

EMPREGO DO RESÍDUO DE VAGENS DO ANGICO VERMELHO (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) COMO ADSORVENTE DE CORANTE TÊXTIL

E. O. da Silva¹; F. P. Guterres¹; F. P. de Oliveira²; V. D. dos Santos¹; A. R. F. de Almeida^{1,2}

1 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia – Universidade Federal do Pampa, Alegrete – RS, Brasil

2 – Engenharia Química – Universidade Federal do Pampa, Bagé – RS, Brasil

RESUMO: O presente trabalho visa a utilização de resíduos de vagens do angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) para o emprego como biomassa adsorvente do corante azul de metileno. Para o estudo da adsorção foram realizados ensaios de cinética e isotermas, bem como a avaliação da eficiência de remoção do corante. Os ensaios de adsorção consistiram na mistura do adsorvente com uma solução de azul de metileno na concentração de 150 mg/L. Com os processos de adsorção concluídos, realizou-se a leitura das absorbâncias em espectrofotômetro UV-Vis para a determinação da concentração de corante remanescente. A partir dos resultados foram realizados ajustes dos modelos cinéticos e de isotermas de adsorção. O modelo que apresentou melhor ajuste para a cinética foi o modelo de pseudo segunda ordem, enquanto que para as isotermas foi o modelo de Langmuir, apresentando uma capacidade máxima de adsorção de 33 mg/g. O adsorvente apresentou uma eficiência máxima de 99,5%, para as condições estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: cinética; isotermas; eficiência; angico – vermelho; resíduos; adsorção.

ABSTRACT: The current work aims to use the residual pods of the “angico-vermelho” (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) as adsorptive biomass of the methylene blue dye. For the study of the adsorption process experiments of kinetics and isotherms were made, as well as the dye removal efficiency evaluation. The adsorption experiments consisted in mixing the adsorbent with a 150 mg/L solution of methylene blue. The samples were agitated and centrifuged, and then the absorbance was read using a UV-Vis spectrophotometer to determine the remaining dye concentration. Using the results obtained the data was fitted into adsorption kinetic and isothermal models. The pseudo second order kinetic model presented the best fitting to the data, while the Langmuir model best fitted for isothermal models, presenting a maximum adsorption capacity of 33 mg/g. The adsorbent presented a maximum efficiency of 99.5% for the conditions studied.

KEYWORDS: kinetic; isotherm; efficiency; angico-vermelho; residue; adsorption.

1. INTRODUÇÃO

O angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) é uma árvore nativa da América Latina, amplamente disposta no solo brasileiro, além de estar presente também na Bolívia, Paraguai, Peru e Argentina. Sua madeira pode ser utilizada para construção civil e produção de carvão, e sua casca possui altos índices de taninos que são utilizados por curtumes (Dias, 2011). Esta árvore apresenta um rápido crescimento e elevada produção de frutos, gerando uma enorme quantidade de resíduos de aspecto seco sem utilização ou valor comercial. Devido a isso, tem-se a possibilidade de emprego deste resíduo em processos adsorptivos para a remoção de contaminantes de corpos aquáticos e efluentes industriais.

A adsorção é um dos processos mais eficientes para tratamento de efluentes industriais e consiste na transferência de determinada substância da fase líquida (adsorvato) para a superfície de um sólido adsorvente. Este processo é o mais utilizado pelas indústrias têxteis para a remoção de corantes sintéticos dos efluentes. Estas indústrias são responsáveis por gerar efluentes em grandes volumes e com um alto potencial contaminante (Kunz e Peralta-Zamora, 2002; Cardoso, 2010; Honorio, 2013).

Os corantes sintéticos pertencem a uma classe de corantes orgânicos com estrutura molecular aromática complexa, o que os torna quimicamente estáveis e de difícil degradação. A presença destes nos corpos hídricos causa sérios danos ao ambiente, devido à contaminação do meio aquoso por compostos ácidos, alcalinos, sólidos solúveis e tóxicos. Além disso, muitos desses corantes podem causar problemas como dermatites e irritações cutâneas (entre elas mutagênicas e carcinogênicas) quando em contato com o ser humano (Pavan *et al.*, 2007; Royer, 2008; Cardoso, 2010; Diehl *et al.*, 2011).

