

Uso do Bagaço de Butiá no Tratamento de Efluentes para a Remoção de Corante

Use of Butiá Bagasse in the Treatment of Effluents for the Removal of Dye

DOI: 10.34188/bjaerv4n1-066

Recebimento dos originais: 20/11/2020

Aceitação para publicação: 20/12/2020

Clarissa Ferreira Pin

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA.
Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, Campus Bagé.
Endereço: Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, n°. 1650, CEP: 96460-000, Bagé/RS, Brasil.
E-mail: clarissapin@hotmail.com

Ethielle Bordignon de Carvalho Prestes

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA.
Instituição: Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.
Endereço: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, CEP: 88040-900, Florianópolis/SC, Brasil
E-mail: bordignonprestes@gmail.com

Valéria Rondon Mesquita

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA.
Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, Campus Bagé.
Endereço: Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, n°. 1650, CEP: 96460-000, Bagé/RS, Brasil.
E-mail: valeria.mesquita@unipampa.edu.br

Diana Ramos Lima

Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.
Instituição: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Setor 4, Prédio 74, Campus do Vale, CEP: 96460-000, Porto Alegre/RS, Brasil.
E-mail: diana_eng.lima@yahoo.com.br

Marcilio Machado Moraes

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.
Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, Campus Bagé.
Endereço: Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, n°. 1650, CEP: 96460-000, Bagé/RS, Brasil.
E-mail: marcilio.moraes@unipampa.edu.br

André Ricardo Felkl de Almeida

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos, UFSCar.
Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, Campus Bagé.
Endereço: Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, n°. 1650, CEP: 96460-000, Bagé/RS, Brasil.
E-mail: andre.almeida@unipampa.edu.br

Vanessa Rosseto

Mestre em Ecologia pela Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.

Instituição: Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Campus Bagé.

Endereço: Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, n°. 1650, CEP: 96460-000, Bagé/RS, Brasil.

E-mail: vanessa.rosseto@unipampa.edu.br

Luciana Machado Rodrigues

Doutora em Engenharia pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Instituição: Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, Campus Bagé.

Endereço: Av. Maria Anunciação Gomes Godoy, n°. 1650, CEP: 96460-000, Bagé/RS, Brasil.

E-mail: luciana.rodrigues@unipampa.edu.br

RESUMO

Butia yatay (Mart.) Becc. é uma espécie de palmeira do gênero *Butia*, com ocorrência natural no estado do Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina. Os frutos de butiazeiros da espécie *B. yatay* são consumidos *in natura* e utilizados na produção artesanal de bebidas e doces. Durante o processamento do butiá para a produção de alimentos, descarta-se o material fibroso da polpa (bagaço), sendo considerado um resíduo agroindustrial. O objetivo deste trabalho é avaliar o emprego do bagaço dos frutos de butiá como material adsorvente. Foram estudadas biomassas *in natura* e seca. A secagem foi realizada em secador com fluxo convectivo de ar, a 60°C, com velocidade de ar de 2 m/s, e altura de bandeja de 5 mm. Isotermas de sorção foram realizadas segundo método gravimétrico estático, a 60°C. As amostras foram caracterizadas por microscopia. A avaliação dos parâmetros operacionais para a adsorção foi realizada por planejamento experimental fatorial 2³ com ponto central. O bagaço seco, dos frutos de butiá, foi considerado promissor adsorvente ao corante azul de metileno, apresentando uma eficiência de 57% de remoção do corante.

Palavras-chave: butiá, bagaço, adsorção, secagem, corante.

ABSTRACT

Butia yatay (Mart.) Becc. is a species of *Butia* palm tree with naturally occurring in the state of Rio Grande do Sul (Brazil), Uruguay and Argentina. The fruits of the species *B. yatay* are eaten *in natura* and used in handmade production of beverages and sweets. During butia processing for food production, discards the fibrous material pulp (bagasse) is considered an agroindustrial residue. The aim of this study is to evaluate the use of bagasse of butia fruits as adsorbent material. Biomass were studied *in natura* and dry. Drying was performed in a dryer with convective air flow at 60°C with air velocity of 2 m/s and a height of 5 mm tray. Sorption isotherms were performed according to static method at 60°C. The samples were characterized by optical microscopy. The evaluation of operational parameters for the adsorption was carried out by 2³ factorial design with central point. The dry bagasse, of the butia fruit was considered promising methylene blue dye adsorbent, with a 57 % color removal efficiency.

