

Estudo comparativo do uso de fibras de melancia e coco na adsorção do corante RBBR

Amanda Karoline de Lima, Ana Carolina Volkmann*, Luana Beatriz Sassi, Lucas Diego de Oliveira Tomaselli, Melissa Dominique de Sousa Krueger, Muriele Macelai e Stephany Cristine de Gois.

Discentes do Curso Técnico em química (Modalidade Integrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus Jaraguá do Sul.

*E-mail: anacarolinavolkmann@gmail.com

Karine Thaise Rainert

Docente das disciplinas de Enobrecimento Têxtil, Tecnologias das Águas, Estampador de Tecidos, Processos Industriais II. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Jaraguá do Sul.

Resumo:

O acúmulo de resíduos agroindustriais provoca problemas ambientais, visto que grande quantidade desses resíduos são descartados em aterros sanitários. A melancia e o coco são frutos de cascas resistentes e fibrosas, que são descartadas por não apresentarem grande utilização. Com isso, questiona-se: É possível utilizar as fibras de coco e de melancia como agente adsorvente do corante têxtil RBBR? O objetivo deste trabalho é comparar a capacidade de adsorção do corante RBBR pelo coco e melancia. Inicialmente, foi realizado um teste para determinar o melhor pH para o processo adsorvente, sendo que o pH ácido se mostrou mais eficiente. Após isso, 100 mL de solução 0,05 g/L do corante RBBR foram submetidos a agitação na presença de fibras de melancia e coco verde, variando-se as massas dos adsorventes (0,5 g, 1 g e 1,5 g) e o pH da solução de corante (2, 6 e 10). Para a determinação do tempo de equilíbrio, variou-se a concentração da solução de corante de 25 a 150 mg/L. Os estudos de cinética e a construção das isotermas de adsorção deram-se a partir de análises com o espectrofotômetro UV-Vis. Assim, analisou-se o comportamento da adsorção e as melhores variáveis para o processo, sendo a fibra com maior eficácia na adsorção a fibra de melancia, o melhor pH para o processo adsorvente o pH ácido, a melhor massa sendo 1 g de material adsorvente e o equilíbrio químico entre as fibras e o corante atingido aos 90 minutos.

Palavras-chave: Melancia. Coco. Adsorção. Corante têxtil.

Abstract:

The accumulation of agroindustrial waste causes environmental problems, since a lot of this waste is disposed of in landfills. Watermelon and coconut are fruits of resistant and fibrous peels, which are discarded because they are not widely used. With this, it is questioned: Is it possible to use the coconut and watermelon fibers as adsorbent agent of the textile dye RBBR? The aim of this paper is to compare the adsorption capacity of the RBBR dye by coconut and watermelon. Initially, a test was performed to determine the best pH for the adsorption process, and acidic pH was more efficient. After that, 100 mL of 0,05 g/L solution of the RBBR dye were agitated in the presence of watermelon and green coconut fibers, varying the adsorbent masses (0,5 g, 1 g and 1,5 g) and the pH of the dye solution (2, 6 and 10). For the determination of the equilibrium time, the concentration of the dye solution was varied from 25 to 150 mg/L. The kinetic studies and the construction of the adsorption isotherms were based on analyzes with the UV-Vis spectrophotometer. Thus, the adsorption behavior and the best variables for the process were analyzed, being the fiber with greater efficiency in the adsorption the watermelon fiber, the best pH for the adsorption process the acid pH, the best mass being 1 g of adsorbent material and the chemical balance between the fibers and the dye reached at 90 minutes.

Keywords: Watermelon. Coconut. Adsorption. Textile dye.

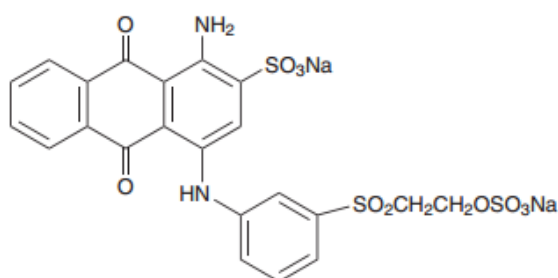
1 Introdução

O Brasil se caracteriza por ser o quinto maior produtor têxtil do mundo, visto que as indústrias têxteis são as maiores geradoras de efluentes líquidos, que podem conter sua composição uma ampla variedade de corantes, ácidos, bases e oxidantes, entre outros (ABIT, s/d).

Os corantes em contato com o meio ambiente podem apresentar vários riscos a saúde humana e ao ecossistema aquático, como por exemplo morte, atraso na regeneração de organismos e contaminação dos solos. Estima-se que pelo menos 30% dos corantes utilizados nos processamentos têxteis se perdem nos resíduos durante as etapas secundárias do beneficiamento (DALVIN, 1997). Um dos grandes problemas ambientais enfrentados pelo setor têxtil atualmente está relacionado à eliminação desses efluentes, sendo assim, necessário empregar técnicas de tratamento para que estas águas possam ser descartadas em corpos receptores sem que ocasionem poluição ou qualquer tipo de impacto ambiental (FURLAN, 2008).

O corante RBBR (Figura 1) apresenta em sua composição compostos que pertencem a família de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), que são formados por anéis aromáticos condensados. Em virtude de suas propriedades físico-químicas e da sua grande distribuição ambiental, o risco de contaminação humana por essas substâncias é significativo. De fato, devido ao seu caráter lipofílico, os HPAs e seus derivados podem ser absorvidos pela pele, por ingestão ou por inalação, sendo rapidamente distribuídos pelo organismo (Agency For Toxic Substances And Disease Registry, 1995).

