

II-319 - USO DE CASCAS DE PINHÃO DA *ARAUCÁRIA ANGUSTIFÓLIA* PARA ADSORÇÃO DE CORANTE AZUL DE METILENO EM EFLUENTES AQUOSOS

Maria Augusta Boniatti Libardoni⁽¹⁾

Acadêmica do curso de Engenharia Química pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.

Guilherme Henrique Wendland⁽²⁾

Acadêmico do curso de Engenharia Química pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.

Marcele Arais Hocevar⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Endereço⁽¹⁾: Rua Padre Antônio Cuber, 231 - Bairro Elisabeth – Ijuí – RS – CEP: 98700000 – Brasil – Tel: (55) 3332-5550, (55) 9678-1231 – E-mail: guta.libardoni@gmail.com

RESUMO

Após o crescimento de diversos setores industriais, principalmente na área química, debate-se a importância do tratamento de efluentes, bem como de seu impacto ambiental caso não este não seja feito, ou, até mesmo seu descarte de modo correto e efetivo. Diferentes efluentes produzidos em indústrias químicas devem ser tratados e descartados de modo correto, são diversas as formas de tratamento, entre estes métodos pode-se destacar a adsorção.

A adsorção vem se tornando uma alternativa para indústrias em que há a necessidade de realizar o tratamento de resíduos aquosos com corantes, compostos orgânicos, óleos, metais pesados, fármacos, agrotóxicos entre outras espécies químicas. Atualmente o material utilizado para este fim é o carvão ativado, que apresenta alta eficiência e alto custo. Com o intuito de encontrar alternativas mais baratas frente ao carvão ativado, diversos pesquisadores buscam materiais alternativos que possam substituir o mesmo com a mesma taxa de adsorção.

Este estudo apresenta como substituinte as cascas de pinhão da árvore *Araucária Angustifolia* como meio adsorvente de corante azul de metileno em efluentes aquosos sintéticos. O material para ser utilizado como meio adsorvente necessitou de um tratamento preliminar para eliminar toda a sua coloração e iniciar o processo de adsorção do corante. Após este tratamento o material mostrou-se como eficiente para a adsorção de corante azul de metileno, reduzindo a carga deste em 57, 5%.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Substituição de Materiais, Meio Ambiente, Cascas de pinhões.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso de grande valor para qualquer povo ou nação, seja por questões básicas de sobrevivência, por razões estratégicas ou mesmo por questões culturais. Com frequência, ouvem-se nos meios de comunicação notícias relacionadas à água, ou pela escassez do recurso, ou pelo uso inadequado, ou ainda pela contaminação de mananciais devido ao desmatamento, despejo de esgotos domésticos, despejo de resíduos agrícolas como pesticidas e herbicidas e ainda através da descarga de efluentes industriais, com a presença de corantes e de metais pesados com alta toxicidade. (CALVETE, 2011) Estes efluentes industriais, com a presença de corantes, quando lançados sem tratamento nos recursos hídricos, poluem visualmente a água, alteram os ciclos biológicos como a fotossíntese, pois reduz a penetração de luz, atuam na redução da biodiversidade aquática, comprometem o abastecimento público, aumentam os custos de tratamento da água devido a sua complexidade de remoção além de terem compostos que podem causar alergia, irritação cutânea, câncer e mutações (LOPES, 2017).

Os corantes fazem parte de um grupo de materiais chamados colorantes que são caracterizados por absorverem luz na região do visível (350 a 760 nm). São compostos orgânicos, sendo em sua maioria, completamente resistente aos processos de biodegradação. Existem mais de 10 mil corantes disponíveis comercialmente, a maioria de origem sintética, sendo utilizados na coloração de materiais têxteis, couro, plástico, produtos alimentares, farmacêuticos e cosméticos. (CÁCERES, *et.al.*, 2017) Estudos recentes indicam que

aproximadamente 12% desses corantes são perdidos durante os processos de manufatura e processamento e, cerca de 20%, são lançados como efluentes industriais (CALVETE, 2011).

