

Remoção do corante azul de metileno de efluentes sintéticos utilizando como material bioissorvente a bainha foliar da palmeira Real (*Archontophoenix alexandrae*)

Caroline Maciel Domingos*, Eduarda Cristina Gazzola, Eduardo Lux, Jean Carlos Viccari Pereira, Maurício Antônio Goetten

Acadêmicos do curso Técnico em Químico (Modalidade Integrado), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul

*E-mail: carolmacieldomingos@gmail.com

Clodoaldo Machado

Doutor em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul

E-mail: clodoaldo.machado@ifsc.edu.br

Resumo: A presente pesquisa consistiu na avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno pela bainha foliar da palmeira Real, um resíduo agroindustrial que possui uma vasta viabilidade econômica, apresentando vantagens em relação ao custo-benefício da sua aplicação e a sua ampla disponibilidade no Vale do Itapocu, SC. Para a sua utilização, o bioissorvente passou por diferentes tratamentos superficiais, que visavam investigar o melhor método para ativação do mesmo. Os estudos demonstraram que não houve diferença significativa na capacidade de adsorção relativa aos tratamentos empregados e assim optou-se pelo seu uso in natura, viabilizando o processo em relação aos custos. Nos estudos de adsorção foram avaliadas as variáveis de tempo de contato e concentração da solução de corante, onde estes foram executados com quantidades fixas do bioissorvente e agitação e temperatura controlada. Em relação aos resultados, pode-se perceber que quanto menor a concentração do adsorbato, menor o tempo necessário para se atingir o equilíbrio químico e maior a taxa de adsorção, sendo esta superior a 90 % na maioria dos casos. Além disso, a isoterma de adsorção indicou uma capacidade máxima de adsorção de, aproximadamente, 27,5 mg de corante por grama do bioissorvente estudado. Estes resultados evidenciam que a bainha foliar da palmeira Real apresenta um elevado potencial de adsorção quando comparada a outros materiais, contudo, estudos cinéticos e termodinâmicos são fundamentais para corroborar com o estudo da viabilidade da sua aplicação em escala industrial.

Palavras-Chave: Bioissorção. Tratamento de efluentes. Resíduo agroindustrial.

Abstract: This research consisted in the evaluation of the adsorption capacity of the dye methylene blue by foliar sheath of Royal Palm, an agro-industrial residue that has a vast economic viability, presenting advantages in relation to the cost-benefit of its application and its wide availability in Itapocu Valley, SC. For its use, the biosorbent passed through several surface treatments, aiming to investigate the most efficient method to activate it. The studies showed no considerable variances in the adsorption capacity between the different treatments, thereby we opted for its use in natura, facilitating the process in relation to costs. During the adsorption studies were evaluated variables of contact time, concentration of the dye solution using fixed amounts of biosorbent as well as controlled shaking and temperature. Regarding the results, it was noticed that the lower the concentration of adsorbate, the lower is the time required to achieve the chemical equilibrium and the higher adsorption rate are, reaching an adsorption rate higher than 90%. Furthermore, the adsorption isotherm indicated a maximum capacity to adsorb of, approximately, 27.5 mg of dye per gram of biosorbent studied. These results show that the foliar sheath of Royal Palm features a high adsorption potential when compared to other materials, however, thermodynamic and kinetic studies are fundamental to corroborate with the study of the feasibility of its implementation on an industrial scale.

Keywords: Biosorption. Wastewater treatment. Agro-industrial residue.

1 Introdução

O acelerado crescimento demográfico e industrial, associado à ocupação desordenada e ao uso inadequado dos recursos naturais, está gerando problemas ambientais cada vez mais rotineiros e críticos (KUNZ *et al.*, 2002).

Um dos principais problemas relacionados à sociedade contemporânea é a contaminação dos recursos hídricos. Nesse contexto, o ramo têxtil tem se mostrado um grande contribuinte para esta contaminação, uma vez que seus processos são grandes consumidores de água, corantes sintéticos e produtos químicos. Consequentemente, são geradores de exorbitantes volumes de efluentes, com elevada carga orgânica e extremamente coloridos (ÇIÇEK *et al.*, 2007).