Keywords: butia, bagasse, adsorption, drying, dye.

1 INTRODUÇÃO

Rejeitos da indústria de alimentos e da agroindústria estão sendo cada vez mais enfocados em pesquisas que objetivem o seu reaproveitamento. O emprego de biomassas residuais torna-se ainda mais relevante, pois dependendo do volume produzido, tornam-se um problema ambiental (PELIZER; PONTIERI; MORAES, 2007). Uma das alternativas apontadas é sua utilização para o tratamento de efluentes como material adsorvente.

A investigação por novos métodos eficazes de tratamentos de efluentes para diminuir ou eliminar a toxicidade destes, tem sido alvo de pesquisas a nível mundial. Pesquisadores apresentam que os métodos para o tratamento de efluentes industriais mais utilizados envolvem processos físicos e/ou químicos, como oxidação, troca iônica, adsorção, separação por membrana, processos biológicos, eletroquímicos, fotoquímicos, neutralização e precipitação química, etc (KUNZ; PERALTA-ZAMORA, 2002).

A adsorção envolve a transferência de um constituinte de um fluido para a superfície de uma fase sólida (FOUST *et al.*, 1982). Para completar a separação, o constituinte adsorvido deve então ser removido do sólido. A fase fluida pode ser um gás ou um líquido. Se diversos constituintes são adsorvidos em graus diferentes, é possível, muitas vezes, separá-los em estados relativamente puros (GOMIDE, 1988; GEANKOPLIS, 1998).

Como vantagens sobre outras operações de separação, a adsorção apresenta um baixo consumo de energia, a possibilidade de separação de misturas com azeotropia, a não necessidade de uso de outros componentes para ajudar a separação, entre outros (FOGLER, 2002). Outro fator que tem ajudado a desenvolver e tornar a adsorção um processo amplamente utilizado para o tratamento de efluentes, é a demanda por tecnologias econômicas e ambientalmente amigáveis (BASTA; ONDREY; MOORE, 1994).

Os procedimentos baseados na adsorção têm a vantagem de serem versáteis e acessíveis, entretanto, o material adsorvente pode encarecer o processo. Alguns materiais adsorventes não podem ser reutilizados e acabam se tornando outra forma de resíduo. No sentido de reduzir gastos e ampliar a utilização destes processos pela indústria, fontes alternativas de sorção têm sido investigadas, como os denominados biossorventes, os quais são adsorventes abundantes, não tóxicos e de baixo custo (WAN NGAH; HANAFIAH, 2008).

Vários pesquisadores investigam a capacidade de sorção de biomassas como macrófitos aquáticos (SCHNEIDER, 1995), cogumelos comestíveis (KAMIDA, 2004), endocarpo de noz macadâmia e semente de goiaba (ROCHA *et al.*, 2006), casca de maracujá amarelo (PAVAN; MAZZOCATO; GUSHIKEM, 2008), quitosanas (KIMURA, 1999; CHEN; CHEN, 2009), casca de

arroz (BARCELLOS *et al.*, 2009), bagaço de caju (MOREIRA *et al.*, 2009), casca de pinhão (CARDOSO, 2012), sementes de mamão (FRANCO, 2012), entre outros.

Os biossorventes de origem vegetal são constituídos basicamente por macromoléculas como lignina, celulose, hemicelulose, proteínas, substâncias húmicas, as quais possuem sítios adsorptivos, tais como grupos carbonílicos, carboxílicos, aminas e hidroxilas, capazes de adsorverem as espécies de interesse por processos de troca iônica ou de complexação (SCHNEIDER, 1995).

Em particular, os efluentes industriais à base de corantes, representam uma problemática ambiental (ZANONI; CARNEIRO, 2001). Os azo corantes são compostos orgânicos sintéticos largamente utilizados na indústria. Estes corantes têm sido desenvolvidos com a finalidade de resistir à degradação biológica e química. Além disso, a utilização de azo corantes é preferencial na indústria para o tingimento de produtos, pois estes apresentam alta resistência ao desbotamento, cores fortes e estabilidade, além de se caracterizarem pela facilidade de mistura com outras cores, criando diversas tonalidades. A problemática envolvida na utilização destes corantes é a sua decomposição que, sob certas condições, forma aminas aromáticas com potencial tóxico e cancerígeno (ZANONI; CARNEIRO, 2001). Sendo assim, a liberação de efluentes desta natureza, sem nenhum tratamento, acarreta grandes consequências ao meio ambiente e à saúde humana.

