

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM PARTÍCULAS DE ENDOCARPOS DE BUTIÁS

S. R. PETERS¹, V. ROSSETO¹, R. ZOTTIS¹, A. R. F. ALMEIDA¹, M. M. MORAIS^{1*}

¹Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé
*e-mail: marcilio.morais@unipampa.edu.br

RESUMO

A busca por adsorventes alternativos para o tratamento de efluentes industriais visa minimizar os problemas ambientais gerados por contaminantes. O uso de resíduos agroindustriais na adsorção de corantes em efluentes tem se destacado. Este trabalho avaliou a capacidade de remoção do corante azul de metileno por endocarpos moídos de butiás da espécie *Butia yatay* Mart. (Becc.), proveniente do Palmar de Coatepe (Quaraí/RS). O planejamento experimental exploratório 2³ indicou 65,33±0,63% de eficiência de remoção do corante usando 20 mg/L de azul de metileno, 160 min e concentração de endocarpo de butiá de 10 g/L. Nestas condições a cinética de adsorção mostrou que o equilíbrio foi atingido em 7 h. A capacidade máxima de adsorção dos endocarpos de butiá foi de 1,27 ± 0,03 mg/g.

1 INTRODUÇÃO

A remoção de corantes é um dos maiores problemas no tratamento de efluentes da indústria têxtil, pois em geral é necessária a combinação de dois ou três métodos para uma adequada remoção da cor de tal efluente (VERMA, DASH e BHUNIA, 2012; VADIVELAN e KUMAR, 2005; KUMAR e KUMARAN, 2005). Os métodos físico-químicos mais utilizados para remoção da cor incluem filtração, adsorção, utilização de agentes oxidantes, coagulação química e floculação, trocas iônicas, eletro-coagulação, irradiação e processos biológicos (VERMA, DASH e BHUNIA, 2012; SANTOS, CERVANTES e LIER, 2007).

A adsorção é uma operação unitária, pela qual moléculas que estão presentes em um fluido (gasoso ou líquido) são transferidas para a superfície de uma fase sólida. O fenômeno da adsorção é um processo de transferência de massa que ocorre por conta

de um desequilíbrio entre duas fases, sendo que a superfície onde incide a adsorção chama-se adsorvente e a substância que é adsorvida é denominada adsorvato (GOMIDE, 1988).

O azul de metileno é um corante com ampla aplicação, incluindo o tingimento de algodão, lã, madeira, seda, papéis, tintura de cabelo temporária, coloração de lâminas microscópicas, entre outras utilizações (FUNGARO, IZIDORO e BRUNO, 2009; TAN, AHMAD e HAMEED, 2008; VADIVELAN e KUMAR, 2005). O azul de metileno tem sido avaliado em vários estudos de adsorção, sendo considerado um composto modelo na remoção de contaminantes orgânicos em meios aquosos (FUNGARO, IZIDORO e BRUNO, 2009).

Autores como Vadivelan e Kumar (2005), Bhatnagar e Sillanpaa (2010) e Rafatullah et al. (2010) relatam que a fim de tornar o processo de adsorção menos oneroso, diversos estudos estão sendo realizados com o

intuito de avaliar a capacidade de adsorção de materiais alternativos de baixo custo como resíduos agroindustriais. Exemplos desses estudos são os que utilizaram o talo de açaí e casca de cupuaçu (CARDOSO, 2012), o bagaço de cana (ZHANG et al., 2011), o bagaço de maracujá (MENEZES, 2010), a casca de pinhão (CALVETE, 2011) e a casca de maracujá amarelo (PAVAN, MAZZOCATO e GUSHIKEM, 2008).

Neste contexto, as palmeiras do gênero *Butia* apresentam ocorrência natural no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (DEBLE et al., 2011). Seus frutos – butiás – apresentam polpa e amêndoa comestíveis (FARIA et al., 2008; BÜTTOW et al., 2009). O endocarpo, caroço que envolve as sementes, é lenhoso, sendo descartado durante a produção artesanal e agroindustrial de produtos à base de butiá.

