

Estudo da capacidade de adsorção de um corante reativo do efluente da indústria têxtil, utilizando material adsorvente obtido da cápsula do fruto da Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil)

Study of the adsorption capacity of a reactive dye from the effluent of textile industry, using adsorbent material obtained from the capsule of the Paineira fruit (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil)

Estudio de la capacidad de adsorción de un colorante reactivo del efluente de la industria textil, utilizando material adsorbente obtenido de la cápsula del fruto de la Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil)

Recebido: 12/09/2022 | Revisado: 26/09/2022 | Aceitado: 28/09/2022 | Publicado: 06/10/2022

Bianca Alves Dáuria

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2874-2594>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: biancaalvesdauria@gmail.com

Alessandra Querino da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1702-0169>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: alessandrasilva@ufgd.edu.br

Luciano Antonio de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5054-2623>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: lucianoantonio@ufgd.edu.br

Jaime Humberto Palacio Revello

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-4908>
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
E-mail: jaimerevello@ufgd.edu.br

Resumo

Através do processo de adsorção estudado neste trabalho busca-se a remoção de corantes encontrados frequentemente em efluentes da indústria têxtil, por meio da adsorção de um material adsorvente obtido da casca do fruto da Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil), uma espécie encontrada em abundância no Mato Grosso do Sul, Brasil. A cápsula do fruto da Paineira foi submetida a ensaios para verificar a sua eficiência no processo de remoção do corante CIBACRON® Azul FN-R, um dos corantes reativos comumente empregados no tingimento de fibras celulósicas. Neste processo foi estudada a influência das variáveis: grau de agitação e temperatura sobre o grau de remoção do corante contido em um banho residual. Os resultados demonstraram que o material obtido por moagem da casca do fruto da Paineira *in natura*, possui alta capacidade de adsorção. Foi encontrado no estudo que o grau de agitação tem influência significativa sobre o grau de remoção do corante do banho residual, já a temperatura nos níveis estudados não apresentou influência marcante sobre o grau de remoção do corante. Os melhores resultados, em termos de remoção do corante do banho residual, foram obtidos na temperatura de 25°C e para o grau de agitação de 200 rpm. Conclui-se que o material obtido da cápsula da fibra da Paineira é eficiente na remoção do corante CIBACRON® Azul FN-R.

Palavras-chave: Adsorção; Adsorventes Vegetais; Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil); Tratamento de Efluentes.

Abstract

Through the adsorption process studied in this work, the removal of dyes often found in textile industry effluents is sought, through the adsorption of an adsorbent material obtained from the peel of the fruit of Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil), a species found in abundance in Mato Grosso do Sul, Brazil. The Paineira fruit capsule was subjected to tests to verify its efficiency in the process of removing the CIBACRON® Blue FN-R dye, one of the reactive dyes commonly used in the dyeing of cellulosic fibers. In this process, the influence of the variables: degree of agitation and temperature on the degree of removal of the dye contained in a residual bath was studied. The results showed that the material obtained by grinding the peel of the Paineira fruit *in natura* has a high adsorption capacity. It was found in the study that the degree of agitation has a significant influence on the degree of dye removal from the

residual bath, since the temperature at the levels studied did not have a marked influence on the degree of dye removal. The best results in terms of dye removal from the residual bath were obtained at a temperature of 25°C and at a degree of agitation of 200 rpm. It is concluded that the material obtained from the Paineira fiber capsule is efficient in removing the CIBACRON® Blue FN-R dye.

Keywords: Adsorption; Vegetable Adsorbents; Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil); Effluent Treatment.

Resumen

El proceso de adsorción estudiado en este trabajo busca eliminar los colorantes que se encuentran frecuentemente en los efluentes de la industria textil, mediante la adsorción de un material adsorbente obtenido de la cáscara del fruto de la Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil), una especie que se encuentra en abundancia en Mato Grosso do Sul. La cápsula del fruto de la Paineira fue sometida a pruebas para verificar su eficiencia en el proceso de remoción del colorante CIBACRON® Azul FN-R, uno de los colorantes reactivos comúnmente utilizados en el teñido de fibras celulósicas. En este proceso se estudió la influencia de las variables: grado de agitación y temperatura sobre el grado de remoción del colorante, en un baño residual. Los resultados obtenidos demostraron que el material obtenido por la molienda de la cáscara del fruto de la Paineira *in natura* tiene una alta capacidad de adsorción. En el estudio se encontró que el grado de agitación tiene una influencia significativa en el grado de remoción de colorante del baño residual, ya la temperatura en los niveles estudiados no tuvo una influencia sobre el grado de remoción del colorante. Los mejores resultados en términos de remoción de colorante del baño residual se obtuvieron a una temperatura de 25°C y con un grado de agitación de 200 rpm. Se concluye que el material obtenido a partir de la cápsula de fibra de Paineira es eficiente en la remoción del colorante CIBACRON® Blue FN-R.

Palabras clave: Adsorción; Adsorbentes Vegetales; Paineira (*Chorisia speciosa* A. St.–Hil); Tratamiento de Aguas Residuales.

1. Introdução

O processo de tingimento de fio e de tecido é um dos processos de acabamento da indústria têxtil. Neste processo são consumidas altas quantidades de corantes de diversos tipos, segundo o tipo de fibra a ser tingida. Os corantes reativos são muito utilizados no tingimento de fibras celulósicas, como a fibra de algodão. Em um processo de tingimento por razões econômicas e ambientais é desejável a obtenção de altos graus de esgotamento do corante no banho residual, visto que a maioria dos corantes tem um alto valor agregado, e os corantes que ficam no efluente são desperdiçados, além de que o corante residual é um contaminante que deve ser controlado e eliminado nas correntes de efluentes do processo (Revello, 2002).

Os corantes podem ser classificados pela forma com que se fixam na fibra têxtil ou de acordo com sua estrutura química. O corante CIBACRON® Azul FN-R é um corante reativo que possui grupos eletrolíticos formadores de ligação covalente com grupos das fibras celulósicas, proteicas e poliamidas. Este tipo de corantes apresenta alta solubilidade em água, estabelecendo-se ligações covalentes entre o corante e a fibra. A ligação covalente é mais estável, desta forma estes corantes possuem altos graus de fixação em relação a outros (Guarantini & Zanoni, 1999).

A preocupação com os problemas ambientais causados por efluentes de indústrias têxteis propicia ideias inovadoras quanto ao tratamento deste tipo de efluente ou resíduo. O processo de adsorção é um processo de separação bastante utilizado na indústria química, no qual um ou mais componentes contidos numa fase fluida, líquida ou gasosa, são transferidos para uma fase sólida. Neste processo uma quantidade de material sólido, denominado de adsorbente, é colocada no interior de uma coluna, formando um leito, através do qual passa continuamente um fluido, sendo transferida uma espécie química, denominada de adsorbato.

De forma geral, o processo de adsorção de uma espécie química em um material adsorbente poroso pode ser descrito através das etapas gerais: difusão do soluto do volume de fluido para a superfície da partícula do material adsorbente, difusão do soluto desde a superfície para o interior do poro da partícula e finalmente a adsorção do soluto na partícula. O processo de transferência de massa da espécie química transferida da fase fluida para a fase sólida finaliza quando é atingida a condição de saturação do sólido, em relação à espécie química transferida. É conveniente salientar que a eficiência do processo de adsorção

depende das condições operacionais do processo, tais como: temperatura e pressão entre outras e, da área superficial do material adsorvente.

