

**REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO COMO MATERIAL
ADSORVENTE A BIOMASSA PIROLISADA PROVENIENTE DA PALMEIRA REAL
(*ARCHONTOPHOENIX ALEXANDRAE*)**

Clodoaldo Machado

Doutor em Química; Instituto Federal de Santa Catarina
clodoaldo.machado@ifsc.edu.br

Karin Sevegnani

Técnico em Química; Instituto Federal de Santa Catarina
karin.sevegnani03@gmail.com

Milena Bohn Bido

Técnico em Química; Instituto Federal de Santa Catarina
milena.bido@gmail.com

Rafael Marquardt

Técnico em Química; Instituto Federal de Santa Catarina
marquardtrafael2096@gmail.com

Sophia Cardoso

Técnico em Química; Instituto Federal de Santa Catarina
sophia1.cardoso2@gmail.com

Resumo- A presente pesquisa investiga a possibilidade de realizar a pirólise da bainha foliar da palmeira real em forno mufla e avaliar a capacidade adsorvente do material pirolisado frente a um corante. A bainha foliar foi pirolisada em um forno mufla de laboratório, a temperatura de 400 °C por 2 horas, em uma atmosfera inerte pela purga com nitrogênio. O material obtido, um sólido escuro, de baixa granulometria, foi testado em estudos de adsorção, apresentando boa capacidade adsorvente frente ao azul de metileno. Assim, construiu-se a isoterma de adsorção a 25 °C que permitiu determinar a quantidade máxima (Q_{max}) de corante adsorvido por grama de material adsorvente. O material pirolisado da bainha foliar foi capaz de adsorver $1,6 \times 10^{-5}$ mol de corante por grama de adsorvente na temperatura de 25 °C, valor este menor que aquele registrado com o material *in natura*, que foi de $9,0 \times 10^{-5}$ mol.g⁻¹.

Palavras-Chave: Adsorção; Azul de Metileno; Palmeira real; Pirólise.

Abstract- The present study investigates the possibility of carrying out pyrolysis of the leaf sheath of the royal palm and to evaluate the adsorbent capacity of the pyrolyzed material to remove dye from aqueous solutions. The leaf sheath was pyrolyzed in a laboratory muffle furnace, at a temperature of 400 °C for 2 hours in an inert atmosphere by purging with

nitrogen. The obtained material, a tan solid, low particle size, was tested in adsorption studies, with good adsorbing capacity for methylene blue solutions. Thus built up the adsorption isotherm at 25 °C which allowed determine the maximum (Q_{max}) dye adsorbed per gram of adsorbent material. The pyrolyzed material from the leaf sheath was able to adsorb $1,6 \times 10^{-5}$ moles of dye per gram of adsorbent at a temperature of 25 °C. This value is lower than that recorded with the material tested before pyrolysis, which was $9,0 \times 10^{-5}$ moles.g⁻¹.

Keywords: Adsorption; Methylene Blue; Royal Palm; Pyrolysis.

1. Introdução

Dentre os assuntos de corrente interesse para a pesquisa, destaca-se a biomassa que de acordo com Santos (2013) pode se constituir em uma alternativa importante como fonte de carbono renovável no Brasil, uma vez que a superfície do país, aliada ao clima favorável, oferece condições para a produção e uso energético da mesma em larga escala.

Uma das alternativas para a utilização da biomassa é empregar a mesma como material adsorvente. Está temática vem sendo priorizada em diversos estudos, pois há a possibilidade de substituição do carvão ativado, material mais comumente utilizado no processo de tratamento e remoção de corantes dos efluentes, marcadamente de indústrias têxteis. De acordo com Cardoso (2012), o processo de adsorção, além de apresentar alta eficiência de remoção, ainda possui como vantagem a facilidade de operação e a possibilidade de utilização de adsorventes de baixo custo.

Neste trabalho propomos realizar a pirólise da biomassa da bainha foliar da Palmeira Real, material este que já foi avaliado em estudos anteriores, *in natura*, quanto a sua capacidade adsorvente (DOMINGOS *et al*, 2013).

