

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Temas Emergentes em Sustentabilidade

Aplicação da casca do ipê amarelo na adsorção do corante catiônico azul de metileno

Application of the golden trumpet tree on the adsorption of methylene blue

Jordana Georgin, Patrícia Grassi, Dison Stracke Pfingsten Franco, Fernanda Caroline Drumm e Fernanda

Munchen

RESUMO

A casca do ipê (*Handroanthus albus*), um resíduo do processamento da madeira, foi avaliada na adsorção do corante Azul de metileno (MB) de efluentes coloridos. O material apresentou uma estrutura amorfa, uma superfície irregular e com a presença de grupos típicos de estruturas compostas por lignina e holocelulose. A adsorção foi favorecida em pH básico (10) para uma dosagem de adsorvente de 0,5 g L⁻¹. O modelo de ordem geral foi mais adequado para descrever os dados experimentais cinéticos, sendo o equilíbrio alcançado em cerca de 30 min. Os experimentos isotérmicos foram melhor descritos pelo modelo de Langmuir, obtendo uma capacidade máxima de adsorção de 304,51 mg g⁻¹ a 328 K. A Casca de ipê foi capaz de tratar um efluente simulado obtendo uma remoção de 96 % da cor. Estes estudos indicam que a casca de ipê tem grande potencial de ser aplicada como adsorvente no tratamento de efluentes coloridos em sistemas de adsorção descontínua.

Palavras-Chave: Casca de ipê; Azul de metileno; Adsorção; Efluente simulado

ABSTRACT

The ipê bark (*Handroanthus albus*), a wood processing residue, was evaluated in the adsorption of the methylene blue (MB) dye of colored effluents. The material had an amorphous structure, an irregular surface and the presence of typical groups of structures composed of lignin and holocellulose. Adsorption was favored at basic pH (10) for an adsorbent dosage of 0.5 g L⁻¹. The general order model was best suited to describe the experimental kinetic data, with the equilibrium achieved within 30 min. The isothermal experiments were best described by the Langmuir model, obtaining a maximum adsorption capacity of 304.51 mg g⁻¹ at 328 K. The ipe bark was able to treat a simulated effluent obtaining 96% color removal. These studies indicate that ipê bark has great potential to be applied as adsorbent in the treatment of colored eluents in discontinuous adsorption systems.

Keywords: Ipe bark; Methylene blue; Adsorption; Simulated effluent

APLICAÇÃO DA CASCA DO IPÊ AMARELO NA ADSORÇÃO DO CORANTE CATIONICO AZUL DE METILENO

1. INTRODUÇÃO

O corante azul de metileno (MB) é uma das substâncias mais utilizadas nas indústrias de tingimento, trata-se de uma substância prejudicial à saúde humana, provocando o aumento da frequência cardíaca, vômitos, choque, icterícia, etc. A liberação de MB pelas indústrias causa sérios danos ao meio ambiente, logo, a remoção do MB da fase aquosa é de grande preocupação.

Sabe-se que os corantes são muitas vezes são descartados na forma de efluentes coloridos pelas indústrias, entre elas, têxteis, curtimento de couro, papel, impressão, alimentos, cosméticos, tintas, plásticos e produtos farmacêuticos (Yagub et al., 2014). Esses contaminantes representam grandes ameaças ao bem-estar do ambiente e dos seres humanos. Nas últimas décadas, vários métodos físicos, químicos e biológicos foram desenvolvidos para a remoção de corantes de efluentes (Dong et al., 2018, Tao et al., 2017, Zhang et al., 2017). No entanto, corantes sintéticos são projetados para resistir ao desbotamento sob várias condições (por exemplo, suor, luz, água, muitos produtos químicos, incluindo agentes oxidantes, e ataque microbiano), resultando em que outros corantes nas águas residuais são dificilmente removidos através de métodos fisicoquímicos e biológicos tradicionais.

O ipê amarelo *Handroanthus albus* pertence à família das *bignoniaceae*, é uma espécie florestal que ocorre em um grande território da Floresta Atlântica, nativa do Brasil. É uma planta decídua e heliófita. Sua dispersão é descontínua e irregular, geralmente ocorrendo em baixa frequência. Produz anualmente grande quantidade de sementes. A madeira é moderadamente pesada, resistente, de grande durabilidade mesmo em condições adversas. É própria para obras externas e internas em construção civil, gerando uma grande quantidade de resíduos, sendo a casca o principal deles. A árvore é muito utilizada para fins ornamentais, na arborização de praças e ruas, devido ao seu pequeno porte (Lorenzi, 1992). Possui propriedades medicinais as quais podem ser extraídas da casca, das folhas e das flores usada para o combate de dermatoses, pruridos, coceiras, eczemas, inflamações da gengiva e da garganta.