De acordo com Monteiro (2010), anualmente, mais de 700.000 toneladas de cerca de 10.000 diferentes tipos de corantes e pigmentos são produzidas em todo o mundo, dos quais cerca de 20 a 30% são desperdiçados durante o processo de acabamento na indústria têxtil. No Brasil, o número empregado é equivalente a 26,5 mil ton/ano.

Do ponto de vista ambiental, a remoção de corantes sintéticos presentes em efluentes industriais é de grande interesse, uma vez que diversos corantes não são facilmente removíveis através dos processos tradicionais de tratamento de efluentes e provocam efeitos mutagênicos, carcinogênicos e/ou teratogênicos. Além disso, geram considerável impacto negativo ao meio ambiente aquático, provocando alterações na biota aquática e acarretando na toxicidade aguda e crônica destes ecossistemas (KIMURA *et al.*, 1999; HAMEED *et al.*, 2007).

O azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot H_2O$) é um corante catiônico básico (Fig. 1) pertencente à classe das fenotiazinas, sendo um aromático solúvel em água que libera cátions coloridos na solução, e consequentemente, reage facilmente com maioria dos substratos (POGGERE *et al.*, 2011). Além disso, apresenta-se na cor vinho-violeta, sendo sólido e praticamente inodoro, possuindo um ponto de fusão de aproximadamente 180 °C e pH em torno de 3 a 20 °C (FISPQ, 2009).

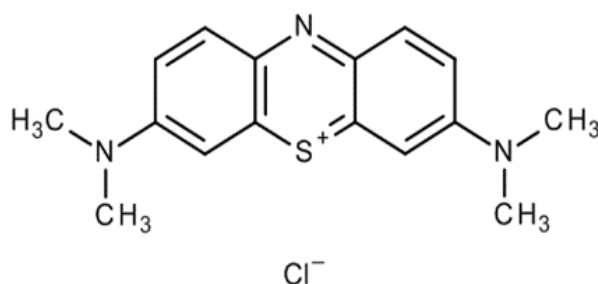


Figura 1. Estrutura molecular do corante azul de metileno.

O azul de metileno é largamente empregado na produção de papel, poliésteres e nylon, podendo também ser utilizado como anti-séptico. Apesar da baixa toxicidade, a sua remoção de efluentes é bastante estudada devido ao fato desse corante apresentar-se

como uma molécula modelo, já que as bandas de absorção de suas diferentes espécies (monômeros, dímeros, agregados e espécies protonadas) são bem conhecidas e aparecem em regiões distintas do espectro (NEUMANN *et al.*, 2000; BALDEZ *et al.*, 2008).

Dessa forma, o novo desafio da sociedade é tornar compatível o desenvolvimento industrial com a preservação da natureza. Para isso é necessário desenvolver novos processos de exploração dos recursos naturais, modificar os processos industriais existentes ou criar processos inteiramente novos, bem como de novas técnicas de tratamento e aproveitamento de resíduos e efluentes (PINO e TOREM, 2011).

Essa busca por novas tecnologias tem se focalizado no uso de materiais biológicos para a remoção e recuperação de substâncias danosas ao meio ambiente, ganhando muita credibilidade nos últimos anos por apresentar um bom desempenho. Um bom exemplo dessa nova tecnologia é a bioadsorção, que utiliza materiais biológicos para a remoção dessas substâncias de soluções através da sorção (LOUKIDOU *et al.*, 2003).

A bioadsorção pode ser definida como a capacidade de alguns materiais biológicos em acumular substâncias dos efluentes mediante métodos físico-químicos de captura (AHLUWALIA e GOYAL, 2007). É importante ressaltar que os processos de absorção ocorrem especificadamente em nível molecular, ou seja, o átomo ou molécula absorve determinada substância, enquanto no processo de adsorção o fenômeno ocorre em nível superficial, ou seja, envolve a acumulação ou concentração de substâncias na superfície (BLOEMER *et al.*, 2010).