A pirólise é um método em que é calcinado um material sem a presença de oxigênio. Conforme Riegel *et al* (2008), a pirólise da biomassa é um o fenômeno que envolve uma grande variedade de processos químicos e físicos, que ocorrem em meio de reações paralelas, e as vezes, diferentes.

O azul de metileno (AM), cuja estrutura é apresentada na Figura 1, é um corante orgânico básico, aromático, heterocíclico, solúvel em água ou álcool (POGGERE *et al*, 2011). Conforme a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (2013), o aquecimento do azul de metileno pode gerar óxido de enxofre e óxido nítrico além de causar efeitos toxicológicos em organismos aquáticos e na qualidade da água. O mesmo é

frequentemente empregado em estudos que mimetizam efluentes têxteis, de forma a testar a capacidade adsorvente de diferentes materiais.

“Os efluentes têxteis são resíduos gerados pelas indústrias têxteis que em suas diversas atividades rotineiras, fazem o emprego de substâncias químicas em processos industriais (geralmente em larga escala) acabam transformando grande parte de suas matérias-primas de fabricação em material de descarte.” (KUNZ et al, 2002).

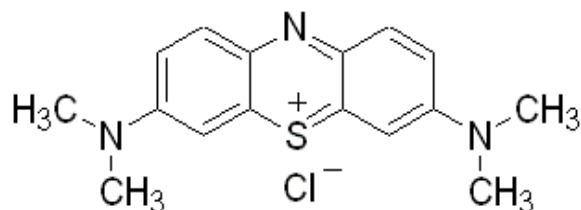


Figura 1: Estrutura do Azul de Metileno.

A bainha foliar, *in natura*, foi o material escolhido para a realização da pirólise, tendo como finalidade dar uma aplicação mais nobre a um material que geralmente é descartado na natureza. Segundo Adeneski Filho (2007), dentre os diversos materiais classificados como biossorventes estão os subprodutos agrícolas e industriais, como por exemplo, a bainha foliar da Palmeira Real. A bainha foliar é a camada que envolve o fruto e é usada para proteger o palmito no transporte, desde o local da colheita até o de industrialização. Este material não tem aplicações diretas, sendo descartada no início do beneficiamento.

O estado de Santa Catarina detém mais de 1500 hectares de plantio de Palmeira Real, gerando assim mais de 2484 toneladas desse resíduo por ano, onde a maior ocorrência dessa atividade está no Vale do Itapocu (BORDERES *et al*, 2009).

“O cultivo dessa espécie trouxe para os agricultores do norte catarinense uma perspectiva de diversificação das atividades agrícolas desenvolvidas na região. Seu retorno é considerado de médio prazo, mas, por ser cultivado em alta densidade, traz bom retorno econômico.” (VIEIRA, 2006).

Como objetivo geral, este trabalho busca investigar a capacidade adsorvente do produto obtido pela pirólise em mufla da bainha foliar da Palmeira Real (*Archontophoenix alexandrae*) frente a efluentes coloridos. Desta forma, primeiramente, discute-se a realização da pirólise em forno mufla e as características deste processo. Na sequência, o material pirolisado é testado como adsorvente. A partir dos dados de adsorção é possível avaliar a influência da pirólise na capacidade absorvente do material, comparando estes com os resultados obtidos frente ao material *in natura*.

2. Metodologia

2.1 Materiais e Equipamentos

A bainha foliar da Palmeira Real foi coletada, *in natura*, no bairro Garibaldi, Jaraguá do Sul. Para a separação da bainha foliar do fruto foi aplicado um corte no sentido longitudinal do mesmo, sem danificar o fruto, e separadas manualmente as camadas de bainha foliar. Após esta separação, a bainha foliar foi acondicionada em sacos plásticos e transportada até o Laboratório de Química do IFSC/Câmpus Jaraguá do Sul. No laboratório, as camadas de bainha foliar foram cortadas, utilizando uma faca, em tiras e submetidas à secagem em estufa a temperatura de 60 °C durante um período de 6 a 8 horas. A Figura 2 ilustra o aspecto do material obtido após a secagem.



