

## PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA PALHA DE AZEVÉM PARA ADSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL

### **ACTIVATED CARBON PRODUCTION FROM THE RYEGRASS STRAW FOR TEXTILE DYE ADSORPTION**

Elenara Oliveira da Silva<sup>1</sup>  
Taís Douglas Andrade<sup>2</sup>  
Emanuelle Burato de Araujo<sup>3</sup>  
Ricardo Zottis<sup>4</sup>  
André Ricardo Felkl de Almeida<sup>5</sup>

**Resumo:** O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado para o tratamento de efluentes industriais, como os do setor têxtil que apresentam grandes quantidades de corantes. Porém, ele pode apresentar um elevado custo e há uma busca constante por materiais alternativos que possam ser utilizados como precursores para sua produção. Sendo assim, este trabalho objetivou a produção de carvão ativado a partir da palha de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), um resíduo agrícola muito comum no Rio Grande do Sul, para o tratamento de efluente com corante. O carvão ativado foi produzido por meio de ativação química com NaOH e pirólise em atmosfera inerte na temperatura de 420°C. O carvão foi caracterizado fisicamente e realizou-se o estudo de cinética e isotermas para a adsorção com o corante azul de metileno. Foram ajustados os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e difusão intrapartícula e os modelos de isotermas de Freundlich, Redlich-Peterson e Sips. O carvão produzido apresentou uma área superficial de 29,9 m<sup>2</sup>/g. Os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem apresentaram bons ajustes. A capacidade máxima de adsorção foi obtida com o modelo de Sips, apresentando um valor de 25,73 mg/g. Obteve-se uma eficiência de remoção do corante de até 99%.

**Palavras-chave:** Adsorvente; Ativação química; Azul de metileno.

*Abstract: Activated carbon widely used in industry effluents treatment, such as in the textile sector that have a large quantity of dyes. However, it can have a high cost e there is a constant search for alternative materials that*

- 1 Pós-graduanda em Engenharia, Universidade Federal do Pampa.
- 2 Graduanda em Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa.
- 3 Graduanda em Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa.
- 4 Mestre em Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa.
- 5 Doutor em Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa.

*can be used as precursors to the activated carbon production. Therefore, this article aims the production of activated carbon from the ryegrass straw (*Lolium multiflorum* Lam.), an agricultural residue very common in the Rio Grande do Sul state, for the treatment of a dyed effluent. The activated carbon was produced by chemical activation with NaOH e pyrolysis in inert atmosphere e was realized the study of adsorption kinetics and isotherms with methylene blue dye. The pseudo first-order, pseudo second-order e intraparticle diffusion kinetics models and the Freundlich, Redlich-Peterson and Sips isotherms models were adjusted. The produced activated carbon shown a surface area of 29.9 m<sup>2</sup>/g. Both the pseudo first-order and pseudo second-order kinetics models had the better adjustment with the experiment. The maximum adsorption capacity was obtained with the Sips isotherm model, with a value of 25.75 mg/g. The efficiency in the removal of the dye was high as 99%.*

*Keywords: Adsorbent; Blue methylene; Chemical activation.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Os carvões ativados são materiais carbonáceos que possuem ampla aplicação em processos industriais. São utilizados principalmente como adsorventes para remoção de compostos orgânicos e espécies tóxicas de efluentes (CORAPCIOGLU e HUANG, 1987; MANGUEIRA, 2014).

A adsorção merece destaque como um dos procedimentos mais eficientes na remoção dos corantes sintéticos de efluentes têxteis. Estes corantes necessitam de um tratamento adequado, visto que apresentam uma estrutura molecular aromática complexa e são prejudiciais ao meio ambiente e ao ser humano (PAVAN *et al.*, 2007; CARDOSO, 2010).

A adsorção consiste na transferência do soluto de um fluido para uma superfície sólida. A espécie que se acumula na interface do material é denominada de adsorvato e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula de adsorvente. A aplicação de carvões ativados nesse processo se justifica devido a sua grande porosidade, alta área superficial e grupos superficiais funcionais com uma grande afinidade para muitos adsorvatos, além de sua capacidade de reter moléculas de diferentes tamanhos, sem modificar a composição química das substâncias com as quais entra em contato (RUTHVEN, 1984; AVELAR *et al.*, 2010).

A produção de novos carvões a partir de diferentes matérias-primas, visa minimizar a relação custo/benefício. Assim, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de se obter os adsorventes de matéria-prima de baixo custo originada, sobretudo, de resíduos agrícolas e rejeitos industriais com pouca ou nenhuma aplicação (SUÁREZ-GARCÍA *et al.*, 2002; ROCHA, 2006).