Diversos corantes são utilizados para estudar o comportamento de materiais adsorventes (Ho e McKay, 1999; Mane *et al.*, 2007; Sannia, 2007; Arim, 2014). Dentre eles destaca-se o azul de metileno, o qual é utilizado como composto modelo para remoção de contaminantes orgânicos e corpos coloridos de soluções aquosas (Hameed *et al.*, 2007).

Em vista disso, o presente trabalho objetiva estudar a utilização do resíduo de vagens do angico-vermelho como material adsorvente para remoção do corante azul de metileno em solução aquosa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foram utilizados resíduos de vagens do angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), moído em moinho de facas, coletados na cidade de Bagé/RS como material adsorvente. O resíduo da vagem *in natura* e moído, pode ser observado nas Figuras 1-A e B, respectivamente.



Figura 1. Resíduo da vagem do angico-vermelho *in natura* (A) e moído (B).

Já, para os ensaios de adsorção, foi utilizada uma solução sintética de corante azul de metileno para simular um efluente têxtil. Vale ressaltar também que todos os experimentos foram realizados em duplicata.

2.2 Ensaios de cinética de adsorção

Os ensaios de cinética de adsorção foram realizados utilizando-se 8 amostras com 1 g do resíduo da vagem do angico-vermelho moído, colocadas em Erlenmeyer com 50 mL de solução de azul de metileno a 150 mg/L e agitadas em mesa agitadora por 5, 10, 25, 50, 80, 100, 120 e 180 min a 150 rpm. Após seus respectivos tempos de agitação, as amostras foram centrifugadas por 15 min a 3000 rpm e realizadas leituras de absorbância a 650 nm em espectrofotômetro UV-Vis.

A partir da curva de calibração para o azul de metileno, obtida previamente, foi calculada a concentração remanescente do corante na solução após o processo de adsorção para cada amostra. Foram realizados ajustes aos modelos cinéticos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e difusão intrapartícula, descritos pelas Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (1)$$

$$q_t = \frac{k_2^2 q_e^2 t}{1 + k_2^2 q_e t} \quad (2)$$

$$q_t = k_{dif} t^{1/2} + C \quad (3)$$

Nas Equações 1 a 3, q_e (mg g^{-1}) é capacidade de adsorção, k_1 (min^{-1}), k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) e k_{dif} ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-0,5}$) são as constantes de velocidade dos modelos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e difusão intrapartícula, respectivamente. A constante C (mg g^{-1}) está relacionada com a resistência à difusão e q_t (mg g^{-1}) expressa a quantidade de corante adsorvido em certo instante de tempo.

2.3 Ensaios de isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção foram obtidas realizando-se ensaios com 8 amostras, nas quais variou-se a quantidade de massa de resíduo da vagem do angico-vermelho. Foram utilizadas amostras com 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 e 1,6 g desse material. Cada uma das amostras foi colocada em um Erlenmeyer com 50 mL de solução de azul de metileno a 150 mg/L, agitadas em mesa agitadora até que se atingisse o equilíbrio e centrifugadas por 15 min a 3000 rpm.

Foram realizadas leituras de absorvância a 650 nm em espectrofotômetro UV-Vis para obtenção da concentração restante de adsorvato na fase líquida, com o auxílio da curva de calibração já obtida.

Ajustaram-se os modelos de isotermas de Langmuir, Freundlich e Sips descritos pelas Equações 4, 5 e 6. Nessas equações, q_{max} é dado em mg/g, K_L em L/mg, K_F em [(mg/g) (mg/L)^{-1/n}] e k_s em (mg/L)^{-1/n}. Os demais valores são adimensionais.

$$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (4)$$

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

$$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} \cdot K_s \cdot C_e^{1/n_s}}{1 + K_s \cdot C_e^{1/n_s}} \quad (6)$$

Para os cálculos de eficiência de adsorção (E) foram utilizados os mesmos dados obtidos para o ensaio de isotermas.