Este é um trabalho preliminar sobre a investigação da biomassa bagaço dos frutos da palmeira *Butia yatay* (Mart.) Becc., espécie apresentada por Marchiori *et al.*, em 1995 (MARCHIORI; ELESBÃO; ALVAREZ, 1995), coletada no Palmar de Coatepe, Quaraí-RS. A biomassa foi avaliada para o tratamento de efluentes da indústria têxtil, como material adsorvente ao azo corante catiônico azul de metileno. O biossorvente foi testado sob as formas *in natura* e seca.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

A biomassa vegetal empregada neste trabalho foi o bagaço de butiás de butiazeiros da espécie *Butia yatay* (Mart.) Becc., coletada no Palmar de Coatepe (Figura 1), no município de Quaraí, no Estado do RS, Brasil. Um típico cacho dos frutos é apresentado na Figura 2.

Figura 1. Palmar de Coatepe, Quaraí-RS.



Fonte: Autores.

Figura 2. Cacho de frutos de butiazeiros.



Fonte: Autores.

O efluente sintetizado em laboratório foi composto pelo corante catiônico azul de metileno em solução aquosa na concentração de 50 mg/l.

A etapa da secagem da biomassa foi realizada em um túnel de secagem por convecção forçada. Uma fotografia ilustrativa do túnel de secagem é apresentada na Figura 3. O secador é composto por componentes de fornecimento de ar, ajuste da vazão de ar, medidas de temperatura, aquecimento do ar, controle da temperatura e balança para a determinação da perda de massa.

Figura 3. Túnel de secagem.



Fonte: Autores.

Na Figura 4 é apresentada a bandeja onde a biomassa é disposta para a secagem no interior do túnel.

Figura 4. Bandeja para secagem da biomassa.



Fonte: Autores.

Para as isotermas de sorção foram empregados estufa de circulação de ar forçada, balança analítica e potes de vidro hermeticamente fechados, para a exposição das amostras, como apresentado na Figura 5.

Figura 5. Material utilizado para a realização das isotermas de sorção



Fonte: Autores.

Para a caracterização da biomassa foram utilizados microscópio ótico biológico e estereomicroscópio.

O tratamento de efluentes foi realizado com o emprego de balança semi-analítica, agitadores mecânicos por pás, centrífuga com controle digital e cronômetro. A análise da efetividade do tratamento foi possibilitada com o uso de um espectrofotômetro na região do UV-Vis.

2.2 MÉTODOS

Foram coletados cachos de frutos de butiazeiros, no Palmar de Coatepe. Os frutos foram lavados, acondicionados em sacos plásticos, identificados e congelados em freezer (-16°C). Os frutos utilizados apresentavam coloração da casca alaranjada (Figura 6). Após o descongelamento, a casca e a polpa foram separadas manualmente dos caroços e trituradas para a separação da fase líquida.

Figura 6. Frutos maduros de butiá.



Fonte: Autores.

O bagaço é representado pela porção fibrosa da polpa (epicarpo e mesocarpo) de butiás. O material não submetido a qualquer tratamento é aqui denominado de *in natura* e apresentado na Figura 7.

Figura 7. Amostra de bagaço *in natura*.



Fonte: Autores.

Parte das amostras de bagaço foi submetida à secagem, para comparação com a biomassa *in natura*. A secagem foi executada em túnel de convecção forçada operando nas condições de temperatura (T) de 60°C , velocidade do ar de secagem (u) de $2,0\text{ m/s}$, altura da bandeja (h) de 5 mm , até atingir-se o equilíbrio mássico da amostra de biomassa.

O conjunto das diferentes formas de preparação da biomassa é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Esquema de preparação das amostras de biomassa.

Biomassa	T (°C)	u (m/s)	h (mm)
<i>In natura</i>	-	-	-
<i>Seca</i>	60	2	5

Fonte: Autores.

