



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

CAMPUS SOUSA

DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

FRANCISCO FERREIRA BATISTA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DO ENDOCARPO DO CAJÁ
(*SPONDIAS MOMBIN L.*) COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE CORANTE
TÊXTIL DE EFLUENTES AQUOSOS**

SOUSA/PB

2021

FRANCISCO FERREIRA BATISTA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DO ENDOCARPO DO CAJÁ
(*SPONDIAS MOMBIN L.*) COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE CORANTE
TÊXTIL DE EFLUENTES AQUOSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado à Coordenação do Curso Superior de
Licenciatura em Química do Instituto Federal da
Paraíba – Campus Sousa, como requisito parcial para
a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Antonio José Ferreira Gadelha

SOUSA/PB

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Leandro da Silva Carvalho – Bibliotecário CRB 15/875

Batista, Francisco Ferreira

B333e Estudo da utilização da biomassa do endocarpo do cajá
(spondias mombin l.) como adsorvente para remoção de corante
têxtil de efluentes aquosos / Francisco Ferreira Batista. – Sousa,
2021.
37p.

Orientador: Prof. Dr. Antonio José Ferreira Gadelha.
TCC (Graduação - Licenciatura em Química) - IFPB, 2021.

1. Adsorvente. 2. Endocarpo. 3. Spondias mombin L.. 4. Azul
de Metileno. 5. Tratamento. I. Gadelha, Antonio José Ferreira.
II. Título.

IFPB / BS

CDU 54

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Estudo da utilização da biomassa do endocarpo do cajá (*Spondias mombin* L.) como adsorvente para remoção de corante têxtil de efluentes aquosos

Autor(a): Francisco Ferreira Batista

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa, como parte das exigências para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Aprovado pela Comissão Examinadora em: 16/04/2021.

Dr. Antônio José Ferreira Gadelha

IFPB – Campus Sousa / Professor(a) Orientador(a)

Dr. Higo de Lima Bezerra Cavalcanti

IFPB – Campus Sousa / Examinador 1

Me. José Aurino Arruda Campos Filho

IFPB – Campus Sousa / Examinador 2

Documento assinado eletronicamente por:

- Jose Aurino Arruda Campos Filho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 23/04/2021 11:58:22.
- Higo de Lima Bezerra Cavalcanti, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 23/04/2021 09:57:44.
- Antonio Jose Ferreira Gadelha, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 23/04/2021 08:39:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/04/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 178696

Código de Autenticação: 410fff21c3



AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaria de agradecer à Deus por me dar perseverança para conseguir alcançar esse objetivo e de ter colocado pessoas em minha vida que me apoiam.

A minha mãe Aureni, meu pai Antonio, ao meu irmão Lucas e a toda minha família por todo apoio que depositou em mim, para estar chegando a esta nova etapa de minha vida. A minha cōnjuge Lindriele por ter toda paciência e por ter me aconselhado e incentivado por diversas vezes para não desistir. Ao meu pequeno filho Christian por ter chegado em minha vida e dado muitos motivos de conseguir concluir esse momento marcante de toda minha história.

Aos meus educadores que marcaram minha vida como grandes Professores que são, que muitas vezes mesmo sem ter nada a ver com a situação tiravam um momento de seu tempo para ajudar tirando dúvidas, aos conselhos que me foram dados, e a toda empatia na qual recebi nos momentos de dificuldade.

Aos meus colegas e amigos pelos momentos icônicos e difíceis que tivemos em todo decorrer do curso e por todo apoio e motivação para seguir em frente, em especial a Manuel pelas diversas parcerias em trabalhos.

E por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao IFPB – Campus Sousa por toda infraestrutura disponibilizada e a todos os funcionários que mantem o Instituto em pleno funcionamento.

*“Quem diz que não pode ser feito,
nunca deve interromper aquele que está fazendo”.*
(EIICHIRO, ODA; **ONE PIECE**, 1997 – PRESENTE)

RESUMO

Devido ao grande avanço industrial têxtil, o volume de efluentes contendo pigmentos despejados em corpos hídricos tem aumentado consideravelmente. Considerando que, alguns corantes não conseguem fixar-se completamente nas fibras, a concentração dos efluentes descartados é bastante expressiva. Portanto, o presente trabalho possuiu como desígnio averiguar e examinar a capacidade de adsorção do corante azul de metileno, empregando como adsorvente o resíduo do endocarpo *in natura* do fruto da cajazeira. Para tanto, realizou-se um planejamento experimental fatorial 2^3 , em ensaios de banho finito, nos quais, modificava-se em dois níveis os fatores: pH (2,0 – 12,0), massa de adsorvente (1,0 – 5,0 g) e velocidade de agitação (20 – 40 rpm), e mais três ensaios nos pontos centrais, pH 7,0; massa de adsorvente 3,0 g e agitação 30 rpm. Utilizando uma concentração inicial de 25 mg/L, massa de adsorvente de 3,0 g, pH 7,0 e agitação de 30 rpm, obteve-se as melhores condições de adsorção, atingindo 95,95% da remoção de corante. Os resultados experimentais obtidos apresentaram uma boa concordância com as isothermas de Freundlich e Langmuir, atingindo respectivamente valores de coeficiente de determinação de 0,992111 e 0,99765198. O adsorvente proporcionou um Ponto de Carga Zero (pH_{PCZ}) em pH próximo de 5,0, que para tanto, é o pH em que o sólido exibe carga neutra em sua superfície. Assim, de acordo com os resultados obtidos neste estudo, é possível afirmar que a biomassa do endocarpo do cajá é um adsorvente eficiente na remoção do corante catiônico azul de metileno, atingindo valores próximos de 96% na diminuição da concentração.

Palavras-chave: Adsorvente, Endocarpo, *Spondias mombin* L., Azul de Metileno, Tratamento.

ABSTRACT

Due to the great advancements in textile industry, the volume of effluents containing pigments deployed into water bodies has increased considerably. Because some dyes are unable to fully fix themselves on the fibers, the concentration of the deployed effluents is quite significant. Therefore, the present work aimed to investigate and examine the adsorption competence of the methylene blue dye, using as an adsorbent the in natura endocarp residue of the cajazeira fruit. In order to perform the research, a factorial experimental design 2^3 was carried out, in finite bath tests, in which the factors were modified in two levels: pH (2,0 – 12,0), adsorbent mass (1,0 – 5,0 g) and stirring speed (20 - 40 rpm), and three more tests at the central points, pH 7,0; adsorbent mass 3,0 g and stirring speed 30 rpm. Using an initial concentration of 25 mg / L, an adsorbent mass of 3,0 g, pH 7,0 and agitation of 30 rpm, the best adsorption conditions were obtained, reaching 95,95% of the dye removal. The experimental results obtained showed a good agreement with the Freundlich and Langmuir isotherms, reaching values of determination coefficient of 0.992111 and 0.99765198, respectively. The adsorbent presented a Zero Charge Point (pHPCZ) at a pH close to 5.0, which is the pH at which the solid exhibits a neutral charge on its surface. Thus, according to the results obtained in this study, it is possible to affirm that the biomass of the cajá endocarp is an efficient adsorbent in the removal of the methylene blue cationic dye, reaching values close to 96% in decreasing the concentration.