De modo geral, na absorção a partícula fica retida dentro da substância e na adsorção fica retida na superfície da substância. Assim, a bioadsorção é caracterizada pelo processo de adsorção utilizando-se de materiais biológicos.

Em virtude da adsorção ser uma operação que trabalha com transferência de massa, é imprescindível conhecer o limite dessa adsorção, exibida por dados de equilíbrio de transferência de massa. Esses dados normalmente são associados nas isotermas de adsorção, que relacionam a quantidade de material adsorvido em relação à pressão parcial (no caso de um gás) ou à concentração (no caso de um líquido) (GUELFY e SCHEER, 2007). De acordo com a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), existem seis tipos de isotermas, representadas na Fig. 2.

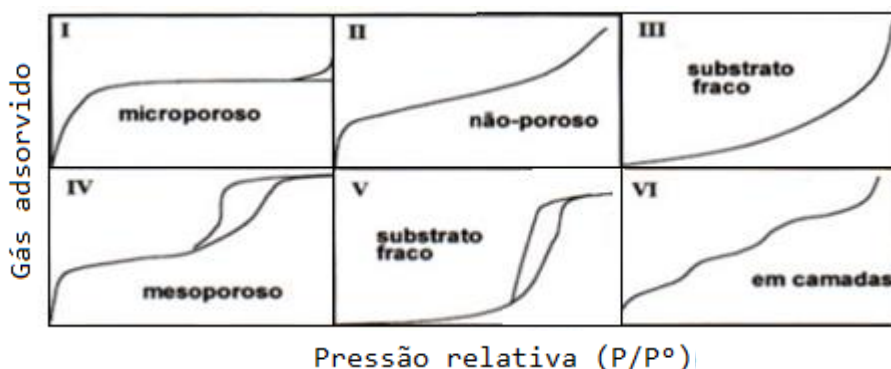


Figura 2. Classificação das isotermas pela IUPAC. FONTE: Adaptado de SCHEER, 2002.

A biossorção surge como um processo alternativo em decorrência de determinadas características, como o preço reduzido do material biossorvente, a aplicação em sistemas com capacidade de detoxificar grande volume de efluente com baixo custo operacional, a possível seletividade e a recuperação da espécie (ROCHA *et al.*, 2005).

Os biossorventes utilizados nesta técnica devem, preferencialmente, necessitar de pouco processamento e estar amplamente disponíveis nas proximidades do local onde serão aplicados. Além disso, algumas características específicas, como a capacidade de adsorver corantes e possuir baixo custo econômico, são essenciais para a escolha do biossorvente a ser utilizado (VOLESKY, 2004).

Dentre os diversos materiais classificados como biossorventes estão os subprodutos agrícolas e industriais, como por exemplo, a bainha foliar da palmeira Real. O estado de Santa Catarina possui mais de 1500 hectares de plantio de palmeira Real, gerando mais de 2484 toneladas desse resíduo por ano, onde a maior ocorrência dessa atividade está no Vale do Itapocu (EPAGRI, 2011; BORDERES *et al.*, 2009).

A bainha foliar serve para proteger o palmito no transporte do campo até a industrialização, onde após este processo, esta é descartada. Apesar da grande quantidade de resíduos produzidos, não existem informações sobre o aproveitamento da totalidade dos mesmos (ADENESKI FILHO, 2007).

Neste contexto, a bainha foliar da palmeira Real possui uma vasta viabilidade econômica, apresentando vantagens em relação ao custo-benefício da sua utilização e a sua ampla disponibilidade no estado. Além disso, o biossorvente é um resíduo agroindustrial, tendo com este estudo uma possibilidade de nova utilização, sendo esta em prol do meio ambiente.