Existem diversos tipos de adsorventes comerciais, sendo que a maior parte deles são materiais sólidos granulares e materiais fibrosos que podem ser materiais sintéticos ou naturais. Alguns dos trabalhos encontrados na literatura com adsorventes empregam materiais sintéticos e outros naturais.

Algumas fibras sintéticas podem ser excelentes adsorventes de diversas substâncias, resolvendo provisoriamente um dado problema de remoção de um resíduo, mas em longo prazo pode-se estar dando origem a um problema ambiental relacionado com a baixa velocidade de degradação do material sintético. Visando resolver problemas deste tipo, vem sendo estudado por diversos pesquisadores o uso de fibras naturais como matérias adsorventes.

De acordo com Young (1997), as fibras naturais podem ser classificadas de acordo com a origem: em fibras animais (lã, seda) e vegetais (linho, algodão, pãina, ramí, sisal) e minerais (asbesto, zeólita). As fibras vegetais, por sua vez, podem ser classificadas de acordo com a parte e do tipo de vegetal da qual foi retirada, podendo ser divididas em: fibras de gramíneas, fibras de folhas, fibras de caule, fibras de sementes e frutos e fibras de madeira.

São várias as indústrias que empregam fibras como matérias adsorventes, sendo uma delas a indústria têxtil, sendo que trabalhos de grande relevância empregados na fixação de corantes em adsorventes são encontrados na literatura.

Yoshida et al. (1993) desenvolveram dois tipos de fibras de quitosana (ChF-A e ChF-B), sendo avaliada a capacidade de adsorção destas e de uma fibra de quitosana original na recuperação de corantes ácidos. No estudo foi desenvolvido um modelo matemático que emprega uma isoterma de BET para o cálculo da concentração adsorvida pela fibra.

Bae et al. (1997) estudaram o comportamento da difusão/adsorção de dois corantes reativos do tipo monoclorotriazina (MCT) sobre celulose, usando-se uma ampla variedade de concentrações de sulfato de sódio a uma temperatura de 80°C. Para explicar a adsorção de corante sobre a fibra têxtil, o modelo desenvolvido emprega uma isoterma do tipo Langmuir. Os resultados encontrados mostram, como era de se esperar, que o coeficiente de difusão aumenta abruptamente com o incremento da concentração de corante no banho, até o ponto em que a fibra é saturada, ou seja, é atingido o estado de equilíbrio. O efeito da concentração de sal no banho de tingimento também foi estudado, obtendo-se aumentos no coeficiente de difusão do corante para a fibra com o aumento da concentração de sal no banho.

Barcellos et al. (2008) estudaram o processo de tingimento de tecidos de náilon 6,6 (PA 66) com os corantes ácidos *Yellow Erionyl RXL*, *Red Erionyl A-3B* e *Navy Blue Erionyl R*, com e sem auxiliares têxteis e, realizaram ensaios de adsorção ao nível laboratorial com o resíduo desse processo e, com uma blenda de PA 6,6/quitosana (80/20), utilizada como adsorvente. Neste estudo foi verificado que a presença dos auxiliares têxteis não interferiu na capacidade de adsorção da blenda, obtendo-se eficiências na remoção da cor praticamente iguais nos ensaios com e sem auxiliares têxteis.

Damasceno (2008) estudou o desempenho do cabelo humano como adsorvente na remoção de corantes diretos e reativos de um efluente têxtil. O estudo foi realizado com soluções aquosas preparadas em laboratório com o corante direto, *Direct Red 80*, com o corante reativo, *Reactive Blue 21* e, com efluente real captado de uma empresa têxtil do estado de Minas Gerais. Os resultados mostram que o cabelo humano apresenta um bom desempenho como adsorvente na remoção de cor de efluentes têxteis e, desde o ponto de vista econômico é bastante interessante considerando que resíduos de cabelo são comumente descartados em salões de beleza. O comportamento deste processo de adsorção é bem explicado através da isoterma de Langmuir.

Existem diversas espécies vegetais do cerrado que podem ser estudadas, quanto a sua capacidade de adsorção de corantes, conforme é descrito em Costa et al. (2009). O estudo realizado com casca de arroz como material adsorvente obteve resultados positivos quanto à eficiência na remoção do corante têxtil Remazol 5R de soluções aquosas. Materiais vegetais demonstram ter alta capacidade de adsorção de espécies químicas contidas em resíduos aquosos industriais. De acordo com

Moreira (2010), a casca de noz *in natura* possui considerável potencial de remoção de níquel em soluções aquosas de efluentes de galvanoplastia.

Xavier et al. (2021) avaliaram o potencial do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente *in natura* e tratado com uma solução ácida de HCl e uma solução básica de NaOH, adsorvendo um corante do tipo direto. No estudo foi realizado um planejamento experimental 2⁵, no qual foi verificada a influência da massa de adsorvente, tempo de contato, concentração de corante, rotação e pH sobre a quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente e a redução da concentração de corante. O bagaço de cana-de-açúcar apresentou excelentes resultados da adsorção do corante direto, principalmente quando é realizado o tratamento com solução ácida de HCl.

Rêgo Júnior et al. (2022) estudaram a remoção de azul de metileno de uma solução aquosa utilizando bambu (*Bambusa Vulgaris*) como adsorvente. Os resultados que mostraram uma cinética de adsorção de segunda ordem permitem obter percentuais de remoção ao redor de 90% com tempos de equilíbrio aproximadamente de 14 horas. Foi verificado também que o processo de adsorção do corante estudado com a espécie bambu *in natura* é uma alternativa ecologicamente viável no processo de tratamento deste tipo de efluentes.

Materiais fibrosos sintéticos e naturais também são utilizados como adsorventes de óleos e derivados de petróleo. Tanobe (2007) realizou um estudo aplicando técnicas de planejamento experimental do comportamento de espumas de poliuretano de baixa densidade (13 – 17kg/m³) e alta densidade (21 – 25kg/m³), como meios adsorventes de petróleo e derivados. No estudo é mostrado que as espumas de menor densidade apresentam melhores características como sorventes para óleo-cru do que as espumas de maior densidade, em iguais condições operacionais do ensaio. Porém, as espumas de maior densidade retêm melhor o óleo que as de menor densidade. Este estudo dá uma ideia da utilização de resíduos de espumas de poliuretano das empresas produtoras de colchões, como alternativa na remoção de petróleo e derivados de sistemas aquáticos.

É conveniente salientar que as fibras sintéticas apresentam baixa degradação, tornando-se resíduos de difícil tratamento, junto com a espécie química que foi adsorvida. Já as fibras vegetais naturais têm a vantagem de ser degradadas com maior facilidade.