Figura 1. Fórmula Molecular do corante RBBR



Fonte: Autores (2017).

Em relação a remoção da cor desse tipo de efluente são utilizados diversos processos. Dentre eles está a adsorção, que é um processo no qual há a adesão de partículas de um fluido a uma superfície sólida. O processo de adsorção é influenciado pelo adsorvente utilizado e por suas características variáveis, como temperatura, pressão e área superficial do adsorvente (FERNANDES et al., 2010).

Um dos adsorventes mais utilizados é o carvão ativado que pode ser utilizado em diversos tipos de tratamentos, tendo elevada eficiência. Contudo, a problemática tem sido seu alto custo de obtenção, sendo assim em alguns processos sua utilização é inviável. Os

resíduos agroindustriais podem substituir o carvão ativado, e com isso surge a necessidade de se estudar adsorventes alternativos, que estejam disponíveis em grandes quantidades e que tenham um baixo custo, como é o caso dos frutos do coco verde e melancia, que se caracterizam como fibrosos, além de existirem em abundância e produzirem grande acúmulo de rejeitos orgânicos (FERNANDES et al., 2010).

O endocarpo da melancia se caracteriza como a polpa do fruto, o qual é consumido. Em razão do alto consumo desse fruto, geram-se enormes resíduos, dentre esses destacam-se o pericarpo e o mesocarpo que constituem a fração fibrosa que pode ser utilizada na fabricação de materiais biossorventes no tratamento de efluentes têxteis (CORRADINI et al., 2009).

Com o alto consumo do suco do coco verde, geram-se muitos resíduos, sendo cerca de 70% do lixo gerado nas praias do nordeste brasileiro composto por cascas de coco verde. As fibras de coco são obtidos no mesocarpo de cocos, sendo caracterizados pela sua dureza e durabilidade atribuída ao alto teor de lignina (CORRADINI et al., 2009). Sendo assim, devido a maior quantidade de fibras do coco verde, destacam-se os filtros para tratamentos de águas residuárias. Encontram-se citadas algumas patentes de utilização da fibra de coco, dentre outros materiais, para ser usada como material filtrante (LO MONACO et al., 2009).

Tendo em vista a grande quantidade de resíduos gerados pelos frutos coco e melancia, além de possuírem uma quantidade relativa de fibras o propósito da pesquisa é comparar a eficácia das fibras do coco e da melancia na remoção do corante têxtil RBBR.

2 Materiais e Métodos

2.1 Adsorvato

O adsorvato utilizado foi produzido em laboratório, simulando um efluente têxtil real, com concentração do corante a 50 mg.L^{-1} .

2.1.1 Adsorvente

Para obter as fibras de coco retirou-se o exocarpo, o endocarpo e a polpa, resultando na utilização do mesocarpo fibroso. Este foi colocado na estufa por 24 horas a $50 \text{ }^\circ\text{C}$, com intuito de retirar toda água, a fim de se obter a fibra.

Já para obter as fibras de melancia retirou-se o pericarpo e o endocarpo, afim de utilizar o mesocarpo (parte branca), que foi triturado e peneirado para retirar a maior quantidade de água possível, e posteriormente foi levado a estufa num período de 24 a 48 horas, a $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2 Determinação do ponto de carga zero (PZC)

Para determinação do ponto de carga zero foi utilizado uma solução de NaCl $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ variando-se o pH de 1 a 12, utilizando NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ e ou H_2SO_4 2 mol.L^{-1} . Foram

adicionados 10 mL de NaCl 0,01 mol.L⁻¹ em tubos de ensaios com diferentes valores de pH e posteriormente adicionados 30 mg de melancia e de coco em cada um dos tubos, mantendo os mesmos sob agitação durante 24 horas. Após esse período, o valor do pH foi medido novamente. Para determinar o ponto de carga zero (quando o ΔpH dessa solução é igual a zero), foi construído um gráfico a partir do valor obtido com a Equação 1 versus o valor do pH inicial (AWUAL et al., 2014).

$$\Delta\text{pH} = (\text{pH}_{\text{final}} - \text{pH}_{\text{inicial}}) \quad (1)$$

2.3 Testes preliminares de adsorção

Os testes preliminares foram realizados de acordo com a metodologia de Rainert (2017). Os ensaios foram realizados em triplicata, durante 24 h com variação de pH em 2, 6 e 10, e massa (g) em 0,5 g; 1,0 g e 1,5 g sobre o processo adsorptivo, a fim de determinar as melhores condições de trabalho. Os valores reais dos níveis das variáveis estudadas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis e níveis estudados no planejamento 3k.

Variáveis	Níveis		
	(-1)	0	(+1)
pH (X ₁)	2	6	10
Massa de adsorvente (g) (X ₂)	0,5	1	1,5

A resposta utilizada para determinar a eficiência da remoção de corante foi calculada pela Equação 2.

$$\% \text{ Remoção} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Onde %Remoção de corante, C₀ é a concentração inicial do composto (mg.L⁻¹), C_t é a concentração no tempo t (mg.L⁻¹). Para a análise estatística foi utilizado o programa Statistica 7.0, aplicando a análise de variância (ANOVA) e a metodologia de superfície de resposta, obtendo assim a eficiência de remoção do corante uma equação de segundo grau (Equação 3). Este método é uma técnica de regressão múltipla para ajustamento de um modelo matemático de um conjunto de dados experimentais (BAŞ; BOYACI, 2007).

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 +$$

$$\beta_{23}X_2X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \varepsilon \quad (3)$$

Onde β_0 é o coeficiente de intercessão, β_1 , β_2 e β_3 são coeficientes lineares, β_{12} , β_{13} e β_{23} são coeficientes da interação, β_{11} , β_{22} e β_{33} são coeficientes quadráticos e X_1 , X_2 e X_3 são as variáveis independentes usadas, respectivamente.