Dentre esses resíduos agrícolas, tem-se a palha de azevém, que é amplamente produzido no Rio grande do Sul. O azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) é uma gramínea forrageira de clima temperado, utilizada mundialmente em pastagens anuais ou como componente de pastagens perenes (LUCCA-FILHO *et al.*, 1999; FONTANELI *et al.*, 2012). Do ponto de vista da produção de sementes para a comercialização, após a colheita do azevém, uma grande quantidade de matéria seca (palha) é deixada no campo e não possui um valor comercial.

Em vista disso, o presente trabalho busca aproveitar um resíduo agrícola, a palha de azevém, para a produção de carvão ativado, caracterização e aplicação como adsorvente de efluente têxtil.

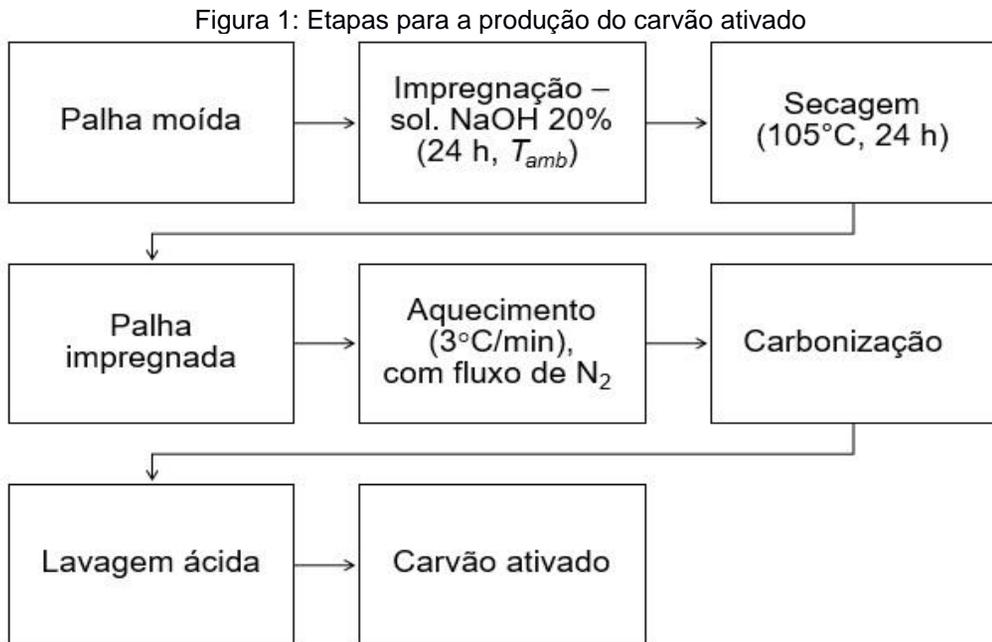
## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO**

A palha de azevém utilizada como matéria-prima precursora para a produção do carvão ativado foi obtida na EMBRAPA/Pecuária Sul, localizada em Bagé. O material foi previamente moído em moinho de facas.

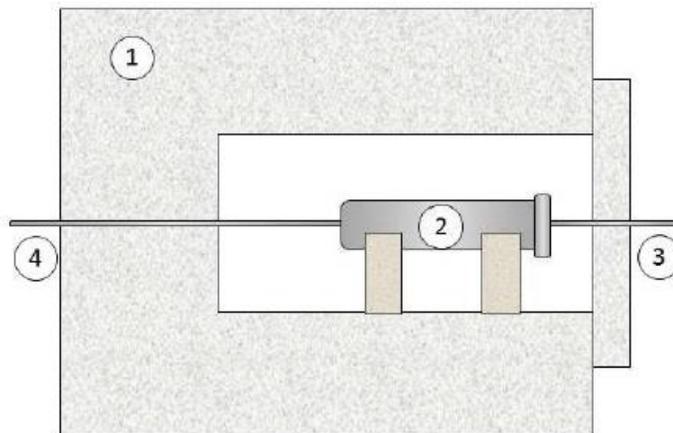
O carvão foi produzido por meio de ativação química, utilizando-se como agente ativante uma solução de NaOH 20% (m/v). A palha moída foi impregnada com a solução de NaOH numa proporção 3:1 NaOH/precursor, em massa. Este material ficou em repouso por 24 h e, posteriormente, foi seco em estufa a 105°C por 24 h. Na Figura 1 é apresentado o fluxograma com as etapas de produção do carvão ativado. Após a secagem, o material foi macerado e inserido no reator para a realização da carbonização a 420°C em atmosfera inerte de nitrogênio. Em seguida, o carvão foi neutralizado com uma solução ácida de HCl 37%. O reator utilizado tem a

capacidade de 481 cm<sup>3</sup> e é acoplado a um forno mufla, como ilustrado pela Figura 2.