A espécie *Chorisia speciosa* A. St.-Hil pertence à família das Bombacáceas, popularmente chamada de Paineira Rosa, ou Paineira Barriguda é uma espécie arbórea tropical de grande porte, apresentando normalmente de 10 a 15 metros de altura e, algumas vezes, podendo chegar aos 30 metros de altura. Esta espécie que é encontrada no Brasil, Paraguai e Argentina é cultivada também no hemisfério norte em regiões tropicais e subtropicais. O fruto da árvore é uma cápsula que contém sementes e fibras com aparência semelhante às fibras de algodão. Cada árvore produz entre 300 e 700 frutos (Carvalho, 1994). O estudo de Annunciado et al. (2005a), demonstra que a fibra de paina da espécie *Chorisia speciosa* A. St.-Hil apresenta um ótimo desempenho como adsorvente de óleos, principalmente os derivados do petróleo. Neste estudo foi comparado o desempenho da fibra com outras fibras vegetais, encontrando-se que a paina foi a fibra que apresentou maior eficiência nos ensaios de adsorção com petróleo. A relação entre a capacidade de adsorção e a estrutura da fibra foi avaliada por Annunciado et al. (2005b), sendo possível concluir que devido a composição química e a estrutura da mesma, a paina apresenta um caráter hidrófobo e alta afinidade por petróleo e derivados. Quando a fibra de paina é colocada em contato com água forma um hidrogel. Os aspectos biológicos e estruturais desse hidrogel foram pesquisados por Carneiro et al. (2002). Outras características da fibra como isolante podem ser encontradas em Fontana et al. (2011).

Lim e Huang (2007) realizaram estudos de adsorção em coluna de vidro empregando fibras de Kapok (*Ceiba Pentandra*) como material adsorvente na filtração de amostras de água contendo óleo diesel. Para os diversos ensaios foi empregada fibra de Kapok previamente tratada com solvente e, fibra de Kapok sem tratamento algum. Os solventes empregados para o pré-tratamento da fibra foram etanol e clorofórmio. Os resultados obtidos neste estudo indicam que tanto a fibra de Kapok *in natura* como previamente tratada com o solvente mostraram-se eficientes na remoção do óleo da água, sendo

obtidos os maiores índices de retenção de óleo diesel com a fibra de Kapok *in natura*, 96%, seguidos da fibra previamente tratada com etanol, 75%, e com clorofórmio, 72%. Abdullah e Rahmah (2011) estudaram ao nível laboratorial, a remoção de óleo diesel de uma amostra composta de água e diesel, utilizando fibra de Kapok como material adsorvente. Neste trabalho foi empregando uma coluna de adsorção de acrílico empacotada com fibra de Kapok acoplada a um tanque de mistura, desde o qual era alimentada a amostra a ser tratada. Na realização do estudo foi verificada a influência da densidade do empacotamento da fibra de Kapok na coluna e, da vazão volumétrica sobre a demanda química de oxigênio (DQO) e da turbidez, usando-se para isto um planejamento fatorial de dois fatores e três níveis, incluindo-se o ponto central. Os resultados apresentam os valores ótimos da densidade de empacotamento, 0,07 g/cm³, e da vazão volumétrica 1,09 L/h, através dos quais são obtidas reduções de até 99% na DQO e de 87% na turbidez.

Castro et al. (2021) avaliaram cascas e sementes de maracujá como materiais adsorventes de efluentes contaminados com o corante Vermelho Quimicry GRL. No trabalho foi avaliado também o efeito do pH e da força iônica, quando é colocado NaCl na solução em diferentes concentrações. Os melhores resultados no estudo foram obtidos com cascas de maracujá tratadas com hidróxido de sódio (NaOH).

No presente trabalho foi avaliada a capacidade de adsorção do material obtido por moagem da cápsula do fruto da Paineira *Chorisia speciosa* A. St.-Hil, quando é utilizado na remoção do corante têxtil CIBACRON® Azul FN-R, presente em um banho residual.

2. Metodologia

2.1 Preparo do adsorvente de cápsula do fruto de *Chorisia speciosa* A. St.-Hil

Os frutos de *Chorisia speciosa* A. St.-Hil foram obtidos na Universidade Federal da Grande Dourados, na cidade de Dourados - MS. A casca fibrosa foi separada dos demais constituintes do fruto, como fibras e sementes, sendo estes descartados. A casca foi cortada com faca, em pequenos pedaços de volumes aproximadamente de 2 cm³ e, posteriormente, triturados em moinho de facas, obtendo-se o material necessário para todos os ensaios.

Parte do material moído foi submetido a um processo de lavagem, com água destilada a uma temperatura de 50°C e posteriormente filtrado com ajuda de uma bomba de vácuo A-45 PLUS acoplado a um kitassato de 500 mL e funil de Büchner 120mm. O produto obtido da filtragem foi seco em estufa, a uma temperatura de 60°C por 50 horas até ficar totalmente seco.

O material *in natura* não foi submetido a processo de lavagem, sendo armazenado em condições adequadas para testes posteriores.

2.2 Preparo de solução contendo corante CIBACRON® Azul FN-R

Foi realizado o preparo da solução de corante em concentração de 100 ppm, sendo o solvente água destilada.

2.3 Construção da curva de calibração

A partir da solução concentrada de 100 ppm foram realizadas diluições nas concentrações: 2 ppm, 10 ppm, 20 ppm e 50 ppm. As soluções diluídas foram submetidas à espectrofotometria no comprimento de onda (λ) de 428 nm, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da espectrofotometria para as diferentes concentrações de solução do corante CIBACRON® Azul FN-R.

Concentração (mg/L)	Absorbância
0	0,0000
2	0,0272
10	0,1327
20	0,2723
50	0,6836

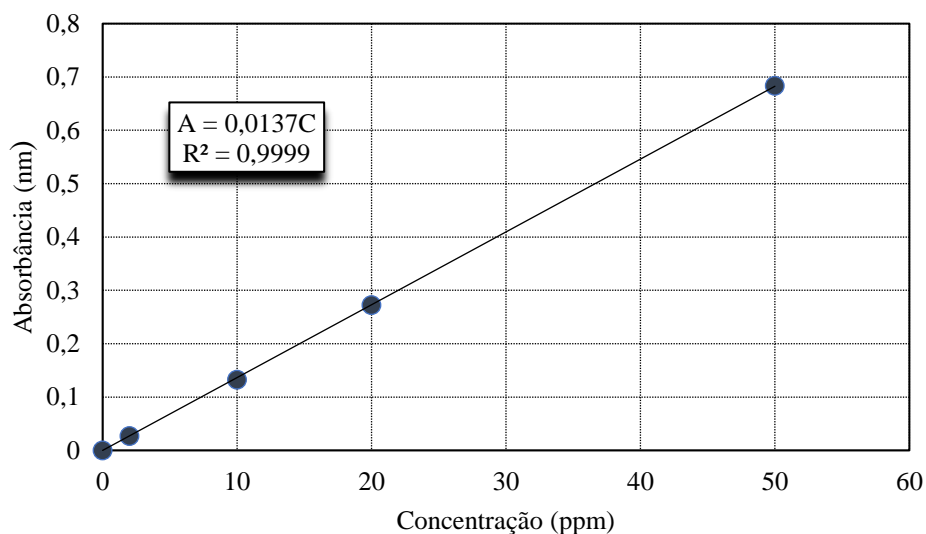
Fonte: Autores (2022).

A partir da curva de calibração, foi obtida a equação da reta expressa na equação (1)

$$A = 0,0137 \cdot C \quad (1)$$

onde A é Absorbância e C é a concentração de corante. O modelo ajustado apresentou coeficiente de determinação $R^2=0,9999$, que indica uma excelente relação linear entre a absorbância e a concentração, Figura 1.

Figura 1 - Curva de calibração obtida a partir dos resultados apresentados na Tabela 1.



Fonte: Autores (2022).