Desse modo, a presente pesquisa tem por objetivo verificar a eficácia da bainha foliar da palmeira Real na biossorção de azul de metileno, analisando a interferência da concentração do adsorbato e a sua capacidade máxima de adsorção.

2 Material e Métodos

2.1 Adsorbato

O corante azul de metileno foi adquirido através da Dinâmica, com grau analítico (P.A.). A relação entre a concentração e absorvância deste corante foi estudada por Baldissarelli (2006) e é apresentada na Eq. (1).

$$\text{Abs} = 53405,7 \cdot C + 0,00361 \quad (1)$$

A partir de uma solução mãe de azul de metileno (1×10^{-2} M) foram realizadas diluições (1×10^{-5} ; 5×10^{-5} ; 1×10^{-4} ; 1×10^{-3} e $2,5 \times 10^{-3}$ M) para estudo do efeito da concentração

inicial na capacidade máxima de adsorção e consequente construção da isoterma de adsorção.

2.2 Adsorvente

A bainha foliar da palmeira Real foi obtida através da Indústria e Comércio de Conservas Berri, localizada no município de Jaraguá do Sul/SC. A bainha foliar foi picada e triturada em um liquidificador comercial, e após este processo, a mesma foi lavada com água destilada e em seguida foi colocada sob agitação controlada de 800 rpm (FISATOM 712) com água destilada à temperatura controlada de 343,15 K (IKA C-MAG HS 7). Ao término da lavagem, a bainha foliar foi seca em estufa (BRASDONTA 3) a 345,15 K por 2 horas. Em virtude da bainha foliar apresentar-se como uma fibra, esta não passou por peneiramento.

O biossorvente foi submetido a três tipos de tratamento (básico (NaOH), ácido (HCl) e ácido-base (NaOH com HCl)), além da sua forma *in natura*. Foram realizados testes de adsorção para cada tipo de tratamento e *in natura* a fim de verificar o método mais eficaz na adsorção do corante azul de metileno.

2.3 Experimentos de adsorção

Os experimentos de adsorção foram realizados adicionando-se 100 mL da solução de corante em cada erlenmeyer junto a 2 g do biossorvente. Os erlenmeyers foram colocados em banho maria sob agitação nível 1 (DIST DI - 950M) à temperatura controlada de 296,15 K, no qual permaneceram por um tempo de 90 min. Após o contato entre adsorvente e adsorbato, alíquotas das misturas reacionais foram retiradas em intervalos de tempo de 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 45; 60; 75 e 90 min, para posterior leitura da absorbância em espectrofotômetro de UV-visível (FEMTO CIRRUS 80) em um comprimento de onda de 665 nm.

As curvas analíticas foram construídas a partir da absorbância, com uma proporção de 1:50 entre quantidade do biossorvente e volume do adsorbato. Para obter a concentração existente em cada alíquota nos referidos intervalos de tempo utilizou-se a Eq. (1), que é derivada da lei de Lambert-Beer, representada na Eq. (2), onde "Abs" representa a absorbância lida, "ε" é a absortividade molar, "b" é o caminho óptico e "C" é a concentração da alíquota.

$$\text{Abs} = \varepsilon \cdot b \cdot C \quad (2)$$

Com a concentração da alíquota, foi possível obter a concentração da solução utilizando-se da Eq. (3), onde M_1 e V_1 , representam a concentração e o volume da solução, respectivamente, enquanto que M_2 e V_2 representam, respectivamente, a concentração e o volume da alíquota.

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2 \quad (3)$$

Subtraindo a concentração inicial pelo valor da concentração da solução obtida pela Eq. (3) obteve-se a quantidade de corante adsorvido, e conseqüentemente, a porcentagem de adsorção. Com estes dados, foi realizada a construção dos gráficos através do software Origin 6.1 (OriginLab®).

No estudo da cinética foi encontrado o tempo de equilíbrio entre adsorvente e adsorbato e a isoterma indicou a quantidade máxima adsorvida de corante por grama do bioissorvente.