A espécie *Butia yatay* (Mart.) Becc. ocorre na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. No município de Quaraí há a ocorrência natural de milhares de butiazeiros em uma área de aproximadamente 42 km² (DEBLE et al., 2011). O endocarpo de butiás de *B. yatay* possui um alto teor de material carbonáceo e um teor relativamente baixo de cinzas (aproximadamente 0,7%) (ROSSETO et al., 2014). O processo de adsorção pode ser prejudicado em materiais com teores relativamente elevados de cinzas, pois estas podem bloquear os poros da matriz carbônica, adsorvendo preferencialmente água, em função de sua natureza hidrofílica (MORENO-CASTILLA, 2004).

Pelo exposto, o objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo preliminar de adsorção de um corante catiônico azul de metileno, utilizando como material adsorvente endocarpos moídos de butiás de *B. yatay*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção e Preparação da Matéria-Prima

A matéria-prima utilizada foi endocarpos moídos da espécie *Butia yatay*, provenientes de butiazeiros do Palmar de Coatepe, no município de Quaraí/RS.

Essa matéria-prima foi preparada e caracterizada segundo a metodologia descrita em trabalhos anteriores (ROSSETO et al., 2014). Em suma, o endocarpo, que é um material lenhoso, sofreu redução do tamanho de partícula através dos processos de prensagem e moagem. Para tal, utilizou-se uma prensa hidráulica operando na pressão de 20 t em um tempo de 10 s e um moinho de facas operando sem peneira em um tempo de 15 s e com peneira de 30 mesh, reprocessando o material por um tempo de 1 min.

As partículas moídas foram secas em estufa com circulação forçada na temperatura de 60 °C por um período de 48 h. O material seco foi submetido a um jogo de peneiras de 3,360 a 0,038 mm de abertura de malha. A maior fração de partículas retidas no peneiramento (partículas passantes na peneira de mesh 14 e retidas na peneira de mesh 24) foi a utilizada nos experimentos de adsorção, as quais apresentaram um diâmetro médio de partícula de 0,945 mm.

2.2 Ensaios de adsorção

Para os ensaios de adsorção, utilizou-se um efluente sintetizado em laboratório composto pelo corante azul de metileno e água destilada. Com o auxílio da espectrofotometria na região do UV-Vis e com o uso de um espectrofotômetro, marca EQUILAM, modelo UV 755B, o efluente foi analisado no comprimento de onda do corante azul de metileno equivalente a 664 nm.

Pela técnica da espectrofotometria foi construída uma curva de calibração do corante azul de metileno para concentração variando de 0 até 30 mg/L e gerada uma equação de reta para posterior determinação da concentração de corante no efluente sintético. A equação da reta gerada pela curva de

calibração, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,994, é mostrada pela Equação 1:

$$C_{AZ} = \frac{A_{bs} + 0,034}{0,121} \quad (1)$$

na qual A_{bs} é a absorbância do corante medida no espectrofotômetro e C_{AZ} é a concentração de equilíbrio do corante na fase fluida (mg/L).

Para a determinação de condições favoráveis que pudessem ser aplicadas na análise da cinética de adsorção do corante azul de metileno pelas partículas de endocarpos de butiá, efetuou-se um planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central. Nesta análise, objetivou-se avaliar os efeitos principais e interações de fatores sobre a resposta eficiência de remoção do corante azul de metileno (η), calculada pela Equação 2:

$$\eta = \frac{(C_{AZ,i} - C_{AZ,f})}{C_{AZ,i}} \cdot 100 \quad (2)$$

onde $C_{AZ,i}$ a concentração inicial do azul de metileno e $C_{AZ,f}$ a concentração do azul de metileno no final do processo.