Key words: Adsorber; Endocarp; *Spondias mombin L*; Methylene Blue; Treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmula Estrutural do Azul de Metileno.	16
Figura 2 - Endocarpo do cajá <i>in natura</i> sendo seco ao Sol.	20
Figura 3 - Endocarpo do cajá <i>in natura</i> após ser triturado em moinho de facas, lavado e seco, posteriormente armazenado em embalagens plásticas.	20
Figura 4 - Soluções para curva de calibração.	21
Figura 5 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível máximo.	26
Figura 6 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível mínimo.	26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de calibração do azul de metileno	22
Gráfico 2 - Diagrama de Pareto	28
Gráfico 3 - Superfície de resposta	29
Gráfico 4 - Isoterma de Freundlich.....	30
Gráfico 5 - Isoterma de Langmuir	30
Gráfico 6 - Potencial de carga zero (PCZ)	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de experimentos em sinais algébricos e variáveis utilizadas entre parênteses.	22
Tabela 2 - Teste preliminares de absobância.	25
Tabela 3 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível máximo.	25
Tabela 4 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível mínimo.	26
Tabela 5 - Análise de Variância para o processo de remoção de corante.....	27
Tabela 6 - Ensaio de ponto central.	28
Tabela 7 - Ensaios para determinação do equilíbrio de adsorção.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3	OBJETIVOS	19
	3.1 Geral	19
	3.2 Específicos	19
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
	4.1 Pré-tratamento do adsorvente	20
	4.2 Preparação da solução estoque de azul de metileno.....	21
	4.3 Construção da curva de calibração do azul de metileno.....	21
	4.4 Realização do planejamento experimental.....	22
	4.5 Interpretação dos dados do planejamento experimental.....	23
	4.6 Isoterma de adsorção	23
	4.7 Potencial de carga zero.....	24
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	25
	5.1 Teste preliminares de absorbância	25
	5.2 Planejamento experimental	25
	5.3 Equilíbrio de adsorção	29
	5.4 Potencial de carga zero (PCZ)	30
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Devido ao rápido desenvolvimento industrial observado em todo o planeta nas últimas décadas, substancialmente após a Segunda Guerra Mundial, a poluição de corpos hídricos pelas indústrias tem se apresentado como um dos graves efeitos indesejados dessa atividade. Muitos processos industriais utilizam diferentes corantes químicos sintéticos para agregar cor ao seu produto final. A maioria das soluções contendo corantes usadas para esse fim são descartadas como efluentes.

“Os corantes são compostos químicos orgânicos que possuem a capacidade de absorver luz visível de forma seletiva podendo causar colorização ou transparência na água mesmo a concentrações baixas, como a 1 mg/L” (DOMINGUES, 2018, p. 4).

Segundo Oliveira (2016, p. 17), “estima-se que, no mundo inteiro, são produzidas anualmente $7,0 \times 10^5$ toneladas de corantes sintéticos comerciais”. Conforme Ribas (2016), existem mais de 100 mil tipos de corantes sintéticos disponíveis comercialmente, onde, mais de oito mil corantes orgânicos sintéticos estão voltados a indústria têxtil, no qual, durante a fabricação e processamento, cerca de 20-40% desses corantes são descartados como efluentes industriais.

De acordo com Jorge, Tavares e Santos (2015, p. 1), “estima-se um consumo anual de corantes e pigmentos da ordem de 700.000 toneladas no mundo e 26.500 toneladas no Brasil”. Assim de acordo com Oliveira, Coelho e Melo (2018), como consequência a esses dados, a estimativa de corantes descartados junto aos despejos dos efluentes da indústria têxtil brasileira chega a 20%.

Conforme relatam Allègre *et al.* (2006), para se tingir 1 kg de algodão com corantes reativos são requeridos uma média de 70 – 150 L de água, 0,6 kg de NaCl e 40 g de corante reativo. Além disso, 80.000 toneladas métricas de corantes reativos são produzidas e consumidas a cada ano, destes corantes aplicados (aproximadamente 2 g/L) não são fixados ao tecido e, portanto, contribuem para a coloração e toxicidade do material efluente.

Conforme Honorato *et al.* (2015, p. 706) “estima-se que em aproximadamente 20 ton/ano de corantes consumidos pela indústria têxtil, cerca de 20% são descartados como efluentes”. Por esse consumo de corantes sintéticos ser alto pode-se observar que o descarte incorreto desses corantes traz enormes prejuízos ao meio ambiente. De acordo com Zhang *et al.* (2015), quando esses efluentes são descartados inadequadamente em corpos hídricos, a cor desses compostos impede a penetração da luz, retarda a atividade fotossintética, inibe o

crescimento da biota do meio e também possui uma tendência a formar quelatos com íons metálicos, os quais promovem microtoxicidade a peixes e outros organismos.

É difícil remover esses corantes de efluentes aquosos usando métodos convencionais de tratamentos devido a sua estabilidade química e a sua estrutura aromática complexa, os quais são resistentes à degradação química, física e/ou biológica.

Conforme relatam Ezzeddine *et al.* (2016), o azul de metileno é um dos corantes catiônicos mais utilizados para colorir materiais como madeira, algodão e papel; é tóxico se inalado ou ingerido, e pode causar irritação, alergias e dificuldades em respirar, vômito, diarreia e náuseas e, segundo Oliveira, Silva e Viana (2013), a exposição aguda pode causar efeitos prejudiciais à saúde como aumento do batimento cardíaco, dor de cabeça intensa e necrose do tecido humano.

O azul de metileno possui uma variedade de aplicações, sendo utilizado no tingimento de algodão, tinturas temporárias para cabelos, lãs e papel etc. “Um corante bastante utilizado é o azul de metileno (AM), por ser classificado como um corante do tipo básico, que possui estrutura molecular aromática heterocíclica, com uma fórmula molecular $C_{16}H_{18}N_3SCl$ e com massa molar de 319,8 g/mol” (JORGE, TAVARES E SANTOS, 2015, p.706). Como seu uso é bastante comum no meio industrial podemos imaginar que muitas vezes o descarte deste referido corante se dá de maneira incorreta, fazendo assim que rios e lagos possam eventualmente ser contaminados.

Para realiza-se a pigmentação o método mais comum é por meio de solução aquosa em que o objeto a ser tingindo é mergulhando diretamente na solução, com isso boa parte do azul de metileno ainda fica “perdido”, ou seja, permanece presente no meio aquoso por não fixar-se a fibra do tecido, “o principal motivo desta perda está correlacionada pelo fato do corante não fixar-se completamente à fibra do tecido, durante o processo de tingimento” (KUNZ *et al.* 2002; DALLAGO, SMANIOTTO e OLIVEIRA, 2005). Assim essa solução residual não pode ser descartada aos corpos receptores sem antes ter um tratamento.

Segundo Manikandan, Kumar e Saravanan (2018), diversas técnicas tradicionais têm sido utilizadas por alguns pesquisadores para remoção do corante azul de metileno de meios aquosos, por exemplo, precipitação química, troca iônica, filtração por membranas, coagulação, osmose reversa, extração líquido-líquido, ozonização, oxidação eletroquímica e eletrodiálise.

Neste sentido, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias alternativas para tratamento de efluentes líquidos oriundos de atividades que utilizam corantes coloridos afim de se evitar possíveis problemas ambientais e de saúde relacionados à presença de corantes em corpos hídricos.

Conforme Nascimento *et al.* (2014), a adsorção é um método que vem ganhando importância como processo de separação e purificação nos últimos anos, para tanto, o adsorvente é um sólido insolúvel, que geralmente possui uma superfície porosa, na qual, é capaz de efetuar em sua superfície a aderência de substâncias dispersas em meio líquido ou gasoso. A interação de adsorvente e adsorvato, denominada de adsorção pode ser de origem física ou química, corroborando com Domingues, (2005), a adsorção é o resultado entre uma combinação dessas forças químicas e físicas, portanto, não é fácil diferenciar esses tipos de interações. Ainda conforme Nascimento *et al.* (2014, p. 14-16):

No caso de adsorção física, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waalls, que são similares às forças de coesão molecular. Diferentemente, a quimissorção, a qual envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química. Isso resulta essencialmente numa nova ligação química e, portanto, bem mais forte que no caso da fisissorção. [...]. Desta forma, são vários os fatores que influenciam o processo de adsorção como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio.

A utilização de meios ecológicos considerados inutilizáveis para a sociedade, que podem ser utilizados na remoção de corantes, como por exemplo, o azul de metileno, diminuindo a concentração dos pigmentos desses efluentes, sendo possível uma melhor infiltração dos raios solares na água, fazendo com que a fotossíntese das algas e a oxigenação d'água tenham uma melhora significativa.

Tendo em vista os problemas ambientais e de saúde que podem ser causados pelo descarte inadequado de efluentes aquosos oriundos das atividades que utilizam corantes e pigmentos, faz-se necessário a busca por alternativas que minimizem ou eliminem esses poluentes desse meio.

A aplicação de adsorventes naturais, ecológicos e de baixo custo para a remoção de corantes perigosos de efluentes aquosos através da técnica de adsorção vem se apresentando como uma boa saída para os problemas gerados por esses resíduos.