Neste estudo foi avaliado o potencial da casca do ipê amarelo (*Handroanthus albus*), como adsorvente para remover o corante Azul de metileno (MB) de efluentes aquosos. Para este propósito, o adsorvente foi preparado e caracterizado por várias técnicas. Experimentos de adsorção em batelada foram realizados em diferentes condições experimentais. Cinética de adsorção e equilíbrio e a simulação de um efluente simulado também foi analisado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DO IPÊ (*Handroanthus albus*)

As cascas do ipê foram obtidas em uma indústria de processamento de madeira localizada no sul do Brasil (Passo Fundo - RS). As cascas foram trituradas em um moinho de facas e peneiradas, gerando um material em pó com tamanho de partícula inferior a 0,20 mm. O pó foi então lavado com uma solução de etanol (50% v / v) a 60 ° C durante 40 min, sob agitação constante de 150 rpm. A Lavagem foi realizada quatro vezes, a fim de remover os extrativos. O material foi separado da solução líquida por sedimentação e secado a 60 ° C

durante 72 horas na estufa. Como resultado foi obtido um pó (Figura 1), com teor de umidade de $4,5 \pm 0,5\%$ (base úmida), e identificado como adsorvente da casca de Ipê.

Figura 1: Adsorvente formado a partir da casca de ipê.



A caracterização do adsorvente formado foi feita pelas técnicas descritas a seguir.

O espectro infravermelho (FTIR) da transformada de Fourier foi registrado utilizando pastilhas de KBr num espectrômetro Bruker (Shimadzu, Prestige 21, Japão) com varrimento à temperatura ambiente numa gama de $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$. A superfície do material foi visualizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Jeol, JSM-6610LV, Jap). E a difratometria de raios X (DRX) pelo modelo Rigaku, Miniflex 300, Japão.

A quantificação de extrativos, lignina e holocelulose (hemicelulose+celulose) foram determinados pelos seguintes métodos, respectivamente: TAPPI T204 cm-97, TAPPI T222 om-02, e de acordo com Morais et al. (2010).

2.2 ESTUDOS DE ADSORÇÃO EM MODO BATELADA

Experimentos de adsorção em batelada foram realizados usando soluções do corante catiônico Azul de metileno (MB) ou cloridrato tetrametilamônio. Trata-se de um corante sintético tiazina com a fórmula molecular $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{CIN}_3\text{S}$ (peso molecular $319,87\text{ g.mol}^{-1}$). Em solução aquosa dissocia-se em um cátion e ânion cloreto. As suas dimensões moleculares são $14,3\text{ Å}$ de largura, $6,1$ de profundidade Å , 4 Å de espessura, com um diâmetro molecular de 8 Å e de volume molecular de $241,9\text{ cm}^3\text{ mol}^{-1}$ (Pelekani e Snoeyink, 2000).

As soluções de MB foram preparadas com água destilada, a partir de uma solução estoque com $1,00\text{ g L}^{-1}$ de corante, e armazenada em frascos âmbar, os experimentos foram realizados com diluições consecutivas desta solução. Todos os experimentos de adsorção foram realizados em um agitador termostático modelo Marconi, MA 093, Brasil, a 150 rpm .

O efeito do pH foi analisado nas faixas de $2,0$, $4,0$, $6,0$, $8,0$ e $10,0$ e 12 utilizando $1,0\text{ g L}^{-1}$ de adsorvente. Os valores de pH foram ajustados com NaOH e HCl. O adsorvente foi adicionado em 50 mL de uma solução aquosa contendo 50 mg L^{-1} de MB, que foi agitado durante 120 min a 298 K .

O efeito da dosagem foi analisado utilizando $0,25$, $0,50$, $1,00$, $1,25$, e $1,50\text{ g L}^{-1}$ de adsorvente, o qual foi adicionado em 50 mL de uma solução aquosa (pH de 10) contendo 50 mg L^{-1} de MB. As soluções foram agitadas durante 120 min a 298 K .

As curvas cinéticas foram construídas usando os melhores valores de dosagem de adsorvente e pH, sob diferentes concentrações iniciais de MB (25 , 50 , 100 e 200 mg L^{-1}). Para cada teste, o adsorvente foi adicionado em 50 mL de solução do MB, que foi agitada a 298 K .

As amostras foram coletadas em 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 min. Os dados foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e ordem geral.

As curvas de equilíbrio foram obtidas em 298, 308, 318 e 328 K, com diferentes concentrações iniciais de MB (25, 50, 100, 150, 200 e 300 mg L⁻¹). Para cada ensaio, o adsorvente foi adicionado em 50mL de uma solução de corante, sendo agitada por 4 horas garantindo o equilíbrio adsorbato/adsorvente, os dados foram ajustados aos modelos de Lnguimuir e Liu.

Para todos os experimentos, a concentração do MB na fase líquida foi medida no espectrofotômetro modelo Shimadzu, UV mini 1240, Japão a 664 nm. Os testes foram realizados em tréplica (n = 3) e espaços em branco foram realizados para garantir a reprodutibilidade dos dados. Após cada experimento, as amostras foram centrifugadas (Centribio, 80-2B, Brasil) a 4000 rpm por 20 min, para realizar a separação sólido-líquido.