As variáveis estudadas no planejamento experimental fatorial foram o tempo de adsorção (t), a concentração de endocarpo de butiá (C_{ads}) e a concentração do corante (C_{AZ}), cujos níveis são apresentados na Tabela 1 na forma codificada e real.

Tabela 1 – Variáveis utilizadas nos ensaios de adsorção com os respectivos valores na forma codificada e real.

Fatores	Níveis		
	+1	0	-1
t (min)	40	100	160
C_{ads} (g/L)	5,0	7,5	10,0
C_{AZ} (mg/L)	20	25	30

Fonte: Autores (2015).

De um modo geral, o processo de adsorção, para cada experimento do planejamento fatorial 2^3 com réplica no ponto central, foi realizado através das etapas de mistura do efluente/biomassa em mesa

agitadora da marca Nova Ética e modelo 109-1, agitação de aproximadamente 250 rpm na temperatura de 25 °C e centrifugação a 3000 rpm por 10 min em uma centrífuga microprocessada da marca QUIMIS, modelo Q222TM216.

Tendo como base a reposta do planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central, efetuou-se o estudo da cinética de adsorção do corante azul de metileno por partículas de endocarpo de butiá. Neste estudo, o objetivo foi avaliar a qualidade das partículas de endocarpo de butiá como material adsorvente quando comparado com os materiais adsorventes de estrutura semelhante propostos na literatura.

Para o cálculo da capacidade de adsorção do corante na cinética de adsorção foi utilizada a Equação (3):

$$q = \frac{(C_{AZ,i} - C_{AZ,t})}{m_{ads}} \cdot V \quad (3)$$

onde $C_{AZ,i}$ a concentração do azul de metileno no tempo zero, $C_{AZ,t}$ a concentração do azul de metileno no tempo t , m_{ads} a massa de adsorvente utilizada no processo de adsorção e V o volume da solução do efluente sintético.

Também se realizou neste trabalho a análise visual dos endocarpos de butiá antes e após o processo de adsorção. Nesta análise foi utilizado um estereomicroscópio da marca Motic, modelo K500, onde as imagens foram capturadas com o auxílio de uma máquina fotográfica digital.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da eficiência de adsorção obtidos no planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central.

Pode ser observado na Tabela 2 que dentro da faixa de trabalho utilizada, a eficiência de remoção do corante variou de 18 a 65 %, sendo o menor valor obtido no t de 40 min, C_{ads} de 5 g/L e C_{AZ} de 30 mg/L e o maior valor obtido no t de 160 min, C_{ads} de

10 g/L e C_{AZ} de 20 mg/L. Estes resultados indicam que as partículas de endocarpos de butiá apresentam-se com uma biomassa alternativa para o tratamento do efluente composto pelo corante azul de metileno e água destilada. Os valores também indicam uma ampla faixa de variação nos valores de eficiência. Entretanto, esta variação obtida nos valores de eficiência já era esperada e pode ser explicada com base no tipo de planejamento experimental aplicado, que foi fatorial 2^3 com réplica no ponto central. Este planejamento é tido na literatura (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 2001) como um tratamento estatístico inicial e exploratório que tem como meta principal mostrar tanto a influência dos efeitos principais e interações de fatores sobre a resposta como também indicar a direção das condições favoráveis de adsorção e faixa de trabalho a ser utilizada.

Tabela 2 – Resultados da eficiência de adsorção obtidos no planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central.

t (min)	C_{ads} (g/L)	C_{AZ} (mg/L)	η (%)
40	5	20	30,21±1,23
160	5	20	44,67±0,92
40	10	20	51,98±3,79
160	10	20	65,33±0,54
40	5	30	18,00±0,85
160	5	30	30,98±5,30
40	10	30	39,49±1,44
160	10	30	54,79±0,52
100	7,5	25	40,68±0,02
100	7,5	25	42,60±0,02
100	7,5	25	44,86±0,10

Fonte: Autores (2015).