Conforme citado por Moura, Pinto e Figueiredo (2011, p. 238):

A cajazeira (*Spondias mombin* L.), espécie frutífera da família *Anacardiaceae*, encontra-se dispersa nas regiões tropicais da América, da África e da Ásia. No Brasil, a cajazeira é encontrada principalmente nos estados do Norte e Nordeste. Seus frutos, conhecidos como cajá, cajá verdadeiro, cajá-mirim ou taperebá são muito utilizados na confecção de polpas, sucos, picolés, sorvetes, néctares e geleias de excelente

qualidade e valor comercial. A cajazeira ainda não é cultivada em escala comercial significativa, sendo considerada planta em domesticação e de exploração extrativa.

O cajá é um fruto cujo valor comercial está presente em sua polpa, onde a mesma é utilizada para várias finalidades, enquanto o caroço do cajá é descartado muitas vezes em lixões, aterros sanitários ou meio ambiente, considerando-se inutilizável. Sendo classificado como grande para o tamanho de seu fruto, o caroço é bastante volumoso e sua massa é pequena. Conforme Sacramento e Sousa (2000, *apud* Moura, Pinto e Figueiredo 2011, p. 239), “as proporções de casca e endocarpo variam de 8,4 a 18,7% e de 15,7 a 31,1%, respectivamente, com rendimento acima de 60% em polpa que pode chegar a valores próximos a 80%”.

Por tratar-se de resíduo de frutas, o endocarpo do cajá apresenta-se como um possível adsorvente, no qual possa vir a ser utilizado na remoção de cor dos corpos hídricos. Assim este trabalho busca demonstrar a capacidade de remoção de corantes dos efluentes, já que os usos de adsorventes naturais vêm mostrando-se uma boa maneira de descontaminação, este trabalho possui um papel relevante para com a sociedade e meio ambiente, por ter como meta a investigação e eficiência da remoção do azul de metileno de efluente aquoso através do processo de adsorção em banho finito utilizando-se como adsorvente a biomassa do endocarpo do cajá.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Silva e Pietrobelli (2017) e Teixeira e Barsi (2017), o setor industrial têxtil apresenta como inconveniente o elevado volume de resíduos coloridos gerados, tendo em vista que boa parte destes corantes aplicados não são fixados ao tecido e, portanto, contribuem para a coloração e toxicidade do efluente líquido produzido.

Para Marín (2015), os corantes possuem diferentes aspectos químicos que são importantes para o uso nos processos industriais, como: o tamanho da molécula, fluidez/solidez, planariedade, grupos funcionais e número de grupos iônicos. Dentre esses aspectos o que se destaca é a presença de grupos funcionais que se classificam em quatro grupos: o responsável pela cor, o cromóforo; auxocromo que proporciona amplitude nas cores; o grupo de ligações que adapta a característica de ligação com a fibra dividindo-se em ligações físicas, ligações químicas e oxidação do grupo temporariamente solúvel, e por fim, mas não menos importante, os solubilizantes que proporcionam a solubilidade.

De acordo com Domingues (2018), a disposição das principais associações de corantes advém de acordo com os grupos funcionais ou a maneira que são sobrepostos na indústria têxtil, sendo dividido em cinco classes, que são: 1) grupo funcional aniônico (corantes reativos, diretos, ácidos e mordentes), 2) grupo funcional catiônico (básicos), 3) corantes que requerem reação química antes de sua aplicação (corantes à cuba, azoicos e corantes de enxofre), 4) classe especial dos corantes dispersivos, corantes solventes, naturais, pigmentos e 5) corantes pré-metalizados e branqueadores.

A coloração dos efluentes despejados pela indústria têxtil é bastante intensa, assim o tratamento desses fluidos é bastante sistemático, devido a sua heterogeneidade, grandes volumes de efluentes produzidos e elevada concentração de substâncias tóxicas. Habitualmente efluentes têxteis apresentam grandes valores de DQO¹ e DBO², elevadas temperaturas, compostos orgânicos clorados e tensoativos, alta concentração de metais pesados e matéria orgânica, grande quantidade de sólidos suspensos e pH variável (CISNEROS *et al.*, 2002 *apud* RIBAS, 2016).

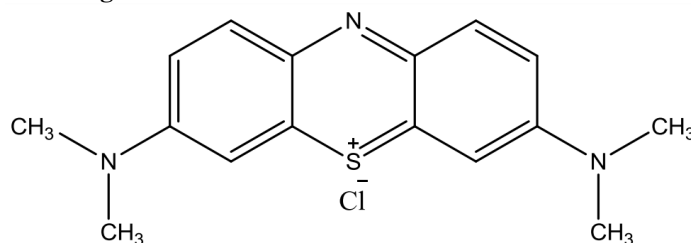
Conforme Almeida *et al.* (2014), o azul de metileno (cloreto de 3, 7- bis(dimetilamino)-fenotiazin-5-io) é um corante orgânico catiônico do tipo básico, possuindo estrutura molecular aromática heterocíclica, com fórmula química $C_{16}H_{18}N_3SCl$ e massa molar de 319,8 g/mol, bastante utilizado em estudos de adsorção, pois sua molécula se apresenta como um modelo

¹ Demanda Química de Oxigênio.

² Demanda Bioquímica de Oxigênio.

para os demais corantes, afinal as bandas de absorção de suas diferentes espécies (monômeros, dímeros, agregados e espécies protonadas) são bem conhecidas e aparecem em regiões distintas do espectro eletromagnético.

Figura 1 - Fórmula Estrutural do Azul de Metileno.



Fonte: SAATKAMP, 2016, p. 19.

De acordo com Almeida, Freitas e Gaubeur (2014) e Ribas (2016) o tratamento de efluentes contendo corantes é uma preocupação crescente na indústria têxtil, pois essas substâncias apresentam alta estabilidade química, que atrapalha a degradação e também devido ao visível impacto estético de um lançamento colorido sobre um corpo hídrico receptor, bem como a possíveis problemas de toxicidade ao meio ambiente, indo de encontro com o que nos diz Almeida *et al.* (2018), “a problemática do despejo incorreto de efluentes carregados de corantes nos corpos d’água vai além do aspecto estético uma vez que também afeta o desenvolvimento da vida aquática”.

De acordo com Freitas, Felinto e Suárez-Iha (2008), uma alternativa para tratar águas residuárias contendo corantes é por meio de procedimentos de adsorção, que por sua vez, têm ganhado destaque dentre as técnicas físico-químicas, pois é a que possibilita recuperação do material utilizado, possui alta eficiência e custo relativamente mais baixo, se comparada com as demais.

Segundo McCabe, Smith e Harriot (2014), o processo de adsorção apresenta-se como um fenômeno físico de transferência de massa que ocorre nas interfaces do sistema fluido-sólido, e que consiste na adsorção seletiva de alguns componentes da fase fluida na superfície sólida. O elemento que fica retido na parte sólida é denominado de adsorbato ou adsorvato, e o sólido que mantém o adsorbato na sua superfície é denominado de adsorvente.

De acordo com Eren (2008), os adsorventes são materiais, naturais ou sintéticos, cujo acesso às superfícies internas dos seus poros passa a depender de uma seleção natural que ocorrerá entre o adsorvente e o adsorbato. Do ponto de vista econômico, o material adsorvente deve possuir determinadas características que possibilite classificá-lo como substrato eficiente no processo de adsorção e, dentre estes atributos destacam-se: área de superfície elevada, seletividade, eficiência, resistência mecânica, menor perda de carga possível e inércia química.

“Um fator limitante para o processo de adsorção é que normalmente, os adsorventes comerciais são caros e de difícil regeneração, o que incentiva a busca por adsorventes alternativos para tornar o processo mais eficaz e atrativo economicamente” (JORGE, TAVARES E SANTOS, 2015 p. 2).

Durante o processo de adsorção, quatro etapas distintas são consideradas (GADD, 2009):

- i) transporte do adsorvato aquoso para o filme circundante da superfície da partícula adsorvente (este primeiro passo pode ser negligenciado se o sistema foi perfeitamente homogeneizado);
- ii) difusão externa;
- iii) difusão dentro da partícula; e
- iv) reações superficiais físicas ou químicas.