2.4 Teste da capacidade de adsorção realizado com o material lavado e com o material *in natura*

Visando comparar o desempenho dos dois materiais estudados (material submetido à lavagem e material *in natura*) foi realizado um teste para determinar a capacidade de adsorção destes e determinar a quantidade em gramas ideal do material adsorvente que permitisse obter o maior grau de remoção do corante.

Na realização dos ensaios foram empregados tubos de ensaio de 25 mL, nos quais foram colocados o material *in natura* e o material lavado. Foram pesadas e adicionadas, nos tubos de ensaio, as quantidades de adsorventes: 0,25 g; 0,50 g e 0,75 g. Posteriormente foram adicionados 15 mL da solução de concentração de 100 ppm de corante CIBACRON® Azul FN-

R em cada um dos tubos contendo o material adsorvente. Na preparação do branco foram preparados tubos de ensaio contendo o material *in natura* e lavado com 15 mL de água destilada.

Todos os tubos foram submetidos à agitação de 100 rpm em um banho agitado e temperatura controlada de 25°C, por um tempo de duas horas. Uma vez atingido o tempo, o material contido nos tubos foi filtrado.

Da solução filtrada de cada tubo de ensaio foi retirada uma alíquota de 1 mL e diluída a 25 mL com água destilada em balão volumétrico. As amostras diluídas foram submetidas à espectrofotometria, obtendo-se valores de absorbância e posteriormente os valores da concentração de corante no banho através do uso da curva de calibração apresentada na Figura 1.

2.5 Estudo da influência da temperatura e da velocidade de agitação sobre o grau de esgotamento do banho residual

De acordo com a metodologia apresentada por Neto et al. (2001), foi verificada a influência da temperatura (°C) e da velocidade de agitação (rpm) da solução sobre a percentagem de esgotamento do corante no banho, a partir de um planejamento experimental ²², sendo realizados quatro ensaios em duplicata. Os valores dos níveis estudados e a matriz de planejamento são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

A massa de adsorvente neste caso foi de 0,75 g para todos os ensaios estudados.

Tabela 2 - Níveis das variáveis estudadas no processo de remoção de corante do banho residual através de processo de adsorção, utilizando-se como adsorvente cápsula de fibra de *Chorisia speciosa* A. St.–Hil.

Variáveis	Níveis dos Fatores	
	(-)	(+)
(1) Temperatura (°C)	25	35
(2) Velocidade de Agitação(rpm)	100	200

Fonte: Autores (2022).

Tabela 3 - Matriz de planejamento para o processo de estudo.

Ensaio	(1) Temperatura (°C)	(2) Velocidade de Agitação (rpm)
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Fonte: Autores (2022).

3. Resultados e Discussão

3.1 Resultados do teste da capacidade de adsorção do material lavado e *in natura*

Os resultados obtidos do teste da capacidade de adsorção utilizando-se o material lavado e o material *in natura* são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. É possível verificar para os dois casos estudados que à medida que aumenta a quantidade de adsorvente, a concentração residual de corante no banho diminui ou, em outras palavras, o grau de esgotamento do corante residual aumenta. Os maiores valores na percentagem de esgotamento de corante foram obtidos com 0,75g de adsorvente.

O desempenho como adsorvente do material *in natura* foi melhor que o material lavado. É possível observar na Tabela 5 que o grau de esgotamento é maior nos experimentos onde foi empregado o material *in natura*, para todas as quantidades de adsorvente estudadas.

Tabela 4 - Resultados observados com o material vegetal lavado.

Material lavado		
Massa (gramas)	Concentração de corante no banho Residual (ppm)	Esgotamento (%)
0,25	96,05	3,95
0,50	94,86	5,41
0,75	91,53	8,47

Fonte: Autores (2022).

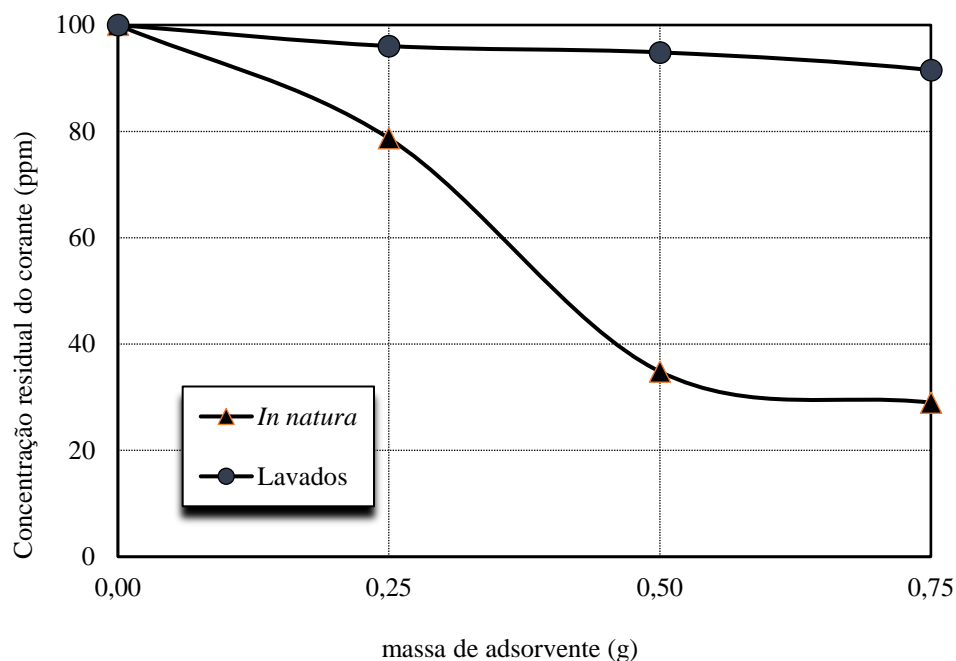
Tabela 5 - Resultados obtidos com o material *in natura*.

Material <i>in natura</i>		
Massa (gramas)	Concentração de corante no banho Residual (ppm)	Esgotamento (%)
0,25	78,69	21,31
0,50	34,83	65,17
0,75	28,98	71,02

Fonte: Autores (2022).

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 4 e 5 foi construído o gráfico da concentração residual de corante (ppm) versus massa de adsorvente (g), apresentado na Figura 2. Verifica-se que o material resultante da moagem da cápsula de fibra da Paineira *Chorisia speciosa* A. St.–Hil. *in natura* apresentou melhor desempenho na remoção do corante do banho residual em relação ao material lavado. De acordo com Annunciado et al. (2005b), os principais constituintes da fibra da paineira são: celulose (54%), hemicelulose (27,5%), lignina (15%) e outros constituintes menores. É conveniente salientar que na lavagem do material, foi empregada água destilada na temperatura de 50°C que em contato com a celulose, ocasiona os fenômenos de inchamento e intumescimento da fibra que podem influenciar negativamente na adsorção do corante no material adsorvente. Estes aspectos morfológicos da fibra são de grande relevância e serão explorados de forma detalhada em futuros estudos.

Figura 2 - Representação da relação entre material lavado e *in natura* e seu comportamento na atividade de adsorção.



Fonte: Autores (2022).