3 Resultados e Discussão

3.1 Tratamento do bioissorvente

Em relação aos diferentes tipos de tratamento da superfície empregados no adsorvente e na sua forma *in natura*, verificou-se que as quatro formas testadas apresentaram adsorção do azul do metileno. O equilíbrio químico e a capacidade de adsorção foram próximos para os diferentes tratamentos testados. Contudo, os melhores resultados ocorreram quando utilizou-se a bainha foliar em sua forma natural e com o tratamento ácido-base, resultados estes apresentados na Fig. 3.

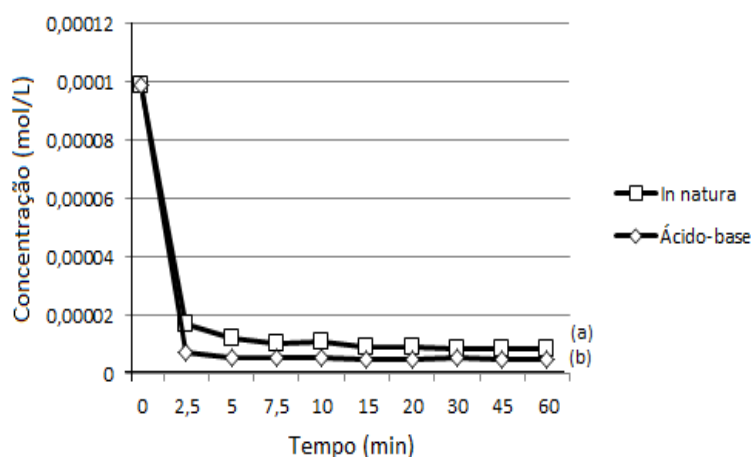


Figura 3. Absorbância de azul de metileno (concentração 1×10^{-4} M) em duas formas, onde “a” representa a bainha foliar *in natura* e “b” o tratamento ácido-base.

Analisando a Fig. 3, observa-se que dentre estes dois métodos de tratamento superficial também há poucas diferenças na capacidade de adsorção e tempo para o sistema atingir o equilíbrio químico. Uma vez que o uso *in natura* do adsorvente não requer emprego de produtos químicos, optou-se pelo uso nesta forma, não havendo assim custos adicionais com o processamento do material e nem efluentes a serem tratados.

3.2 Tempo de contato

O estudo da influência do tempo de contato na remoção de azul de metileno pode ser observado na Fig. 4.