Dessa forma, a produção de materiais adsorventes alternativos tem sido investigada. Das matérias-primas utilizadas pode-se destacar as cascas de frutas ou partes de vegetais, principalmente pelo fato de serem reaproveitados, uma vez que são resíduos da atividade agrícola sem nenhum valor econômico agregado (VIEIRA *et al.*, 2011).

Os adsorventes alternativos de baixo custo podem ser classificados em cinco categorias com base em seu estado ou disponibilidade: (1) resíduos de materiais da agricultura ou da indústria, (2) resíduos de frutas, (3) resíduos de plantas, (4) materiais inorgânicos naturais e (5) biossorventes. Estes adsorventes são abundantes na natureza, têm baixo custo, requerem pouco processamento e são efetivos na remoção dos corantes (SHARMA *et al.*, 2011).

Os resíduos sólidos agrícolas brutos, como folhas, fibras, cascas de frutas, sementes, etc., e materiais residuais de indústrias florestais, como serragem, casca etc., têm sido usados como adsorventes. Estes materiais estão disponíveis em grandes quantidades e podem ser potenciais adsorventes devido às suas características físico-químicas e baixo custo. Contêm vários compostos orgânicos (lignina, celulose e hemicelulose) com grupos polifenólicos que podem ser úteis para a remoção de corantes através de diferentes mecanismos.

Segundo Nascimento *et al.* (2014, p. 27):

Muitas equações de isothermas foram propostas com dois ou mais parâmetros para ajustar os dados experimentais sobre os valores de q^3 versus C_{eq}^4 . Dentre as mais comumente utilizadas, encontram-se as equações de Langmuir e Freundlich. Suas maiores utilizações são devido ao fato de se prever a capacidade máxima de adsorção

³ Capacidade de adsorção.

⁴ Concentração no Equilíbrio.

do material (modelo de Langmuir) e capacidade de descrever o comportamento dos dados experimentais. Além disso, o fato de elas apresentarem dois parâmetros torna mais fácil a sua utilização.

Ainda conforme Nascimento *et al.* (2014), o modelo da isoterma de Langmuir apresenta alguns pressupostos: há um número determinado de sítios; os sítios apresentam energia equivalente e as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras; a adsorção acontece em uma monocamada e cada sítio pode comportar apenas uma molécula adsorvida. Enquanto que o modelo da isoterma de Freundlich, pode ser aplicado a sistemas não ideais, em superfícies heterogêneas e adsorção em multicamada.

Diversas biomassas utilizadas para remoção de poluentes aquosos mostraram-se eficientes, tais como: casca de coco (DA SILVA *et al.*, 2018), cinza de casca de arroz (KIELING, 2016), serragem de eucalipto *in natura* (SAATKAMP, 2016), bagaço da cana de açúcar (SEIXAS; GIMENES E FERNANDES-MACHADO, 2016), bucha vegetal (VICENTIN, 2017), dentre outros materiais, porém, ainda não foi estudada a eficácia dos resíduos oriundos da produção de polpa de frutas no tratamento de água, especificamente o caroço de cajá. Não foi encontrada nenhuma patente relacionada a este assunto.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Estudar a utilização da biomassa do fruto da cajazeira (*Spondias mombim* L.) na remoção de corante azul de metileno de efluentes aquosos através da adsorção em banho finito.

3.2 Específicos

- Preparar um efluente sintético contendo azul de metileno com concentração conhecida;
- Realizar um pré-tratamento no material adsorvente, utilizando de secagem e trituração;
- Construir uma curva de calibração para determinação da concentração do azul de metileno via espectrofotometria na região do espectro visível a 665 nm;
- Realizar um planejamento experimental fatorial 2^3 , com um ponto central, avaliando a influência das variáveis pH, velocidade de agitação e quantidade de material adsorvente sobre o fenômeno de adsorção do azul de metileno em biomassa do cajá em banho finito;
- Analisar os resultados do planejamento experimental através da Análise de Variância;
- Investigar o equilíbrio de adsorção e a capacidade máxima de adsorção do material adsorvente relacionando a concentração do corante e a massa de adsorvente;
- Investigar a influência do pH na adsorção, através do Ponto de Carga Zero (PCZ).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Pré-tratamento do adsorvente

Os caroços de cajá foram primeiramente secos e triturados em moinho de facas. Logo em seguida, o material foi lavado com água destilada quente e seco em estufa a 60°C por 24 horas, a fim de retirar algumas impurezas e evitar que o processo de adsorção seja prejudicado. Ao fim, armazenou-se o material em embalagens plásticas a temperatura ambiente.

Figura 2 - Endocarpo do cajá *in natura* sendo seco ao Sol.



Fonte: autoria própria, 2018.

Figura 3 - Endocarpo do cajá *in natura* após ser triturado em moinho de facas, lavado e seco, posteriormente armazenado em embalagens plásticas.



Fonte: autoria própria, 2018.

4.2 Preparação da solução estoque de azul de metileno

A espécie escolhida como adsorbato nesse trabalho foi o corante azul de metileno padrão analítico da marca Dinâmica. Preparou-se 1 L da solução estoque de corante pela pesagem da massa adequada do pó e posterior dissolução em água até uma concentração de 100 mg/L.

A partir da solução estoque foram preparadas outras 6 soluções, de concentrações 1, 2, 3, 5, 7 e 10 mg/L (Figura 4), para se obter a curva de calibração e a equação da reta, que serão utilizadas para se calcular a massa de adsorbato removida da solução.

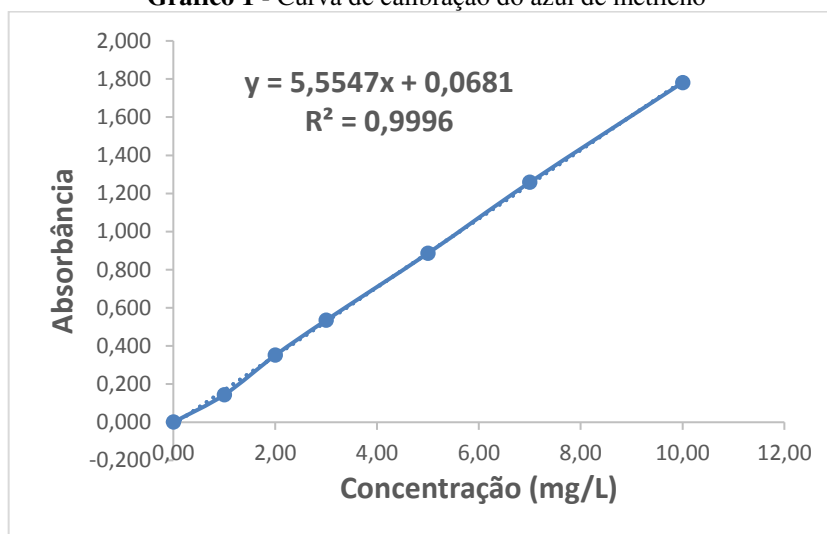
Figura 4 - Soluções para curva de calibração.



Fonte: autoria própria, 2018.

4.3 Construção da curva de calibração do azul de metileno

Para determinação da concentração do adsorbato na solução sobrenadante antes e depois do processo de adsorção utilizou-se um espectrofotômetro (marca Bioprecisa), na faixa do visível a 665 nm, tendo como ponto zero de absorbância a água destilada. A curva de calibração obteve-se pela plotagem do gráfico entre concentração (0 a 10 mg/L) X Absorbância, para obtenção da reta de regressão. Portanto com os valores alcançados obteve-se o seguinte Gráfico 1.

Gráfico 1 - Curva de calibração do azul de metileno

Fonte: autoria própria, 2018.

4.4 Realização do planejamento experimental

Foi realizado um planejamento experimental fatorial 2^3 , que consiste em analisar 3 fatores em 2 níveis, além de um ponto central. Para avaliar as influências das variações do pH, velocidade de agitação e quantidade de material adsorvente, para trabalhar com essas condições foram necessários 8 ensaios (com 50 mL de solução cada), todas as soluções possuíam concentrações iniciais de 25 mg/L (Tabela 1).

Tabela 1 - Matriz de experimentos em sinais algébricos e variáveis utilizadas entre parênteses.