2.3 SIMULAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL

Avaliou-se o potencial da casca de ipê no tratamento de um efluente real, por meio da simulação de um efluente textil contendo sais e corantes amplamente utilizados nas indústrias (Tabela 1). O efluente simulado foi tratado com 3,5 g L⁻¹ de massa de adsorvente, sob agitação de 150 rpm por 3 horas a 328 K. Antes e após o tratamento, foi realizada a varredura do efluente líquido na faixa de 400 a 800 nm no espectrofotômetro. A porcentagem de remoção de cor foi calculada pela razão entre a área abaixo da curva espectroscópica.

Tabela 1: Composição química do efluente sintético.

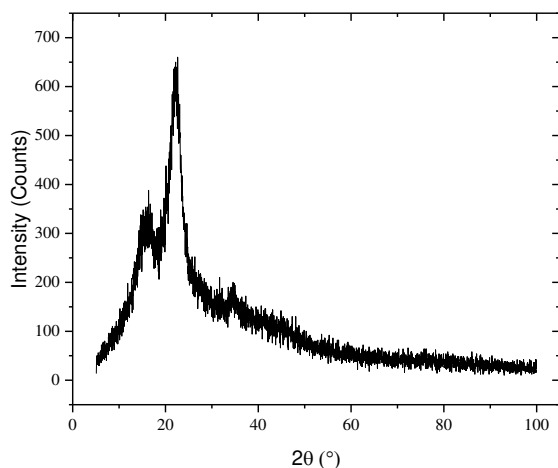
Corantes e compostos inorgânicos	Concentração (mg L ⁻¹)	$\lambda_{\text{máx}}$ (nm)
Azul de metileno	100	664
Violeta cristal	50	586
Verde malaquita	50	615
Cloreto de sódio (NaCl)	100	
Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃)	100	
pH	9,8	

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERÍSTICAS DO ADSORVENTE

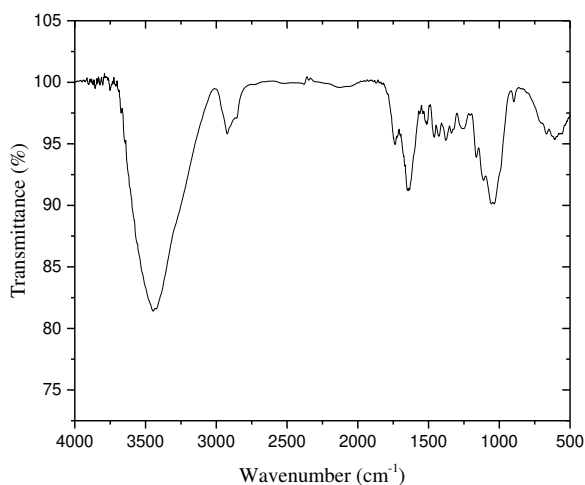
Por meio do padrão DRX da casca de ipê (Figura 2), verificou-se que o material adsorvente apresentou característica amorfa. A fase amorfa é caracterizada por picos alargados a $2\theta = 3,44$, $15,28$ e $22,5^\circ$, que representam os grupos hidroxilas, aminas, aldeídos e cetonas de hemiceluloses e celulose. Além disso, o pico em $2\theta = 47^\circ$ é típico do teor de lignina. Padrões semelhantes foram encontrados por Georgin et al. (2019), utilizando a casca da *Cedrella fissilis* como bioadsorvente na remoção do corante RED 97.

Figura 2. Padrão de DRX do adsorvente da casca de Ipê.



O espectro de FTIR da casca de ipê é apresentado na Figura 3. A banda a 3414 cm^{-1} pode ser devido à vibração de alongamento dos grupos OH-HH e -NH no adsorvente (Chieng et al., 2015 ,Zhao et al., 2017). O pico acentuado observado em 2925 cm^{-1} é atribuído ao alongamento assimétrico do grupo -CH (Pan et al., 2015). O pico em 1735 cm^{-1} deve-se à vibração de C=O do grupo carbonila (Pan et al., 2015 ,Zhao et al., 2015b ,Zhang et al., 2011) e a banda a 1636 cm^{-1} . indica a presença de ligação C=C (Can et al., 2012). Os picos em 1247 , 1027 e 605 cm^{-1} são atribuídos à curvatura C=C aromática, alongamento C-C e curvatura C-H, respectivamente (Can et al., 2012 , Can et al., 2013 , Mohammed-Ziegler e Billes, 2002).

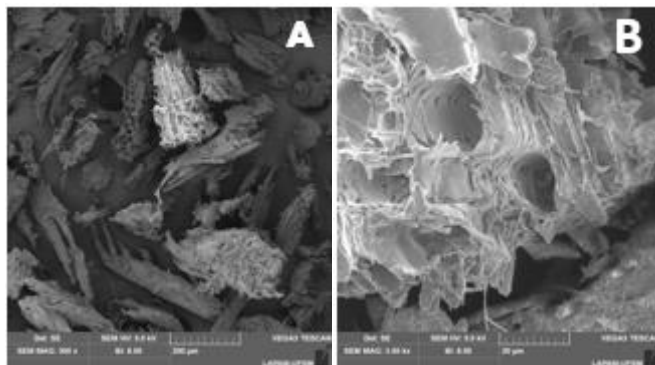
Figura 3. Espectros de FT-IR da casca de Ipê.