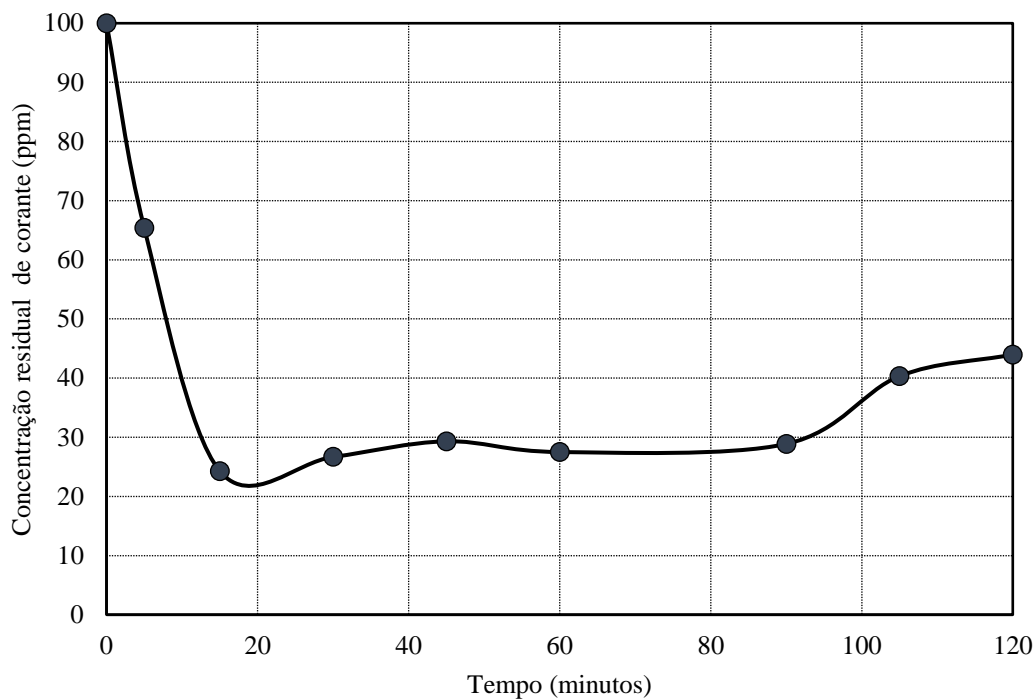
3.2 Influência da temperatura e do grau de agitação sobre o grau de esgotamento do corante Reativo CIBACRON® Azul FN-R em banho residual, realizado com casca de fruto de paineira moído *in natura*.

O estudo da influência da temperatura e do grau de agitação sobre o grau de esgotamento do corante reativo CIBACRON® Azul FN-R foi realizado unicamente com o material *in natura* por apresentar este material melhor desempenho em relação à adsorção do corante. A quantidade de adsorvente empregado nos quatro ensaios foi de 0,75 g.

O resultado da concentração de corante residual no tempo para os quatro ensaios realizados é apresentado nas Figuras 3 a 6. O melhor resultado foi obtido no ensaio 3, que é apresentado na Figura 5, realizado em baixa temperatura (25°C) e com alta velocidade de agitação (200 rpm), seguido pelo ensaio 4 apresentado na Figura 6, alta temperatura (35°C) e alta velocidade de agitação (200 rpm).

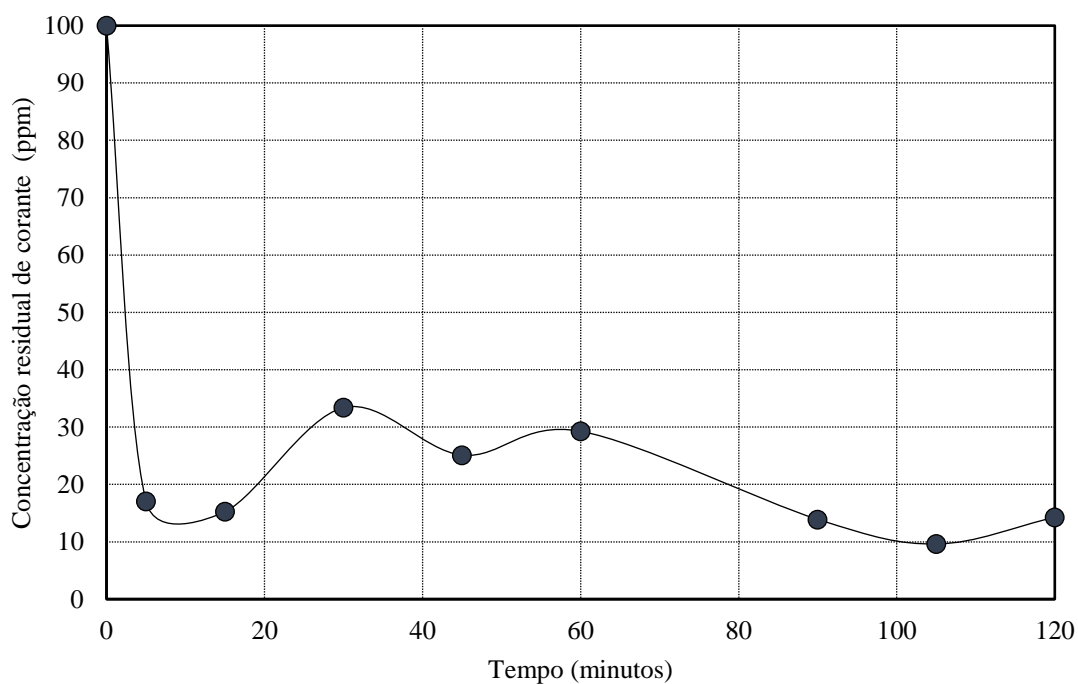
Verifica-se nos quatro ensaios estudados que o tempo aproximado do processo de adsorção foi de 30 minutos, tendo-se instabilidade na concentração de corante no banho residual depois desse tempo. Essa instabilidade pode ser devida a concentração de corante fracamente adsorvido no interior do adsorvente que é transferido novamente para o banho residual.

Figura 3 - Comportamento da concentração de corante no banho residual no decorrer do tempo para o ensaio 1, realizado na temperatura de 25°C e grau de agitação 100 rpm.



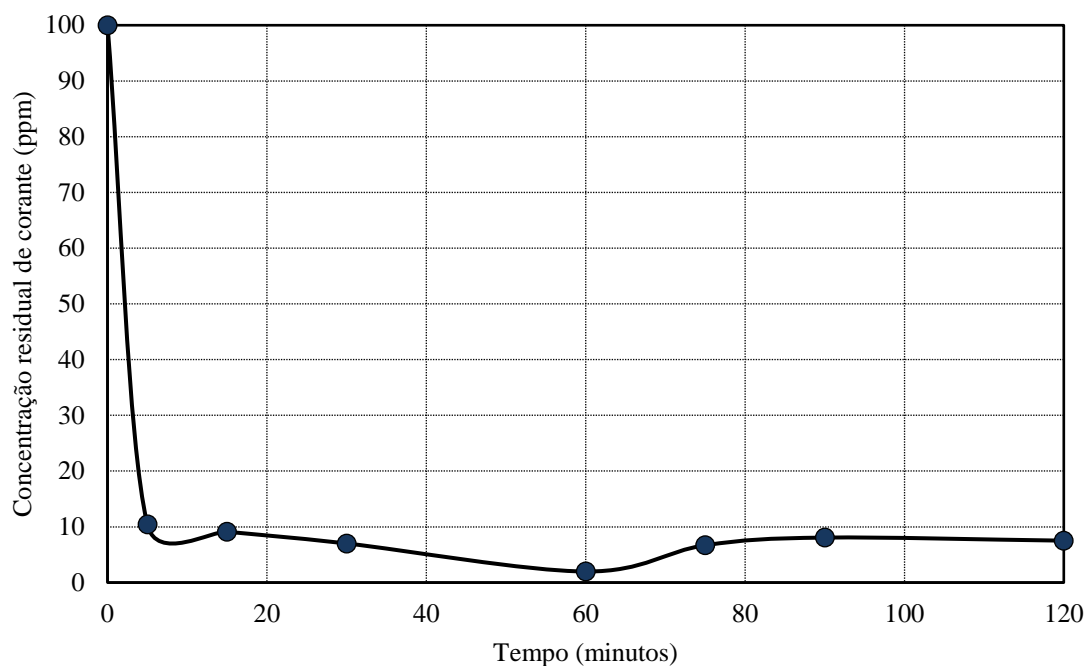
Fonte: Autores (2022).