Ensaio	pH	Agitação (rpm)	Massa Ads. (g)
1	– (2,0)	– (20)	– (1,0)
2	– (2,0)	– (20)	+ (5,0)
3	– (2,0)	+ (40)	+ (5,0)
4	+ (12,0)	+ (40)	+ (5,0)
5	+ (12,0)	+ (40)	– (1,0)
6	+ (12,0)	– (20)	– (1,0)
7	– (2,0)	+ (40)	– (1,0)
8	+ (12,0)	– (20)	+ (5,0)

Fonte: autoria própria, 2018.

Os pH das soluções foram ajustados através do uso de soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl), ambas à 0,1 M, adicionadas gota a gota nas respectivas soluções que necessitavam de um aumento ou diminuição do potencial hidrogeniônico. Para isso, utilizou-se um pHmetro digital da marca Ion.

Como possuía-se dois níveis de agitação, dividiu-se os ensaios em dois grupos os que teriam agitação máxima (40 rpm), ensaios 3, 4, 5 e 7, e os de agitação mínima (20 rpm), ensaios 1, 2, 6 e 8, ambos os grupos passaram 30 minutos com agitação constante em banho finito, logo após utilizou-se o esquema de filtração simples para separar a solução do material adsorvente, já contendo o adsorbato. Em seguida as amostras foram levadas ao espectrofotômetro para analisar a absorbância e calcular a concentração final por meio da equação obtida no Gráfico 1.

Para encontrar a quantidade em porcentagem de corante removida da solução utilizou-se a equação a seguir:

$$\%Remoção = \left\{ \frac{(C_i - C_f)}{C_f} \right\} * 100 \quad (1)$$

Em que C_i e C_f (mg/L) são as concentrações de azul de metileno iniciais ($t = 0$) e no tempo f , respectivamente.

4.5 Interpretação dos dados do planejamento experimental

Os resultados dos ensaios do planejamento experimental foram avaliados através da Análise de Variância utilizando o software *Statistica*®, em que se gerou o Diagrama de Pareto, a Superfície de Resposta e o Modelo Matemático para as variáveis investigadas.

4.6 Isoterma de adsorção

Foram realizados ensaios para se estudar o equilíbrio de adsorção, preparou-se novas soluções de azul de metileno, nas condições de volume 0,1 L de solução, agitação de 60 rpm, massa de adsorvente 5 g e 6 ensaios de concentração 10, 50, 100, 200, 400 e 600 mg/L com o intuito de determinar a capacidade máxima de adsorção do material utilizando os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich descritas pelas Equações (2) e (3), respectivamente.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_{eq}}{1 + (K_L C_{eq})} \quad (2)$$

Onde, q_e é a capacidade de adsorção de equilíbrio (mg g⁻¹), q_m é a capacidade máxima de adsorção (mg g⁻¹), K_L é a constante de Langmuir (L mg⁻¹), C_{eq} é a concentração de equilíbrio de adsorbato em fase líquida (mg L⁻¹).

$$q_e = K_F C_{eq}^n \quad (3)$$

Em que q_e e C_{eq} são os mesmos da equação (3) e K_F e n são constantes empíricas.

4.7 Potencial de carga zero

Para determinar a influência do pH fez-se o teste do ponto de carga zero (PCZ), que é definido como o pH do adsorvente no qual o balanço das cargas positivas e negativas tornam-se nulas. Fazendo o uso de 11 erlenmeyers contendo 0,5 g de adsorvente e 50 mL de água destilada, os quais foram ajustados para pH de 2,0 a 12,0 com soluções de NaOH e HCl, com concentrações de 0,1 mol/L e foram mantidos em agitação constante de 50 rpm durante 24 horas. Para a determinação do PCZ, plotou-se o Gráfico 6 de variação de pH versus pH inicial.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Teste preliminares de absorvância

Os testes preliminares comprovaram a capacidade de adsorção do material, já que conseguiu-se remover quantidades bastantes significativas, chegando a mais de 90% de remoção da concentração do corante em todos os ensaios. É importante ressaltar que quanto maior a concentração inicial da solução maior a redução, isso para valores absolutos em termos de remoção. A Tabela 2 apresenta os valores obtidos na avaliação para observar a capacidade de absorvância do material, não houve a correção do pH.

Tabela 2 - Teste preliminares de absorvância.

Ensaio	C inicial (mg/L)	Absorvância	C final (mg/L)	% Redução
1	25	0,052	0,356944	98,57222
2	10	0,044	0,312507	96,87493
3	5	0,031	0,240296	95,19409
4	3	0,014	0,145866	95,13781

Fonte: autoria própria, 2018.

5.2 Planejamento experimental

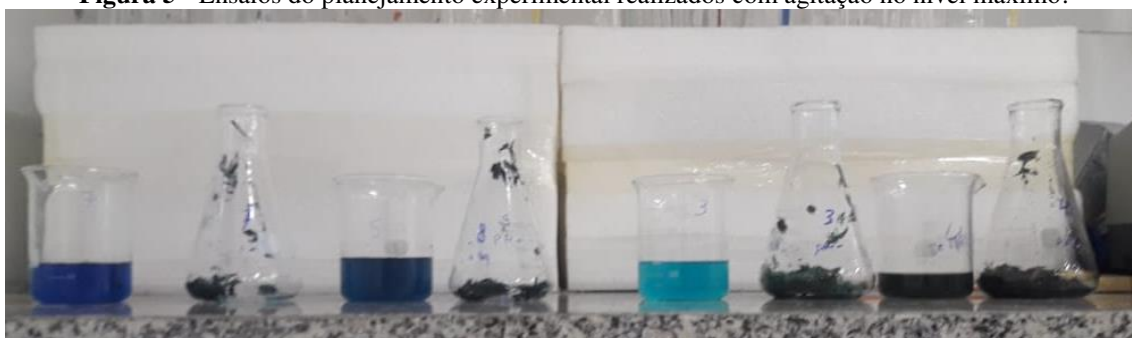
Os resultados encontrados com a variações dos 3 fatores, foram divididos em dois grupos, o de agitação máxima (40 rpm) e mínima (20 rpm), respectivamente distribuídos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível máximo.

Ensaio	pH	C. inicial (mg/L)	Absorvância	C. final (mg/L)	% Redução
3	2	25	0,469	2,6733	89,31
4	12	25	0,347	1,9956	92,02
5	12	25	0,370	2,1233	91,51
7	2	25	1,997	11,1608	55,36

Fonte: autoria própria, 2019.

As soluções após o ensaio com agitação máxima, depois do processo de adsorção estão demonstradas na Figura 5.

Figura 5 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível máximo.

Fonte: autoria própria, 2019.

Tabela 4 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível mínimo.

Ensaio	pH	C. inicial (mg/L)	Absorbância	C. final (mg/L)	% Redução
1	2	25	2,000	11,1775	55,29
2	2	25	0,496	2,8232	88,71
6	12	25	0,490	2,7899	88,84
8	12	25	0,384	2,2011	91,20

Fonte: autoria própria, 2019.

As soluções após o ensaio com agitação mínima depois do processo de adsorção estão demonstradas na Figura 6.

Figura 6 - Ensaios do planejamento experimental realizados com agitação no nível mínimo.

Fonte: autoria própria, 2019.

Como se pode observar os dois ensaios que obtiveram os melhores resultados possuíam o nível de pH máximo (12,0), no ensaio 3, em que esse nível era mínimo a redução foi menor. A influência da combinação de fatores massa de ads. e pH, pode ser observada ao analisar os ensaios 1 e 8, onde a agitação foi mínima em ambos, porém onde a interação massa de ads. e pH era máxima obteve um percentual de redução de 35,91% maior do que seus níveis mínimos, corroborando com o diagrama de Pareto (Gráfico 2) sobre a importância dos níveis de fatores. Demonstrando que a adsorção, em uma faixa de pH entre 2 e 12, é maior quando tem-se um meio básico e mais massa de material adsorvente.

A capacidade da agitação aumenta a adsorção do material, já que, mesmo os ensaios possuindo níveis de pH mínimo e/ou massa mínima um nível maior de agitação favorece a redução como nos casos dos ensaios 3 e 7.

Analisando um fator separadamente, quando os outros dois fatores estão em condições mínimas, comparando-os com o ensaio de menor redução, pode-se verificar que o nível de pH é o fator de maior influência, visto que o ensaio 6 apresenta uma redução de 33,55% maior que o ensaio 1, enquanto o ensaio 2, que tem o nível de massa máximo, possui diferença de 33,42% e o ensaio 7, com o maior nível de agitação, obteve diferença de 0,07% uma menor influência.