2.4 Análises estatísticas para os ensaios de adsorção

Após serem realizados os cálculos de adsorção foram analisados alguns parâmetros estatísticos para os ajustes dos modelos. Por meio das Equações 7 e 8 foram calculados os valores de erro médio relativo (Pp) e qui-quadrado (X^2),

$$P_p = \frac{100}{nn} \sum \frac{(q_{exp} - q_{pred})}{q_{exp}} \quad (7)$$

$$X^2 = \sum \frac{(q_{exp} - q_{pred})^2}{nn - NN} \quad (8)$$

Ainda, para todos os ajustes foi realizada a análise de variância dos modelos pela tabela de ANOVA, onde 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. $F(R,r)$ 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 correspondem a um nível de confiança de 95%. Também foi analisado para todos os modelos testados o coeficiente de determinação R^2 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Cinética de adsorção

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros de ajuste dos modelos cinéticos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem e difusão intrapartícula.

Tabela 1. Ajuste dos modelos cinéticos aos dados experimentais.

Modelos	Pseudo primeira ordem	Pseudo segunda ordem	Difusão intrapartícula
<i>Parâmetros</i>	$q_e = 7,40$ $k_1 = 0,694$	$q_e = 7,44$ $k_2 = 0,739$	$C = 5,44$ $K_{dif} = 0,209$
R^2	0,9996	0,9999	0,287
X^2	0,0019	0,0005	4,318
P_p (%)	0,418	0,247	7,88
$\frac{MQ_R}{MQ_r}$	50066,2	186984	6,44
$F(R,r)$	4,49	4,49	4,49
$\frac{MQ_{faj}}{MQ_{ep}}$	4,14	0,169	12123
$F(faj,ep)$	3,29	3,29	3,29

Através da Tabela 1, observa-se que os modelos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem ajustaram-se satisfatoriamente. A capacidade de adsorção obtida experimentalmente foi de 7,37 mg/g, valor este próximo aos obtidos por estes modelos. Ainda na Tabela 1 é possível analisar os parâmetros estatísticos, onde nota-se que o modelo de pseudo segunda ordem apresentou um valor de R^2 ligeiramente maior. Para este modelo, 99,99% da variação total em torno da média pode ser explicada pela regressão, o restante representa os resíduos. O modelo de pseudo segunda ordem também apresentou menores valores de erro relativo (P_p) e qui-quadrado (X^2). Quanto menores forem estes valores, melhor é o ajuste do modelo (Craesmeier, 2013).

Ainda, segundo Neto *et al.* (2001), nem sempre uma regressão dada como significativa pelo teste F é útil para se realizar previsões. Em alguns casos a faixa de variação coberta pelos fatores estudados pode ser pequena demais, fazendo com que o efeito sobre a resposta fique mascarado pela extensão experimental. Assim, considera-se que a regressão é útil para uma previsão se o valor de MQ_R/MQ_r for pelo menos 10 vezes o valor do ponto da distribuição F . Isto ocorre nos valores obtidos nos ajustes dos modelos cinéticos aos dados experimentais estudados.

A razão entre a média quadrática da falta de ajuste e a média quadrática do erro puro (MQ_{faj}/MQ_{ep}) foi menor que o valor do teste $F(faj,ep)$. Isto indica que não há falta de ajuste para o modelo.

Em relação ao modelo de difusão intrapartícula, nota-se que este não ajustou-se ao dados experimentais. Isto ocorre devido ao fato deste modelo considerar como etapa limitante do processo de adsorção a difusão no interior dos poros do material. Esta, normalmente ocorre de forma lenta, o que não foi o caso do experimento, visto que o equilíbrio foi estabelecido em,

aproximadamente, 10 minutos, com a saturação do adsorvente (Febrianto *et al.*, 2009). Isto pode ser visualizado na Figura 2, onde é mostrado o gráfico da capacidade de adsorção em função do tempo com os ajustes dos modelos cinéticos. Ainda, o valor da constante C do modelo de difusão intrapartícula foi diferente de zero, indicando que a difusão no interior dos poros não é a etapa determinante da velocidade e outros mecanismos devem atuar simultaneamente no processo de transferência de massa da adsorção (Weber e Moris, 1963).