Fonte: Autores, 2018

Figura 2: Equipamento utilizado, onde (1) forno mufla; (2) reator tubular em aço inox; (3) entrada de N<sub>2</sub>; (4) saída dos gases de pirólise



Fonte: Autores, 2018

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

O carvão produzido foi caracterizado quanto ao diâmetro de partícula ( $d_p$ ), massa específica real ( $\rho_r$ ) e *bulk* ( $\rho_b$ ), porosidade do leito de partículas ( $\epsilon$ ), análise imediata com os teores de umidade ( $U_{bu}$ ), cinzas ( $C_Z$ ), material

volátil ( $M_V$ ) e carbono fixo ( $C_F$ ), análise térmica (TGA) e área superficial específica ( $S$ ) e morfologia.

O  $dp$  foi obtido por análise com Granulômetro (CILAS, 1190 L). Os valores de  $\rho_r$  foram obtidos por meio de picnometria gasosa (ULTRAPYC 1200e, Quantachrome Instruments). O gás inerte utilizado foi o hélio (pureza 6.0) a uma pressão de 17,5 psig. Já, os valores de  $\rho_b$  foram obtidos por ensaio de proveta. A  $\epsilon$  foi calculada a partir da relação entre  $\rho_r$  e  $\rho_b$ .

A análise imediata foi realizada de acordo com as normas AOAC (1997), e ASTM D1762 – 84. A análise termogravimétrica foi realizada em uma termobalança (Shimadzu, TGA – 50), em atmosfera de nitrogênio gasoso a 50 mL/min, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min com um aquecimento até 600°C.

A área superficial específica foi obtida pelo método de BET (Brunauer - Emmet - Teller) com analisador de área superficial (modelo NOVA 4200e, Quantachrome Instruments). Este método utiliza a adsorção física de  $N_2$  (gasoso) em diversas pressões a temperatura de 77 K. A amostra foi desgaseificada a 100°C por 14h.

Foram obtidas imagens em microscópio estéreo (MOTIC K SERIES) para visualização da morfologia.

### 2.3 ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Foram utilizadas 8 amostras em duplicata para todos os ensaios e soluções com o corante têxtil azul de metileno. Para a cinética de adsorção utilizou-se 0,5 g do carvão em 25 mL de solução na concentração de 150 mg/L. As amostras foram colocadas em mesa agitadora em diferentes tempos de contato (0, 2, 5, 10, 30, 45, 60, 75 e 90 min) a 150 rpm. Posteriormente, foram centrifugadas por 20 min a 3000 rpm e medidas as absorbâncias em espectrofotômetro UV-Vis a 660 nm. A concentração remanescente do corante em solução foi calculada a partir da curva de calibração, obtida previamente.

Para o ensaio de isotermas foram utilizadas diferentes concentrações de solução do azul de metileno (50, 100, 150, 200, 250, 300, 400 e 500 mg/L). Foram pesados 0,5 g do carvão e colocadas em

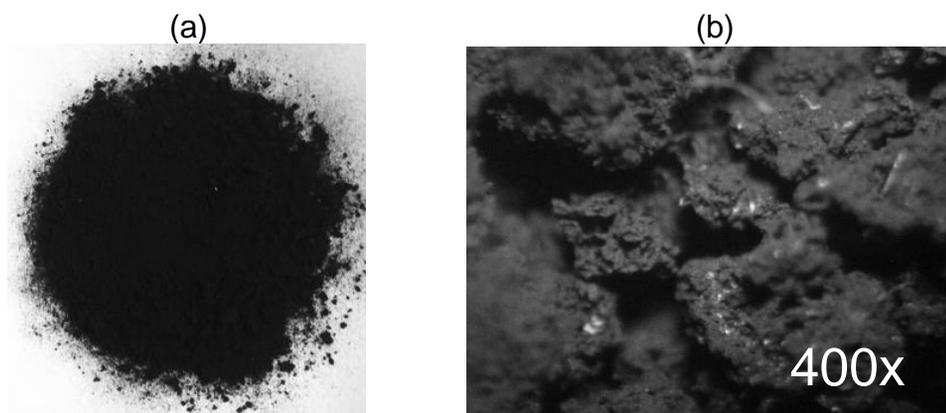
Erlenmeyer com 25 mL de solução. As amostras foram colocadas em mesa agitadora por 2 h a 150 rpm e repetiu-se o procedimento anterior. As eficiências de adsorção foram obtidas a partir do ensaio realizado para as isotermas.