Na Tabela 3 é apresentada a análise de variância (ANOVA) utilizada no tratamento dos dados do planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central.

Segundo os dados da Tabela 3 pode ser observado que os efeitos principais das três variáveis analisadas influenciaram

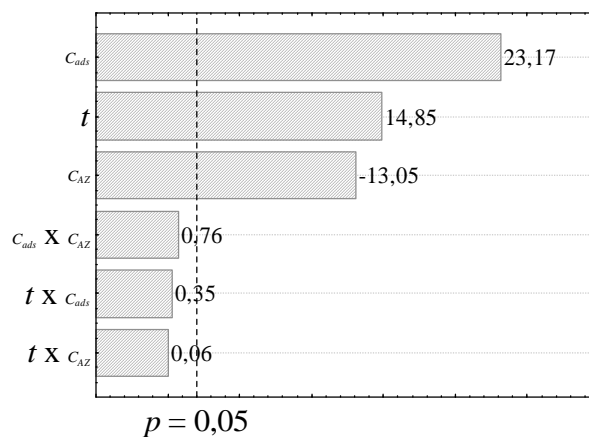
significativamente a eficiência de remoção do corante azul de metileno em um intervalo de confiança de 95%, visto que os valores de p foram inferiores a 0,05. Para uma melhor visualização e discussão dos resultados obtidos na Tabela 3, é apresentado na Figura 1 o diagrama de Pareto do planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central. Nesse diagrama, a magnitude da influência dos efeitos principais e suas interações sobre a resposta são apresentadas pelas colunas, enquanto que a linha transversal à coluna representa a magnitude dos efeitos com significado estatístico para $p=0,05$, ou seja, os fatores que são estatisticamente significativos ao nível de 95 % de confiança.

Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA) utilizada no tratamento dos dados do planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central, com a respectiva significância.

FV	SQ	χ^2	F	p
t	1560	1560	220,4	< 0,0001
C_{ads}	3798	3798	536,8	< 0,0001
C_{AZ}	1204	1204	170,2	< 0,0001
EP	219	7	-	-
Total	6786	-	-	-

Fonte: Autores (2015).

Figura 1 – Diagrama de Pareto do planejamento experimental fatorial 2^3 com réplica no ponto central.



Fonte: Autores (2015).

Pela análise da Figura 1, é possível verificar que tanto a concentração do adsorvente (C_{ads}) quanto o tempo de adsorção (t) tiveram uma magnitude de efeito positivo, isto é, a modificação desses fatores do menor nível (-1) para o maior nível (+1) promoveu um aumento na resposta eficiência de adsorção do corante azul de metileno. Este comportamento estatístico está de acordo com o esperado e pode ser explicado pela física do processo de adsorção.

No caso da C_{ads} , o seu aumento possibilita que uma maior quantidade de sólidos esteja disponível para a adsorção, aumentando assim a transferência de massa e a eficiência do processo. Neste trabalho, a C_{ads} foi o fator que mais influenciou a resposta, mostrando que a região de trabalho deve ser em 10 g/L.

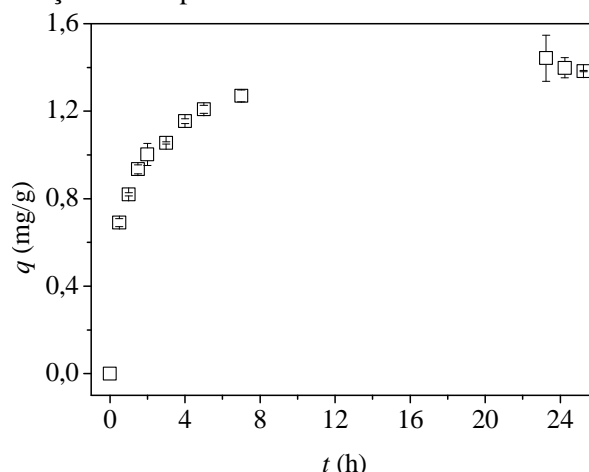
Já a magnitude de efeito positivo do fator t está relacionada com a termodinâmica do processo. Como a transferência de massa ocorre pela busca do equilíbrio de concentrações de azul de metileno no efluente e no adsorvente e esse processo obedece a uma cinética de adsorção dependente do tempo, é esperado que quanto maior for o tempo de contado entre as fases, maior será a proximidade com o equilíbrio e a eficiência de adsorção do processo.