O efluente resultante de um processo de tingimento contém uma grande variedade de produtos, como agentes dispersantes, transportadores, sais, emulsionantes, agentes de equalização e compostos organometálicos contendo metais pesados. Ainda apresentam baixa demanda bioquímica de oxigênio (DBO), elevada demanda química de oxigênio (DQO) e forte coloração, além de apresentarem elevada estabilidade biológica, dificultando sua degradação pelos sistemas de tratamento convencionais empregados. (CALVETE, 2011) A escolha do método a ser utilizado depende de vários fatores como o tipo de corante a ser removido; a composição química e a concentração do efluente e o destino dos subprodutos formados. Afim de minimizar estes problemas, a técnica de adsorção destaca-se na remoção de corantes, devido aos baixos custos e elevadas taxas de remoção, ainda, em alguns casos, como não caracteriza um método destrutivo, a adsorção possibilita a recuperação do corante sem perda da sua identidade química.

A adsorção funciona com a transferência dos componentes da fase efluente aquosa para a superfície do adsorvente sólido. Devido a diferença de concentração entre a solução e a superfície do adsorvente, quando existe o contato entre duas fases, o soluto (adsorvato) se desloca por difusão ou convecção da fase fluida a interface do líquido-sólido. Após atingir a superfície, o soluto difunde-se através dos poros do adsorvente e finalmente é adsorvido pelos sítios ativos (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Para um material ser adotado como meio adsorvente este necessita adsorver em sua superfície grande quantidade da substância poluidora. Para atingir estas quantidades a superfície do adsorvente deve apresentar uma textura adequada, com elevada área superficial, promovida inclusive pela presença e distribuição de poros, além de interagir com o adsorvato por adsorção física (fisissorção) ou adsorção química (quimissorção) (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Para a seleção do melhor adsorvente torna-se necessário conhecer os dados de equilíbrio, os quais são tratados através de modelos matemáticos que descrevem a relação entre a quantidade de adsorvato por unidade de adsorvente e a concentração de adsorvato na água. Os modelos mais comuns são a isoterma de Langmuir e de Freundlich. Ainda é possível determinar o mecanismo da reação de adsorção pelo estudo da cinética de adsorção. Para isso, deve-se determinar como varia a taxa de adsorção à medida que ela progride.

Os adsorventes utilizados na sua maioria são granulares, constituídos por materiais resistentes, com elevada capacidade de adsorção, pode-se citar o carvão ativado, a sílica gel, a alumina ativada entre outros. Porém a técnica de adsorção permite empregar adsorventes naturais em substituição a adsorventes economicamente inviáveis, como o carvão ativado que é o principal adsorvente utilizado em estações de tratamento. (DUPONT *et.al.*, 2018) Assim, ocorre a possibilidade de substituição do carvão ativado por materiais adsorventes alternativos, de baixo custo e fácil obtenção, com alta capacidade de adsorção de corantes. Estes materiais normalmente são provenientes de resíduos descartados da indústria e da agricultura, e sua utilização como adsorventes pode constituir uma valorização principalmente do ponto de vista ambiental. (CALVETE, 2011) Podemos citar como exemplo a casca de arroz e de coco, resíduos de café e chá, farelo e casca de trigo, serragem de madeira, cortiça, cascas e copas de árvores e cascas de pinhão.

O pinhão é um pseudofruto proveniente da árvore *Araucária angustifolia*, nativa do Estado do Rio Grande do Sul. A árvore apresenta como fruto a pinha, que pode conter de 10 a 150 sementes, que são os pinhões, envoltos por estas cascas, que representam 22% de toda a semente. (SANTOS, 2007) A casca de pinhão é bastante fibrosa, própria para a adsorção. Este material na maior parte das vezes não é aproveitado seguindo para a decomposição. Anualmente no Brasil são descartadas cerca de 10 toneladas de cascas de pinhão (NEUBAUER, *et. al.* 2014). Desta forma, caracteriza-se como um material de baixo custo, pois viabiliza o reaproveitamento de um resíduo que pode ter outra finalidade, além da compostagem.