Para realização dos ensaios utilizou-se erlenmeyers de 250 mL, contendo 100 mL da solução do corante na concentração de 50 mg.L⁻¹ utilizando NaOH (0,1 mol.L⁻¹) e H₂SO₄ (2,0 mol.L⁻¹) para ajuste do pH. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente do laboratório (25 ± 2 °C), sob agitação.

2.4 Cinética de adsorção

Os erlenmeyers contendo 100 mL de solução de corante foram colocados em uma mesa agitadora por um período de 24 horas e a amostra foi filtrada em papel de filtro quantitativo. A concentração de cada amostra foi determinada por meio da leitura da absorbância em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 590 nm. Assim, determinou-se o tempo necessário para se atingir o equilíbrio entre a solução de corante e as fibras de coco e melancia. A quantidade de adsorbato adsorvido no tempo t, q_t (mg.g⁻¹) será calculado utilizando a Equação 4.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) * V}{m} \quad (4)$$

Onde q_t é a concentração do adsorbato no tempo t adsorvida no adsorvente (mg.g⁻¹) na condição de equilíbrio, C_0 é a concentração inicial do composto (mg.L⁻¹), C_t é a concentração no tempo t na solução (mg.L⁻¹), m é a massa do adsorvente (g) e V é o volume da solução (L). Por fim, os dados cinéticos serão analisados utilizando os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

2.5 Isotermas de adsorção

Para a determinação das isotermas foram realizados experimentos para o tempo de contato determinado no estudo cinético, com concentrações de 25 à 150 mg.L⁻¹. Após o equilíbrio, a mistura foi imediatamente filtrada com bomba de vácuo. A concentração final de corante de cada amostra foi determinada por meio da leitura da absorbância em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 590 nm. A quantidade de corante adsorvida pelo adsorvente no equilíbrio (Q_e) foi calculada utilizando-se a Equação 4. O equilíbrio de adsorção foi avaliado usando os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich.

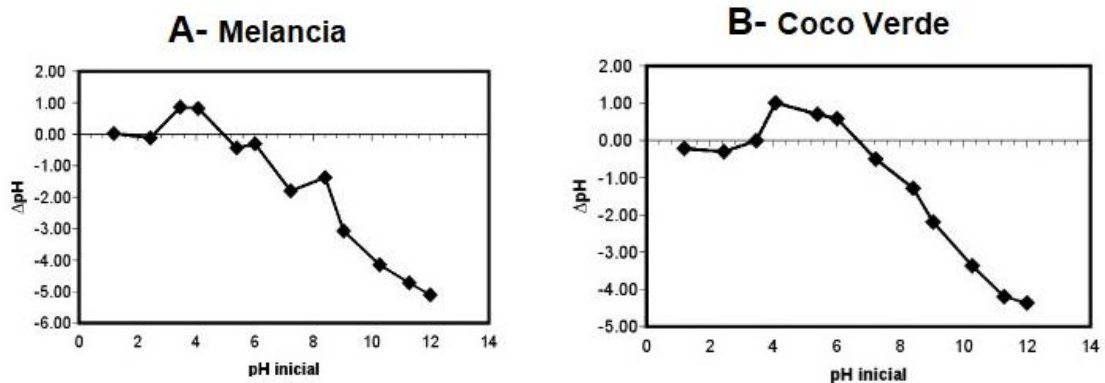
3 Resultados e discussão

3.1 Determinação do ponto de carga zero (PCZ)

As cargas elétricas na superfície do adsorvente e a influência do pH é de grande importância nos processos de adsorção, visto que a adsorção só sucede em função das cargas na superfície do adsorvente, sendo capaz de diminuir ou aumentar a afinidade corante-adsorvente. A medida que o pH se torna inferior ao valor do ponto de carga zero (PCZ) a região da superfície do adsorvente está carregada positivamente, o que auxilia na adsorção com caráter aniônico. Em contrapartida, quando a superfície está carregada negativamente, essa favorece a adsorção de corantes de caráter catiônico (AWUAL et al., 2014).

As Figuras 2A e 2B indicam a variação do pH em função do pH inicial do coco verde e da melancia, respectivamente. Com base nestes dados, o PCZ do adsorvente melancia foi estimado em 1 e do coco verde em 3, assim, abaixo desse valor o adsorvente apresenta uma carga superficial positiva favorecendo a adsorção de ânions e acima deste valor a superfície está carregada negativamente, favorecendo a adsorção de cátions.

Figura 2. Determinação do ponto de carga zero (PCZ) conjugado como função da ΔpH e pH inicial.