Para a concentração do azul de metileno no efluente (C_{AZ}), é observado na Figura 1 uma magnitude de efeito negativo, ou seja, a mudança do menor nível (-1) para o maior nível (+1) causou uma diminuição na resposta eficiência de adsorção do corante azul de metileno. A explicação para este fato pode estar relacionada com a resistência ao processo de transferência de massa no maior nível de C_{AZ} . Na maior concentração de C_{AZ} (30 mg/L) é esperado que tanto a força motriz do processo como a eficiência de adsorção sejam maiores. Entretanto, o aumento do C_{AZ} possibilita que uma maior quantidade de corante esteja disponível para ser adsorvido. Por consequência, mais rapidamente o

adsorvente perde a sua eficiência pelo aumento da resistência à transferência na sua superfície. Como a eficiência de remoção do corante está relacionada com a concentração inicial de adsorvato, quando maior a sua concentração inicial para uma mesma concentração de adsorvente, menor será a remoção relativa de corante. Isso demonstra que a concentração de efluente deve ser ao redor de 20 mg/L para os estudos de adsorção com o endocarpo de butiá.

A Figura 2 apresenta a curva da cinética de adsorção do corante azul de metileno por partículas de endocarpo de butiá para as C_{ads} de 10 g/L e C_{AZ} de 20 mg/L, isto é, para melhores condições do planejamento experimental em relação a estes fatores.

Figura 2 – Capacidade de adsorção do corante em função do tempo.



Fonte: Autores (2015).

Na Figura 2 é observado que a cinética de adsorção mostrou que o equilíbrio foi atingido em aproximadamente 7 h, sendo que para este tempo a capacidade máxima de adsorção dos endocarpos de butiá foi de aproximadamente $1,27 \pm 0,03$ mg/g. Ao comparar este valor com materiais semelhantes e lenhosos citados na literatura é verificado que a capacidade de adsorção dos endocarpos de butiá foi baixa. Kumar e Kumaran (2005) trabalhando com semente de manga (177 a 210 μ m) obtiveram um valor de

q de 27 mg/g para um C_{AZ} de 20 mg/L e t de equilíbrio de 40 min. Uddin et al. (2009) trabalhando com resíduo de chá (180 a 300 μ m) obtiveram um valor de q de 10 mg/g para um C_{AZ} de 20 mg/L e t de equilíbrio de 40 min. Hameed, Krishni e Sata (2009) trabalhando com caule de abacaxi (355 a 500 μ m) obtiveram um valor de q de 18,33 mg/g para um C_{AZ} de 25 mg/L e t de equilíbrio de 60 min. Hameed e Ahmad (2009) trabalhando com casca de alho (100 a 300 μ m) obtiveram um valor de q de 7,97 mg/g para um C_{AZ} de 25 mg/L e t de equilíbrio de 150 min. Entretanto, é importante salientar que os materiais estudados por estes autores apresentavam uma distribuição do tamanho médio de partículas bastante inferior aos endocarpos de butiá estudados neste trabalho, que foi de 710 a 1190 μ m. O fato dos autores trabalharem com sólidos com diâmetros médios baixos aumenta significativamente a área superficial específica dos sólidos disponíveis para a adsorção e, conseqüentemente, aumenta também a capacidade de adsorção do material adsorvente. Tendo em vista o que foi observado nesta análise, pretende-se em trabalhos futuros estudar a cinética de adsorção do corante azul de metileno por endocarpos de butiá com diâmetro médio de partícula inferior ao estudado neste trabalho.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas imagens das microscopias (aumento de 16x) de endocarpos butiás antes e após o processo de adsorção.