Assim o efetivo aproveitamento das cascas de pinhões na adsorção de corantes surge como um método alternativo e barato para a remoção destes, contribuindo para o tratamento de efluentes, além de estimular o plantio da árvore, preservando a biodiversidade e colaborando com a prática do manejo sustentável. O presente trabalho tem como objetivo o estudo da remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos por meio do processo de adsorção em batelada utilizando cascas de pinhões cozidas como biossorvente.

METODOLOGIA

O processo de adsorção do corante azul de metileno foi realizado a partir da moagem das cascas dos pinhões, que foram obtidas após cozimento para a retirada do fruto. Após este cozimento as cascas foram novamente cozidas por diferentes tempos, 1 e 4 horas e secas em estufa 70 °C por 12 horas. Durante o cozimento a água de fervura foi trocada devido a liberação de coloração da casca do pinhão. As cascas cozidas e secas foram moídas em liquidificador e a farinha obtida foi então peneirada em série de peneiras. Para os ensaios de adsorção foram utilizadas as partículas retidas na faixa granulométrica entre 1000 e 826 µm.

As cascas de pinhão moídas, obtidas a partir de diferentes tempos de fervura, foram ensaiadas frente a liberação de coloração em banho de água destilada. Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente, sob agitação constante, utilizando 0,25 g de farinha de casca e realizando coletas de amostras da solução aquosa nos tempos de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 80 e 120 min. Cada amostra após coleta necessitou ser centrifugada por 4 min a rotação de 10000 rpm em centrífuga refrigerada, e a medida da coloração foi determinada por espectrofotometria na região do UV-Vis no comprimento de onda do azul de metileno, 665 nm.

Para os ensaios de adsorção foi preparado um efluente sintético contendo azul de metileno e água destilada. A partir deste efluente foi construída uma curva de calibração, com concentrações de efluente de 0 a 100 mg/L, pela técnica de espectrofotometria na região do UV-Vis no comprimento de onda de 665 nm. Os ensaios para determinação do tempo necessário para que o sistema alcance o equilíbrio e para determinação da cinética de adsorção foram realizados em batelada, a temperatura ambiente sob agitação constante. Foram preparadas cinco soluções de efluente sintético contendo azul de metileno nas concentrações de 15, 30, 50, 75 e 100 mg/L e utilizados 0,25 g de farinha de casca de pinhão. O tempo de adsorção variou de 0 a 120 min, realizando coletas de amostras da solução de efluente nos tempos de 5, 10, 15, 30, 45, 60, 80 e 120 min (Figura 1). Cada amostra necessitou ser centrifugada por 4 min a rotação de 10000 rpm em centrífuga refrigerada, e a concentração de azul de metileno pode ser quantificada no líquido sobrenadante por espectrofotometria na região do UV-Vis com auxílio da equação obtida para a curva de calibração.



Figura 1: Eppendorfs com as amostras de efluente coletadas com o passar do tempo e as cascas de pinhão em pó.

Após determinada a variação da concentração de azul de metileno com o tempo de adsorção até o ponto de equilíbrio adsorvato/adsorvente, a capacidade de adsorção da farinha de casca de pinhão e a porcentagem de remoção de corante pelo adsorvente foram determinadas pela aplicação das equações (1) e (2):

$$q = \frac{(C_o - C_f)}{m} V \quad (1)$$

$$\%Remoção = 100 \cdot \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \quad (2)$$

Em que q é a quantidade de corante adsorvido pelos adsorventes (mg/g), C_o é a concentração inicial da solução de corante em contato com o adsorvente (mg/L), C_f é a concentração do corante (mg/L) após o processo de adsorção, V é o volume de solução de corante (L) em contato com o adsorvente e m é a massa (g) do adsorvente.

