

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O BIOADSORVENTE (CAPIM-ELEFANTE) E O CARVÃO ATIVADO COMERCIAL PARA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Alzinete da Conceição Sousa Amorim ¹
Fernando Fernandes Vieira ²

RESUMO

Uma alternativa para remover cor de efluentes industriais é a adsorção, que é um processo baseado na transferência de massa em que o material que adsorve (adsorvente) deve apresentar elevada área superficial porosa, e o material adsorvido (adsorvato) é o que se acumula na interface do material. Este trabalho investiga o uso potencial do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) como adsorvente e o compara ao carvão ativado. A partir do bioadsorvente, foram realizados os estudos de cinética e de equilíbrio. Os resultados indicaram que a capacidade de adsorção ótima foi obtida quando se utilizou 0,2 g de adsorvente, concentração do adsorvato igual a 100 mg/L e tempo de agitação de 60 min. Os resultados experimentais indicam que o modelo de pseudo-segunda ordem é o mais apropriado para descrever a cinética de adsorção e para o estudo de equilíbrio, os dados se ajustaram melhor a isoterma de Lagmuir. A maior porcentagem de remoção do corante ocorreu com o carvão ativado, sendo em torno de 94,16%. O capim elefante se mostrou eficiente removendo cerca de 66,8% do corante da solução, podendo ser indicado como uma alternativa viável para o tratamento de efluentes industriais têxteis, já que é uma matéria-prima renovável e de baixo custo.

Palavras-chave: Efluente têxtil, Bioadsorvente, Capim elefante, Carvão ativado.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil faz uso de grande volume de água e de insumos químicos em seu processo produtivo e, conseqüentemente, gera efluentes ricos em matéria orgânica e cor elevada devido ao uso de corantes na etapa de tingimento dos tecidos. Estes efluentes, antes de serem descartados, devem ser tratados para minimizar seus efeitos poluidores nos corpos hídricos. A presença de corantes nos efluentes é facilmente perceptível, pois afeta a estética, a transparência da água e a solubilidade de gases nos corpos receptores, reduzindo a capacidade de regeneração dos corpos hídricos uma vez que dificulta a penetração de luz solar e conseqüentemente altera o processo de fotossíntese (GUARANTINI; ZANONI, 2000).

¹ Graduada do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, alzy.amorim@gmail.com;

² Professor Doutor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – DESA/UEPB, fernanvieira@gmail.com

A complexidade e diversidade dos efluentes têxteis perante às imposições das legislações, têm levado ao desenvolvimento de tecnologias de tratamento que busquem, de forma mais adequada, destruir ou imobilizar compostos tóxicos, considerando custo, tempo e eficiência (SILVA, 2015). Um dos mais satisfatórios processos de tratamento de efluentes aquosos é o processo adsorativo, inclusive com baixo custo relativo e certa facilidade operacional.

A adsorção envolve a transferência de massa, em que constituintes de uma fase fluida se concentram na superfície de uma fase sólida, sendo que o material a ser adsorvido é o adsorvato e o material sólido onde ocorre a adsorção é o adsorvente (FARIAS, 2018). Os principais fatores que influenciam o processo de adsorção são: temperatura, área superficial, pH do meio, natureza do solvente e as propriedades do adsorvente e do adsorvato.

Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável será a adsorção (NASCIMENTO et al., 2014). O processo de adsorção faz o uso de materiais que possuem alta capacidade adsorativa, como o carvão ativado. O maior empecilho de uso desse adsorvente é o seu custo elevado que onera o tratamento, contudo, materiais alternativos que apresentem características adsorativas semelhantes ao carvão ativado, mas que tenham elevada disponibilidade e baixo custo têm sido descobertos.

Na literatura, adsorventes produzidos a partir do mesocarpo de coco verde, casca de abacaxi, sabugo de milho, casca de abacaxi e casca de banana foram avaliados como alternativas eficazes e viáveis (ANTUNES et al, 2018; SOUSA, 2015; XAVIER, 2017).

Considerando as vantagens e características do processo adsorativo, a busca por materiais adsorventes que substituam o carvão ativado e que sejam técnica e economicamente viáveis torna-se fundamental. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar e comparar a eficiência de uso do capim elefante e do carvão ativado comercial para remoção de corante comercial (cor vermelha) de efluentes têxteis.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus I de Campina Grande.