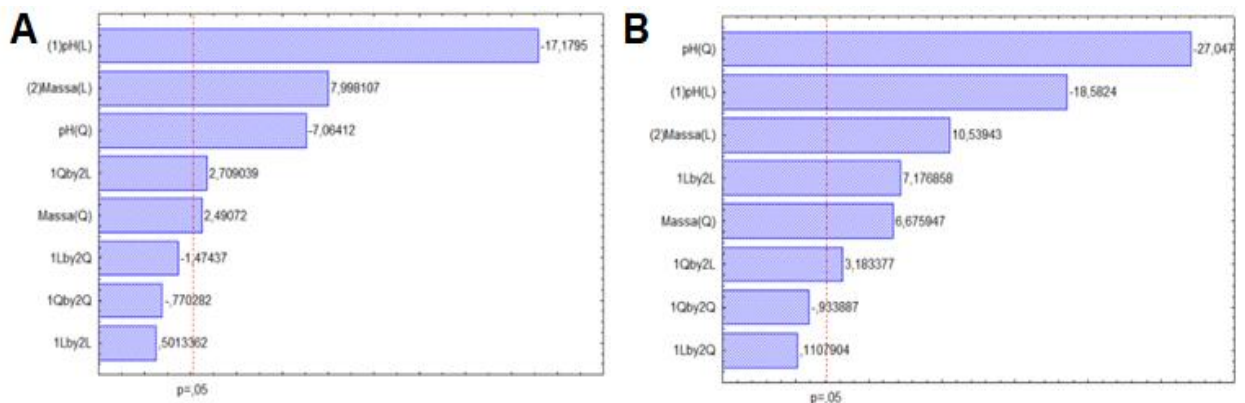
O corante RBBR contém numerosos grupos funcionais, podendo ser destacado o grupo sulfonado, que apresentam cargas negativas em seu meio (ISAH et al., 2015). Com isso, a interação do corante na superfície do adsorvente ocorre por interações iônicas entre grupos carregados positivamente do adsorvente e grupos carregados negativamente pertencentes ao adsorvato.

3.2 Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância (ANOVA) mostra que das variáveis estudadas, os termos lineares X1 e X2, o termo de interação X12, e os termos quadrados, X1 e X2, foram significativos sobre a resposta, tendo valor de $P < 0,05$ com um intervalo de confiança de 95% (Figura 3A e 3B). Sendo assim, os efeitos lineares e quadráticos de todas as variáveis

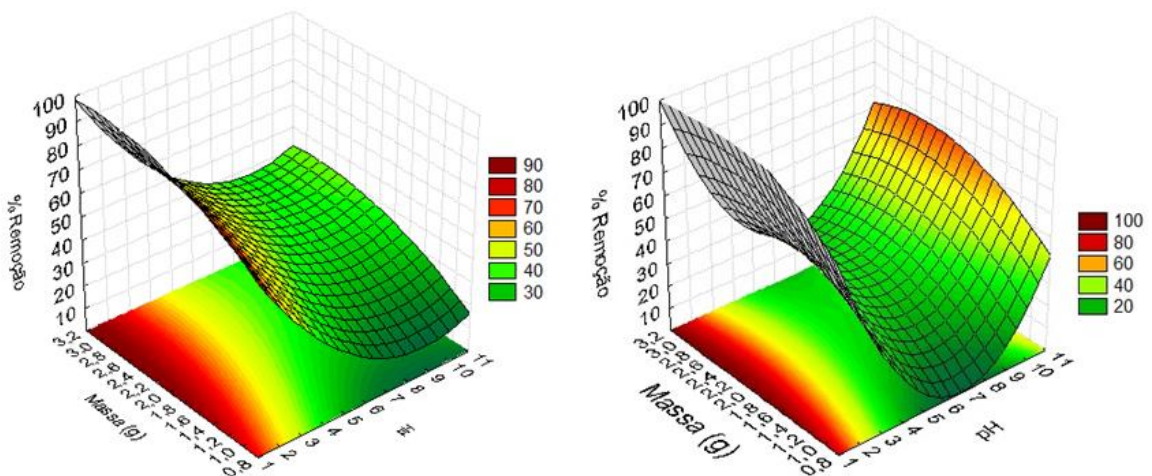
estudadas, assim como as interações do pH com a quantidade de massa de adsorvente foram estatisticamente significativos para ambos.

Figura 3. Diagrama de Pareto para otimização das condições de remoção do corante RBBR com melancia (A) e coco verde (B)..



O efeito do pH na porcentagem de remoção de RBBR e da sua interação com a quantidade de adsorvente está apresentado na Figura 4A e 4B, onde observa-se que os melhores resultados obtidos da remoção máxima RBBR alcançado foi na faixa de massa 1 g e pH 2 (ácido) para os dois adsorventes.

Figura 4. Efeito tridimensional das variáveis pH e massa de adsorvente de melancia (A) e coco verde (B) na remoção do corante RBBR.



A equação polinomial quadrática (equação 5) obtida pela metodologia de superfície de resposta para a %Remoção apresentou alto valor do coeficiente de determinação R^2 (0,936) para a melancia, mostrando que o modelo explica 93,6% desse processo.

$$\%Remoção = 69,33 - 18,13X_1 + 32,02X_2 + 1,01X_1^2 - 5,67X_2^2 + 31,17 \quad (5)$$

Para o coco verde a equação polinomial quadrática (equação 6) obtida pela metodologia de superfície de resposta para a %Remoção apresentou alto valor do coeficiente de determinação R^2 (0,972), mostrando que o modelo explica 97,2% desse processo.

$$\%Remoção = 99,79 - 35,60X_1 + 35,14X_2 + 1,77X_1 X_2 + 2,36X_1^2 - 9,31X_2^2 + 11,69 \quad (6)$$

O rápido aumento na adsorção de massa de adsorvente é atribuído a uma maior área superficial e disponibilidade de mais sítios ativos (DASTKHOON et al., 2015).