A partir dos resultados foram ajustados os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e difusão intrapartícula. Já para as isotermas ajustou-se os modelos de Freundlich, Sips e Redlich-Peterson. Para análise do melhor ajuste observou-se os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio relativo ( $P_p$ ), chi-quadrado ( $X^2$ ) e a variância dos modelos pela tabela de ANOVA. Na análise de ANOVA  $MQ_R/MQ_r$  é a razão entre a média quadrática devido a regressão e a média quadrática devido aos resíduos,  $MQ_{faj}/MQ_{ep}$  é a razão entre a média quadrática devido à falta de ajuste e a média quadrática devido ao erro puro. Já  $F(R, r)$  e  $F(faj, ep)$  são valores obtidos pelo teste  $F$  com graus de liberdade para a regressão e resíduos e para a falta de ajuste e erro puro. Os valores obtidos para este teste corresponderam a um nível de confiança de 95%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O carvão ativado obtido a partir da palha de azevém pode ser visualizado na Figura 3 moído (a) e com aumento de 400x (b) em microscópio óptico.

Figura 3: Carvão ativado moído (a) e com aumento de 400x (b)



Fonte: Autores, 2018

O carvão apresentou um rendimento de 20,02%, valores estes próximos aos encontrados por outros autores para materiais fibrosos. Hsing e Paula (2011) obtiveram um rendimento entre 25 e 30% para o carvão ativado produzido a partir de vários tipos de bambu, utilizando como agente ativante o NaOH. Já El - Hendawy *et al.* (2009) obtiveram rendimentos entre 20 e 27% para carvão ativado produzido partir de hastes de algodão.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados para a caracterização do carvão.

Tabela 1: Caracterização do carvão ativado

Parâmetro	Valores
$d_p$ ( $\mu\text{m}$ )	33
$\rho_r$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$1690,5 \pm 2,2$
$\rho_{bulk}$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$218,44 \pm 6,8$
$\epsilon$	0,8708
$U_{bu}$ (%)	$2,049 \pm 0,18$
$C_Z$ (%)	$33,6 \pm 1,16$
$M_V$ (%)	$17,17 \pm 0,27$
$C_F$ (%)	$48,15 \pm 0,11$
$S$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	29,93

Fonte: Autores, 2018

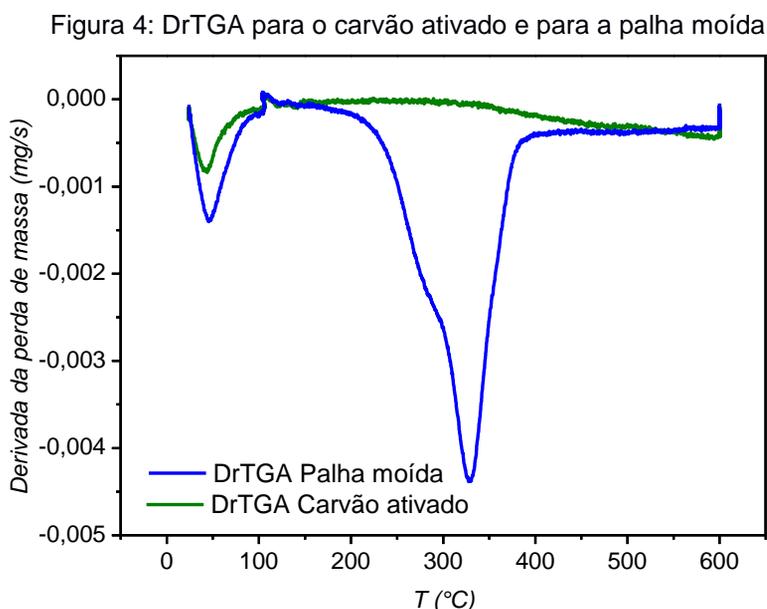
Observando a Tabela 1, nota-se que o carvão produzido apresentou um diâmetro de partícula de 33  $\mu\text{m}$ , atendendo ao critério para carvões ativados, no qual são desejadas partículas menores do que 44  $\mu\text{m}$  (SANTOS *et al.*, 2018). O valor obtido para a massa específica real foi de 1690  $\text{kg}/\text{m}^3$ , sendo este coerente para carvões ativados. Rocha (2006), por exemplo, obteve valores de massa específica entre 1000 e 1700  $\text{kg}/\text{m}^3$  para carvões ativados produzidos a partir de resíduos agrícolas. Em relação ao teor de umidade é desejável o máximo de 10% (SANTOS *et al.*, 2018), o que se verifica no carvão produzido, com um valor de aproximadamente 2%.