O corante comercial têxtil utilizado nas análises de remoção por processo de adsorção foi o Tupy 15 – cor vermelho, classificado como corante direto de composição orgânica e de pH neutro. O corante apresentou absorvância máxima no comprimento de onda de 500 nm, a medição foi realizada pelo método espectrofotométrico na região do visível, com a comparação da eficiência de remoção sobre condições variáveis de massa do adsorvente, tempo de agitação e concentração do adsorvato, entre o bioadsorvente e carvão ativado comercial.

A biomassa utilizada para produção do adsorvente foi o capim elefante (*Pennisetum purpureum*), coletado na Zona Rural do município de Livramento na Paraíba. Inicialmente o capim foi triturado em uma máquina forrageira (TRF 400F 2CV - Marca: TRAPP) para remoção do volume. Posteriormente a biomassa foi seca em estufa bacteriológica de esterilização e secagem da marca Marconi, modelo MA032/1, a uma temperatura de 80 °C por um período de 24 horas para garantir uma eficiente remoção de umidade do produto.

Após a secagem, o material foi triturado e classificado (Figura 1a) através de uma peneira de análise granulométrica de 0,300 mm de abertura (Tyler 48) para uniformizar a granulometria, obtendo-se o pó (Figura 1b).

Figura 1 - Capim Elefante: seco e triturado (a) e peneirado (b)



Por apresentar uma coloração esverdeada, o material adsorvente foi submetido a lavagens com água destilada para exaurir a cor e assim evitar que ela influencie no processo de remoção do corante. Após a lavagem, o material foi seco novamente nas mesmas condições (80 °C e 24h) e armazenado em embalagem hermeticamente fechada para evitar absorção de umidade do meio.

A seguir, foi preparada uma solução estoque com concentração de 1000 mg/L do corante comercial, cor vermelha. A partir dela, por diluição com água destilada, as demais soluções para uso nos experimentos foram preparadas.

Para avaliar o processo de adsorção do bioadsorvente foi empregado o planejamento experimental, do tipo fatorial, com todas as possíveis combinações de níveis de fatores. Cada uma dessas análises realizadas foi submetida a um ensaio experimental diferente.

Os fatores de influência considerados foram: concentração do corante, massa do adsorvente e tempo de agitação. As respostas analisadas para o estudo de cinética e de equilíbrio foram: quantidade do adsorvente que foi removida (Q_t : [mg do corante/g adsorvente]) e a capacidade de remoção na solução (%).

Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^3 com dois níveis (Tabela 1), acrescido de um ponto central realizado em triplicata, o que totalizou onze experimentos (Tabela 2).

Tabela 1 - Variáveis e níveis do planejamento fatorial 2^3

Variáveis	Níveis		
	Inferior (-)	Central (0)	Superior (+)
Concentração do corante (mg/L)	50	75	100
Massa do adsorvente (g)	0,20	0,30	0,40
Tempo de agitação (min)	30	45	60

Todos os experimentos foram realizados a temperatura ambiente (25 °C) e em triplicata, logo, os valores usados na análise dos dados são valores médios.

Tabela 2 - Matriz de planejamento fatorial

Experimento	Concentração da Solução (mg/L)	Massa do Adsorvente (g)	Tempo de Agitação (min)
1	50	0,20	30
2	100	0,20	30
3	50	0,40	30
4	100	0,40	30
5	50	0,20	60
6	100	0,20	60
7	50	0,40	60
8	100	0,40	60
9	75	0,30	45
10	75	0,30	45
11	75	0,30	45

Os ensaios foram realizados colocando-se as amostras de condições definidas e variadas (Tabela 2) em uma mesa agitadora orbital modelo NT145-155 da marca Nova Técnica sob a agitação de 120 rpm e, após determinados intervalos de tempo, retiradas uma a uma para leitura das concentrações finais. O volume das soluções usadas foi de 25 mL.

A leitura das amostras no espectrofotômetro foi realizada após sua filtração e centrifugação para remoção de resquícios que poderiam vir a interferir na leitura da absorbância feita pelo equipamento.

A quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente foi calculada por meio da Equação 1:

$$Q_t = \frac{(C_i - C_f) * V}{m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

Q_t : quantidade adsorvida por massa de adsorvente (mg/g);

C_i : concentração inicial do adsorbato (mg/L);

C_f : concentração do adsorbato no equilíbrio (mg/L);

V : volume da solução empregado na adsorção (L);

m : massa do adsorvente (g).

A porcentagem de remoção do corante (% Rem) foi obtida utilizando a equação 2:

$$\% \text{ Rem} = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100 \quad \text{Equação (2)}$$

As influências dos parâmetros em estudo, bem como os ajustes e análises estatísticas, foram analisadas utilizando o software STATISTICA, disponibilizado pelo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA/UEPB).

A cinética de adsorção é importante para determinação do tempo em que as amostras atingirão o equilíbrio de adsorção. Permite analisar a velocidade do processo, a variação da concentração do adsorbato e o tempo de equilíbrio. Os ensaios cinéticos foram realizados com 0,2 g do adsorvente e 25 mL de solução com concentração de 100 mg/L, e o tempo de agitação variou de 5 a 60 min, com intervalos de 5 min.

Para a obtenção das isotermas de adsorção, as soluções (25 mL) foram deixadas em contato com o material adsorvente (0,2 g), sob agitação mecânica, por um período de 180 minutos, em amostras de concentrações que variavam de 10 a 100 mg/L. Também foram realizados testes de adsorção utilizando o carvão ativado para fins de comparação.

O carvão ativado pulverizado (Tipo CAK 600) utilizado nesse trabalho foi cedido pelo Laboratório de Referência em tecnologia de Águas – LARTECA, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Estadual da Paraíba. A metodologia usada para o ensaio de adsorção com o carvão ativado foi a mesma utilizada para o capim elefante. A quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente e a porcentagem de remoção foram calculadas por meio das equações 1 e 2, respectivamente.

DESENVOLVIMENTO

Para tratamento de efluentes industriais, os processos mais comuns são biodegradação, filtração, técnicas de floculação e os processos de adsorção. Contudo, são processos caros e, em geral, ineficientes para remover cor devido ao fato de que uma vasta gama de corantes são estáveis aos agentes de biodegradação, fotodegradação e oxidação e apresentam estrutura aromática complexa (SOUSA, 2015). A necessidade de se adequar à legislação ambiental vigente impulsiona o desenvolvimento de tecnologias de tratamento que sejam eficientes e menos custosas.

A adsorção é um processo físico-químico de transferência de um ou mais constituintes de uma fase fluida para a superfície de uma fase sólida, onde o material inicial a ser adsorvido é o adsorbato e o material sólido onde ocorre a adsorção é chamado de adsorvente. Uma vez que os componentes adsorvidos se concentram sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável será a adsorção (NASCIMENTO, 2018). Por isso, os adsorventes geralmente são sólidos com partículas porosas. O tamanho e o volume dos poros limitam as dimensões das moléculas, que podem ser adsorvidas enquanto que a área superficial disponível limita a quantidade de material que pode ser adsorvida (FARIAS, 2018).

A cinética da adsorção descreve a velocidade de remoção do soluto sendo dependente das características físicas e químicas do adsorbato, adsorvente e sistema experimental. A partir dela determina-se o tempo em que as amostras atingirão o equilíbrio, além de determinar parâmetros como ordem da reação, constante de velocidade, energia de ativação e taxa de adsorção inicial (NASCIMENTO et al, 2014).

As curvas (isotermas) de adsorção expressam a variação da concentração de equilíbrio em uma determinada temperatura e indicam como o adsorvente efetivamente adsorverá as impurezas presentes e se a purificação requerida pode ser obtida, bem como apresenta uma estimativa máxima da capacidade de adsorção. Dependem de vários fatores e expressam a propriedades da superfície e a afinidade da biomassa pelo adsorbato. O valor da máxima capacidade de adsorção é uma característica importante para conhecer o desempenho da biomassa a altas concentrações do adsorbato (OLIVEIRA, 2016).

O adsorvente mais conhecido e que apresenta boa capacidade de adsorção é o carvão ativado. É um material que apresenta grande área superficial e estrutura microporosa, baixa

reatividade térmica, resistência a grandes variações de pH no meio e capacidade de regeneração, porém ainda é considerado um produto caro.