Figura 2: Bainha foliar cortada em tiras e seca.

Para acompanhar a concentração do corante em solução foi utilizado um espectrofotômetro de UV/Vis, modelo Cirrus 80 da marca Femto, utilizando-se como comprimento de onda 665 nm. O azul de metileno foi adquirido da empresa Dinâmica em grau de pureza analítica.

2.2 Métodos

2.2.1 Obtenção do carvão proveniente da bainha foliar da Palmeira Real

As tiras secas da bainha foliar, preparadas como descrito anteriormente, foram picotadas, utilizando uma tesoura, e colocadas em cadinhos de porcelana, como pode ser observado na Figura 3. A massa total de material presente no cadinho foi medida em balança analítica. Na sequência, o material era levado a uma mufla, cuja temperatura estava ajustada a 400 °C para a realização da pirólise.



Figura 3: Bainha foliar picotada.

Para a manutenção de uma atmosfera livre de oxigênio durante o processo, condição fundamental para a realização de uma pirólise, manteve-se um fluxo constante de nitrogênio no interior da câmara do forno mufla. Isto foi conseguido da seguinte forma: preparou-se em um kitassato uma mistura de cloreto de amônio e nitrito de sódio em cerca de 100 mL de água. A este kitassato foi acoplado uma mangueira, conectando a mesma a outro kitassato cheio de água, com o intuito de visualizar a produção de nitrogênio. Desse kitassato, uma segunda mangueira era acoplada diretamente para um pequeno orifício que dava acesso ao interior da câmara da mufla, utilizando-se para tal uma conexão de tubo de vidro a fim de evitar que a mangueira derretesse em contato com a alta temperatura da mufla. A montagem do aparatos para produção e injeção de nitrogênio na câmara do forno mufla pode ser visualizada na Figura 4.



Figura 4: Sistema para produção de N₂ e inserção do mesmo na câmara do forno mufla.

Antes do material a ser pirolisado ser inserido na câmara do forno mufla, era realizada uma purga com nitrogênio por cerca de 20 minutos, isto com o forno já ligado e regulado a temperatura de 400 °C.

Decorrido o tempo de purga, o cadinho de porcelana contendo pedaços secos da bainha foliar era inserido no forno mufla e deixado pirolisar, a temperatura constante de 400 °C, pelo período de 2 horas. Após este tempo, o material era retirado do forno, deixado resfriar a temperatura ambiente (Figura 5a), pesado e então macerado em almofariz (Figura 5b), gerando assim o material (carvão) a ser testado como adsorvente.



Figura 5: (a) Bainha foliar após a pirólise e (b) aspecto do material após a maceração.

2.2.2 Testes de adsorção

Para os testes de adsorção do material pirolisado com o corante azul de metileno, foram preparadas 6 concentrações diferentes do corante: $1,0 \times 10^{-4}$, $2,5 \times 10^{-4}$, $5,0 \times 10^{-4}$, $6,5 \times 10^{-4}$, $8,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-3}$ mol.dm⁻³. Em um erlenmeyer, 50 mL de solução do corante eram adicionados a 1,0 g do material pirolisado. Este erlenmeyer era colocado em uma chapa de aquecimento com a temperatura controlada a 25 °C e a agitação mantida constante para assim realizar os estudos de adsorção.

Nos tempos de 0, 1, 3, 5, 7,5, 10, 15, 30, 45, 60 e 90 minutos, alíquotas de 4 mL eram retiradas da solução, colocados em uma cubeta e levados a uma micro-centrífuga durante 110 segundos para que houvesse a sedimentação do material pirolisado, sendo assim possível retirar alíquotas de 1,0 mL para serem diluídas e depois levadas ao espectrofotômetro de UV/Vis. As concentrações de $1,0 \times 10^{-4}$ e $2,5 \times 10^{-4}$ mol.dm⁻³ foram diluídas em 4 mL de água destilada, já as concentrações de $5,0 \times 10^{-4}$, $6,5 \times 10^{-4}$; $8,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-3}$ mol.dm⁻³ foram diluídas primeiramente em 9,0 mL de água destilada, retirando-se então 1,0 mL desta e diluindo novamente em 6,0 mL para que fosse possível a leitura no espectrofotômetro.