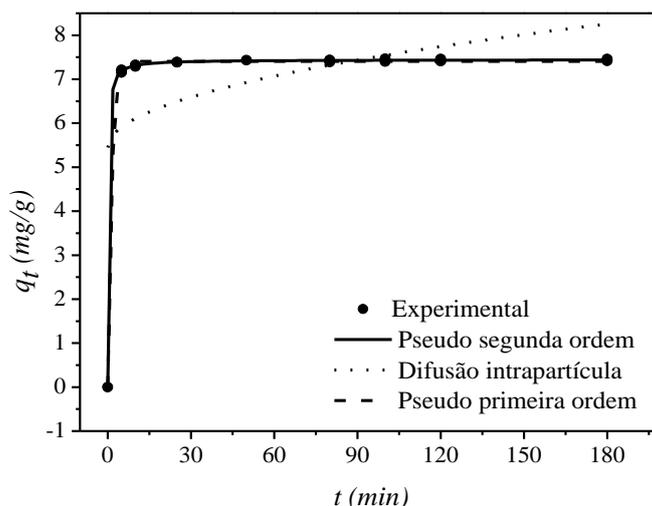


Figura 2. Ajustes dos modelos cinéticos aos dados experimentais.

Por meio da Figura 2, é possível observar, ainda, a rápida adsorção e o alcance de equilíbrio em curto período de tempo, o que demonstra a eficiência do adsorvente. Nota-se também, que nos minutos iniciais do processo de adsorção há um aumento drástico no valor de q_e e isto se dá devido à maior diferença de concentração entre o fluido e o sólido adsorvente, proporcionando uma maior transferência de massa. À medida em que a concentração de adsorvato na solução diminui o sistema tende a entrar em equilíbrio, até a saturação do sólido. Isto fica evidente observando-se esta figura, onde visualiza-se um equilíbrio em aproximadamente 7 mg/g.

3.2. Isotermas de adsorção

Na Tabela 2 são apresentados os ajustes dos modelos de isotermas de Langmuir, Freundlich e Sips.

Tabela 2. Ajustes dos modelos de isotermas.

Modelos	Langmuir	Freundlich	Sips
Parâmetro	$q_{max} = 33,32$ $K_L = 0,306$ $R_L = 0,021$	$K_F = 8,44$ $n = 2,63$	$q_{max} = 31,41$ $n_s = 0,83$ $k_s = 0,311$
R^2	0,9897	0,9391	0,9639

X^2	0,747	4,64	2,96
P_p (%)	6,65	16,85	14,51
$\frac{MQ_R}{MQ_r}$	1357,7	216	173,4
$F(R,r)$	4,6	4,6	3,8
$\frac{MQ_{faj}}{MQ_{ep}}$	549,4	176,42	123,8
$F(faj,ep)$	3,58	3,58	3,69

A partir da Tabela 2 observa-se que o modelo que melhor descreveu o experimento foi Langmuir. Este modelo apresentou maior valor para o coeficiente de correlação, bem como os menores valores de qui-quadrado e erro médio relativo. Estes parâmetros indicam a qualidade do ajuste e segundo Craesmeyer (2013), quanto mais baixo for o valor de X^2 e de P_p mais o modelo se ajusta ao valor do dado experimental.

De acordo com o modelo de Langmuir, a capacidade máxima de adsorção da vagem de angico é de 33,32 mg de adsorvato por g de adsorvente. Este valor foi próximo aos encontrados na literatura para a adsorção de azul de metileno por outros resíduos. Bulut a Aydin (2006) obtiveram valores entre 16,5 e 21,5 mg/g utilizando casca de trigo, enquanto Kumar e Valdivelan (2005) obtiveram um q_{max} de 40,59 mg/g para a casca de arroz.

O valor correspondente a razão MQ_R/MQ_r foi muito maior do que o valor obtido pelo teste $F(R,r)$, indicando que a regressão é estatisticamente significativa. Ainda, a razão MQ_{faj}/MQ_{ep} demonstra que o erro na realização dos experimentos foi maior que a falta de ajuste do modelo.

O modelo de Langmuir assume que a superfície do sólido contém um número fixo de sítios de adsorção, a adsorção ocorre em monocamada, é localizada e reversível. A energia da espécie adsorvida é a mesma em todos os sítios da superfície (Langmuir, 1918). A constante K_L deste modelo está relacionada com a energia livre de adsorção, correspondente à afinidade entre a superfície do adsorvente e o adsorvato. Quanto maior for este valor mais eficiente é o adsorvente (Nascimento *et al.*, 2014). O valor de R_L obtido foi de 0,021, caracterizando o processo de adsorção como favorável, pois está entre 0 e 1 (Mezzari, 2002).