As micrografias SEM da casca do ipê sob diferentes ampliações podem ser observadas na Figura 4. A presença de uma rede de malhas conectadas de forma irregular está relacionada

a presença de microfibrilas e fibrilas de pontas longas, irregulares e desigualmente dispersas nas hemiceluloses e lignoceluloses, existentes em camadas e espaços dispersos. As imagens mostram que a superfície é altamente desigual e porosa, com vasos claramente visíveis como estruturas semelhantes a buracos. Características estruturais semelhantes também foram encontradas em cascas de *Araucaria angustifolia*, usadas para adsorver o corante Violeta cristal (Georgin et al., 2018b). Estas características são favoráveis à adsorção do MB, já que permite a penetração do líquido na estrutura externa e interna do adsorvente.

Figura 4. Imagens MEV de casca de Ipê (a) $\times 300$ e (b) $\times 3000$.

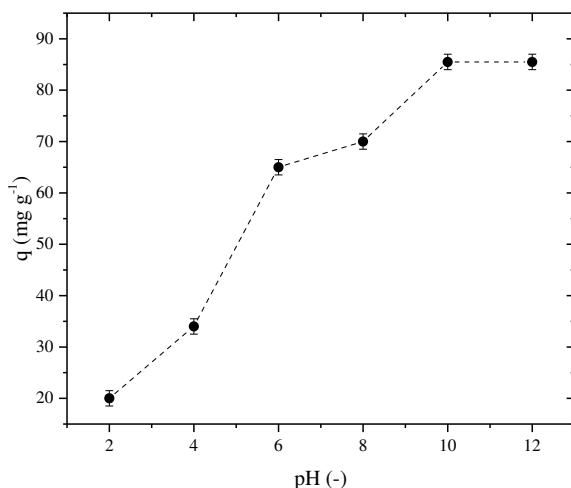


Os teores de holocelulose (celulose+hemicelulose), lignina e extrativos para a casca do ipê, foram estimados em 59,23%, 35,82% e 4,95% respectivamente.

3.2 EFEITO DO PH

A Figura 5 representa o efeito do pH na adsorção do MB na casca de ipê. Observou-se que o aumento do pH de 2,0 para 10,0 provocou um forte aumento na capacidade de adsorção, de 20 para 85,5 mg g⁻¹. Um novo aumento de pH de 10 para 12 não apresentou nenhum efeito na capacidade de adsorção. A partir dessa observação, observou-se que a protonação de grupos hidroxila e carbonila na superfície da matéria lignocelulósica repelem íons MB carregados positivamente e afetam adversamente a eficiência de remoção. Enquanto que com o aumento do pH, a superfície dos materiais lignocelulósicos fica carregada negativamente, o que atrai facilmente os íons MB carregados positivamente e os remove da água. Influência semelhante do pH na remoção de MB também foi relatada por outros pesquisadores que investigaram a remoção de MB por via aquática usando biomassas vegetais (Dahri et al., 2015). Com base nesses resultados, o pH 10,0 para realizar os experimentos seguintes.

Figura 5. Efeito do pH para o sistema corante MB e adsorvente casca de ipê ($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$, $T = 298 \text{ K}$, $t = 120 \text{ min}$, $V = 50 \text{ mL}$, dosagem adsorvente = $1,0 \text{ g L}^{-1}$ e taxa de agitação = 150 rpm).

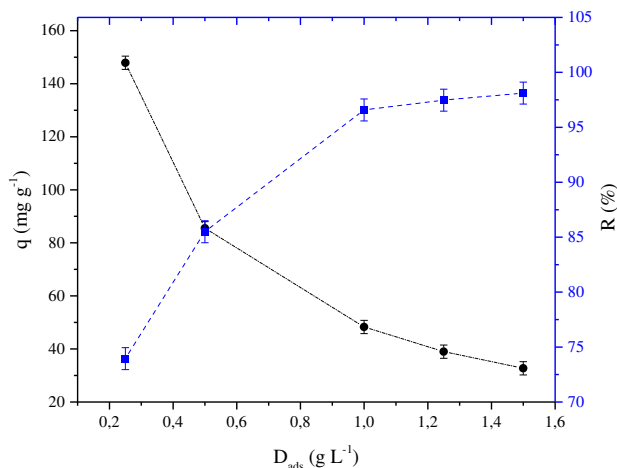


3.3 EFEITO DA DOSAGEM

O efeito da dosagem da casca de ipê na capacidade e eficiência de adsorção do MB é representado na Fig. 6. A porcentagem de remoção do MB (R) aumentou de 73,94 para 98,11 % quando a dosagem de adsorvente foi aumentada de 0,25 para $1,5 \text{ g L}^{-1}$. O aumento inicial na eficiência de remoção foi possivelmente devido ao aumento da disponibilidade de locais de adsorção de MB com maior quantidade de matéria lignocelulósica. O aumento modesto subsequente na eficiência de remoção foi possivelmente devido à falta de sítios disponíveis na superfície do adsorvente. Além disso, verificou-se que uma quantidade muito pequena de casca de ipê ($0,5 \text{ g L}^{-1}$) foi o suficiente para se obter uma alta remoção de MB (85,5%). Efeitos similares da dose de adsorvente na remoção de MB foram observados para adsorventes à base de celulose modificada (Liu et al., 2015).