2.2.3 Tratamento matemático dos dados

Com os valores da absorvância obtidos no espectrofotômetro de UV/Vis e a curva de calibração do azul de metileno, de acordo com a Equação 1, foi possível calcular as concentrações do corante azul de metileno na fase líquida em cada intervalo de tempo. A partir destes dados foi possível determinar a quantidade de corante adsorvido na fase sólida. Todos os cálculos foram realizados em planilha Excel (Microsoft Windows 7[®]).

$$y = 58613x + 0,0017 \quad (r^2 = 0,9934) \quad (\text{Eq. 1})$$

3. Resultados e Discussão

3.1 Estudos de adsorção

Primeiramente, investigou-se a capacidade adsorvente do material pirolisado frente à solução de azul de metileno com concentração inicial de $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol.dm}^{-3}$. A variação da absorvância da solução em função do tempo de contato adsorbato-adsorvente é apresentada na Figura 6.

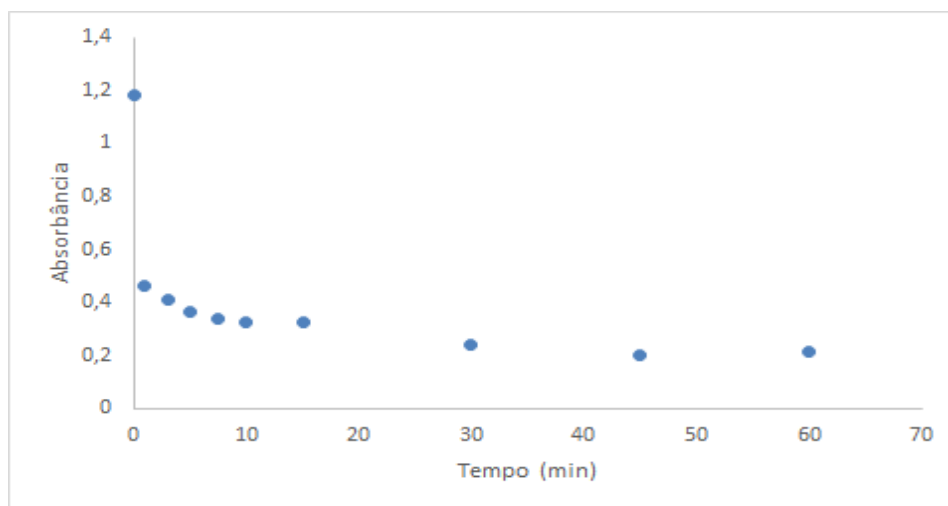


Figura 6: Variação da absorvância de AM em função do tempo de contato com o material pirolisado, na concentração de $1,0 \times 10^{-4} \text{ mol.dm}^{-3}$ a 25 °C.

Para todas as concentrações iniciais de azul de metileno estudadas foram elaborados gráficos de absorção versus tempo, os quais possibilitaram determinar a concentração do corante em solução a cada intervalo de tempo. A Figura 7 apresenta as quantidades adsorvidas, em mol por grama de adsorvente, em função do tempo. Desta

análise é possível determinar o comportamento de equilíbrio, ou seja, qual a quantidade de corante que permanece na solução após o sistema atingir o equilíbrio químico, C_e em $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, e qual a quantidade de corante que é adsorvida pelo material adsorvente, Q_e em $\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$.