Os valores obtidos para os teores de carbono fixo, voláteis e cinzas foram de 48%, 17% e 33%, valores estes que estão diretamente relacionados às condições de processo. Quanto maior for a temperatura utilizada na pirólise maior serão os teores de cinzas e de carbono fixo

(consequentemente maior massa específica) e menor o teor de matéria volátil. A utilização de temperaturas mais elevadas no processo proporciona uma maior expansão dos gases e sua expulsão do interior do carvão. Isto vem a fornecer um menor teor de voláteis e um maior teor de carbono fixo no produto final (CLAUDINO, 2003).

A área superficial específica do carvão ativado foi de 29,93 m<sup>2</sup>/g, com um valor para o coeficiente de correlação do ajuste de 0,9990. O valor de S é muito importante, pois quanto maior for a área de superfície de um sólido poroso, maior será o número de sítios disponíveis para adsorção, portanto maior será a capacidade de adsorção (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Na Figura 4 são apresentadas as derivadas das curvas termogravimétricas para o carvão ativado e para a palha moída.



A partir da Figura 4 observa-se os picos para a perda de massa das amostras do carvão ativado produzido e do material precursor (palha). O primeiro pico que ocorre até a temperatura de 100°C, para os dois materiais, está relacionado com a perda de água. A palha moída apresentou um pico maior, visto que possui um teor de umidade de 6,3%, enquanto que o carvão possui cerca de 2%.

O segundo evento de perda de massa para a palha moída, um ombro

em aproximadamente 280°C, pode ser atribuído à degradação da hemicelulose, seguida da celulose. O pico em torno de 325°C, pode ser atribuído a degradação da lignina e outros resíduos. Segundo os estudos de Yang *et al.* (2007), para a decomposição de materiais lignocelulósicos as faixas de temperaturas entre 220 e 315°C correspondem à degradação da hemicelulose, entre 315 e 400°C de celulose e a degradação da lignina em uma ampla faixa, entre 100 e 900°C.

Para o carvão ativado observou-se uma perda de massa menor, conseqüentemente, picos menores de degradação, restando aproximadamente 80% do material inicial, enquanto que para a palha este valor foi de 20%. O segundo pico do carvão ativado pode ser atribuído à decomposição dos anéis aromáticos da lignina (ROHELLA *et al.*, 1996). Segundo Órfão *et al.* (1999), a lignina é a principal responsável pela formação do carvão na pirólise de materiais lignocelulósicos. Ainda, nota-se a ausência do pico da hemicelulose e celulose para o carvão. Isto indica que tais compostos foram volatilizados durante a carbonização do material, sendo confirmado pela literatura, já que a celulose é a principal responsável por gerar produtos voláteis (CAMINO *et al.*, 2001).

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos ajustes dos modelos cinéticos de adsorção para o experimento com o carvão ativado. Na qual,  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ),  $k_2$  ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ ) e  $K_{dif}$  ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1/2}$ ) são as constantes de velocidade dos modelos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e difusão intrapartícula, respectivamente. A constante  $C$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) está relacionada a resistência à difusão e  $q_t$  e  $q_e$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) expressam a quantidade de corante adsorvido em certo instante de tempo e no equilíbrio.

Tabela 2: Parâmetros dos ajustes dos modelos cinéticos

Modelos	Pseudo primeira ordem	Pseudo segunda ordem	Difusão intrapartícula
<i>Parâmetro</i>	$q_e = 7,40$ $k_1 = 4,88$	$q_e = 7,41$ $k_2 = 14,38$	$C = 4,63$ $K_{dif} = 0,39$
$R^2$	0,9998	0,9998	0,297
$X^2$	0,0009	0,0012	4,314
$P_p$ (%)	0,322	0,334	12,43
$MQ_R/MQ_r$	101913	80448	6,7