Os testes de significância são úteis para aferir a qualidade da aproximação gerada a partir de um conjunto de dados. Tais testes são baseados na Análise de Variância (ANOVA) e requerem a obtenção de alguns parâmetros estatísticos, como a média e somas dos quadrados dos desvios. Portanto, para avaliar a qualidade do ajuste do modelo, utilizou-se os dados da Tabela 6. O ajuste do modelo também foi expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), que foi igual a 0,80171 para a remoção do corante, o que indica um bom ajuste entre os dados experimentais e os dados do modelo.

Tabela 5 - Análise de Variância para o processo de remoção de corante.

ANOVA; Var.: remoção (%); R-sqr= 0,80171 ; Adj: 0,50428 (Planejamento Fatorial 2^3 - 3 PC) 3 fatores, 1 Bloco, 11 Ensaio; MS Puro Erro= 0,0725702 DV: remoção (%)					
Fator	SS	df	MS	F	p
(1) pH	695,645	1,0	695,645	9585,817	0,00010
(2) agit	2,486	1,0	2,486	34,263	0,02797
(3) mass. adsor.	621,986	1,0	621,986	8570,820	0,00012
1 by 2	1,217	1,0	1,217	16,767	0,05479
1 by 3	515,205	1,0	515,205	7099,398	0,00014
2 by 3	0,328	1,0	0,328	4,520	0,16737
Lack Fit	454,166	2,0	227,083	3129,149	0,00032
Pure Error	0,145	2,0	0,073	-	-
Total SS	2291,179	10,0	-	-	-

Fonte: autoria própria, 2021.

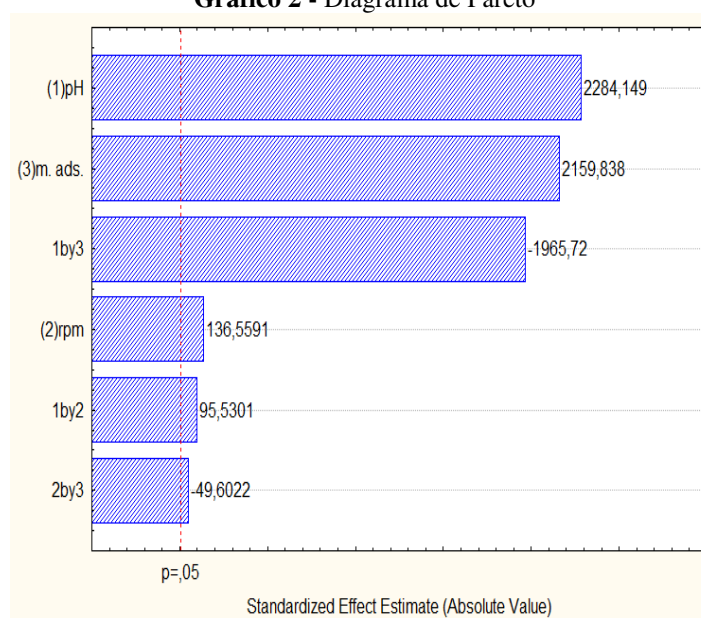
A partir do planejamento experimental se obtém um modelo matemático, por isso ao se adicionar o ponto central investiga se existe alguma curvatura, em outras palavras o ponto central avalia qual tipo de modelo matemático que descreve o processo. O ponto central (Tabela 6) foi realizado em triplicata com pH 7, massa de ads. 3 g, agitação 30 rpm e concentração de 25 mg/L, obtendo uma absorvância média de 0,170 e uma redução média de 95,94%.

Tabela 6 - Ensaio de ponto central.

Ensaio	Absorbância	C inic. (mg/L)	C final (mg/L)	% Redução
1	0,171	25	1,0180	95,93
2	0,170	25	1,0124	95,95
3	0,170	25	1,0124	95,95

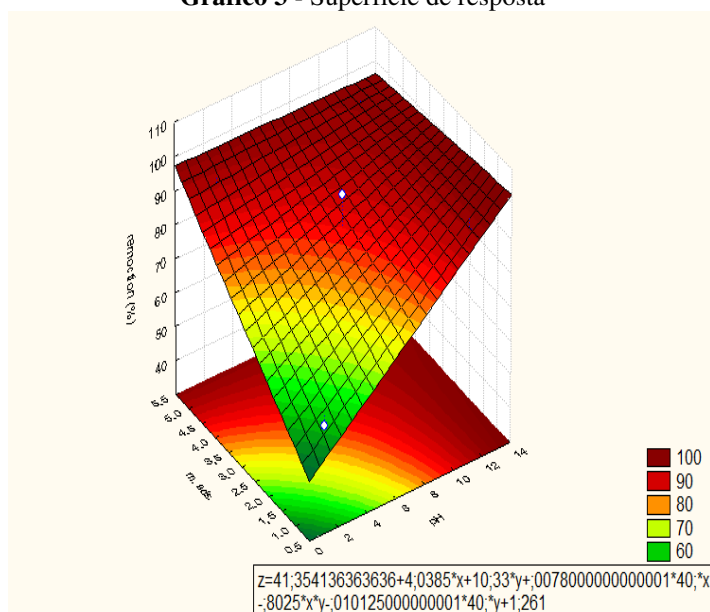
Fonte: autoria própria, 2019.

Utilizou-se o diagrama de Pareto (Gráfico 2), para demonstrar influência da taxa de agitação (rpm), massa de material adsorvente (m. ads), níveis de potencial hidrogeniônico (pH) e suas interações na remoção do corante azul de metileno, tomando como base os resultados das Tabelas 3 e 4.

Gráfico 2 - Diagrama de Pareto

Fonte: autoria própria, 2019.

A partir do diagrama de Pareto é possível observar que os fatores de maior influência são o pH e a massa de adsorvente, juntamente com sua interação, que é melhor visualizada pela superfície de resposta do Gráfico 3, que demonstra a relação desses dois fatores com a remoção do corante.

Gráfico 3 - Superfície de resposta

Fonte: autoria própria, 2019.

5.3 Equilíbrio de adsorção

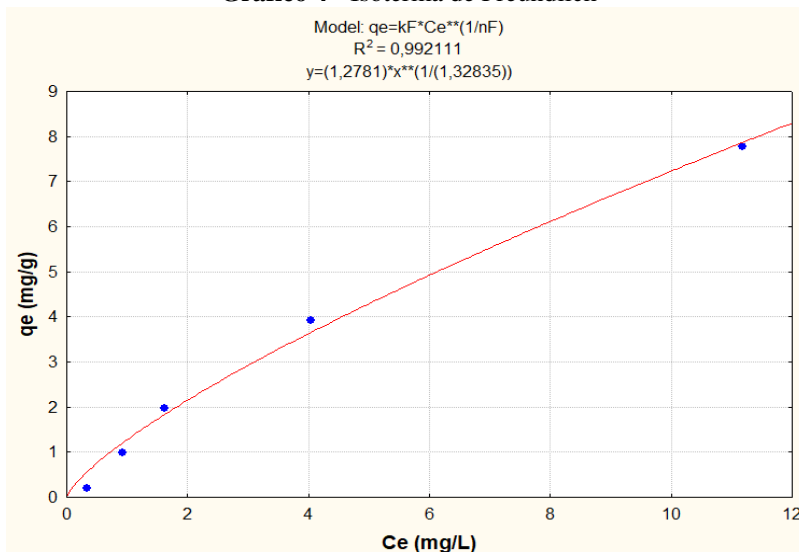
Para a determinação do equilíbrio, como já citado, foi realizado 6 ensaios com volume de solução 0,1 L e 5 g do adsorvente a uma agitação de 60 rpm por 30 minutos. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 8.

Tabela 7 - Ensaios para determinação do equilíbrio de adsorção.