O processo de adsorção permite também o uso de adsorventes de baixo custo que apresentam boa eficiência, a exemplo da casca de algumas frutas (ALMEIDA et al, 2014; SOUSA, 2015; XAVIER, 2017). A utilização de bioadsorventes reduz o impacto ambiental de duas formas: a biomassa residual, que é um poluente, é removida do local onde foi gerada ou depositada e efluentes contaminados podem ser tratados com este resíduo.

Uma alternativa de material adsorvente é o capim elefante (*Pennisetum purpureum*), planta gramínea promissora na remoção de poluentes em água, devido ao fato de apresentar alta produtividade e ser de fácil obtenção (NASCIMENTO et. al., 2017). Diversos autores já estudaram a capacidade de adsorção do capim elefante para remover compostos de efluentes têxteis e farmacêuticos, apontando esse material como adsorvente eficiente (MAIA et. al., 2013; OLIVEIRA et. al., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente (mg/g), e remoção de corante após o processo de adsorção (%Rem), obtidos nos ensaios do planejamento experimental com o capim elefante encontra-se na Tabela 3.

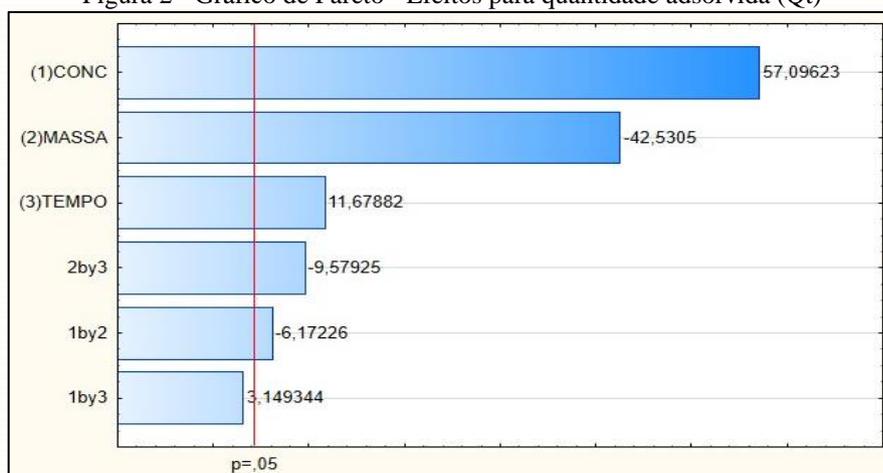
Tabela 3 - Resultados obtidos para as variáveis respostas (quantidade adsorvida (Qt) e remoção do corante (%Rem))

Bioadsorvente					
Experimento	Concentração da solução (mg/L)	Massa do adsorvente (g)	Tempo de agitação (min)	Qt (mg/g)	Rem (%)
1	50	0,20	30	3,651	58,418
2	100	0,20	30	6,806	54,447
3	50	0,40	30	1,972	63,090
4	100	0,40	30	4,819	77,107
5	50	0,20	60	4,469	71,500
6	100	0,20	60	8,354	66,828
7	50	0,40	60	2,103	67,295
8	100	0,40	60	4,921	78,742
9	75	0,30	45	4,323	69,164
10	75	0,30	45	4,478	71,656
11	75	0,30	45	4,420	70,722

A partir dos resultados obtidos foi possível observar que as condições do experimento 6, massa do adsorvente de 0,2 g, concentração do corante de 100 mg/L e tempo de agitação de 60 min, foram as que removeram maior quantidade de corante por massa de adsorvente (8,354 mg/g).

Na Figura 2 pode ser observada a representação do gráfico de Pareto, que apresenta as influências das variáveis independentes (concentração do corante, massa do adsorvente e tempo de agitação) na variável resposta (quantidade adsorvida - Qt).