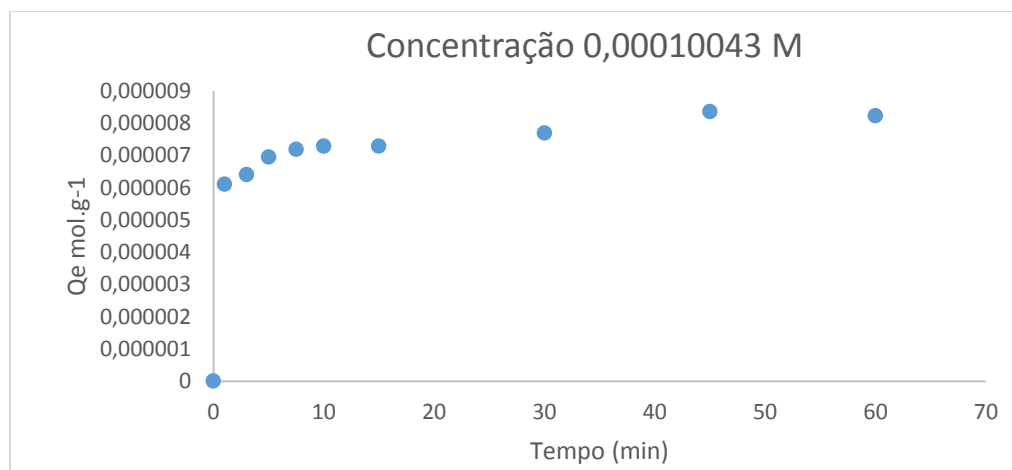


Figura 7: Variação da quantidade de corante adsorvido (Q_e) em função do tempo decorrido de adsorção para uma concentração inicial de AM de $1,0\times 10^{-4}$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$.

Pode-se observar na Figura 7 que o equilíbrio químico é atingido em cerca de 20 minutos de contato entre o adsorbato e o adsorvente, pois após este intervalo de tempo pouco corante é adicionalmente removido. Para esta concentração inicial de corante ($1,0\times 10^{-4}\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) a concentração de equilíbrio no adsorvente foi de $8,2\times 10^{-6}\text{ mol}\cdot\text{g}^{-1}$ e na solução foi de $1,8\times 10^{-5}\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Assim, para cada uma das concentrações iniciais do corante azul de metileno foram determinadas as quantidades adsorvidas e presentes na solução líquida quando atingido o equilíbrio de adsorção, sendo que estes dados permitiram a construção da isoterma de adsorção a $25\text{ }^\circ\text{C}$, apresentada na Figura 8.

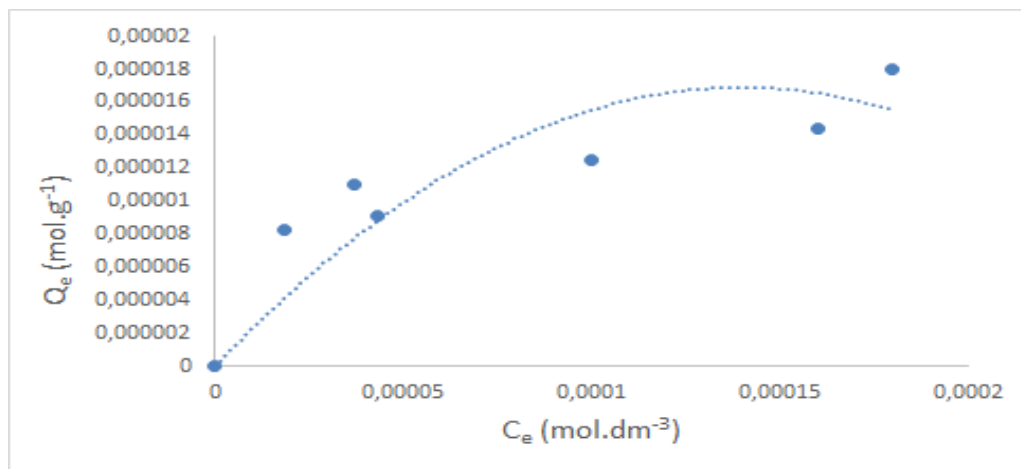


Figura 8: Isoterma de adsorção de azul de metileno no material pirolisado da bainha foliar da Palmeira Real, a 25°C.