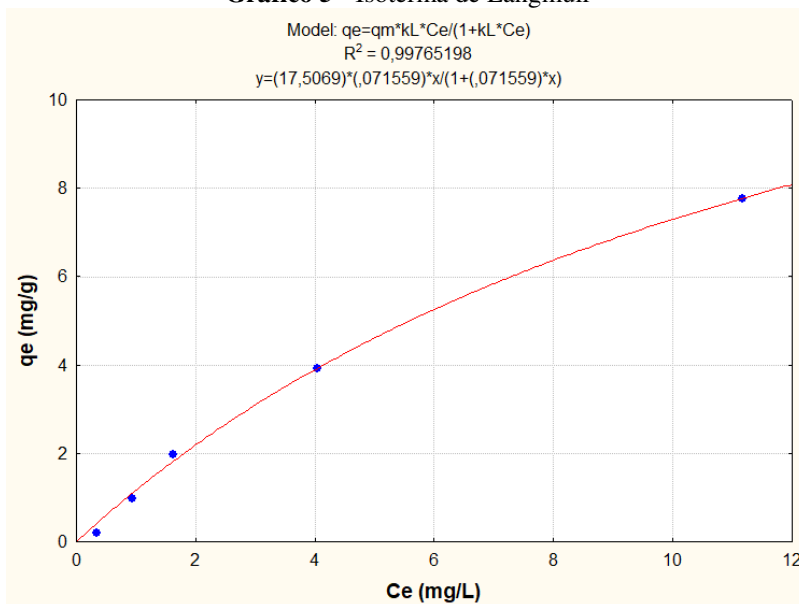
Ensaio	C inic. (mg/L)	Absorb.	C fin. (mg/L)	q (mg/g)
1	10	0,049	0,3403	0,1932
2	50	0,156	0,9346	0,9813
3	100	0,279	1,6179	1,9676
4	200	0,715	4,0397	3,9192
5	400	2,000	11,1775	7,77657
6	600	2,000	11,1775	11,7765

Fonte: autoria própria, 2019.

Assim os dados experimentais do equilíbrio foram ajustados para os métodos isoterma de Freundlich (Gráfico 4) e Langmuir (Gráfico 5), os quais são expressos nos gráficos pela relação de quantidade de material adsorvida (q_e mg/g) versus concentração da solução no equilíbrio (C_e).

Gráfico 4 - Isoterma de Freundlich

Fonte: autoria própria, 2019.

Gráfico 5 - Isoterma de Langmuir

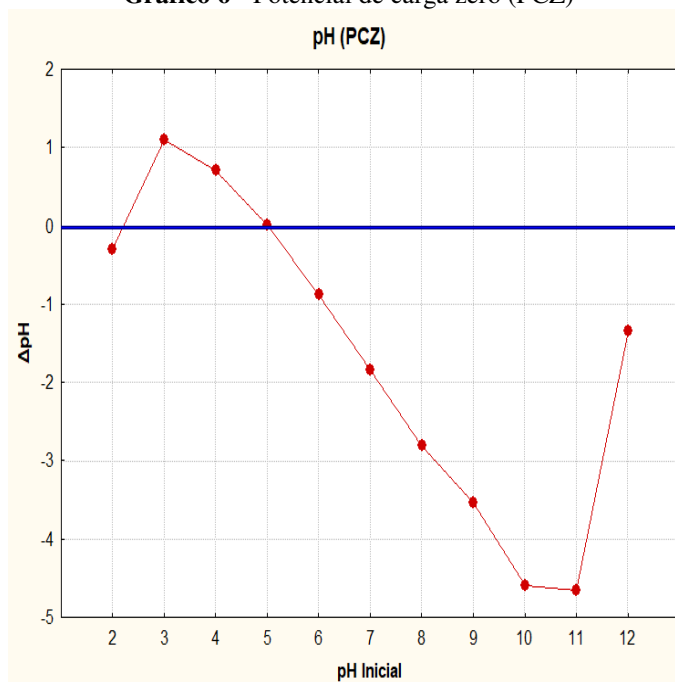
Fonte: autoria própria, 2019.

As curvas plotadas, massa adsorvida por concentração no equilíbrio tratadas nos modelos de isoterma de Langmuir e Freundlich para determinação a capacidade máxima de adsorção do material, ou seja, quanto de corante é adsorvido por ele. As isotermas de adsorção mostraram um bom ajuste, com os coeficientes de determinação (R^2) bem próximo de 1, no Gráfico 4, $R^2 = 0,992111$ e no Gráfico 5, $R^2 = 0,99765198$, sendo a capacidade máxima (q_m) de adsorção da isoterma de Langmuir é de 17,5069 mg de corante por 1 g de adsorvente.

5.4 Potencial de carga zero (PCZ)

No Gráfico 6 verifica-se que o pH do caroço de cajá aproxima-se de 5, já que nesse ponto as cargas positivas e negativas anulam-se, a superfície do material encontra-se positivamente carregada numa solução aquosa na faixa de pH aproximadamente de 2,2 e 5, já em uma solução com pH superior a 5 encontram-se carregadas negativamente e de acordo com os resultados obtidos no planejamento experimental, a redução do corante investigado, é maior em soluções básicas, isso deve-se ao fato do azul de metileno ser um corante catiônico, portanto havendo uma interação das cargas negativas das fibras com as cargas positivas do corante.

Gráfico 6 - Potencial de carga zero (PCZ)



Fonte: autoria própria, 2019.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como outros materiais orgânicos abordados pela literatura, o endocarpo do fruto do cajá contém propriedades que permitem a remoção de corantes das soluções, sendo possível realizar-se o tratamento de efluentes coloridos.

Através do planejamento experimental fatorial 2^3 , pôde-se notar que os fatores variáveis: pH, massa de adsorvente e velocidade de agitação são relevantes no processo de adsorção, permitindo observar quais os parâmetros ideais para utilizar com intuito de melhorar o tratamento do efluente.

Os dados obtidos no equilíbrio de adsorção proporcionaram uma adaptação expressiva ao modelo de Langmuir, obtendo um $R^2 = 0,997652$, assim como também para o modelo de Freundlich, em que seu $R^2 = 0,992111$.

Por meio do potencial de carga zero foi possível notar a que o pH do endocarpo do cajá é aproximadamente 5,0 e que sua superfície está carregada positivamente, porém em soluções com pH superior a 5,0 encontra-se carregada negativamente, corroborando assim com o planejamento experimental, onde em soluções básicas ocorreu-se maior remoção do corante catiônico.

O endocarpo do fruto da cajazeira possui grande capacidade para ser utilizado no tratamento de efluentes contaminados pelo corante azul de metileno, demonstrando um rendimento notável, já que a maioria dos resultados apresentados obtiveram uma remoção acima de 88% da concentração de azul de metileno de efluentes aquosos. Assegurando que o material apresenta inúmeros benefícios para a sociedade e meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALLÈGRE, C., MOULIN, P., MAISSEU, M., CHARBIT, F. **Treatment and reuse of reactive dyeing effluents**. Journal of Membrane Science. v. 269, p. 15–34. 2006.

ALMEIDA, E. C. E. S. *et al.* Remoção de corante têxtil utilizando a casca do abacaxi como adsorvente natural. **HOLOS**, Natal, v. 3, ed. 34, p. 81-97, 30 ago. 2018. DOI 10.15628/holos.2018.5334. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5334>. Acesso em: 7 dez. 2020.

ALMEIDA, M. O.; FREITAS, P. A. M.; GAUBEUR, I. **Uso do sabugo de milho como bioadsorvente para remoção do corante índigo carmim (3,3' dioxo-2,2'-bis-indolilideno-5,5'- ácido dissulfônico) de águas residuais**. X Encontro Brasileiro sobre Adsorção – EBA 10. GuarujáSP. 2014.

ALMEIDA, R. L.; MEILI, L.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V. **Estudo da adsorção do azul de metileno utilizando diversos resíduos agroindustriais como agente adsorvente**. X Encontro Brasileiro sobre Adsorção – EBA 10. Guarujá-SP. 2014.

DA SILVA, J. E. *et al.* Estudo de Cinética e Equilíbrio de Adsorção Empregando a Casca do Coco Modificada Quimicamente para a Remoção de Pb(II) de Banho Sintético. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 1248 - 1262, 1 out. 2018. DOI 10.21577/1984-6835.20180086. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n5a09.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, Luiz C. A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. *Química Nova*, v. 28, p. 433 – 437, 2005. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000300013>>. Acesso em: 13/03/2019.