De acordo com a Figura 3, é observado que as partículas de endocarpos de butiá apresentam estrutura heterogênea, sendo compostas pela porção mais rígida do endocarpo (mais escura) e a porção interna que é mais fibrosa (mais clara). Já pela Figura 4 é constatado que o corante promoveu maior coloração na porção mais clara das partículas, indiciando que o processo de adsorção pode ocorrer de forma diferenciada de acordo com a composição do material.

Figura 3 – Imagens das microscopias (aumento de 16x) dos endocarpos butiás antes do processo de adsorção.



Fonte: Autores (2015).

Figura 4 – Imagens das microscopias (aumento de 16x) de endocarpos butiás após o processo de adsorção.



Fonte: Autores (2015).

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

- nos ensaios de adsorção do planejamento experimental, a eficiência do processo variou de 18 a 65 %, sendo o menor valor obtido no t de 40 min, C_{ads} de 5 g/L e C_{AZ} de 30 mg/L e o maior valor obtido no t de 160 min, C_{ads} de 10 g/L e C_{AZ} de 20 mg/L, indicando que as partículas de endocarpos de butiá apresentam-se com uma biomassa alternativa para o tratamento do efluente

composto pelo corante azul de metileno e água destilada;

- os efeitos principais das três variáveis analisadas influenciaram significativamente a eficiência de remoção do corante azul de metileno em um intervalo de confiança de 95%;

- tanto a concentração do adsorvente quanto o tempo de adsorção tiveram uma magnitude de efeito positivo, aumentando a resposta eficiência de adsorção do corante azul de metileno;

- a concentração do azul de metileno no efluente teve uma magnitude de efeito negativo, causando uma diminuição na resposta eficiência de adsorção do corante azul de metileno;

- a cinética de adsorção mostrou que o equilíbrio foi atingido em aproximadamente 7 h, sendo que para este tempo a capacidade máxima de adsorção dos endocarpos de butiá foi de aproximadamente $1,27 \pm 0,03$ mg/g;

- as partículas de endocarpos de butiá antes do processo de adsorção apresentaram uma estrutura heterogênea composta por uma porção mais rígida do endocarpo (mais escura) e por uma porção interna que é mais fibrosa (mais clara). Já as partículas que passaram pelo processo de adsorção apresentaram uma maior coloração azul na porção mais clara das partículas, indicando que o processo de adsorção pode ocorrer de forma diferenciada de acordo com a composição do material, e

- a baixa capacidade de adsorção indica que em trabalhos futuros deve-se realizar estudos com menores diâmetros de partículas de endocarpos de butiás e também realizar um processo de ativação dos sólidos na preparação da biomassa.

NOMENCLATURA

A_{bs}	absorbância do corante	[-]
C_{ads}	concentração de endocarpo de butiá	[M/L ³]

C_{AZ}	concentração de equilíbrio do corante na fase fluida	[M/L ³]
$C_{AZ,f}$	concentração final do azul de metileno	[M/L ³]
$C_{AZ,i}$	concentração inicial do azul de metileno	[M/L ³]
$C_{AZ,t}$	concentração do azul de metileno no tempo	[M/L ³]
EP	erro puro	[-]
F	fator de Fischer	[-]
FV	fonte de variação	[-]
m_{ads}	massa de adsorvente	[M]
p	erro relativo	[-]
q	capacidade de adsorção do corante	[M/M]
SQ	soma quadrática	[-]
t	tempo	[T]
V	volume da solução do efluente sintético	[L ³]
η	eficiência de remoção	[%]
χ^2	qui-quadrado	[-]

REFERÊNCIAS

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como Fazer Experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2001.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. Utilization of Agro-Industrial and Municipal Waste Materials as Potential Adsorbents for Water Treatment: A review. **Chemical Engineering Journal**, v.157, p.277–296, 2010.