A curva de secagem do bagaço de butiá obtida com o tempo foi testada ajustando-se à Lei de Fick e ao Modelo de Page. O melhor ajuste foi utilizado para a determinação do valor de difusividade efetiva da amostra de biomassa seca.

As isotermas de dessorção foram determinadas através do método gravimétrico estático, utilizando-se soluções de ácido sulfúrico em onze diferentes concentrações que garantiram a variação da umidade relativa de 5 a 89%. Os experimentos foram conduzidos na temperatura de 60°C. Cada análise foi realizada em duplicata, utilizando-se recipientes de vidros hermeticamente fechados, suporte e cadinho de plástico.

No interior de cada frasco de vidro foram inseridos 30 mL de solução de ácido sulfúrico, um recipiente plástico contendo 1 g de biomassa *in natura* e um suporte para evitar o contato direto da amostra com a solução. Os recipientes de vidros fechados foram colocados em estufa de circulação forçada, sendo realizadas pesagens do recipiente plástico no primeiro, sétimo, décimo e décimo quarto dias de experimento. Essas pesagens foram feitas com o objetivo de verificar o equilíbrio mássico para cada atmosfera estudada. Com o equilíbrio mássico alcançado, determinou-se o teor de umidade das amostras através do método gravimétrico recomendado pela *Association of Official Analytical Chemists* (OAC, Official Analytical Chemists, 2019).

Os resultados obtidos nas isotermas foram analisados através do ajuste dos dados experimentais aos modelos de BET, GAB, Oswin, Peleg e Hederson.

A morfologia da estrutura vegetal do bagaço de butiá foi analisada por microscopia ótica.

O efluente líquido foi sintetizado em laboratório, sendo composto por corante sintético (azul de metileno) e água destilada. A solução aquosa de azul de metileno foi diluída em diferentes concentrações para a construção de curva de calibração e obtenção da equação da reta. Como efluente sintético foi empregada uma solução de azul de metileno 50 mg/L.

O efluente foi caracterizado pela técnica de espectrofotometria na região do UV-Vis, para a determinação da concentração de equilíbrio do corante na solução de efluente sintético, na forma de absorvância, sendo analisado no comprimento de onda do azo corante catiônico azul de metileno equivalente a 660 nm.

O tratamento do efluente consistiu no processo de adsorção do corante pela biomassa. As etapas foram a mistura da solução com a biomassa, agitação, separação do efluente tratado da biomassa saturada, por decantação e centrifugação.

Para a análise de parâmetros a serem empregados na adsorção foi realizado um planejamento experimental fatorial 2^3 com ponto central. Os fatores investigados foram relação quantidade de biomassa/volume de efluente (0,1; 0,2; 0,3), velocidade de agitação (230, 330, 430 rpm) e tempo de agitação (10, 15, 30 min), mantendo-se constantes os valores de tempo de decantação (5 min), tempo e velocidade de centrifugação (15 min e 800 rpm), volume de efluente (100 ml) e tipo de agitação (por pás). Este estudo foi realizado com a biomassa *in natura*.

A determinação da eficiência de remoção do corante foi obtida por leituras de absorbância a 660 nm do efluente tratado, e comparando-se com a leitura para o efluente bruto (antes do tratamento), utilizando a equação da reta obtida da curva de calibração.

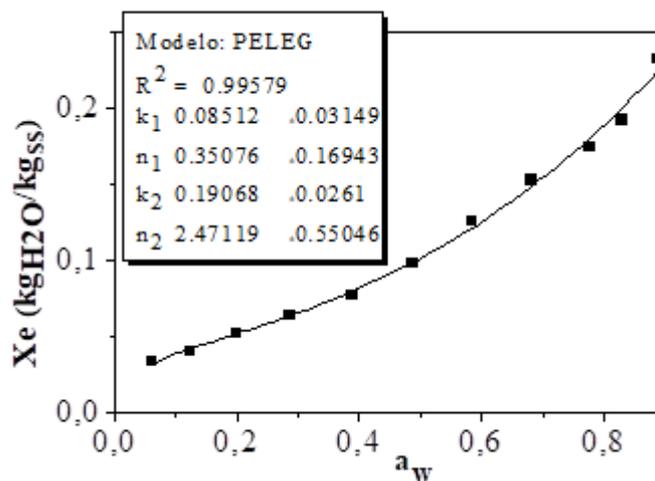
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva experimental da isoterma de dessorção do bagaço de butiá a 60°C foi ajustada aos modelos de GAB, BET, Oswin, Peleg e Henderson. O Modelo de Peleg foi o que apresentou o melhor ajuste, com um R^2 de 0,9958, conforme é apresentado na Figura 8, portanto, seus parâmetros foram determinados segundo este modelo. O modelo de Peleg é empírico de quatro parâmetros (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996). Esse modelo é expresso pela Equação 1:

$$X_e = k_2 \cdot a_w^{n_1} + k_3 \cdot a_w^{n_2} \quad (1)$$

na qual k_2, k_3, n_1, n_2 são constantes.

Figura 8. Curva experimental de isoterma de dessorção e parâmetros determinados para o bagaço do butiá ajustada ao Modelo de Peleg.



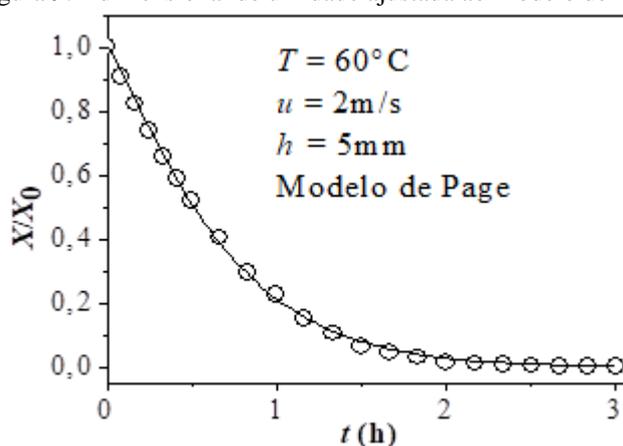
Fonte: Autores.

A curva do adimensional de umidade em função do tempo de secagem para a amostra de bagaço de butiá foi obtida com os resultados experimentais da sua secagem nas condições de 60°C, velocidade do ar de secagem no interior do túnel de 2 m/s e altura da bandeja de 5 mm. Esta curva foi melhor ajustada empregando-se a equação empírica de Page, como visualiza-se na Figura 9, com um R² de 0,9991. Quando há uma elevada interferência da resistência interna do material no processo de secagem (OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006), o ajuste ao modelo de Page (PAGE, 1949), representado pela Equação 2, pode ser obtido:

$$X_t = \exp(-kt^n) \tag{2}$$

na qual *n* é um parâmetro adimensional de ajuste do modelo, e *k* é a constante de secagem, em s⁻¹.

Figura 9. Adimensional de umidade ajustada ao Modelo de Page.



Fonte: Autores.

A constante de secagem permite o cálculo da difusividade efetiva (*D_{ef}*) do processo de secagem. Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material, assim, convencionou-se chamá-la de difusividade efetiva.

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados pelo Modelo de Page e o valor de difusividade efetiva determinado para a condição de secagem estudada.

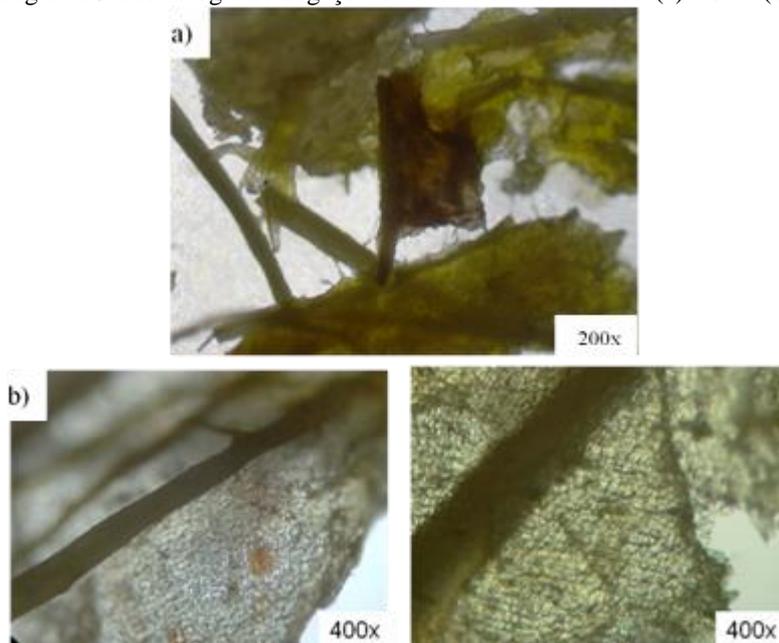
Tabela 2. Parâmetros ajustados pelo Modelo de Page e difusividade efetiva determinada.