Os modelos de equilíbrio e cinética de adsorção serão construídos a partir de diferentes modelos, tendo como base o que melhor se ajusta. O ajuste dos modelos cinéticos será não linear através do teste dos modelos de

pseudo-primeira ordem (PPO) e pseudo-segunda ordem (PSO). Os modelos de Langmuir e Freundlich serão utilizados para representar os resultados de equilíbrio de adsorção

Para determinação do modelo mais adequado para a isoterma de adsorção do corante azul de metileno utilizando cascas de pinhão, foram aplicados os modelos de Langmuir e Freundlich avaliando em qual modelo os dados experimentais se ajustam e posteriormente avaliado o mecanismo de reação.

Na figura 2 são apresentados os modelos de isotermas de adsorção aplicados aos dados experimentais dos ensaios realizados:

Figura 2: Modelos de isotermas de adsorção

Modelos	Langmuir	Freundlich
Equação	$m_{ads} = \frac{m_{ads}^{max} \times K_L \times C_{eq}}{1 + K_L \times C_{eq}}$	$m_{ads} = K_F \times C_{eq}^{1/n}$
Características	Adsorção em sítios específicos e homogêneos do adsorvente.	Heterogeneidade da superfície do adsorvente adsorção em multicamadas.

Fonte: (ZEFERINO; FREITAS, 2011)

Os modelos cinéticos são representados por equações matemáticas usadas para descrever o perfil de adsorção de solutos por sólidos, o que permite conhecer mais sobre o processo de adsorção. Figura 3 estão apresentados os modelos cinéticos e o comportamento adsorptivo característico (ROCHA, 2012).

Figura 3: Modelos cinéticos e o comportamento adsorptivo característico

Modelos	Pseudo-primeira ordem	Pseudo-segunda ordem
Equação	$\log(q_{max} - q_t) = \log q_{max,calc} - \frac{K_1}{2,303} \times t$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \times q_{max,calc}^2} + \frac{1}{q_{max,calc}} \times t$
Características	Adsorção pela ocupação de um sítio ativo do adsorvente.	Adsorbato ocupa adsorvente por dois sítios ativos.

Fonte: (ZEFERINO; FREITAS, 2011)

RESULTADOS

Nos ensaios de adsorção pode-se observar visualmente que as cascas de pinhão adsorvem o corante presente no efluente sintético, pois ocorreu uma operação de transferência de massa como mostrado na figura 2 e figura 3. Na figura 2 observa-se que o eppendorf (b) contém a amostra de efluente sintético antes de iniciar o processo de adsorção, no tempo zero e o eppendorf (a) contém a amostra de efluente com cascas de pinhão após 15 minutos do início do processo de adsorção. Assim, pode-se observar que no tempo de 15 minutos a coloração de azul de metileno decresceu.

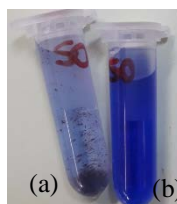


Figura 4: Ensaio de adsorção de azul de metileno em efluente sintético na concentração de 50 mg/L com a adição de 0,25 g de casca de pinhão (a) após 15 minutos em contato com as cascas de pinhão, (b) no tempo 0 minutos.