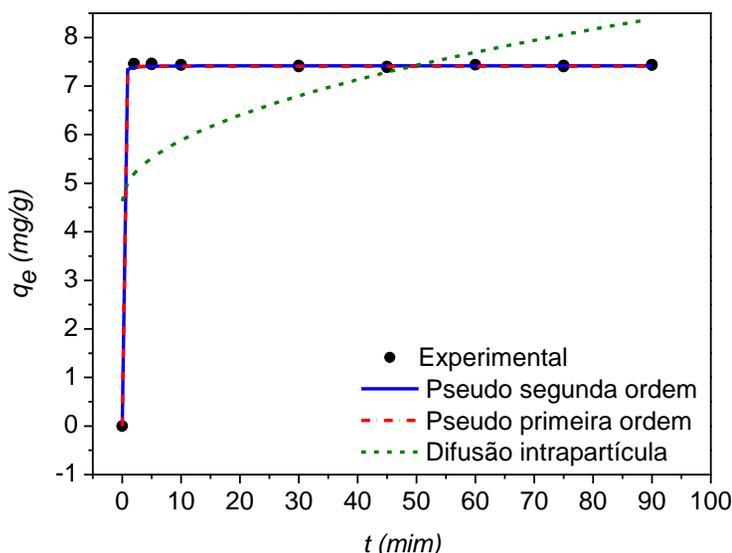
Tabela 2: Continuação

$F(R,r)$	4,49	4,49	4,49
$MQ_{faj}/MQ_{ep}$	21,3	27,2	101052
$F(faj,ep)$	3,29	3,29	3,29

Fonte: Autores, 2018

Os modelos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, já que os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) foram elevados para ambos. Da mesma forma, os valores de qui-quadrado ( $X^2$ ) e erro relativo ( $P_p$ ) foram baixos, visto que quanto menores forem estes valores melhor é o ajuste, indicando a concordância entre o experimento e os modelos. Ambos os modelos apresentaram valores para a capacidade de adsorção muito similares à experimental que foi de 7,41 mg/g. Comparando ambos, o modelo de pseudo primeira ordem ajustou-se ligeiramente melhor aos dados experimentais, por apresentar os menores valores de  $X^2$  e  $P_p$ . Este modelo baseia-se na capacidade de adsorção do sólido e parte do princípio de que a velocidade de remoção do adsorvato em relação ao tempo é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos disponíveis no material adsorvente (CARVALHO, 2010). Para o modelo de pseudo primeira ordem a razão entre as médias quadráticas da regressão e dos resíduos apresentou valor maior que o valor do teste  $F$  com 95% de confiança, indicando que o modelo apresentou ajuste satisfatório e que não há falta de ajuste. Ainda, o valor da razão entre a média quadrática da falta de ajuste e do erro puro indicam que o erro na realização dos experimentos foi muito pequeno. O modelo de difusão intrapartícula não apresentou ajuste satisfatório. Isto deve-se ao fato de que este modelo considera como etapa determinante da velocidade de adsorção, a difusão no interior dos poros do material, caracterizado normalmente como um processo lento. No presente estudo a adsorção ocorreu de maneira muito rápida e eficiente, como pode ser observado na Figura 5, com um alcance do equilíbrio em 2 minutos.

Figura 5: Curvas dos ajustes dos modelos cinéticos aos dados experimentais



Fonte: Autores, 2018

Na Tabela 3 são apresentados os valores dos parâmetros de ajuste dos modelos de isotermas. Na qual,  $K_F [(mg/g) (mg/L)^{-1/n}]$  é a constante de Freundlich,  $n$  é o fator de heterogeneidade de Freundlich,  $q_{max}$  (mg/g) é a capacidade máxima de adsorção,  $K_S [(mg/L)^{-1/n}]$  a constante de Sips,  $n_s$  o coeficiente de heterogeneidade de Sips,  $K_{RP}$  (L/g) e  $\alpha$  (mg/L) são parâmetros da isoterma de Redlich-Peterson e  $\beta$  é o coeficiente de heterogeneidade.

Tabela 3: Valores obtidos para os ajustes dos modelos de isotermas

Modelo	Freundlich	Sips	Redlich - Peterson
Parâmetros	$n = 4,13$ $k_F = 6,41$	$q_{max} = 25,73$ $K_S = 0,303$ $n_s = 2,11$	$K_{rp} = 23,48$ $\alpha = 2,77$ $\beta = 0,823$
$R^2$	0,946	0,964	0,967
$X^2$	1,86	1,34	1,21
$P_p$ (%)	17,49	13,26	11,72
$MQ_R/MQ_r$	248,1	174,6	193,81
$F(R,r)$	4,6	3,81	3,81
$MQ_{faj}/MQ_{ep}$	116,94	93,31	2,46
$F(faj,ep)$	3,58	3,69	3,69