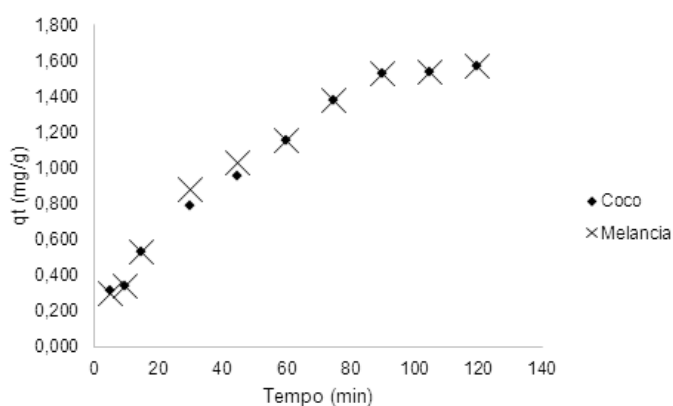
As variáveis com pH 10 tiveram uma adsorção desprezível, já no intervalo de pH de 2,0 a aproximadamente 6,0 as interações são de natureza eletrostática entre os sítios adsorventes NH_3^+ e grupos aniônicos dos corantes. Acima de pH 6,0 a adsorção é praticamente independente do pH sendo assim atribuída a um processo apenas difusional (KIMURA et al., 1999).

Este comportamento pode ser explicado, porque sob condições ácidas, os átomos de hidrogênio (H^+) em solução tendem protonar a superfície do adsorvente (AWUAL et al., 2014). Esse comportamento também foi observado por Silva et al. (2016) o qual obteve melhor adsorção do corante RBBR em pH 2. O modelo previu remoção de 79% de RBBR em coco verde, em pH 2 da solução do corante RBBR, 1,0 g de adsorvente, e para a melancia 83% de remoção do corante RBBR em pH 2 E 1,0 g de adsorvente.

3.3 Cinética de adsorção

A cinética de adsorção foi realizada para verificar a dinâmica do processo de adsorção. Foram feitas análises para verificar a eficiência dos biossorventes naturais coco e melancia na adsorção do corante RBBR em determinados intervalos de tempo, e com isso foram construídos modelos de gráficos cinéticos (Figura 5) para representar essa variação. O estudo cinético é determinado para estabelecer o tempo necessário para que ocorra a interação entre o adsorvente e o adsorbato visando obter o tempo ideal de agitação para ter o contato do corante com a fibra.

Figura 5. Quantidade de corante RBBR adsorvido nos biossorventes de coco e melancia.



Inicialmente, a adsorção do corante RBBR se deu rapidamente, sendo que nas duas primeiras medições o coco verde adsorveu mais quantidade de corante que a melancia, entretanto, na quarta e quinta medição a melancia adsorveu mais.

Em termos de cinética observou-se que a interação do corante com a fibra num período de 2 horas o sistema alcançou equilíbrio químico num tempo de 90 minutos para ambos os materiais adsorventes, apresentando uma cinética rápida.

O tempo de equilíbrio alcançado é expressivamente menor que outros materiais semelhantes utilizados na remoção do corante RBBR, como as aparas de papel cartão com tempo de 10 horas (RAINERT, 2017) e as cascas de laranja com tempo de 15 horas (MAFRA et al., 2013). Em contraponto, é semelhante à solução aquosa de bentonita com tempo de 120 minutos (CHINOUNE et al, 2016).

Modelo de pseudo-primeira ordem

Esse modelo assume que a taxa de adsorção do soluto com o tempo é diretamente proporcional à diferença de concentração de saturação e a quantidade de sólido adsorvido com o tempo. A equação de pseudo-primeira ordem (HOSSEINI-BANDEGHARAEI et al., 2010) é representada pela Equação (7).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2,303} t \quad (7)$$

onde q_t e q_e são a quantidades adsorvidas (mg/g) no tempo t e no tempo de equilíbrio, respectivamente, t é o tempo de adsorção (minutos) e K_1 é a constante da velocidade de adsorção (1/min). Representando-se $\log(q_e - q_t)$ versus t , foi possível encontrar os valores de q_e e K_1 (Figura 6A/6B). Os valores de K_1 , R^2 (coeficiente de correlação) e q_e são apresentados na Tabela 2.

Modelo de pseudo-segunda ordem

O modelo admite que a capacidade de adsorção é proporcional ao número de sítios ativos ocupados no adsorvente (UGURLU; KARAOGLU, 2011) esse modelo é representado pela equação (8) (HO; MACKAY, 1999).

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (9)$$

onde K_2 é a constante da velocidade de adsorção (g/mg min). Os valores de q_e e K_2 podem ser determinados a partir do declive e da intercepção de um gráfico linear de t/q_t versus t apresentado na Figura 6C/6D.

Os valores de K_2 , R^2 (coeficiente de correlação) q_e são dados na Tabela 2. O coeficiente de correlação foi 0,999 e 0,982 para a melancia e coco verde, respectivamente, (Tabela 2) sugerem uma forte relação entre os parâmetros, indicando que o processo

segue uma cinética de pseudo-segunda de ordem. Os trabalhos de Isah et al. (2015) e Rainert et al. (2017) também obtiveram uma cinética de pseudo-segunda ordem para adsorção do corante RBBR com carvão ativado com base de casca de coco, e aparas de papel cartão SBS, respectivamente.

Figura 6. (A) Modelo cinético de pseudo-primeira ordem em melancia; (B) modelo cinético de pseudo-primeira ordem em coco verde; (C) Modelo cinético de pseudo-segunda ordem em melancia; e (D) modelo cinético de pseudo-segunda ordem em coco verde do corante RBBR (50 mg/L).