BÜTTOW, M. V.; BARBIERI, R. L.; NEITZKE, R. S.; HEIDEN, G. Conhecimento Tradicional Associado ao Uso de Butiás (*Butia* spp., Arecaceae) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, p.1069-1075, 2009.

CALVETE, T. **Casca de Pinhão Fresca e Carvão Ativo-Adsorvente para Remoção de Corantes em Efluentes Aquosos**. 2011. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARDOSO, N. F. **Adsorção de Corantes Têxteis Utilizando Biossorventes Alternativos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DEBLE, L. P.; MARCHIORI, J. N. C.; ALVES, F. S.; OLIVEIRA-DEBLE, A. S. Survey on Butia (Arecaceae): from Rio Grande do Sul State (Brazil). **Balduinia**, v.30, p.3-24, 2011.

FARIA, J. P.; ALMEIDA, F.; SILVA, L. C. R.; VIEIRA, R. F.; AGOSTINI-COSTA, T. S. Caracterização da Polpa do Coquinho-azedo (*Butia capitata* var. *capitata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.827-829, 2008.

FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C.; BRUNO, M. Aplicação de Material Zeolítico Sintetizado de Cinzas de Carvão como Adsorvente de Poluentes em Água. **Eclética Química**, v.34, p.45-50, 2009.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias**. 1. ed. v.4. São Paulo: Editora do autor, 1988.

HAMEED, B. H.; AHMAD, A. A. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. **Journal of Hazardous Materials**, v.164, p.870–875, 2009.

HAMEED, B. H.; KRISHNI, R. R.; SATA, S. A. A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v.162, p.305–311, 2009.

KUMAR, K. V.; KUMARAN, A. Removal of Methylene Blue by Mango Seed Kernel Powder. **Biochemical Engineering Journal**, v.27, p.83–93, 2005.

MENEZES, M. L. **Remoção do Corante Reativo Azul 5G a partir de Soluções Aquosas Utilizando o Bagaço do Maracujá Amarelo como Adsorvente**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of Organic Molecules from Aqueous Solutions on Carbon Materials. **Carbon**, v.42, p.83–94, 2004.

PAVAN, F. A.; MAZZOCATO, A. C.; GUSHIKEM, Y. Removal of methylene blue dye from aqueous solutions by adsorption using yellow passion fruit peel as adsorbent. **Bioresource Technology**, v.99, p.3162–3165, 2008.

RAFATULLAH, M.; SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; AHMAD, A. Adsorption of Methylene Blue on Low-Cost Adsorbents: A Review. **Journal of Hazardous Materials**, v.177, p.70–80, 2010.

ROSSETO, V.; ZOTTIS, R.; MORAIS, M. M. ALMEIDA, A. R. F. Caracterização Física, Química e Térmica de Endocarpos de Butiás. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20, 2014, Florianópolis. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, UFSC, 2014.

SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J., LIER, J. B. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. **Bioresource Technology**, v.98, p.2369–2385, 2007.

TAN, I. A. W.; AHMAD, A. L.; HAMEED, B. H. Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Journal of Hazardous Materials**, v.154, p.337–346, 2008.

UDDIN, M. T.; ISLAM, M A.; MAHMUD, S.; RUKANUZZAMAN, M. Adsorptive removal of methylene blue by tea waste. **Journal of Hazardous Materials**, v.164, p.53–60, 2009.

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

VERMA, A. K.; DASH R. R., BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v.93, p.154-168, 2012.

ZHANG, Z.; MOGHADDAM, L.; O'HARA, I. M.; DOHERTY, W. O. S. Congo red adsorption by ball-milled sugarcane bagasse. **Chemical Engineering Journal**, v.178, p.122-128, 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé, pela infra-estrutura disponibilizada para o desenvolvimento do trabalho.