Figura 4 - Comportamento da concentração de corante no banho residual no decorrer do tempo para o ensaio 2, realizado na temperatura de 35°C e grau de agitação 100 rpm.



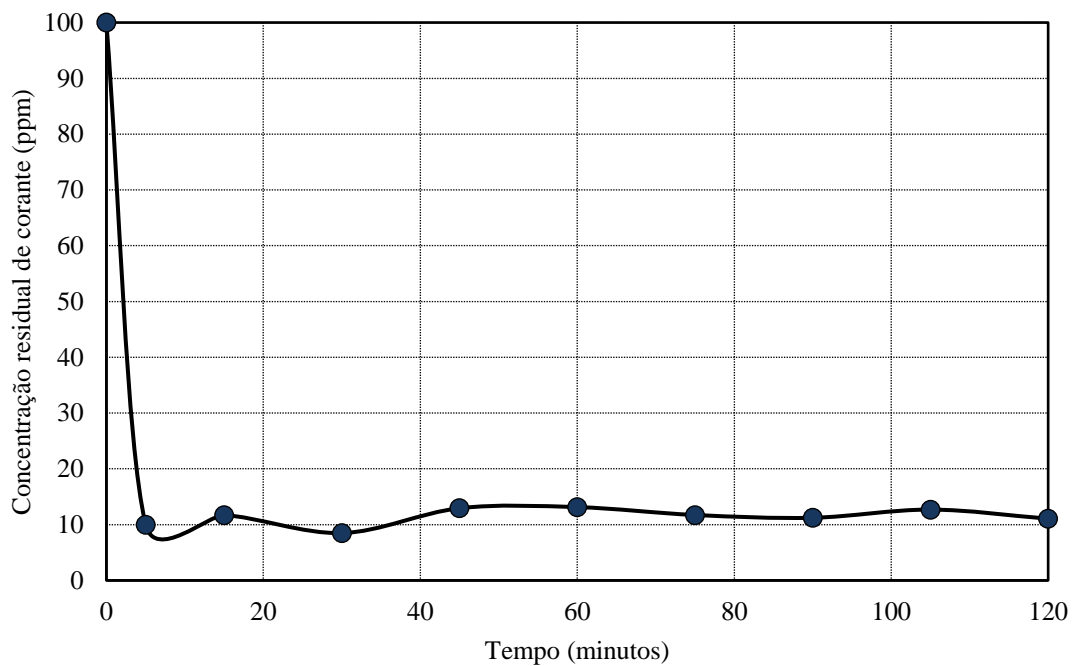
Fonte: Autores (2022).

Figura 5 - Comportamento da concentração de corante no banho residual no decorrer do tempo para o ensaio 3, realizado na temperatura de 25°C e grau de agitação 200 rpm.



Fonte: Autores (2022).

Figura 6 - Comportamento da concentração de corante no banho residual no decorrer do tempo para o ensaio 4, realizado na temperatura de 35°C e grau de agitação 200 rpm.



Fonte: Autores (2022).

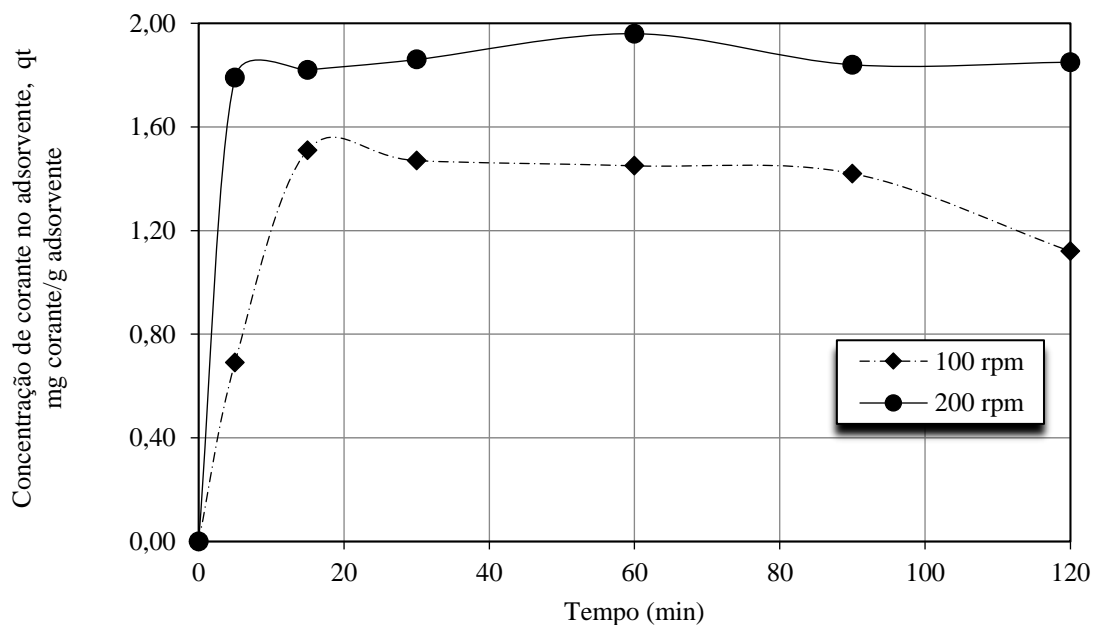
A capacidade de adsorção do adsorvente estudado através do tempo foi calculada a partir da equação (2), dada por:

$$q_t = \frac{(C_{cin} - C_{ct})}{m_{ads}} \cdot V \quad (2)$$

onde q_t é a quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente empregado no decorrer do tempo; C_{cin} é a concentração de corante inicial; C_{ct} é a concentração de corante no banho residual; V é o volume de solução empregado no ensaio e m_{ads} é a massa de adsorvente empregado no ensaio.