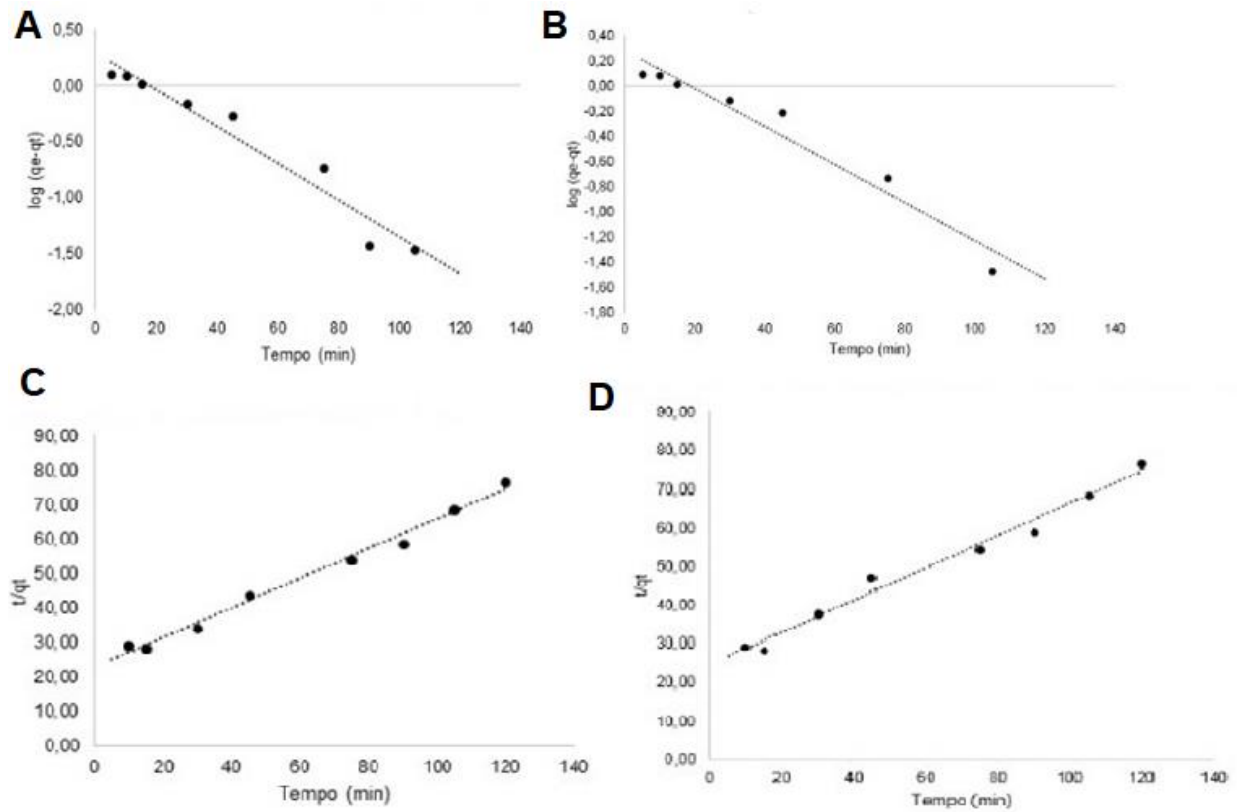


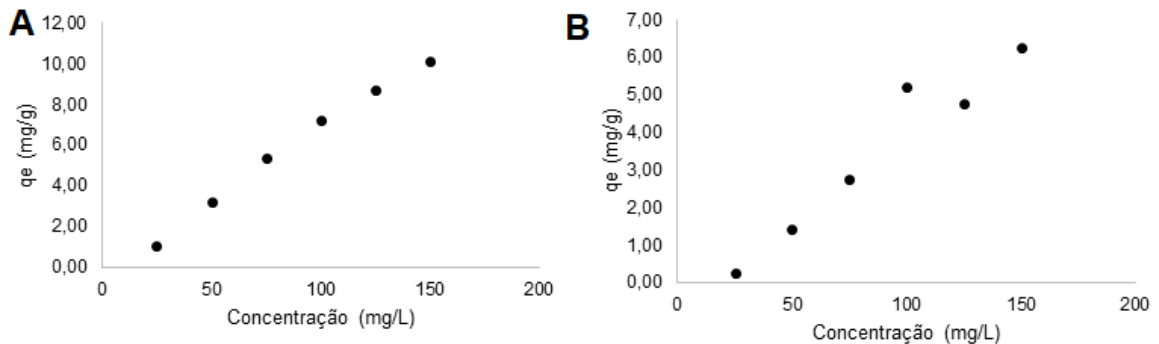
Tabela 2 - Parâmetros cinéticos para adsorção RBBR na melancia e no coco verde.

Modelos Cinéticos	Melancia			
	$q_{e, \text{exp}}$ (mgg ⁻¹)	q_{eq} (mg g ⁻¹)	K_1 (min ⁻¹)	R^2
Pseudo-primeira ordem	1,566	0,29	0,038	0,95
Pseudo-segunda ordem	q_{eqExp} (mg g ⁻¹)	q_{eq} (mg g ⁻¹)	K_2 (min ⁻¹)	R^2
	1,566	2,311	0,008	0,99
	Coco verde			
	$q_{e, \text{exp}}$ (mgg ⁻¹)	q_{eq} (mg g ⁻¹)	K_1 (min ⁻¹)	R^2
Pseudo-primeira ordem	1,566	0,282	0,035	0,952
Pseudo-segunda ordem	q_{eqExp} (mg g ⁻¹)	q_{eq} (mg g ⁻¹)	K_2 (min ⁻¹)	R^2
	1,566	2,388	0,007	0,982

3.4 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção foram realizadas a fim de indicar o modo como o adsorvente adsorverá o soluto, o grau de purificação obtido após o processo e uma aferição da quantidade máxima de soluto adsorvido, com isso, possibilitando uma averiguação da viabilidade econômica do adsorvente (SCHONS, s/d). Os dados de equilíbrio de adsorção obtidos para a remoção do corante RBBR em diferentes concentrações iniciais de corante por melancia e coco verde são representados na Figura 7A/7B.