Biomassa	Parâmetro	Valor
Seca a 60°C <i>u</i> = 2 m/s <i>h</i> = 5 mm	<i>K</i> (h ⁻¹)	1,5547 ± 0,0193
	<i>n</i>	1,2122 ± 0,0177
	R ²	0,9991
	<i>D_{ef}</i> (m ² /h)	3,94x10 ⁻⁶

Fonte: Autores.

A morfologia das amostras de bagaço de butiá foi avaliada por microscopia (Figura 10). Para a amostra *in natura* foi difícil a visualização da estrutura física da biomassa, devido ao elevado grau de umidade, o material aglutinava-se facilmente (Figura 10.a). O que não ocorreu para a amostra seca, podendo-se identificar uma morfologia do bagaço do fruto de butiá favorável para o processo de adsorção, apresentando poros, os quais seriam prováveis locais para ocorrer a adsorção do corante (Figura 10.b).

Figura 10. Morfologia do bagaço do fruto de butiá *in natura* (a) e seca (b).



Fonte: Autores.

Na Tabela 3 são apresentados os melhores parâmetros obtidos considerando-se a eficiência de remoção do corante azul de metileno durante o processo de adsorção. Estes parâmetros foram utilizados para o estudo da adsorção do corante azul de metileno empregando-se o bagaço do butiá *in natura* e seco.

Tabela 3. Melhores parâmetros determinados.

Biomassa	Relação Biomassa/Efluente	t Agitação (min)	v Agitação (rpm)
<i>In natura</i>	0,2	30	330

Fonte: Autores.

As melhores condições operacionais encontradas mostraram-se viáveis para a aplicação desta biomassa vegetal no tratamento do efluente à base do azo corante azul de metileno, exigindo

uma baixa dosagem de biomassa e um curto tempo de contato para se obter um bom rendimento na remoção do corante.

Estes parâmetros determinados foram aplicados para o tratamento do efluente sintético à base do corante azul de metileno, pelo processo de adsorção, pelas amostras *in natura* e seca de bagaço de butiá. As eficiências do tratamento alcançadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Avaliação da eficiência do processo.

Biomassa	Eficiência (%)
<i>In natura</i>	37%
Seca	57%

Fonte. Autores.

A maior eficiência para o tratamento do efluente obteve-se empregando a amostra seca (57%), provavelmente por seus poros estarem livres para atuarem como sítios adsorptivos, como comprovado pela análise microscópica. A eficiência poderá ser ainda aumentada com a associação do processo de secagem a outros processos de preparação da biomassa, como tratamento químico ou moagem da biomassa.

4 CONCLUSÃO

As análises realizadas por microscopia ótica identificam uma estrutura física do bagaço dos frutos de *Butia yatay* (Mart.) Becc. seco favorável para o processo de adsorção, apresentando poros, os quais seriam prováveis locais para ocorrer a adsorção do corante.

As melhores condições operacionais encontradas mostraram-se viáveis para a aplicação desta biomassa vegetal no tratamento do efluente à base do corante azul de metileno, exigindo uma baixa dosagem de biomassa e um curto tempo de contato para se obter um bom rendimento na remoção do corante.

O processo de secagem foi uma etapa relevante no processo de preparação da biomassa, pois promoveu uma maior eficiência no tratamento do efluente sintético.

A eficiência de remoção do corante com biomassa *in natura* foi de 37,0% e biomassa seca (60°C, $u = 5$ mm, $h = 2$ m/s) foi de 57,0%.

A curva de isoterma foi melhor ajustada ao modelo de Peleg, apresentando um coeficiente de correlação superior a 0,99.

A cinética de secagem do bagaço de butiá apresenta um comportamento típico de secagem com a redução da umidade do material em função do tempo até atingir a umidade de equilíbrio.

Na análise da curva de secagem por modelos matemáticos verificou-se que o modelo de Page foi o que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, apresentando um coeficiente de correlação superior a 0,99. A difusividade efetiva do bagaço de butiá seco, segundo este ajuste, foi de $3,94 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$.