Figura 2 - Gráfico de Pareto - Efeitos para quantidade adsorvida (Qt)



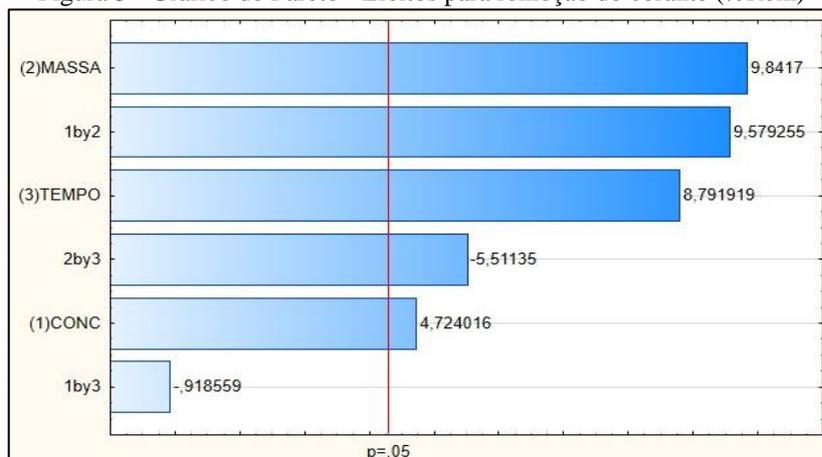
Os cálculos dos efeitos dos fatores e as interações entre eles demonstraram que, as variáveis independentes e os efeitos de interação (massa do adsorvente *versus* tempo de agitação e concentração do corante *versus* massa do adsorvente) são significativas nos níveis estudados.

O valor do efeito principal massa do adsorvente foi negativo, ou seja, elevando-se a massa do adsorvente de 0,2 a 0,4 g ocorrerá uma diminuição na quantidade adsorvida. Resultados semelhantes foram encontrados por Xavier (2017) no estudo do planejamento fatorial do mesocarpo de coco verde.

Os valores dos efeitos concentração da solução e tempo de agitação foram positivos, o que significa que a medida em que se aumenta a concentração de 50 mg/L para 100 mg/L, a resposta da quantidade adsorvida aumenta. O mesmo ocorre quando o tempo de agitação aumenta de 30 min para 60 min.

Na Figura 3, pode ser observada a representação do gráfico de Pareto apresentando as influências das variáveis independentes (concentração do corante, massa do adsorvente e tempo de agitação) na variável resposta (remoção do corante - % Rem).

Figura 3 - Gráfico de Pareto - Efeitos para remoção do corante (%Rem)



Para a variável resposta capacidade de remoção (%Rem), os cálculos dos efeitos dos fatores e as interações entre eles demonstram que, todos os efeitos principais e os efeitos de interação (concentração do corante *versus* massa do adsorvente e tempo de agitação *versus* massa do adsorvente), são significativos nos níveis estudados.

Por meio do *software* STATISTICA, foi obtido um modelo empírico (Equação 3) para os dados experimentais, capaz de prever a quantidade adsorvida (Q_t) do capim elefante para o corante comercial, dentro do intervalo estudado.

$$Q_t = 4,57416 + 1,58818 * C - 1,18303 * m + 0,32489 * t - 0,26646 * m * t - 0,17169 * C * m$$

Equação 3

Em que:

Q_t : quantidade adsorvida (mg/g);

C: concentração da solução do adsorvato (mg/L);

m: massa do adsorvente (g);

t: tempo de agitação (min).

Observa-se na Equação 3 que a quantidade de concentração do corante tem uma influência positiva sobre a quantidade adsorvida, ou seja, à medida que aumenta a concentração de corante obtém-se um elevado valor de Q_t . Esta constatação explica o fato de o trabalho ter sido desenvolvido dentro da faixa de condições ótimas.

A Análise de Variância (ANOVA) está representada na Tabela 4.

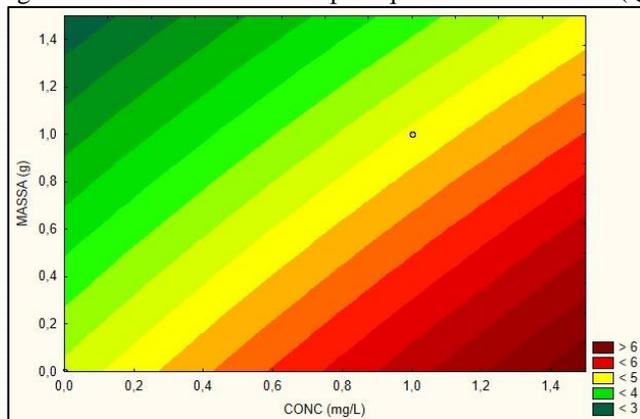
Tabela 4 - ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calc (95%)	F tab (95%)	Fcal/Ftab	R ²
Regressão	33,08446	6	16,54223	663,247	4,102	161,656	0,99401
Residual	0,19953	4	0,02494125				
Total	33,28399	10					

A partir desta análise estatística, pode-se afirmar que o modelo da Equação 11 é significativo e preditivo em um nível de confiança de 95% já que o valor do teste F (razão entre F calculado e F tabelado) é maior que 10.