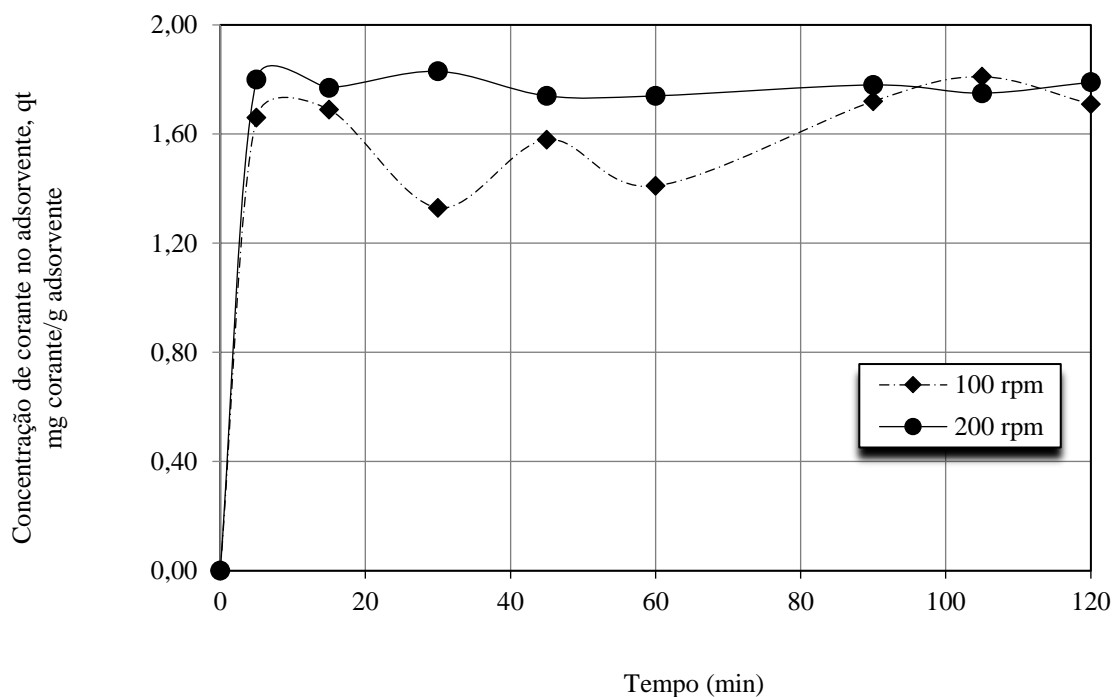
O comportamento da concentração de corante adsorvido no decorrer do tempo, para os quatro ensaios realizados é apresentado nas Figuras 7 e 8. Verifica-se que os maiores níveis de adsorção do corante no adsorvente estudado foram obtidos para as maiores velocidades de agitação de 200 rpm, nos ensaios 3 e 4.

Figura 7 - Comportamento da concentração de corante no adsorvente, no decorrer do tempo, para os ensaios 1 e 3, realizados na temperatura de 25°C e velocidades de agitação de 100 e 200 rpm.



Fonte: Autores (2022).

Figura 8 - Comportamento da concentração de corante no adsorvente, no decorrer do tempo, para os ensaios 2 e 4 realizados na temperatura de 35°C e velocidades de agitação de 100 e 200 rpm.



Fonte: Autores (2022).

3.3 Análise estatística dos resultados experimentais realizados com cápsula de fibra de *Chorisia speciosa* A. St.-Hil.

Nesta etapa foi utilizado o Programa Statistica considerando-se o nível de confiança de 95% para analisar os efeitos das variáveis estudadas, nos resultados do estudo da capacidade de adsorção do corante reativo CIBACRON® Azul FN-R no material *in natura*, obtido da moagem da cápsula do fruto da Paineira Barriguda.

A Tabela 6 apresenta a estimativa da influência da temperatura, do grau de agitação e do efeito da interação entre as mesmas, sobre o grau de esgotamento do corante no banho residual. Nota-se que a variável (2), velocidade de agitação, teve maior influência sobre o grau de esgotamento. A variável (1), temperatura, apresenta um coeficiente de menor valor (1,33), que indica menor influência sobre o grau de remoção do corante no banho residual.

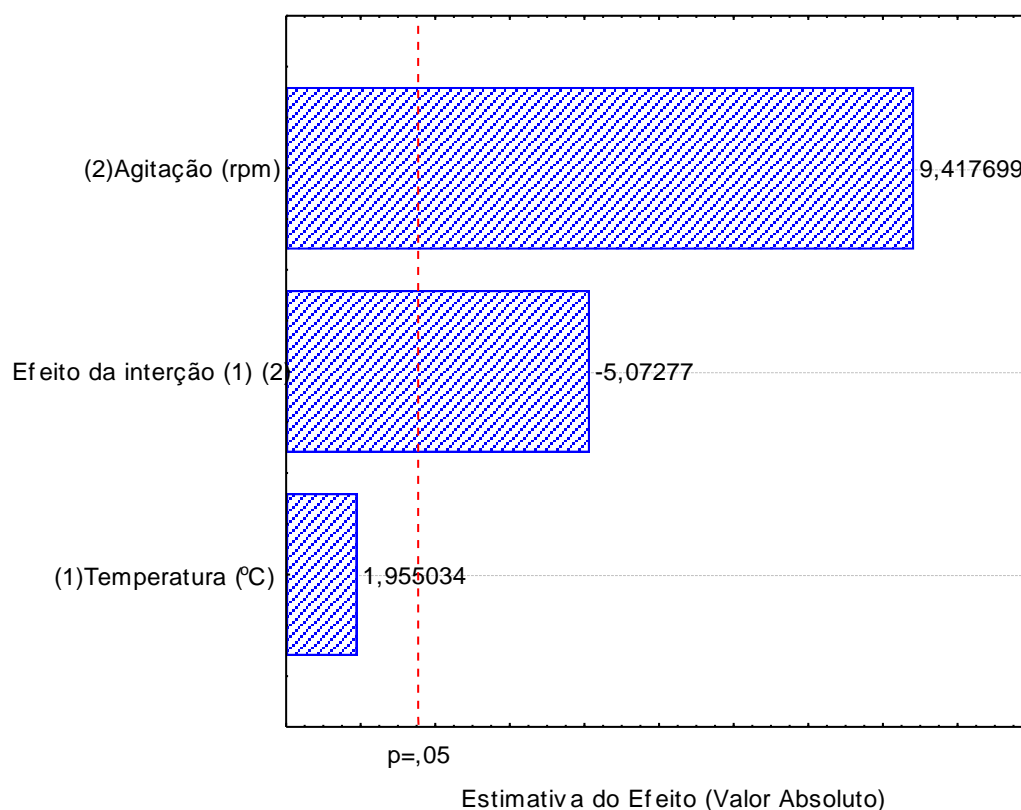
A influência das duas variáveis estudadas (temperatura e grau de agitação) e de sua interação também pode ser visualizada no Diagrama de Pareto, apresentado na Figura 9. Para um nível de significância de 95%, o diagrama de Pareto apresenta os efeitos das variáveis: temperatura (1), velocidade de agitação (2) e da interação dessas variáveis. No gráfico verifica-se que a velocidade de agitação é a variável com maior influência sobre o grau de esgotamento, seguida pelo efeito combinado das duas variáveis (interação da temperatura com a velocidade de agitação). Isto confirma que a transferência de massa do corante do banho para o adsorvente é beneficiada à medida que aumenta o movimento da solução pela agitação do banho, tendo-se um aumento de transferência de massa por convecção. A barra relacionada à temperatura apresentou o menor valor, não sendo, portanto, significativa.

Tabela 6 - Estimativa da influência das variáveis estudadas e do efeito da interação (temperatura e grau de agitação) sobre o grau de esgotamento do corante no banho residual tratado através do processo de adsorção.