A viabilidade do tratamento do efluente à base do azo corante é evidenciada pela eficiência alcançada, baixa toxidez do meio adsorvente e baixo custo, dando um destino a um rejeito agroindustrial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à infraestrutura disponibilizada pela UNIPAMPA, Campus Bagé, para a realização deste trabalho, bem como ao auxílio financeiro concedido pelo CNPq/PIBITI e UNIPAMPA/PDA sob a forma de bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. *Química Nova*, 19, (3), 320-330, 1996.
- BARCELLOS, I. O.; GIOVANELLA, R. F.; CHIARELLO, L. M.; BLOSFELD, A. Remoção de cor de soluções de corantes reativos com cinza de casca de arroz. *Dynamis Revista técnico-científica*, 15, (2), 1-6, 2009.
- BASTA, N.; ONDREY, G.; MOORE, S. Adsorption holds its own: new sorbents and processes are breathing new life into a venerable unit operation. *Chemical Engineering*, novembro, 39-43, 1994.
- CARDOSO, N. F. Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos [dissertação de mestrado]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Química; 2012.
- CHEN, A.; CHEN, S. Biosorption of azo dyes from aqueous solution by glutaraldehyde-crosslinked chitosans. *Journal of Hazardous Materials*, 172, 1111- 1121, 2009.
- FOGLER, H. S. Elementos de engenharia das reações químicas. 3ª Ed. Rio de Janeiro: LTC; 2002.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. Princípios das operações unitárias. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC; 1982.
- FRANCO, D. S. P.; MARTINS, J. M.; RODRIGUES, L. M.; ALMEIDA, A. R. F. Análise do Processo de Secagem de Sementes de Mamão Utilizado como Biomassa Adsorvente no Tratamento de Efluentes. *Revista de Ciências Exatas*, 27/31, (2), 44-59, 2012.
- GEANKOPLIS, C. J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª Ed. México: CECOSA; 1998.
- GOMIDE, R. Operações unitárias: operações de transferência de massa. vol. 4. São Paulo: Dag Gráfica e Editora Ltda.; 1988.
- KAMIDA, H. M. Biodegradação e toxicidade de efluente contendo corantes, tratado com *Pleurotus sajor-caju* [tese de doutorado]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, 2004.
- KIMURA, I. Y.; FÁVERE, V. T., LARANJEIRA, M. C. M., STOLBERG, J., GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. *Polímeros*, 9, (3), 51-57, 1999.
- KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas técnicas no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, 25, (1), 78-82, 2002.
- 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*, 99, (8), 3162-3165, 2008.
- MARCHIORI, J. N. C.; ELESBÃO, L. E. G.; ALVAREZ FILHO, A. O. O Palmar de Coatepe. *Ciência & Ambiente*, 11, 93-104, 1995.

MOREIRA, S. A.; SOUSA, F. W.; OLIVEIRA, A. G.; NASCIMENTO, R. F.; BRITO, E. S. Remoção de metais de solução aquosa usando bagaço de caju. *Química Nova*, 32, (7), 1717 – 1722, 2009.

OAC - Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15^a Ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 2019.

OLIVEIRA, R. A; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. *Engenharia Agrícola*, 26, (1), 181-189, 2006.

PAGE, G. E. Factor influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. [dissertação de mestrado]. Indiana: Purdue University; 1949.

PELIZER, L. H; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. *Journal of Technology Management & Innovation*, 2, (1), 118-127, 2007.

ROCHA, W. D.; LUZ, J. A. M.; LENA, J. C.; BRUÑA-ROMERO, O. Adsorção de cobre por carvões ativados de endocarpo de noz macadâmia e de semente de goiaba. *REM: Revista Escola de Minas*, 59, (4), 409-414, 2006.

SCHNEIDER, I. A. H. Biossorção de metais pesados com a biomassa de macrófitos aquáticos [tese de doutorado]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais; 1995.

WAN NGAH, W. S.; HANAFIAH, M. A. K. M. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: a review. *Bioresource Technology*, 99, (10), 3935-3948, 2008.

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A. O descarte dos corantes têxteis. *Revista Ciência Hoje*, 20, (174), 61-64, 2001.