Outro ponto a ser observado foram os valores de capacidade de adsorção (q) os quais apresentaram dependência inversa a remoção. Os valores diminuíram de $147,89 \text{ mg g}^{-1}$ para $32,7 \text{ mg g}^{-1}$ quando a dose de adsorvente foi aumentada de 0,25 para $1,5 \text{ g L}^{-1}$. A intersecção das curvas foi em $0,5 \text{ g L}^{-1}$, logo, o uso desta dosagem forneceu valores razoáveis de R e q, consequentemente, esse foi o valor selecionado para os testes seguintes.

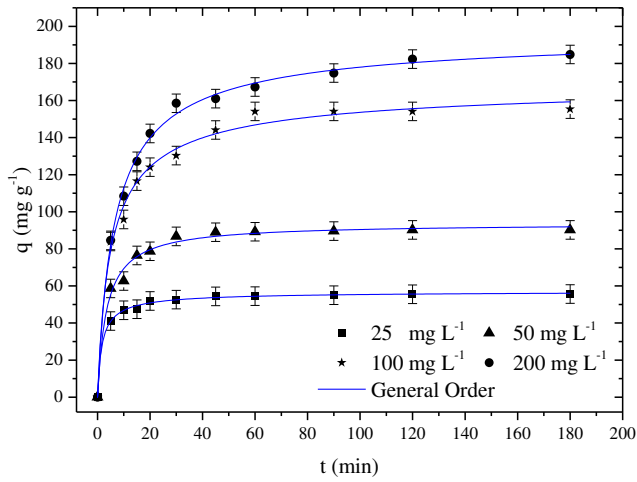
Fig. 6. Efeito da dosagem da casca do ipê como adsorvente para o corante MB ($C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}$, $T = 298 \text{ K}$, $t = 120 \text{ min}$, $V = 50 \text{ mL}$, $\text{pH} = 10$, velocidade de agitação = 150 rpm).



3.4 PERFIL CINÉTICO DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção é uma das características mais importantes na definição da eficiência de adsorção. O perfil cinético de adsorção do corante MB no adsorvente de casca de ipê é apresentado na Fig. 7. Em um primeiro momento a adsorção ocorreu rapidamente nos primeiros 20 min, após isso observou-se que a taxa de adsorção diminuiu até atingir o equilíbrio aos 30 min, neste intervalo a capacidade foi de 84,58 a 184,83 mg g^{-1} na concentração de 200 mg L^{-1} de MB. Isto indica que enquanto a adsorção do corante foi bastante rápida inicialmente, a taxa de adsorção tornou-se mais lenta com o tempo e atingiu um valor constante (equilíbrio/Tempo). A taxa inicial mais rápida pode ser devido à disponibilidade maior de área superficial do adsorvente a qual durante o processo é progressivamente ocupada pelo corante (Kilic et al., 2011; Shi et al., 2013). Isso é favorável para processos de adsorção, já que o tratamento de efluentes coloridos pode ser realizado eficientemente em curtos intervalos de tempo.

Figura 7. Curvas cinéticas de adsorção do MB sobre o adsorvente de casca de ipê (T = 298 K, dosagem adsorvente = 05 g L⁻¹, pH = 10, taxa de agitação = 150 rpm).



Os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e ordem geral foram ajustados com os dados experimentais para melhor compreender o perfil cinético do MB na casca de ipê. Comparando os valores de R^2 , R^2_{adj} , ARE e MSE (Tabela 2), pode-se concluir que todos os dados experimentais mostraram melhor conformidade com o modelo cinético de ordem geral em termos de maiores valores de coeficiente de correlação $R^2 > 0,990$. Além disso, os valores de q calculados ($q_n = 198.095 \text{ mg L}^{-1}$) do modelo de ordem geral foram bastante consistentes com os valores experimentais, aumentando conforme o aumento da concentração, obtendo um menor MSE. Esse comportamento juntamente com os bons indicadores estatísticos (R^2 , R^2_{adj} , ARE e MSE) justifica o uso do modelo de ordem geral para representar a adsorção do MB no adsorvente casca de ipê.

Tabela 2: Parâmetros cinéticos de adsorção do MB no adsorvente casca de ipê.