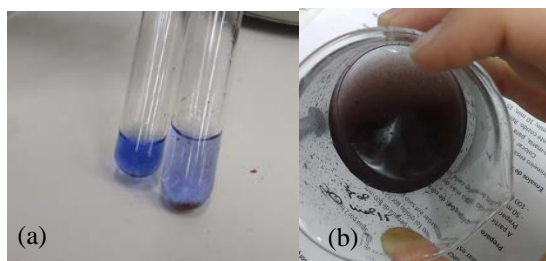
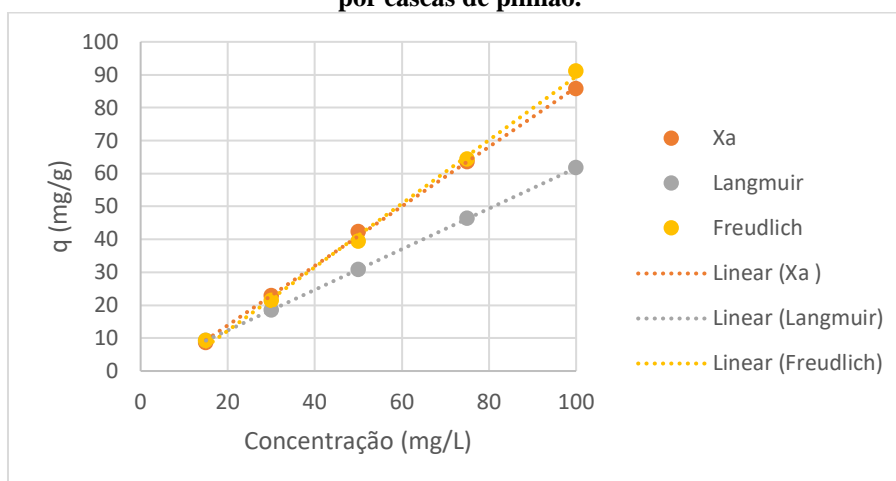


Figura 5: (a) Ensaios de adsorção de azul de metileno em efluente sintético na concentração de 30 mg/L a esquerda no tempo de 0 minutos, a direita no tempo de 15 minutos. (b) Ensaio finalizado com concentração de 50 mg/L com 0,25g de cascas de pinhão.

O estudo da isoterma que caracteriza o processo de adsorção foi realizado pela construção de um gráfico envolvendo a capacidade de adsorção (q) versus C_e que foram obtidos experimentalmente (Figura 6).

Figura 6: Isotermas de Freundlich e Langmuir para o estudo de adsorção de corante azul de metileno por cascas de pinhão.



Observa-se na figura 4 que a isoterma de Freundlich obteve um comportamento semelhante a linha (X_a) que representa a capacidade de adsorção máxima experimental obtida, pelas cascas de pinhão. O modelo de isoterma proposto por Freundlich assume que os sítios não possuem a mesma energia de adsorção e não são localizados e definidos para a molécula do adsorbato ser adsorvida, apresentando adsorção em multicamadas heterogêneas na superfície do material adsorvente (MELO, 2012).

A tabela 1 mostra a comparação dos dados experimentais com os parâmetros das isotermas de Lagmuir e Freundlich calculados.

Tabela 1: Parâmetros das isotermas de Lagmuir e Freundlich calculados.

Xa	Lagmuir	Freundlich
8,617187	9,252884	9,233849
22,875	18,50577	21,3037
42,32813	30,84295	39,44816
63,57812	46,26442	64,32954
85,64844	61,6859	91,01209

Como pode-se observar pelos dados numéricos, a isoterma de Freundlich foi a que mais se aproximou dos dados experimentais. Apesar de ambas as isotermas apresentarem valores próximos e um crescimento linear, pode-se concluir que a adsorção do corante azul de metileno utilizando cascas de pinhões como meio adsorvente apresenta uma isoterma linear, ou seja, a concentração de equilíbrio é proporcional a massa retida no adsorvente, não apresentando interação química, assim a interação entre o adsorvente com adsorbato é através da fisissorção.

O modelo de Freundlich não impõe qualquer exigência de que a cobertura deve se aproximar de um valor constante, correspondente à formação de uma monocamada completa, à medida que C_{eq} aumenta. Além disso, o valor de q pode aumentar, à medida que C_{eq} aumenta. A isoterma de Freundlich representa a heterogeneidade da superfície do adsorvente em multicamadas.

Na cinética de adsorção, verificou-se que o tempo de 45 minutos foi suficiente para que todos os ensaios atingissem o equilíbrio na remoção dos corantes. Foram então utilizados os modelos pseudo-primeira ordem (Figura 7) e pseudo-segunda ordem (Figura 8).