DOMINGUES, J. T. **Desenvolvimento de um novo nanomaterial incorporado com bixina: uma abordagem sustentável para remoção de corantes em matrizes aquosas**. Orientador: Guilherme Dias Rodrigues. 2018. 122 p. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/SFSA-AY8U5V>. Acesso em: 7 dez. 2020.

DOMINGUES, V. M. F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas**. 2005. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12811/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.

EREN, E. **Removal of cooper ions by modified Unye clay**, Turkey, Journal of Hazardous Materials, v. 159 (2-3), p. 235-244, 2008. Doi: 101016 / jjhazmat200802035.

EZZEDDINE, Z.; BATONNEAU-GENER, I.; POUILLOUX, Y.; HAMAD, H. **Removal of methylene blue by mesoporous CMK-3: Kinetics, isotherms and thermodynamics**. Journal of Molecular Liquids. Vol. 223. p. 763-770. 2016.

FREITAS, P. A. M., IHA, K., FELINTO, M. C. F. C., SUÁREZ-IHA, M. E. V. **Adsorption of di2-pyridyl ketone salicyloylhydrazone on Amberlite XAD-2 and XAD-7 resins: characteristics and isotherms.** J. Col. Int. Sci., Vol. 323, n. 1, p. 1–5, 2008.

GADD, G. M. **Biosorption:** critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. J. Chem. Technol. Biotechnol. 84, 13–28. 2009.

HONORATO, Andressa C. *et al.* **Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 19, n. 7, p.705-710, jun. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p705-710>. Acesso em: 24 Nov. 2020.

JORGE, I. R.; TAVARES, F. P.; SANTOS, K. G. **Remoção do corante azul de metileno no tratamento de efluentes por adsorção em bagaço de cana de açúcar.** XXXVII ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, São Carlos-SP. 2015.

KIELING, AMANDA GONÇALVES. **ADSORÇÃO DE BTEX - BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO E XILENO: EM CINZA DE CASCA DE ARROZ E CARVÃO ATIVADO.** Orientador: Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider. 2016. 175 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação) - Porto Alegre, Po, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/143762/000997757.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 mar. 2021.

KUNZ, A. *et al.* **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Química Nova, v. 25, p. 78 – 82, 2002. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000100014>. Acesso em: 16 Nov. 2020.

MANIKANDAN, G.; KUMAR, P. S.; SARAVANAN, A. **Modelling and analysis on the removal of methylene blue dye from aqueous solution using physically/chemically modified Ceiba pentandra seeds.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 62. p. 446–461. 2018.

MARÍN, Sandra Liliana Alborno. **REMOÇÃO DOS CORANTES TÊXTEIS C.I. REACTIVE BLUE 203 E C.I. REACTIVE RED 195 MEDIANTE O USO DE BAGAÇO DE MAÇÃ COMO ADSORVENTE.** Orientador: Dra. Raquel Dalla Costa da Rocha. 2015. 153 p. Dissertação (Pós-Graduação) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Pato Branco, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1498>. Acesso em: 7 dez. 2020.

MCCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering.** McGraw Hill Education, 7th ed., 2014.

MOURA, Cyntia Ladyane Alves de; PINTO, Gustavo Adolfo Saavedra; FIGUEIREDO, Raimundo Wilane de. **PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA POLPA DE CAJÁ (Spondias mombin L.). B. CEPPA,** Curitiba, v. 29, n. 2, p.237-252, dez. 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79228/1/PROCESSAMENTO-E-UTILIZACAO-DA-POLPA-DE-CAJA.pdf>. Acesso em: 05 Nov. 2020.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção:** aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: [s. n.], 2014. ISBN 978-85-7485-186-0.

OLIVEIRA, Eveline Haiana Costa de. **Utilização de nanomateriais de grafite para adsorção de corantes têxteis aniônicos**. 2016. 140 f. Tese (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/24734/1/TESE%20Eveline%20Haiana%20Costa%20de%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

OLIVEIRA, F. M. de; COELHO, L. M.; MELO, E. I. de. Avaliação de processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante azul de metileno. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, 14 fev. 2018. DOI 10.1590/S1517-707620180004.0557. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rmat/v23n4/1517-7076-rmat-23-4-e12223.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

OLIVEIRA, S. P.; SILVA, W. L. L.; VIANA, R. R. **Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio**. Cerâmica. Vol. 59. p. 338-344. 2013.

RIBAS, Marielen Cozer. **Remoção de corantes têxteis pelo processo de adsorção utilizando carvão ativado produzido a partir de subprodutos agroindustriais**: estudos em batelada e coluna de leito fixo. Orientador: Prof. Dra. Liliana Amaral Féris. 2016. 159 p. Tese (Pós-Graduação) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/147505>. Acesso em: 7 dez. 2020.

SAATKAMP, Rodrigo Henrique. **ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM SERRAGEM DE EUCALIPTOS IN NATURA E PÓS TRATAMENTO POR PLASMA FRIO**. 2016. 47 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/167246/TCC_2_Rodrigo_Saatkamp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 31 mar. 2021.

SEIXAS, Fernanda L.; GIMENES, Marcelino L.; FERNANDES-MACHADO, Nádia R. C. TREATMENT OF VINASSE BY ADSORPTION ON CARBON FROM SUGAR CANE BAGASSE. **Química Nova**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 172-179, 05 fev. 2016. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422016000200172&script=sci_arttext. Acesso em: 31 mar. 2021.

SHARMA, P., KAUR, H., SHARMA, M., SAHORE, V. **A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste**. Env. Mon. Assess. Vol. 183, n. 1-4, p. 151-95, 2011.

SILVA, D. C. C. da; PIETROBELLI, J. M. T. A. **Estudo das isotermas de adsorção do corante amarelo reativo B2R em resíduo orgânico da extração do óleo de semente de chia (*Salvia hispanica*)**. XXXVIII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Maringá, p. 1-7. out. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Deborah-C-Crominski-Da-Silva-Medeiros-2/publication/344219617_Estudo_das_isotermas_de_adsorcao_do_corante_Amarelo_Reativo_B2R_em_residuo_organico_da_extracao_do_oleo_de_semente_de_chia_Salvia_hispanica/links/5f5ced924585154dbbcb78e5/Estudo-das-isotermas-de-adsorcao-do-corante-Amarelo-

Reativo-B2R-em-residuo-organico-da-extracao-do-oleo-de-semente-de-chia-Salvia-hispanica.pdf. Acesso em: 30 mar. 2021.

TEIXEIRA, Laíza Fernanda Curti; BARSÍ, Fabricio Ventura. **Adsorção de corantes têxteis em zeólita NH₄USY**. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/xveneeamb/078.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

VICENTIN, BRUNA MARTINS. **ESTUDO DA ADSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL EM FIBRAS NATURAIS DE BUCHA VEGETAL (*Luffa cylindrica*)**. Orientador: Prof. Dra. Raquel Dalla Costa da Rocha. 2017. 43 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15430/1/PB_DAQUI_2017_1_6.pdf. Acesso em: 31 mar. 2021.

VIEIRA, A. P.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. S.; CHAVES, J. A. P.; MELO, J. C. P.; SILVA FILHO, E. C.; AIROLDI, C. **Epicarp and Mesocarp of Babassu (*Orbignya speciosa*): Characterization and Application in Copper Phtalocyanine Dye removal**. Brazilian Chemical Society, v. 22, n. 1, p.21-29, 2011.

ZHANG, J.; ZHOU, Y.; JIANG, M.; LI, J.; SHENG, J. **Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption on pyrophyllite**. Journal of Molecular Liquids. Vol. 209. p. 267- 271. 2015.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

Campus Sousa

Av. Pres. Tancredo Neves, S/N, Jardim Sorrilândia, CEP 58800-970, Sousa (PB)

CNPJ: 10.783.898/0004-18 - Telefone: (83) 3522.2727

Documento Digitalizado Restrito

Entrega de TCC digital

Assunto: Entrega de TCC digital
Assinado por: Francisco Batista
Tipo do Documento: Dissertação
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Restrito
Hipótese Legal: Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Francisco Ferreira Batista, ALUNO (201718740008) DE LICENCIATURA EM QUÍMICA - SOUSA**, em 25/08/2022 14:46:43.

Este documento foi armazenado no SUAP em 25/08/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 606542

Código de Autenticação: 02a060ed3b