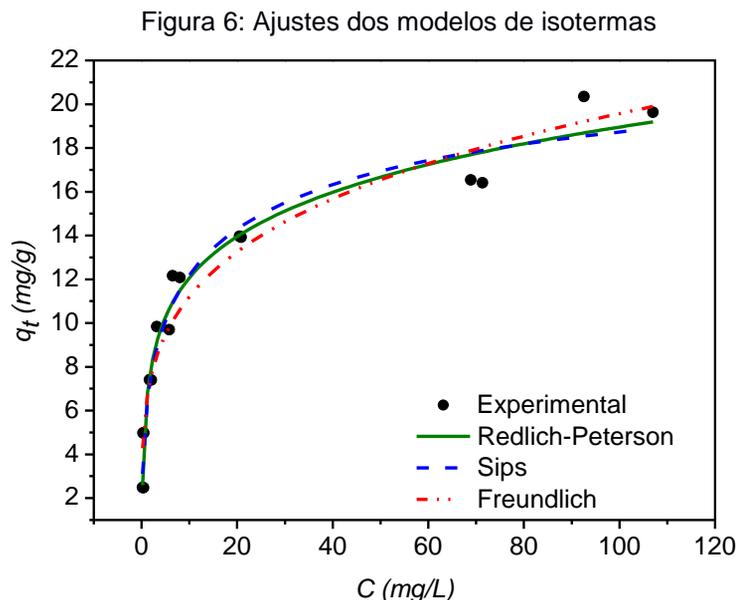
Fonte: Autores, 2018

Observa-se por meio da Tabela 2 que os modelos de Sips e Redlich-Peterson apresentaram valores próximos para os parâmetros estatísticos de coeficiente de correlação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $X^2$ ) e erro médio relativo

( $P_p$ ). Os valores de  $MQ_R/MQ_r$  foram maiores do que o valor do teste  $F(R,r)$ , indicando que a regressão é estatisticamente significativa e o modelo apresenta bom ajuste. Já o modelo de Freundlich não apresentou ajuste satisfatório a partir da análise dos parâmetros estatísticos.

A capacidade máxima de adsorção obtida pelo modelo de Sips foi de 25,73 mg de corante por g de carvão. O ajuste desse modelo permite inferir que a adsorção acontece em monocamada em uma superfície com distribuição energética heterogênea dos sítios ativos (SALES *et al.*, 2015). Este modelo é válido para a adsorção localizada sem interações adsorvato-adsorvato e o parâmetro  $1/ns$  caracteriza a heterogeneidade do sistema, que pode resultar tanto do biossorvente quando do adsorvato, ou ainda uma combinação de ambos (FEBRIANTO *et al.*, 2009).

Na Figura 6 podem ser observadas as curvas correspondentes aos ajustes dos modelos de Redlich-Peterson, Sips e Freundlich.



Fonte: Autores, 2018

A partir da Figura 6 pode-se observar o comportamento da isoterma como do tipo de Langmuir (L), de acordo com a classificação de isotermas para sistemas sólido-líquido, de Giles *et al.* (1960). Essas isotermas tendem a curvar para baixo, em vista da diminuição da disponibilidade de sítios ativos. Elas são o tipo mais comum e a adsorção é realizada em camadas. Pode-se observar também o aumento na capacidade de adsorção mesmo

em pequenas concentrações de adsorvato, apresentando uma isoterma convexa que são caracterizadas como favoráveis.

Na Tabela 4 são mostradas as eficiências de remoção do corante azul de metileno, de acordo com a concentração inicial utilizada e na Figura 7 as soluções após o processo de adsorção.

Tabela 4: Eficiências de adsorção

Conc. inicial (mg/L)	Eficiência (%)
50	99,36
100	99,61
150	98,76
200	97,76
250	97,09
300	93,11
400	82,47
500	80,04

Fonte: Autores, 2018

Figura 7: Soluções após adsorção



Fonte: Autores, 2018

É possível observar uma elevada remoção do corante presente em solução, sendo superior a 99% para a menor concentração e 80% para a maior concentração inicial da solução. Isto visualiza-se na Figura 7, onde as soluções que apresentaram eficiência maior do que 99% ficaram praticamente transparentes.

#### 4. CONCLUSÕES

O carvão produzido apresentou valores para a caracterização similares à literatura, destacando-se um valor de  $\rho_r$  de 1690 kg/m<sup>3</sup> e área superficial específica de 29,9 m<sup>2</sup>/g.

Para os ensaios de cinética os modelos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem apresentaram bons ajustes, com valores de  $q_e$  próximo ao experimental (7,41 mg/g). Para as isotermas, o modelo de Sips demonstrou um  $q_{max}$  de 25,7 mg/g. A isoterma obtida apresentou um aspecto similar ao tipo L, segundo a classificação de isotermas para sistemas sólido-líquido. As eficiências de remoção do corante variaram entre 99% e 80% para as concentrações testadas.