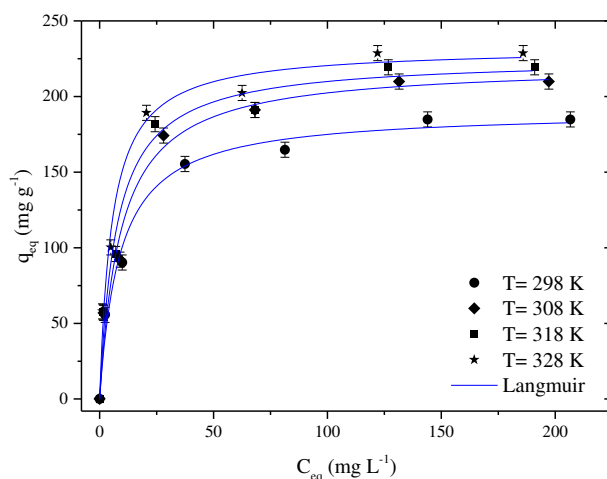
Model	MB Initial Concentration (mg L ⁻¹)			
	25	50	100	200
Pseudo-first order				
$q_1 (\text{mg g}^{-1})$	53.555	87.947	149.050	172.889
$k_1 (\text{min}^{-1})$	0.253	0.158	0.111	0.098
R^2	0.981	0.969	0.961	0.974
R^2_{adj}	0.952	0.925	0.905	0.937
ARE (%)	3.935	5.094	6.631	5.540
MSE (mg g^{-1}) ²	5.677	24.618	94.032	85.530
Pseudo-second order				
$q_2 (\text{mg g}^{-1})$	56.200	93.513	251.854	189.780
$k_2 (\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1})$	9.024×10^{-3}	3.056×10^{-3}	1.080×10^{-3}	7.628×10^{-4}
R^2	0.998	0.990	0.991	0.997
R^2_{adj}	0.994	0.974	0.977	0.992
ARE (%)	0.995	2.840	3.055	2.244
MSE (mg g^{-1}) ²	0.703	8.382	22.669	11.238
Pseudo-general order				

q_n (mg g^{-1})	57.268	93.816	172.184	198.095
k_n ($\text{min}^{-1} (\text{g mg}^{-1})^{n-1}$)	3.108×10^{-3}	5.589×10^{-3}	6.157×10^{-5}	1.186×10^{-4}
n (-)	2.312	2.040	2.576	2.360
R^2	0.998	0.990	0.991	0.997
R^2_{adj}	0.993	0.970	0.973	0.990
ARE (%)	0.967	2.851	2.805	1.855
MSE (mg g^{-1}) ²	0.675	9.421	21.858	10.539

3.5 ISOTERMAS DE EQUILÍBRIO

As isotermas de adsorção podem ser usadas para ilustrar as relações entre a capacidade de adsorção do MB na casca de ipê e a concentração de equilíbrio do MB (Fig. 8). Observou-se que todas as isotermas eram favoráveis. Durante todo o intervalo de concentração, os valores de q_e foram aumentando com C_e , chegando a $304,51 \text{ mg g}^{-1}$, aonde a taxa de difusão das moléculas diminuíram gradualmente e o sistema alcançou o equilíbrio (Zhang et al., 2014). Além disso, foi verificado que a capacidade de adsorção foi favorecida pelo aumento da temperatura. Isso mostra que a capacidade de adsorção foi favorecida em 328 K. Este fenômeno é geralmente atribuído ao efeito de colisão térmica ou modificações que ocorrem na estrutura do adsorvente a altas temperaturas, por exemplo, efeito de inchamento (Bonilla-Petriciolet et al. 2017).

Figura 8. Curvas isotérmicas de adsorção do MB sobre o adsorvente de casca de Ipê. (dosagem adsorvente = $0,5 \text{ g L}^{-1}$, pH = 10, taxa de agitação = 150 rpm).



Os modelos de isotermas de Langmuir e Liu foram aplicados para analisar os dados experimentais (Tabela 3). Com base nos valores mais altos do coeficiente de determinação ($R^2 > 0,98$) e coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{\text{adj}} > 0,97$), o modelo de Langmuir foi selecionado para representar as isotermas de adsorção. O parâmetro q_{mL} foi diretamente proporcional com a temperatura, sendo o valor máximo de $232.254 \text{ mg g}^{-1}$, atingido a 328 K. Em conformidade com os dados o parâmetro k_L também aumentou com a temperatura

sugerindo a natureza endotérmica do processo. O ajuste perfeito dos dados experimentais com o modelo de isoterma indica que os sítios de adsorção são homogêneos e possuem a adsorção de monocamada na superfície com os mesmos locais de adsorção. Comportamento semelhante foi encontrado por Georgin et al., 2019, ao utilizar casca da *Cedrella fissilis* na adsorção do corante RED 97.

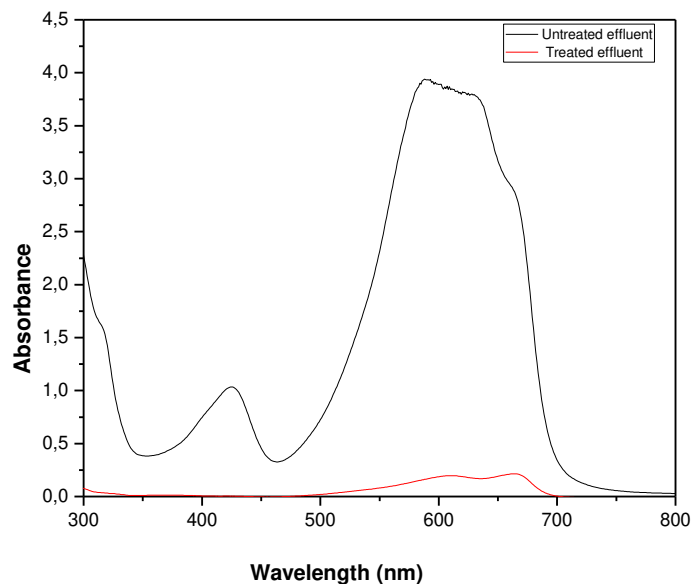
Tabela 3: Parâmetros isotérmicos de adsorção da casca de ipê no MB.