Percebe-se que quanto maior é a concentração inicial do corante, maior é a quantidade presente no equilíbrio em solução (C_e) e maior a quantidade de moléculas de corante adsorvidas (Q_e). A análise da Figura 8 permite determinar a quantidade máxima (Q_{max}) de corante adsorvido por grama de material adsorvente. Assim, o material pirolisado da bainha foliar é capaz de adsorver $1,6 \times 10^{-5}$ mol por grama de adsorvente, a 25 °C.

4. Conclusão

Os estudos demonstraram que é viável utilizar fornos mufla de laboratório para realizar a pirólise da bainha foliar, desde que se garanta um fluxo constante de nitrogênio em sua câmara interna, condição para manter o ambiente livre de oxigênio.

Já os testes de adsorção comprovaram a capacidade adsorvente do material pirolisado na remoção do corante azul de metileno de soluções aquosas. A adsorção atinge o equilíbrio químico em curtos intervalos de tempo, cerca de 20 minutos, outra característica que aponta para o possível uso do material pirolisado em processos de tratamento de efluentes. Contudo, ao compararmos o valor de Q_{max} obtido com o material pirolisado ($1,6 \times 10^{-5}$ mol.g⁻¹) e a bainha foliar *in natura* ($9,0 \times 10^{-5}$ mol.g⁻¹) observa-se uma redução acentuada na capacidade de adsorção após a realização da pirólise do material.

Portanto, os estudos aqui apresentados demonstram, em resumo, que a pirólise do material é viável, que este possui capacidade adsorvente para remoção de corantes de meios aquosos, mas que a redução em sua capacidade adsorvente causada pela pirólise

precisa ser adicionalmente investigada para justificar um possível emprego em escala industrial.

Referências

ADENESKI FILHO, E. Resíduos agroindustriais da Palmeira Real da Austrália *Archontophoenix alexandrae* como componente para substratos de espécies ornamentais. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - FURB**, Blumenau, 2007.

BORDERES, J.; SIQUEIRA, R. C.; TAVARES, L. B. Produção de *Pycnoporus sanguineus* em resíduo do processamento da palmeira Real da Austrália. **Dynamis**, v. 5, 2009.

CARDOSO, N.F. **Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos**. UFRS.2012.

DOMINGOS, C.M; GAZZOLA, E.C; LUX, E; PEREIRA, J.C.V; GOETTEN, M.A. Remoção do corante azul de metileno de efluentes sintéticos utilizando como material biossorvente a bainha foliar da palmeira Real (*Archontophoenix alexandrae*). **Trabalho Conectando Saberes, IFSC**. Jaraguá do Sul - SC 2013. Disponível em: <https://sites.google.com/site/csifsc/fases5e6>. Acesso em 10/06/2015.

FISPC (Ficha De Informações De Segurança De Produtos Químicos). **Azul de Metileno para Microscopia**. ISO FAR, 2013.

KUNZ, A.; ZAMORA, P.P.; MORAES, S.G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

POGGERE, P.A.; DAVIS, R.; MONTANHER, S.F.; LOBO, V.S. Azul de Metileno: Propriedades e Tratamentos. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Câmpus Toledo**. 2011.

RIEGEL, I.; MOURA, A.B.D.; MORISSO, F.D.P.; MELLO, F.S. Análise termogravimétrica da pirólise da acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) cultivada no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, 2008.

SANTOS, N.A.V. Pirólise Rápida de Coprodutos do Processo Produtivo do Biodiesel: Efeito da Condições de Pirólise e Caracterização dos Produtos. **UFLA**. 2013.

VIEIRA, M.A. Caracterização de Farinhas Obtidas dos Resíduos da Produção de Palmito da Palmeira-Real (*Archontophoenix alexandrae*) e Desenvolvimento de Biscoito Fibroso. **UFSC**. 2006.