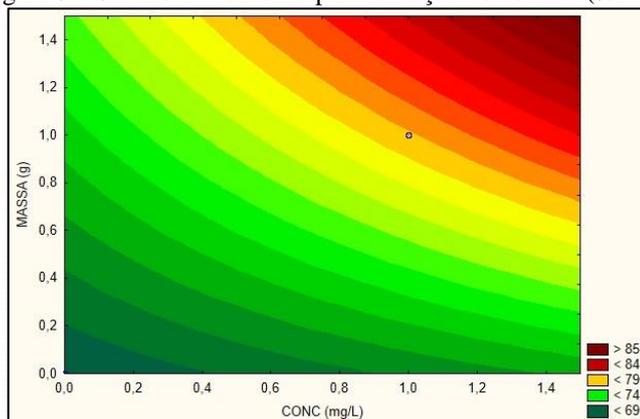
As Figuras 4 e 5 representam os gráficos de contorno, utilizados para facilitar o entendimento do processo e identificar como os parâmetros concentração do corante e massa do adsorvente afetam a adsorção, nas variáveis de resposta quantidade adsorvida (Q_t) e capacidade de remoção (%Rem), respectivamente.

Figura 4 - Gráfico de contorno para quantidade adsorvida (Q_t)



O gráfico da Figura 4 nos permite constatar que a maior quantidade adsorvida (Q_t) é obtida para maior concentração do adsorvato na solução e menor quantidade de massa do adsorvente.

Figura 5 - Gráfico de contorno para remoção do corante (%Rem)



Na figura 5, verifica-se que a maior percentagem de remoção do corante ocorre para maiores quantidades do adsorvente e maiores concentrações do adsorvato.

Os resultados do ensaio cinético estão dispostos na Tabela 5. Para verificar o comportamento da adsorção ao longo do tempo, e também definir um modelo apropriado para

representar o processo, foram utilizados os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

Tabela 5: Resultados obtidos para o estudo cinético

Tempo (min)	Qt (mg/g)
5	3,389
10	4,071
15	4,869
20	5,161
25	5,570
30	6,056
35	6,329
40	6,621
45	7,049
50	7,361
55	7,400
60	7,750

A avaliação dos ajustes dos modelos cinéticos (Tabela 6) aos dados experimentais foi realizada com base no coeficiente de determinação obtido pela regressão linear (R^2) e no Teste F (F_{calc}/F_{tab}).

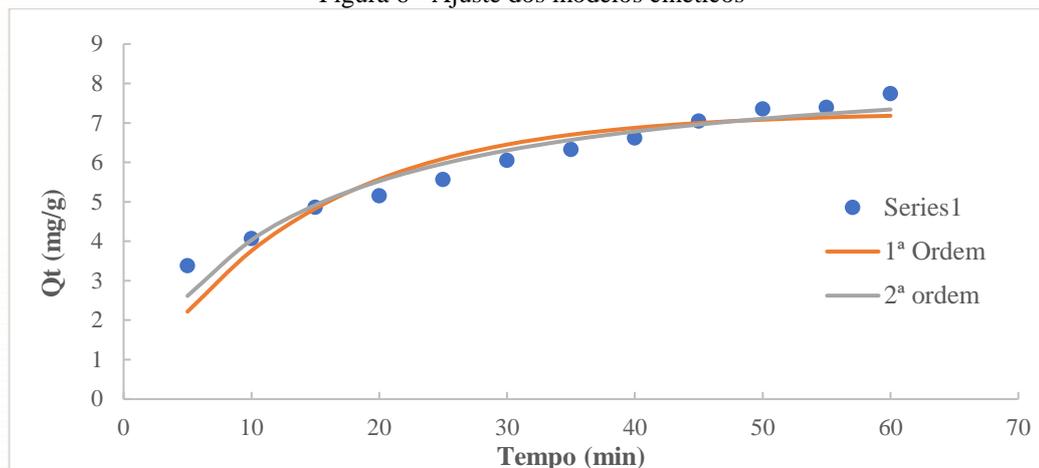
Tabela 6 - Valores dos parâmetros e ajuste dos modelos cinéticos