Model	Temperature (K)			
	298	308	318	328
Langmuir				
$q_{mL} (mg\ g^{-1})$	190.424	221.074	225.396	232.254
$k_L (L\ mg^{-1})$	0.108	0.113	0.136	0.187
R^2	0.986	0.980	0.981	0.989
R^2_{adj}	0.979	0.970	0.972	0.984
ARE (%)	8.047	10.822	10.674	8.179
MSE $(mg\ g^{-1})^2$	85.324	167.743	171.598	109.408
Liu				
$q_{mLiu} (mg\ g^{-1})$	244.548	239.216	243.133	244.548
$k_{Liu} (L\ mg^{-1})$	0.162	0.090	0.112	0.162
n_{Liu} (dimensionless)	0.807	0.764	0.762	0.807
R^2	0.989	0.980	0.981	0.989
R^2_{adj}	0.984	0.970	0.972	0.984
ARE (%)	8.179	10.822	10.674	8.179
MSE $(mg\ g^{-1})^2$	109.408	167.743	171.598	109.408

3.6 TRATAMENTO DE UM EFLUENTE SIMULADO

Um efluente colorido simulado contendo diferentes compostos (Tabela 1) foi preparado e tratado usando a casca de ipê. O tratamento de adsorção foi realizado em sistema de batelada, onde $4,0\ g\ L^{-1}$ de casca de ipê foram adicionados ao efluente, que foi agitado a 150 rpm por 3 h na temperatura ambiente. Os espectros visíveis do efluente simulado antes e depois da adsorção são apresentados da Fig. 9. Pode-se observar que os valores de absorbância para o efluente tratado (linha vermelha) foram extremamente inferiores aos valores de absorbância do efluente não tratado (linha preta). Como consequência, a área abaixo da curva para o efluente tratado foi extremamente baixa. Comparando as áreas abaixo com as curvas espectroscópicas, a eficiência de descoloração (E) foi estimada em torno de 96 %. Comprovando o grande potencial da casca de ipê no tratamento de efluentes coloridos.

Figura 9. Espectros visíveis do efluente simulado antes e depois da adsorção com a casca de ipê.



4. CONCLUSÃO

Um adsorvente em pó de baixo custo foi preparado a partir do resíduo madeireiro do ipê amarelo (*Handroanthus albus*) e avaliado na adsorção do corante MB em operações contínuas e descontínuas, aonde a adsorção foi favorecida em pH = 10 para uma dosagem de 0,5 g L⁻¹. Foi encontrada uma rápida adsorção, com equilíbrio sendo atingido em 30 min e o modelo de ordem geral foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. As isotermas foram melhor representadas pelo modelo de Langmuir, com uma capacidade máxima de adsorção de 304,51 mg g⁻¹ a 328 K. A casca de ipê foi eficiente no tratamento de um efluente simulado, mostrando uma eficiência de remoção de cor de 96 %. Todas essas informações indicam que a casca de ipê tona-se uma opção promissora e eficiente no tratamento de efluentes coloridos e em sistemas descontínuos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONILLA-PETRICIOLET, A., MENDOZA-CASTILLO, D. I. & REYNEL-ÁVILA, H. E.. *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. Springer International Publishing, Berlin, Germany, 2017.
- CAN, M., BULUT, E., ÖRNEK, A., & ÖZACAR, M.. *Synthesis and characterization of valonea tannin resin and its interaction with palladium (II), rhodium (III) chloro complexes*. Chemical Engineering Journal, 221, 146–158.doi:10.1016/j.cej.2013.01.043, 2013
- CAN, M., BULUT, E., & ÖZACAR, M.. *Synthesis and Characterization of Gallic Acid Resin and Its Interaction with Palladium(II), Rhodium(III) Chloro Complexes*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 51(17), 6052–6063.doi:10.1021/ie300437u., 2012.

DAHRI, M. K., KOOH, M. R. R., & LIM, L. B. L.. *Application of Casuarina equisetifolia needle for the removal of methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution*. Alexandria Engineering Journal, 54(4), 1253–1263.doi:10.1016/j.aej.2015.07.005, 2015.

DONG, C.C., LU, J., QIU, B.C., SHEN, B., XING, M.Y., ZHANG, J.L. *Developing stretchable and graphene-oxide-based hydrogel for the removal of organic pollutants and metal ions*. Appl. Catal. B-Environ. 222, 146–156, 2018.