Em relação ao modelo de Sips, considerando-se o valor $1/n_s$, quanto mais se aproximar de 1, a curva se torna mais semelhante à isoterma de Langmuir (Febrianto *et al.*, 2009). Tal parâmetro (n_s) é responsável por indicar a heterogeneidade do sistema e pode resultar tanto do adsorvente quando do adsorvato, ou de uma combinação de ambos. Na Figura 2 observa-se que as curvas referentes às isotermas de Sips e Langmuir apresentam formato similar. Nesta figura são mostrados os ajustes das isotermas aos dados experimentais para a adsorção do corante azul de metileno pela vagem de angico.

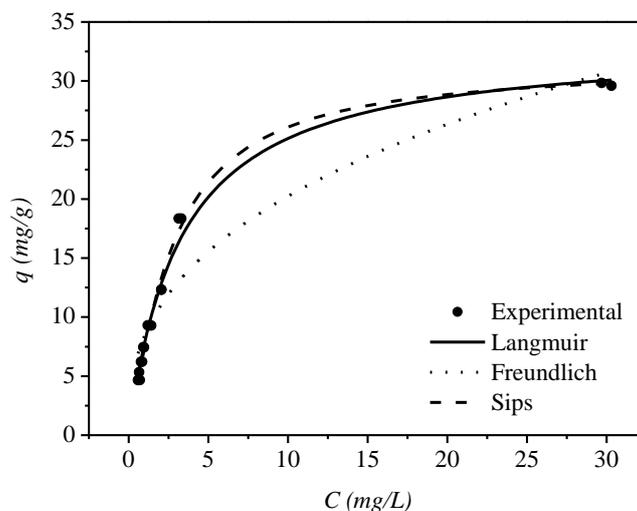


Figura 3. Ajustes das isotermas de adsorção.

Ainda, a partir da Figura 2 pode-se classificar a isoterma obtida como do tipo L (subgrupo 2), de acordo com a classificação de Giles *et al.* (1960) para sistema sólido-líquido.

3.3. Eficiência de adsorção

Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos para eficiência de adsorção do corante azul de metileno pelas vagens do angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan), de acordo com a relação de massa de adsorvente por volume de efluente m/v (g/mL).

Tabela 3. Eficiência de adsorção do azul de metileno pelas vagens de angico vermelho.

m/v	E (%)
0,004	80,00
0,008	97,85
0,012	98,63
0,016	99,12
0,020	99,37
0,024	99,46
0,028	99,56
0,032	99,57

Através da Tabela 3 é possível observar que as vagens de angico vermelho apresentaram uma remoção do corante de até 99,57%, sendo esta com a maior razão m/v . Isto pode ser confirmado pela análise da Figura 3, onde são apresentadas as soluções com as concentrações de azul de metileno remanescentes, nas devidas proporções de m/v apresentadas na Tabela 3.

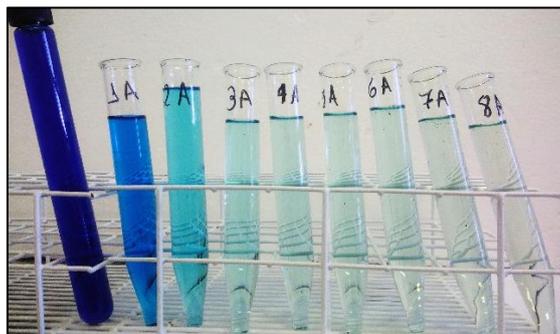


Figura 4. Amostras após a adsorção com as vagens de angico vermelho.

A partir dessa análise de eficiência de adsorção, observa-se que as vagens de angico vermelho apresentaram uma boa capacidade de adsorção e podem ser consideradas como um adsorvente promissor. Estes resultados corroboram com o que é observado na Figura 4, onde pode-se visualizar a grande remoção do corante. A amostra com a maior quantidade de adsorvente com 0,032 g/mL (primeira à direita) apresenta uma remoção quase total do corante. Isto demonstra a grande possibilidade de utilização deste adsorvente para o tratamento de efluentes com corantes, tendo em vista a grande disponibilidade deste resíduo e eficiência do mesmo.