Figura 7: ajuste do modelo de pseudo-primeira ordem aos dados de adsorção na concentração de 15 mg/L

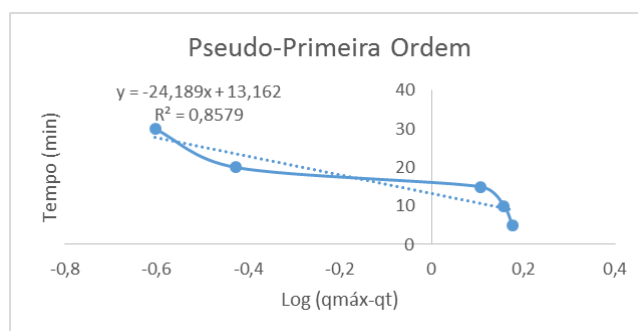
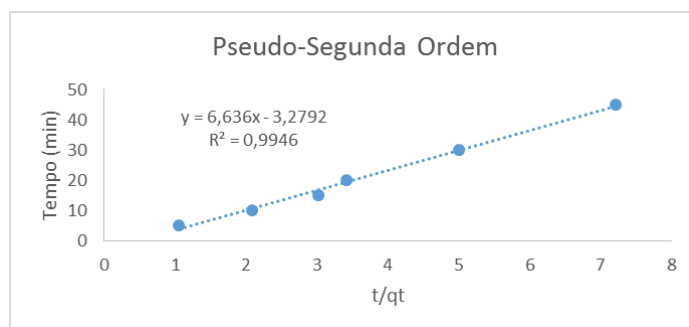


Figura 8: ajuste do modelo de pseudo-segunda ordem aos dados de adsorção na concentração de 15 mg/L.



A partir dos resultados apresentados na Figura 7 e 8 pode-se avaliar que o modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de pseudo-segunda ordem. Os resultados obtidos para os ajustes dos modelos cinéticos estão representados na tabela 2:

Tabela 2: Parâmetros cinéticos.

	q_{eq}	k	R^2
Pseudo-primeira ordem	$1,45 \times 10^{13}$	55,707	0,8579
Pseudo-segunda ordem	0,1506	13,4456	0,9946

Com base nos resultados, constata-se que o modelo cinético de pseudo-segunda ordem se adequou ao processo de adsorção e que se aproximou da quantidade de corante removido no equilíbrio de 13,44 mg/g, apresentando um coeficiente de correlação (R^2) próximo a 1. Conclui-se que o adsorbato ocupa o adsorvente por dois sítios ativos.

Observa-se que houve uma evolução rápida nos primeiros 45 minutos para ambos os adsorventes, seguido de uma adsorção mais lenta e constante até alcançar o equilíbrio. Isto se deve a maior parte dos sítios já estar preenchidos nesta fase, o que faz com que existam forças repulsivas pelas moléculas já adsorvidas na etapa mais rápida justificando, assim, a lenta ocupação dos demais sítios.

O tempo de contato é um parâmetro importante porque este fator indica o comportamento cinético da adsorção para um determinado adsorvente numa determinada concentração inicial do adsorvato. Em 5 minutos a remoção chega a aproximadamente 39,5% para a menor concentração de corante, e a cinética chega ao equilíbrio em 45 minutos com 52% de remoção na solução de 15mg/L, como observado na tabela abaixo;

Tabela 3: Comportamento cinético da adsorção.

Tempo (min)	15	30	50
5	0,394792	0,66224	0,800469
10	0,4	0,671354	0,809063
15	0,413021	0,67526	0,817656
20	0,488542	0,690885	0,822344
30	0,498958	0,716927	0,828594
45	0,519792	0,710417	0,846563

Com o aumento da quantidade de adsorvato ocorreu um aumento da porcentagem de remoção, devido à possibilidade de formação de multicamadas, identificado pelo modelo de Freundlich.