GEORGIN, J., DRUMM, F. C., GRASSI, P., FRANCO, D., ALLASIA, D., & DOTTO, G. L. (2018b). *Potential of Araucaria angustifolia bark as adsorbent to remove gentian violet dye from aqueous effluents*. Water Science and Technology.doi:10.2166/wst.2018.448, 2018.

GEORGIN, J., FRANCO, D. S. P., GRASSI, P., TONATO, D., PICCILLI, D. G. A., MEILI, L., & DOTTO, G. L.. *Potential of Cedrella fissilis bark as an adsorbent for the removal of red 97 dye from aqueous effluents*. Environmental Science and Pollution Research. doi:10.1007/s11356-019-05321-9, 2019.

KILIC, M., APAYDIN-VAROL, E., & PÜTÜN, A. E.. *Adsorptive removal of phenol from aqueous solutions on activated carbon prepared from tobacco residues: Equilibrium, kinetics and thermodynamics*. Journal of Hazardous Materials, 189(1-2), 397–403.doi:10.1016/j.jhazmat.2011.02.051, 2011.

LIU, L., GAO, Z. Y., SU, X. P., CHEN, X., JIANG, L., & YAO, J. M.. *Adsorption Removal of Dyes from Single and Binary Solutions Using a Cellulose-based Bioadsorbent*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 3(3), 432–442.doi:10.1021/sc500848m, 2015.

LORENZI, H. *Brazilian trees: manual for identification and cultivation of native tree plants from Brazil*. Nova Odessa: Publisher Plantarum, 1992. 352p.

MOHAMMED-ZIEGLER, I., & BILLES, F.. *Vibrational spectroscopic calculations on pyrogallol and gallic acid*. Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, 618(3), 259–265.doi:10.1016/s0166-1280(02)00547-x, 2002.

MORAIS, J. P. S., ROSA, M. F. & MARCONCINI, J. M.. *Procedures for Lignocellulosic Analyses*. EMBRAPA, Campina Grande, Brazil, 2010.

PAN, X., LI, X., YANG, J., SUN, S., TIAN, J., & KONG, Z.. *Litchi pericarps used as adsorbents for methylene blue removal from solution*. Desalination and Water Treatment, 1–9.doi:10.1080/19443994.2014.924030, 2014.

PELEKANI, C., & SNOEYINK, V. L.. *Competitive adsorption between atrazine and methylene blue on activated carbon: the importance of pore size distribution*. Carbon, 38(10), 1423–1436.doi:10.1016/s0008-6223(99)00261-4, 2000.

SHI, Y., KONG, X., ZHANG, C., CHEN, Y., & HUA, Y.. *Adsorption of soy isoflavones by activated carbon: Kinetics, thermodynamics and influence of soy oligosaccharides*. Chemical Engineering Journal, 215-216, 113–121.doi:10.1016/j.cej.2012.10.100, 2013.

TAO, Y.B., WANG, F., MENG, L.J., GUO, Y., HAN, M.S., LI, J.H., SUN, C., WANG, S.M.. *Biological decolorization and degradation of malachite green by pseudomonas sp YB2:*

process optimization and biodegradation pathway. Curr. Microbiol. 74 (10), 1210–1215, 2017

ZHANG, S., YANG, H., HUANG, H., GAO, H., WANG, X., CAO, R., LI, J., XU, X., WANG, X.. *Unexpected ultrafast and high adsorption capacity of oxygen vacancy-rich WO_x/C nanowire networks for aqueous Pb²⁺ and methylene blue removal*. J. Mater. Chem. A 5 (30), 15913–15922, 2017.

ZHANG, W., YAN, H., LI, H., JIANG, Z., DONG, L., KAN, X., CHENG, R.. *Removal of dyes from aqueous solutions by straw based adsorbents: Batch and column studies*. Chemical Engineering Journal, 168(3), 1120–1127.doi:10.1016/j.cej.2011.01.094, 2011.

ZHANG, Y. X., HAO, X. D., WANG, T., MENG, Y. X., & HAN, X.. *MnO_x-modified ZnAl-LDOs as high-performance adsorbent for the removal of methyl orange*. Dalton Trans., 43(18), 6667–6676.doi:10.1039/c3dt53597e, 2014.

ZHAO, F., REPO, E., YIN, D., MENG, Y., JAFARI, S., & SILLANPÄÄ, M.. *EDTA-Cross-Linked β -Cyclodextrin: An Environmentally Friendly Bifunctional Adsorbent for Simultaneous Adsorption of Metals and Cationic Dyes*. Environmental Science & Technology, 49(17), 10570–10580.doi:10.1021/acs.est.5b02227, 2015.

ZHAO, F., REPO, E., SONG, Y., YIN, D., HAMMOUDA, S. B., CHEN, L., ... SILLANPÄÄ, M.. *Polyethylenimine-cross-linked cellulose nanocrystals for highly efficient recovery of rare earth elements from water and a mechanism study*. Green Chemistry, 19(20), 4816–4828.doi:10.1039/c7gc01770g, 2017.

YAGUB, M.T., SEN, T.K., AFROZE, S., ANG, H.M.. *Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review*. Sci Adv. Colloid Interface Sci. 209, 172–184, 2014.