	Statística	F_{calc}/F_{tab}	R^2
1ª ordem	qe.	7,274	0,974
	k.	0,073	
2ª ordem	q2.	8,783	0,988
	k2.	0,010	

De acordo com a Tabela 6, o modelo que melhor se ajustou foi o de pseudo-segunda ordem, já que o coeficiente de determinação foi o maior obtido ($R^2 = 0,988$). A relação F_{calc}/F_{tab} foi igual a 472,028 o que explica que o modelo é estatisticamente significativo (maior que 1) e preditivo (maior que 10).

A diferença observada no ajuste dos modelos cinéticos está ilustrada na Figura 6, ratificando que o modelo de pseudo-segunda ordem se ajusta melhor aos dados obtidos.

Figura 6 - Ajuste dos modelos cinéticos



Para o estudo de equilíbrio, os dados experimentais obtidos com o adsorvente alternativo, foram ajustados às isotermas de Lagmuir, Freundlich e Sips. Os ajustes estão apresentados na Tabela 7 e nela pode ser observado que as três isotermas apresentam uma pequena diferença no seu ajuste, apresentando valores do coeficiente de determinação praticamente iguais.

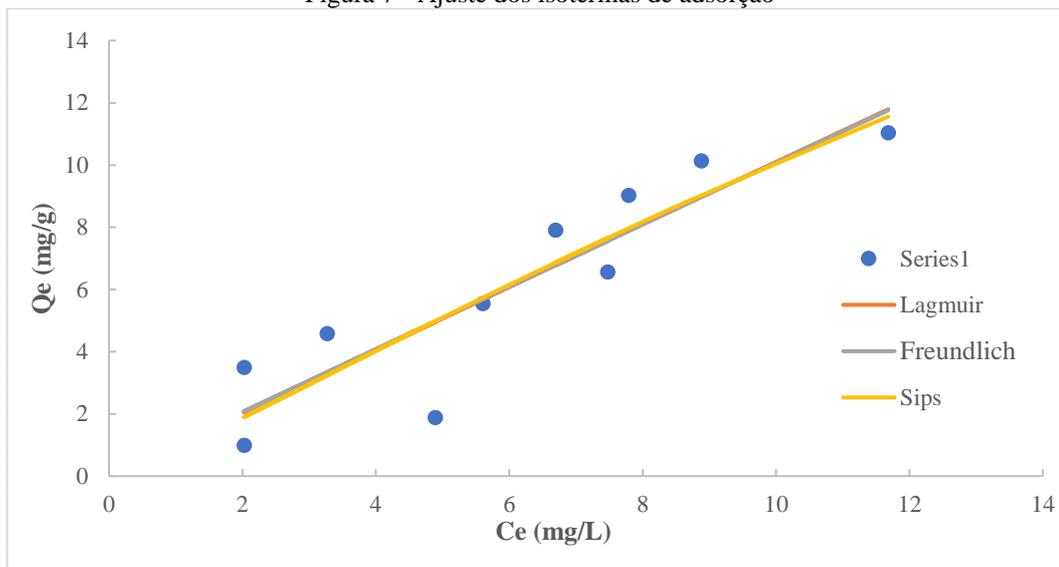
Tabela 7 - Valores dos parâmetros e ajuste aos isotermas de adsorção

		Statística	F _{calc} /F _{tab}	R ²
Lagmuir	q _{max.}	859,5025	20,9206	0,9019
	k.	0,0012		
Freundlich	K _f .	1,0374	20,9126	0,9019
	n.	1,0125		
Sips	k _{eq.}	0,1383	12,2380	0,9022
	ns.	1,1070		
	q _{mx.}	67,0809		

O parâmetro de escolha da isoterma que melhor descreve como o adsorvato interage com o adsorvente, foi o Teste F que se apresentou mais estatisticamente significativo e preditivo para a isoterma de Lagmuir.

Na Figura 7 pode ser observado como os ajustes às isotermas de Lagmuir, Freundlich e Sips se assemelham entre si.