Figura 7. Quantidade adsorvida do corante RBBR no equilíbrio em melancia (A) e coco (B).



Nos gráficos pode-se observar que a melancia possui uma maior capacidade de adsorção do corante quando comparado com o coco, visto que em mesmas concentrações de solução ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), no equilíbrio, a melancia adsorveu uma maior quantidade de corante. Para examinar a relação entre concentração de corante em equilíbrio (C_e) e capacidade de carga (q_e), os dados de equilíbrio foram analisados com modelos de isoterma de Langmuir e Freundlich.

A isoterma de Langmuir é o mais simples modelo teórico, admite uma adsorção em monocamada sobre uma superfície com um número finito de sítios ativos idênticos. A isoterma de adsorção de Langmuir é demonstrada pela equação (10) (RAHCHAMANI, MOUSAVI; BEHZAD, 2011).

$$q_e = \frac{q_m K_L C_0}{1 + K_L C} \quad (10)$$

onde C (mg/L) e q_e (mg/g) são a concentração da fase líquida e a concentração da fase sólida do adsorbato no equilíbrio, respectivamente, q_m (mg/g) é a capacidade máxima de adsorção do adsorvente e K_L (L/mg) é a constante da isoterma de Langmuir.

Os parâmetros calculados conforme o modelo Langmuir estão indicados na Tabela 3. A constante de Langmuir, q_m , que é a capacidade de adsorção na monocamada da melancia e do coco verde, foi de 29,412 e 4,847 mg/g , respectivamente. Esse valor de q_m obtido para melancia é menor quando comparado com o estudo de Lakshmiathy e Sarada (2015) com a casca da melancia nativa (243,9 mg/g), em relação ao coco verde o valor de

qm experimental é dobro do que obtido Isah et al. (2015) utilizando a casca de coco (qm de 2,22 mg/g). O coeficiente de correlação obtido para a isoterma de Langmuir utilizando coco verde com adsorvente apresentou melhor ajuste para os dados de equilíbrio.

A isoterma de Freundlich é demonstrada pela equação (11), uma equação empírica que admite adsorção heterogênea devido à variedade dos sítios ativos de adsorção (CHIANG; WU, 2010).

$$q_e = K_f C^{1/n} \quad (11)$$

onde q_e (mg/g) é a capacidade de adsorção no equilíbrio, K_f é a constante de Freundlich, C é a concentração do adsorbato na solução (mg/L) e $1/n$ indica o tipo de isoterma, se é irreversível ($1/n=0$), favorável ($0<1/n<1$), desfavorável ($1/n>1$) (NUITHITIKUL; SRIKHUN; HIRUNPRADITKOON, 2010). Os parâmetros calculados a partir do modelo Freundlich estão apresentados na Tabela 3.

Os resultados demonstraram que os dados experimentais da melancia estão de acordo com o modelo de Freundlich, comprovando-se pelo valor de R^2 0,985 (Tabela 3). Os valores calculados de $1/n$ foram considerados na gama de $0<1/n<1$ (Tabela 3), o que indicou que a melancia foi adequada para a adsorção do corante RBBR e que o processo de adsorção é favorável. O coco verde apresentou baixo coeficiente de correlação obtido para a isoterma de Freundlich, sugerindo que este modelo pode não ser aplicável ao sistema atual.

Tabela 3. Parâmetros isotérmicos para a adsorção RBBR em melancia e coco verde.

Melancia	qm(mg g⁻¹)	KL (min⁻¹)	R²
Langmuir	29,412	9,536	0,942
	Kf	N	
Freundlich	0,570	1,338	0,985
Coco verde	qm(mg g ⁻¹)	KL (min ⁻¹)	R ²
Langmuir	4,847	0,151	0,999
	Kf	N	
Freundlich	0,007	0,655	0,977

4 Considerações finais

As fibras do coco e melancia se mostraram de grande eficientes como adsorventes do corante RBBR. Comparando as fibras de coco e melancia, a melancia apresentou melhores resultados para adsorção, mas ambas se mostraram positivas para o processo adsorativo, tendo resultados de % de remoção acima de 80%. Ressalta-se ainda a importância da utilização de outros corantes para analisar se essas fibras apresentam um valor considerável de adsorção para outros corantes.

O modelo de pseudo-segunda ordem descreveu com maior precisão a cinética de adsorção de corante reativo RBRR na melancia e coco verde a qual atingiu o equilíbrio após 90 minutos. O modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou com os dados de adsorção em coco verde, e modelo Freundlich foi que melhor se ajustou para a melancia, comprovando-se pelos valores de r de Pearson e o de R2 mais elevados.

Por fim salienta-se a importância ecológica da utilização da melancia em tratamentos de efluentes com o método de adsorção, visto que existe uma grande quantidade de rejeitos orgânicos desse fruto sendo pouco estudados.

5 Agradecimentos

Primeiramente gostaríamos de agradecer a nossa orientadora Prof^a Karine Thaise Rainert, que nos orientou sempre da melhor forma, cumprindo com sua função. Agradecemos ao coordenador de fase, Elder Correa Leopoldino, pela ajuda e apoio.

Não poderíamos esquecer de agradecer a estagiária do laboratório de química, Jenifer Schäfer. Ao laboratório têxtil e à técnica de laboratório têxtil Silvia, pelo auxílio sempre que necessário. Agradecemos a todo corpo docente do Curso Técnico em Química do Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Jaraguá do Sul.

A nossos familiares e amigos, que nos ajudaram em nossas dificuldades e comemoraram conosco nossas vitórias. E por fim, a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente com o desenvolvimento desta pesquisa.