4. CONCLUSÕES

Os testes de adsorção com os resíduos da vagem do angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) apresentaram uma rápida remoção do corante azul de metileno. Para o ensaio de cinética de adsorção, o modelo que melhor descreveu o experimento foi o modelo de pseudo segunda ordem, com um q_e de 7,44 mg/g.

Para o ensaio das isotermas de adsorção, obteve-se um melhor ajuste com o modelo de Langmuir e segundo a classificação de isotermas para sólido-líquido, a isoterma obtida pode ser considerada como do tipo L. A capacidade máxima de adsorção do corante pelas vagens de angico foi de 33 mg de adsorvato por g de adsorvente, sendo este um bom valor.

As vagens de angico mostraram-se como adsorventes promissores, devido ao seu grande potencial para a remoção do corante azul de metileno. Com as condições utilizadas no experimento este valor para a eficiência de remoção alcançou 99,5%. Isto demonstra a grande possibilidade de utilização deste resíduo para o tratamento de efluentes com corantes das indústrias têxteis.

REFERÊNCIAS

ARIM, A. L. (2014) Análise da secagem de sementes de mamão formosa (*Carica papaya* L.) utilizadas na adsorção do corante vermelho do congo. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa, RS.

BULUT, Y.; AYDIN, H. (2006) *Desalination*, v. 194, p. 259–267.

CARDOSO, N. F. (2010) 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.

CRAESMEYER, G. R. (2013) Tratamento de efluente contendo urânio com zeólita magnética. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e nucleares, SP.

DIAS, P. C. (2011). Propagação vegetativa de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) por estaquia e miniestquia. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

DIEHL, R. O., FLORES, F. Q., SANTOS, F. A., CANTELLI, M. (2011) Uso de cascas para a remoção do corante azul de metileno em soluções aquosas. Anais do XII Salão de Iniciação Científica – PUCRS, Porto Alegre.

FEBRIANTO, J.; KOSASIH, A. N.; SUNARSO, J. (2009) Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, n. 2–3, p. 616–645.

GILES, C. H.; MACEWAN, T. H.; NAKHWA, S. N.; SMITH, D. (1960) 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.

HAMEED, B. H.; DIN, AT Mohd; AHMAD, A. L. (2007) Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies. *Journal of hazardous materials*, v. 141, n. 3, p. 819-825.

HO, Y.; MCKAY, G. (1999) A kinetic study of dye sorption by biosorbent waste product pith. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 25, p. 171–193.

HONORIO, J. F. (2013) Emprego da casca de soja como adsorvente na remoção de Corantes reativos têxteis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, PR.

KUMAR, K. V; VALDIVELAN, V. (2005) Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 286, n. 1, p. 90–100.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P. (2002) Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. *Química Nova*, v. 25, n. 1, p. 78–82.

LANGMUIR, I. (1918) The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of American Chemical Society*, v. 40, n. 9, p. 1361-1403.

MANE, V. S.; DEO MALL, I.; CHANDRA SRIVASTAVA, V. (2007) Kinetic and equilibrium isotherm studies for the adsorptive removal of Brilliant Green dye from aqueous solution by rice husk ash. *Journal of Environmental Management*, v. 84, n. 4, p. 390–400.

MEZZARI, I. A. (2002) Utilização de carvões adsorventes para o tratamento de efluentes contendo pesticidas. Dissertação de mestrado - UFSC, SC.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A. DE L.; VIDAL, C. B.; MELO, D. DE Q.; RAULINO, G. S. C. (2014) Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais. Ceará: UFC.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. (2001) Como fazer experimentos - Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na indústria. Campinas: Editora da Unicamp.

PAVAN, F. A.; GUSHIKEM, Y.; MAZZOCATO, A. C.; DIAS, S. L. P.; LIMA, E. C. (2007) 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.

ROYER, B. (2008) Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente de *araucaria angustifolia* como biossorvente. Dissertação (Mestrado em química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

SANNIA, G.; PALMIERI, G.; CENNAMO, G. (2005) Remazol Brilliant Blue R decolourisation by the fungus *Pleurotus ostreatus* and its oxidative enzymatic system. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 36, n. 1, p. 17–24.

WEBER, W. J.; MORRIS, J. C.; (1963) Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of Sanitary Engineering*, Division ASCE, v. 89, pg. 31 – 60