Figura 7 - Ajuste dos isotermas de adsorção



Após o estudo sobre o bioadsorvente produzido a partir do capim elefante, foi realizado ensaio em triplicata com o carvão ativado para comparar o potencial de adsorção dos dois adsorventes. As condições operacionais para o ensaio com carvão ativado foram as que conseguiram remover a maior quantidade de corante com o bioadsorvente, sendo 0,2 g do adsorvente, concentração de 100 mg/L e tempo e agitação igual a 60 min. O volume das soluções usadas foi de 25 mL. Os resultados obtidos nesta análise comparativa estão na Tabela 8.

Tabela 1 - Análise comparativa entre o bioadsorvente e o carvão ativado comercial

	C. final	Qt	Rem (%)
Adsorvente Alternativo	33,172	8,354	66,828
Carvão Ativado	5,840	11,770	94,160

Os resultados evidenciam que o carvão ativado é relativamente mais adequado do que o capim elefante, o que já era esperado. Contudo, o capim elefante pode ser considerado um adsorvente alternativo viável e eficiente já que, apenas com o tratamento de secagem, conseguiu remover 66,83% do corante na solução.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização do processo de secagem do capim elefante e de sua aplicação na remoção do corante comercial, verificamos que o pó do capim elefante é um adsorvente eficaz, com grande potencial de adsorção no tratamento de efluentes têxteis.

As melhores relações entre a remoção do corante e a capacidade adsorviva do capim elefante foram obtidas quando o valor da concentração do corante foi igual a 100 mg/L, o valor da massa do adsorvente igual a 0,2 g e o tempo de agitação de 60 min.

Diante dos resultados obtidos, é possível afirmar que o capim elefante é um adsorvente eficiente e potencial substituto do carvão ativado já que, apenas com o processo de secagem, removeu 66,8% do corante. Com o carvão ativado nas mesmas condições experimentais que o capim elefante, a percentagem de remoção alcançou 94,16%. Esse adsorvente alternativo pode ser indicado como opção economicamente e ambientalmente sustentável para remover corantes de efluentes industriais têxteis uma vez que apresenta alta produtividade, baixo custo e capacidade adsorviva semelhante ao carvão ativado.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, E. C. E. S. et al., Remoção de corante têxtil utilizando a casca do abacaxi como adsorvente natural. **Holos**, v. 03, 2018.

COELHO, Gustavo Ferreira. et al., Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas. **Journal of Agronomic Science**, v. 3, p. 291–317, 2014.

CORDEIRO, Gustavo Santiago Eulálio Cordeiro. **Estudo da cinética e equilíbrio do mesocarpo do coco verde com adsorvente para remoção de corantes têxteis**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2017.

FARIAS, Cíntia Kelly de Lima. **Avaliação da casca de laranja (*Citrus sinensis* L. osbeck) como adsorvente de íons cobre (Cu^{2+}) em águas residuárias industriais**. 2018, 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2018.

GUARANTINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 71-78, 2000.

HO, Y. S. Review of second-order models for adsorption systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, p. 681-689, 2006.

LAGERGREN, S. About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, v. 24, p. 1-39, 1898.

NAGEL-HASSEMER, M. E.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R.; AMORIM, M. T. S. de. Processo UV/H₂O₂ como Pós-Tratamento para Remoção de Cor e Polimento Final em Efluentes Têxteis. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 900-904, 2012.

NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NASCIMENTO, Ketyla Karla Rodrigues do. **Avaliação da remoção de corante têxtil presente em solução aquosa utilizando casca de laranja como adsorvente natural**. 2018, 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

OLIVEIRA, Fabiano Mendonça. **Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso**. 2016, 162 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Química, Catalão, 2016.

SILVA, Naiana Pommering da. **Utilização de diferentes materiais como adsorventes na remoção de nitrogênio amoniacal**. 2015, 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

SOUSA, Dennis Dantas de. **Produção E Avaliação Da Farinha Da Casca De Banana Como Bioadsorvente Na Remoção De Corantes Têxteis Em Águas Residuárias**. 2015, 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2015.

WEBER, Walter J.; MORRIS, J. Carrell. Kinetics of adsorption on carbon from solution. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, v. 89, n. 2, p. 31-60, 1963.

XAVIER, Cinthia Sany França. **Aplicação do planejamento experimental na avaliação do mesocarpo de coco verde para a remoção de corantes têxteis presentes em águas residuárias**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2017.