## Agradecimentos

À Unipampa pelas bolsas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e do Programa de Desenvolvimento Acadêmico e aos laboratórios e técnicos da Engenharia Química.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA V C, PEZOTI JR O, CAZETTA A L, SOUZA I P A F, BEDIN K C, MARTINS A C, SILVA T L. Adsorption studies of methylene blue onto ZnCl<sub>2</sub>-activated carbon produced from buriti shells (*Mauritia flexuosa* L). **Journal of Ind and Eng Chem** 20: 4401–4407, 2014.

American Society for Testing and Materials. ASTM-D1762: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. West Conshohocken, 2013.

AOAC - Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Ed. Washington, D.C., 1997.

AVELAR, F. F.; BIANCHI, M.L.; GONÇALVES, M.; MOTA, E. G. The use of piassava fibers (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4639–4645, 2010.

CAMINO, G.; SCHEIRS, J.; TUMIATTI, W. Overview of water evolution during the thermal degradation of cellulose. **European Polymer Journal**, v. 37, p. 933-942, 2001.

CARDOSO, NATALI FARIAS. **Remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos utilizando casca de pinhão in natura e carbonizada como adsorvente**. Dissertação (Mestrado em química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS. 2010.

CARVALHO, T. E. M. **Adsorção de corantes aniônicos de solução aquosa em cinza leve de carvão e zeólita de cinza leve de carvão**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, SP. 2010.

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

CORAPCIOGLU, M. O.; HUANG, C. P. The adsorption of heavy metals onto hydrous activated carbon. **Water Resources Res.** V. 21, n. 9, pp. 1031-1044, 1987.

EL-HENDAWY A A, GIRGIS B S, SMITH E, LOUIS M M. Pilot production of activated carbon from cotton stalks using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 86: 180-184, 2009.

FEBRIANTO J, KOSASIH A N, SUNARSO J, JU Y, INDRASWATI N, ISMADJI S. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. **Journal of Hazardous Materials** 162 (2–3): 616–645, 2009.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. **FORAGEIRAS PARA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA REGIÃO SUL-BRASILEIRA**. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2012.

GILES, C. H.; MACEWAN, T. H.; NAKHWA, S. N.; SMITH, D. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. **Journal Chemical Society**, p. 3973-3993, 1960.

HSING T Y, PAULA N F. Produção e caracterização de carvão ativado de quatro espécies de bambu. **Ciência e Tecnologia FATEC** - JB 3, 2011.

LUCCA-FILHO, O. A.; PORTO, M. D. M.; MAIA, M. S. Fungos em sementes de azevém-anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e seus efeitos no estabelecimento da pastagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p.142-147, 1999.

MANGUEIRA, ERIVONE SOEDJA VERIATO. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía (*cocos nucifera*) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, PB. 2014.

ORFÃO, J. J. M.; ANTUNES, F. J. A.; FIGUEIREDO, J. L. Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials – three independent reactions model. **Fuel**, v. 78, p. 349-358, 1999.

PAVAN, F. A.; GUSHIKEM, Y.; MAZZOCATO, A. C.; DIAS, S. L. P.; LIMA, E. C. Statistical design of experiments as a tool for optimizing the batch conditions to methylene blue biosorption on yellow passion fruit and mandarin peels. **Dyes and Pigments**. V. 72, n. 2, p. 256–266, 2007.

ROCHA, WELCA DUARTE DA. **Carvão ativado a partir de resíduos agrícolas e suas aplicações na adsorção de íons metálicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, MG. 2006.

ROHELLA, R.S; SAHOO, N.; PAUL, S. C.; CHOUDHURY, S.; CHAKRAVORTTY, V. Thermal studies on isolated and purified lignina. **Thermochimica Acta**, v. 287, p. 131-138, 1996.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption process**. New York: Wiley, 1984.

SALES, P. F.; BERTOLI, A. C.; PINTO, F. M.; MAGRIOTIS, Z. M. Produção, Caracterização e Aplicação do Carvão Ativado Obtido a partir do Sabugo de Milho: A Busca pelo Reaproveitamento de um Resíduo Agroindustrial. **Rev. Virtual Quim.**, v. 7 (4), p. 1174-1188, 2015.

SANTOS, F. A.; FRANKENBERG, C. L.C.; PIRES, M. J. R. Materiais biossorbentes e seus requisitos de Conformidades para tratamento de efluentes industriais. **Anais do 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção**, 2018.

SUÁREZ-GARCÍA, F; MARTINEZ-ALONSO, A.; TASCÓN, J. M. D. Pyrolysis of apple pulp: chemical Activation with phosphoric acid. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. v.63 p. 283–301, 2002.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D.H.; ZHENG, C. Characteristics of Hemicellulose, Cellulose and Lignin Pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781-1788, 2007.