6 Referências

ABIT. **Perfil Setor**. s/d. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 14 de nov. de 2017.

Agency For Toxic Substances And Disease Registry. **Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons**. 1995. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2017.

AWUAL, Md. Rabiul et al. Mesoporous silica based novel conjugate adsorbent for efficient selenium(IV) detection and removal from water. **Microporous And Mesoporous Materials**, [s.l.], v. 197, p.331-338, out. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263698234_Mesoporous_silica_based_novel_conjugate_adsorbent_for_efficient_seleniumIV_detection_and_removal_from_water>. Acesso em: 13 ago. 2017.

CHIANG, Y.; WU,P. Adsorption equilibrium of sulfur hexafluoride on multi-walled carbon nanotubes. **Journal of Hazardous Materials**, v.178 p.729–738, 2010.

CHINOONE, Kheira et al. Adsorption of reactive dyes from aqueous solution by dirty bentonite. **Applied Clay Science**, [s.l.], v. 123, p.64-75, abr. 2016.

CORRADINI, Elisângela et al. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p.837-846, set. 2009. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v31n3/a30v31n3.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

DALTIN, Décio. **Estudo dos parâmetros físico-químicos da estamparia têxtil com corantes reativos visando a substituição dos espessantes nas formulações de tintas**. Dissertação de mestrado, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 140, 1997.

DASTKHOON, Mehdi et al. Ultrasound assisted adsorption of malachite green dye onto ZnS: Cu-NP-AC. **Separation And Purification Technology**, [s.l.], v. 156, p.780-788, dez. 2015.

FERNANDES, António Carlos Pinheiro et al. **Adsorção de efluentes têxteis: Tratamento de efluentes da indústria têxtil por adsorção em materiais de baixo custo**. Relatório de projeto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. Disponível em: <https://web.fe.up.pt/~projfeup/cd_2010_11/files/AMB101_relatorio.pdf>. Acesso em: 02 maio 2017.

FURLAN, Franciele Regina. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91020/252704.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

HO, Yuh-Shan; MCKAY, Gordon. Pseudo-second order model for sorption processes. **Process biochemistry**, v. 34, n. 5, p. 451-465, 1999.

HOSSEINI-BANDEGHARAEI, A.; HOSSEINI, M. S.; SARW-GHADI, M.; ZOWGHI, S.; HOSSEINIA, E.; HOSSEINI-BANDEGHARAEI, H. Kinetics, equilibrium and thermodynamic study of Cr(VI) sorption into toluidine blue o impregnated XAD-7 resin beads and its application for the treatment of wastewaters containing Cr(VI). **Chemical Engineering Journal** v.160 p.190–198, 2010.

ISAH, Umar et al. Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies of C.I. Reactive Blue 19 dye adsorption on coconut shell based activated carbon. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 102, p.265-273, ago. 2015.

KIMURA, Irene et al. Efeitos do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. Florianópolis, v. 9, n. 3, p.51-57, set. 1999. Disponível em: <<http://revistapolimeros.org.br/files/v9n3/v9n3a05.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

LAKSHMIPATHY, R.; SARADA, N.c.. Methylene blue adsorption onto native watermelon rind: batch and fixed bed column studies. **Desalination And Water Treatment**, [s.l.], v. 57, n. 23, p.10632-10645, 28 abr. 2015. Informa UK Limited.

NUTHITIKUL, K.; SRIKHUN, S.; HIRUNPRADITKOON, S. Kinetics and equilibrium adsorption of Basic Green 4 dye on activated carbon derived from durian peel: Effects of pyrolysis and post-treatment conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v.41, n. 5, p. 591–598, 2010.

MAFRA, Marcos R. et al. Adsorption of Remazol Brilliant Blue on an Orange Peel Adsorbent. **Brazilian Journal Of Chemical Engineering**, Curitiba, v. 30, n. 3, p.657-665, set. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjce/v30n3/a22v30n3.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2017.

RAHCHAMANI, J.; MOUSAVI, H.Z.; BEHZAD, M. Adsorption of methyl violet from aqueous solution by polyacrylamide as an adsorbent: Isotherm and kinetic studies. **Desalination**. v.267 p.256–260, 2011.

RAINERT, Karine Thaise et al. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the removal of reactive dye RBBR using discarded SBS paperboard coated with pet as an adsorbent. **Desalination And Water Treatment**, [s.l.], v. 86, p.203-212, 2017. Desalination Publications.

SCHONS, Elenice. **Fenômenos interfaciais**. s/d. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <https://cetm_engminas.catalao.ufg.br/up/596/o/fen_int_5.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2017.

SILVA, Maria Cristina; CORRÊA, Angelita Duarte; TORRES, Juliana Arriel. Descoloração de corantes industriais e efluentes têxteis simulados por peroxidase de nabo (Brassica campestris). **Química Nova**, Lavras, v. 35, n. 5, p.889-894, jan. 2012. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21788/1/Descoloração de corantes industriais e efluentes têxteis simulados por peroxidase de nabo \(Brassica campestris\)..pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21788/1/Descoloração%20de%20corantes%20industriais%20e%20efluentes%20têxteis%20simulados%20por%20peroxidase%20de%20nabo%20(Brassica%20campestris).pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SILVA, Taís L. et al. Mesoporous activated carbon from industrial laundry sewage sludge: Adsorption studies of reactive dye Remazol Brilliant Blue R. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 303, p.467-476, nov. 2016.

UGURLU, M.; KARAOGLU, H. Adsorption of ammonium from an aqueous solution by fly ash and sepiolite: Isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. **Microporous and Mesoporous Materials**, v.139 p.173–178, 2011.