelhantes (Tabela 1) evidenciam a reprodutibilidade do processo de ativação.

Tabela 1: Rendimento das ativações com temperatura a 500°C/120 min

Nº da ativação	Rendimento após ativação
1	34,31%
2	33,47%

Os resultados das isotermas de adsorção da solução corante na presença do LL500 estão apresentados na Figura 1.

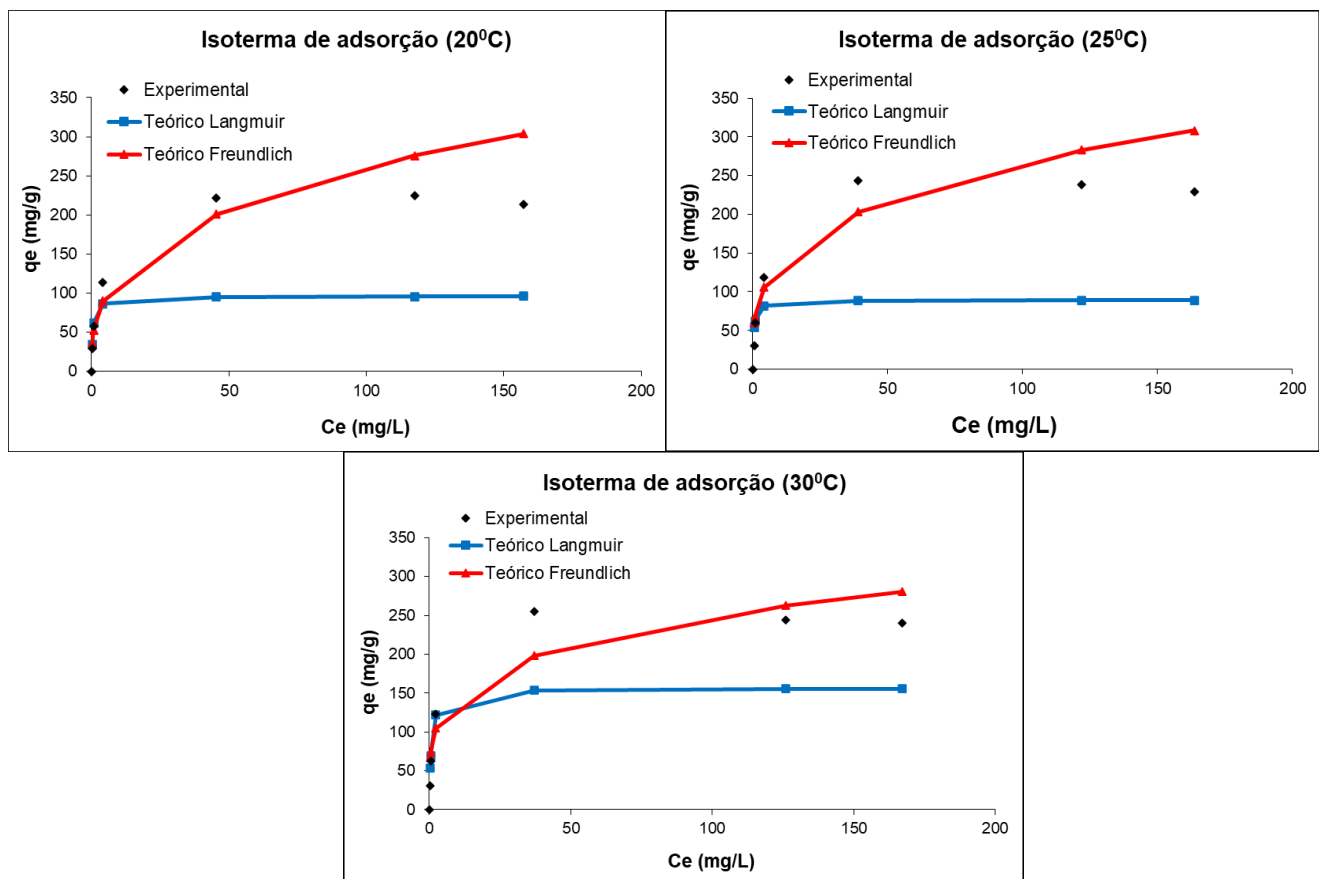


Figura 1: Isotermas de adsorção experimentais e teóricas ajustadas aos modelos de Langmuir e Freundlich em diferentes temperaturas.