Fator	Efeito	Desvio padrão	Valor p	-95, % Limite inferior	+95, % Limite superior	Coefficiente
Média/ interação	84,47625	0,678377	0,000000	82,5928	86,35973	84,47625
(1) Temperatura (°C)	2,65250	1,356754	0,122249	-1,1145	6,41945	1,32625
(2) Agitação (rpm)	12,77750	1,356754	0,000709	9,0105	16,54445	6,38875
Efeito da interação (1) (2)	-6,88250	1,356754	0,007117	-10,6495	-3,11555	3,44125

Fonte: Autores (2022).

Figura 9 - Diagrama de Pareto: Estimativa dos efeitos principais das variáveis estudadas e do efeito combinado sobre o grau de esgotamento do corante no banho residual.



Fonte: Autores (2022).

4. Conclusão

Neste trabalho foi estudado o processo de remoção do corante reativo CIBACRON® Azul FN de um banho residual através do uso de um adsorvente natural obtido da cápsula do fruto da *Chorisia speciosa* A. St.-Hil. O adsorvente estudado foi utilizado na forma *in natura* e lavado. Maiores valores da porcentagem de esgotamento de corante no banho residual foram obtidos com 0,75g de adsorvente do material *in natura*, sendo observados os melhores resultados nas condições de temperatura de 25°C e grau de agitação de 200 rpm. Já os ensaios realizados com o material previamente lavado, com água destilada na

temperatura de 50°C, levaram a menores percentagens de esgotamento de corante no banho, talvez devido a fenômenos de inchamento e intumescimento da fibra, influenciando de forma negativa na adsorção. Isto pode estar relacionado a aspectos morfológicos da fibra que será objeto de futuros estudos.

Considerando a influência da temperatura e a velocidade de agitação sobre o grau de esgotamento de corante no banho residual verificou-se que o tempo aproximado do processo de adsorção foi de 30 minutos para todos os ensaios conduzidos. A partir desse tempo, observou-se instabilidade na concentração de corante que pode estar relacionada a processos de dessorção das moléculas de corante das fibras de adsorvente para o banho novamente.

Na análise estatística verificou-se que o efeito principal de temperatura não foi significativo, enquanto a agitação e a interação entre os fatores foram significativas.

A partir do estudo realizado é possível concluir que o material adsorvente *in natura* obtido da cápsula do fruto da *Chorisia speciosa* A. St.-Hil é um material de baixo custo, que pode ser empregado na remoção de corantes reativos da indústria têxtil. Por ser o material um produto natural tem a vantagem de degradar facilmente evitando danos ao meio ambiente.

Os resultados obtidos neste estudo são de grande relevância, possibilitando levar a informação obtida para as diversas indústrias, em relação ao tratamento de resíduos através de processos de adsorção. Em futuros projetos pode ser estudada a adsorção de outras espécies químicas presentes nos resíduos de diversas indústrias, como a indústria química, alimentícia e de petróleo, entre outras.

Referências

- Abdullah, M. A. & Rahmah, A. U. (2011). Evaluation of Malaysian Ceiba pentandra (L.) Gaertn. for oily water filtration using factorial design. *Desalination*, 266(1-3), 51-55.
- Annunciado, T. R.; Sydenstricker, T. H. D. & Amico, S. C. (2005a). *Avaliação da Capacidade de Sorção de Óleo Crú de Diferentes Fibras Vegetais*. 3º Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás, Salvador: 2005.
- Annunciado, T. R.; Sydenstricker, T. H. D. & Amico, S. C. (2005b). *Utilização da Fibra de Chorisia Speciosa como Sorvente de Óleo Cru. Parte II: Caracterização da Fibra X Capacidade de Sorção*. 3º Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás, Salvador.
- Bae, S. -H.; Motomura, H. & Morita, Z. (1997). Diffusion/Adsorption Behaviour of Reactive Dyes in Cellulose *Dyes and Pigments*, 34 (4), 321-340.
- Barcellos, I. O.; Andreus, J.; Battisti, A. M. & Borges, J.K. (2008). Blenda de Náilon-6,6/Quitosana como Adsorvente de Corantes Ácidos para Reutilização das Soluções de Corantes Tratadas em Tingimentos de Poliamida. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18(3), 215-221.
- Carneiro, E. B.; Sugui, J. A. & Reicher, F. (2002). Structural and Biological Features of a Hydrogel from Seeds Coats of Chorisia Speciosa. *Phytochemistry*, 61(2), 157-163.
- Carvalho, P.E.R. (1994). *Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais potencialidades e uso de madeira*. Embrapa-CNPQ, Brasília.
- Castro, M. C.; Alves, E. S.; Saqueti, B. H. F. & Montanher, S. F. (2021). Estudo de adsorção do corante Nylosan azul N-BLN têxtil em resíduos de semente de maracujá. *Research, Society and Development*, 10(13), e573101321594.
- Costa, E. R.; Santana, S.A.A.; Silva, H. A. S.; Bezerra, C. W. B. & Schultz, M. S. (2009). Uso de casca de arroz como adsorvente na remoção do corante têxtil vermelho Remazol 5R. *Cadernos de Pesquisa*, 16(2), 44-50.
- Damasceno, O. I. C. (2008). *Remoção de Corantes em Solução Aquosa e Efluentes de Indústrias Têxteis através de Adsorção em Cabelo Humano*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2008, 85p.
- Fontana, E.; Amico, S. C. & Revello, J. H. P. (2011). Determinación de algunas propiedades térmicas de la fibra de paina. *Ingeniería Química*, 494, 100-103.
- Guarantini, C. C. I. & Zanoni, M. V. B. (1999). *Corantes têxteis*. Instituto de química, Departamento de química analítica. Araraquara – SP.
- Lim, T. T. & Huang, X. F. (2007). Evaluation of hydrophobicity/oleophilicity of kapok and its performance in oily water filtration: Comparison of raw and solvent-treated fibers. *Industrial Crops and Products*, 26(2), 125 – 134.
- Moreira, D. R. (2010). *Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia*. Dissertação de Pós- Graduação e Engenharia e Tecnologia de Materiais - Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Neto, B. B.; Scarminio, I. S. & Bruns, R. E. (2001). *Como Fazer Experimentos - Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria*. Campinas, SP: Editora da Unicamp. v. 1. 401p.

Rêgo Júnior, A. G. do; Nobrega, G. A. S. da; Silva, R. C. L. da. & Gomes, D. A. A. (2022). Estudo da remoção de corante azul de metileno de soluções aquosas usando o bambu in natura (*Bambusa Vulgaris*) como adsorvente. *Research, Society and Development*, 11(6), e46711629314.

Revello, J. H. P. (2002). *Tingimento de Fios Têxteis em Bobinas: Uma abordagem Numérica e Experimental*, Tese de Doutorado em Engenharia Química – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

Tanobe, V.O.A. (2007). *Desenvolvimento de Sorventes à Base de Espumas de Poliuretanos Flexíveis para o Setor do Petróleo*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 131p.

Xavier, C. S. F.; Vieira, F. F.; Alves, M. P. & Sousa, J. T. de. (2021). Utilização do bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de corantes têxteis em soluções aquosas. *Research, Society and Development*, 10(7), e59110716974.

Yoshida, H.; Akihide, O. & Kataoka, T. (1993). Adsorption of Acid Dye on Cross-Linked Chitosan Fibers: Equilibria. *Chemical Engineering Science*, 48(12), 2267-2272.

Young, R. A. (1997). *Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Application*. In A. L. Leão, F. X. Carvalho e E. Froilini. Eds. Lognocellulosic-Plastic Composites, São Paulo, USP e UNESP, p. 1-21.