CONCLUSÕES

Os ensaios de adsorção realizados com as cascas dos pinhões mostraram-se promissores para a adsorção do corante azul de metileno para tratamento de efluentes. O adsorvente removeu um percentual considerável de corante presente em um efluente sintético, indicando capacidade de adsorção equivalente à de adsorventes comerciais de alta qualidade, mas com um baixo custo de obtenção. Por outro lado, as cascas para serem utilizadas para o processo de adsorção necessitam ser fervidas por um elevado tempo, indicando gasto de energia e de água para as diversas trocas durante o processo de fervura. As cascas de pinhões apresentaram um tempo de equilíbrio de apenas 45 min, sendo assim, as cascas de pinhões são uma alternativa de rápida adsorção, permitindo o seu uso como meio adsorvente alternativo para tratamentos de efluente com coloração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CALVETE, Tatiane. **Casca de pinhão - In natura e carvão ativo - Adsorventes para remoção de corantes em efluentes aquosos**. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
2. CÁCERES, G. R., MORAIS, M. M., CREXI, V. T. **Cinética de adsorção de azul de metileno em caroço de azeitona moído**. XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, Ijuí, 2017.
3. DUPONT, G.K., DIEL, J.C., DALLA PORTA, P.G., COLOVINI, B.G., CHIQUIM, M.S. NUNES, I.S. **Avaliação da adsorção do corante vermelho do congo empregando resíduo de bagaço de malte**. 12º Encontro Brasileiro sobre adsorção. Gramado, 2018.
4. LOPES, M. S. **Remoção do corante azul reativo 19 por adsorção em carvão ativado e em lama vermelha nas formas naturais e tratadas por ozônio**. 2017. 129 f. Dissertação (Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017.
5. MELO, D. Q. **Remoção de Cu²⁺, Cd²⁺ e Zn²⁺ utilizando esferas de sílica funcionalizadas com edta: estudo em batelada e coluna**. Programa de Pós-Graduação em Química, Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
6. NASCIMENTO, R.F., LIMA, A.C.A., VIDAL, C.B., MELO, D.Q., RAULINO, G.S.C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.
7. NEUBAUER, T. M., KELLER, K. RODRIGUES, B.O., FOLETTO, E.L., MAZUTTI, M.A. E CANCELIER, A. **Influência do tratamento ácido em casca de pinhão sobre os parâmetros de equilíbrio e cinéticos no processo de adsorção de corante em solução aquosa**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, 2014.

8. SANTOS, Fernanda Abreu dos. **USO DAS ESCAMAS DA PINHA DA Araucaria angustifolia PARA BIOSORÇÃO DE METAIS PESADOS DE EFLUENTE INDUSTRIAL DE GALVANOPLASTIA**. 2007. 149 f. Tese (Mestrado) - Curso de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
9. RAMOS, S. N. D.; XAVIER, A. L. P.; TEODORO, F. S.; ELIAS, M. M. C.; GONÇALVES, F. J.; GIL, L. F.; GURGEL, L. V. A. Modeling mono-and mult-component adsorption of cobalto (II), copper (II), and nickel (II) metal ions from aqueous solution onto a new carboxylated sugarcane bagasse. Part I: Batch adsorption study. *Industrial Crops and Products*, v.74, p. 357-371, 2015.
10. ROCHA, O. R. S. et al. **Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R**. *Química Nova*, São Paulo, v. 35, n. 7, p. 1369-1374, 2012.
11. ZEFERINO, Lívia Fiorotto; FREITAS, Patrícia Antonio de Menezes. **ESTUDO CINÉTICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE INDIGO BLUE (2,2'-BIS - 2,3 - DIIDRO - 3 - OXOINDOLILIDENO) EM FIBRAS DE CASCA DE COCO VERDE (COCOS NUCIFERA L)**. 2011. 10 f. - Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia Mauá (eem). Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2011. Disponível em: <<https://maua.br/files/122014/adsorcao-de-indigo-blue.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2019.