Observa-se (Figura 1) que o modelo de Freundlich apresentou melhor ajuste aos dados experimentais em comparação ao de Langmuir. Esse resultado indica que a adsorção ocorreu de forma heterogênea, com a presença de sítios de diferentes energias e possibilidade de formação de multicamadas, características contempladas pelo modelo de Freundlich (MELO et al., 2014). Os resultados mostraram que a capacidade máxima foi crescente com o aumento de temperatura, com valores de 130; 145 e 153 mg.g^{-1} , respectivamente para 20, 25 e 30 °C.

HAMAD et. al., (2022), em condições semelhantes (adsorvente à base de lignina funcionalizada pelo método ácido em solução corante verde reativo) também reportaram isoterma de adsorção em multicamadas, com valores

dependentes a temperatura, no entanto a quantidade adsorvida decresceu com o aumento da temperatura, demonstrando adsorção exotérmica.

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que o biochar obtido a partir de lignina residual da indústria de etanol de segunda geração apresenta potencial como adsorvente no tratamento de efluentes. As isotermas apresentaram adsorção em multicamadas, evidenciando a complexidade e a afinidade da superfície do material com a do contaminante, reforçando a viabilidade técnica. O trabalho demonstra uma oportunidade para a valorização de um subproduto industrial abundante e de baixo custo, como alternativa sustentável e economicamente competitiva.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM INTERNATIONAL. **Standard Guide for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique**. ASTM D3860-98. West Conshohocken, 1998.

BES, K.; LEMÕES, J. S.; SILVA, C. F. L.; SILVA, S. D. A. Extração e caracterização da lignina proveniente do pré-tratamento de biomassa para produção de etanol de 2ª geração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 55-60, 2019.

HAMAD, H. A.; ABDELHAFEZ, S. E.; ELSENETY, M. M.; SOROUR, M. K.; AMIN, N. K.; ABDELWAHAB, O.; EL-ASHTOUKHY, E.-S. Z. Fabrication and characterization of functionalized lignin-based adsorbent prepared from black liquor in the paper industry for superior removal of toxic dye. **Fuel**, v. 323, p. 124288, 2022.

LEMÕES, J. S.; SILVA, C. F. L.; AVILA, S. P. F.; MONTERO, C. R. S.; SILVA, S. D.A.; SAMIOS, D.; PERALBA, M. C. R. Chemical pretreatment of *Arundo donax* L. for second-generation ethanol production. **Electronic Journal of Biotechnology, Amsterdam**, v.31, p.67-74, 2018.

MELO, D. Q. Modelos de isotermas de adsorção: Langmuir e Freundlich. In: NASCIMENTO, R. F. (Org.). **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2014. p. 137-145.

MILIOTTI, E.; ROSI, L.; BETTUCCI, L.; LOTTI, G.; RIZZO, A, M.; CHIRAMOTI, D. Characterization of chemically and physically activated carbons from lignocellulosic ethanol lignina-rich stream via hydrothermal carbonization and slow pyrolysis pretreatment. **Energies**, v. 13, n. 4101, p. 1-16, 2020.

SILVA, C. F. L.; LEMÕES, J. S.; ROMANI, R. F.; OLIVEIRA, W. G.; LEITE, G. F. Activated carbon from residual lignin used for color removal. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 233, n. 177, p 1-1,2022.

WANG, B.; RAN, M.; FANG, G.; WU, T.; NI, Y. Biochars from lignina-rich residue of furfural manufacturing process for heavy metal ions remediation. **Materials**, v. 13, n. 1037, p. 1-29, 2020.