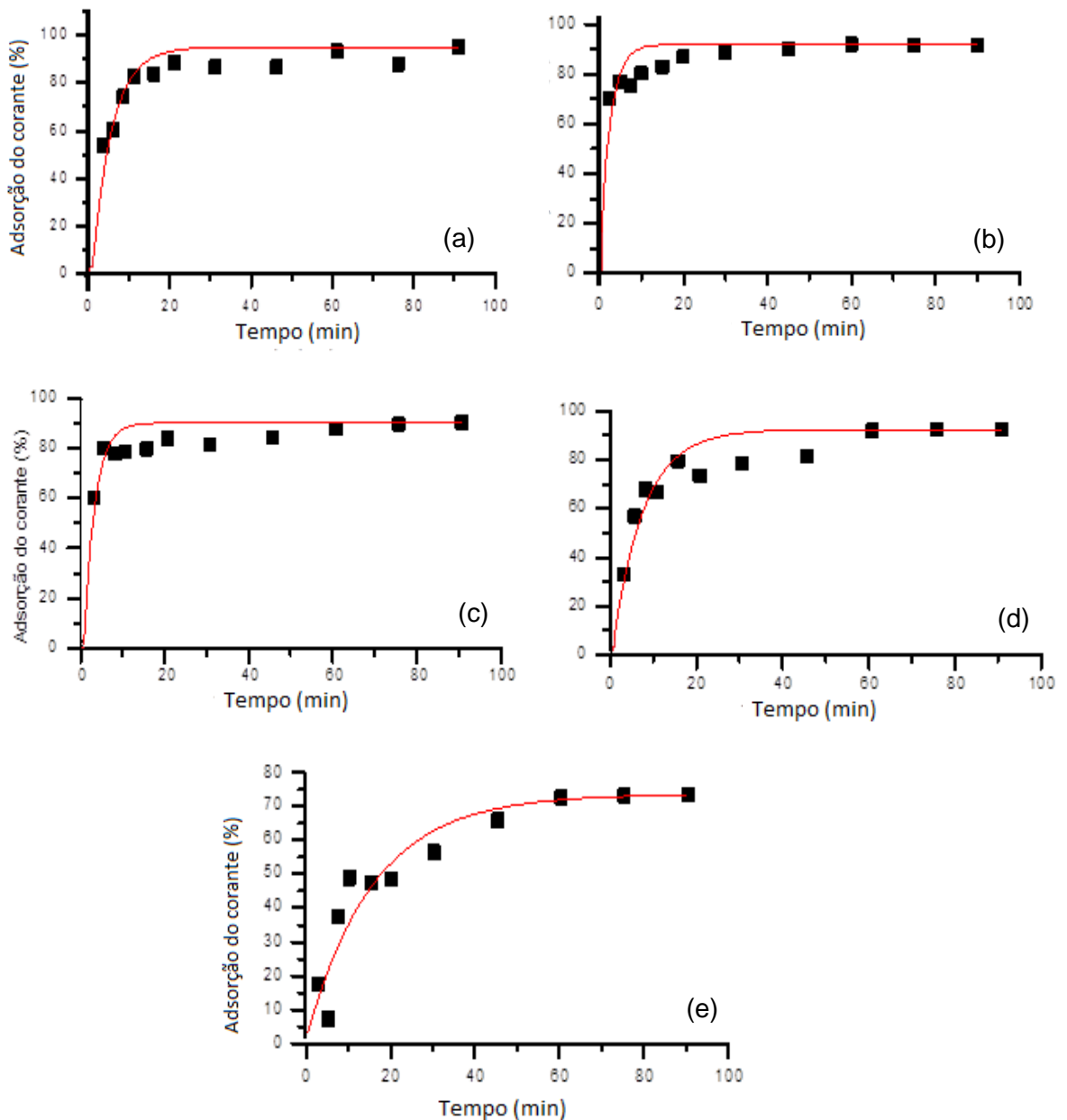


Figura 4. Influência da quantidade de adsorbato na adsorção de azul de metileno pela bainha foliar da palmeira Real, em que “a” corresponde a concentração inicial de 1×10^{-5} M, “b” a 5×10^{-5} M, “c” a 1×10^{-4} M, “d” a 1×10^{-3} M e “e” a $2,5 \times 10^{-3}$ M.

Para as concentrações 5×10^{-5} M (b) e 1×10^{-4} M (c) observa-se que o tempo de equilíbrio da adsorção foi atingido em torno dos 10 minutos com remoção de cerca de 91 % da concentração inicial. Já para as concentrações 1×10^{-5} M (a) e 1×10^{-3} M (d), observa-se que ambas atingiram o equilíbrio após 20 minutos e apresentaram porcentagens de adsorção próximas a 93 %. Já para a concentração de $2,5 \times 10^{-3}$ M (e) obteve-se o equilíbrio por volta dos 60 minutos, com uma porcentagem de adsorção em torno de 74 %.

De um modo geral, pode-se perceber que quanto menor a concentração, menor o tempo de equilíbrio e maior a taxa de adsorção. Um fato que vale ressaltar em relação ao tempo de contato é que a menor concentração (1×10^{-5} M) obteve a maior taxa de adsorção, mas teve um tempo de equilíbrio maior do que algumas concentrações mais elevadas, como por exemplo a concentração 5×10^{-5} M. Esse fato deve-se provavelmente a erros experimentais, como quantidade do biossorbente ou alíquotas menores do que o ideal, e/ou erros de leitura.

3.3 Influência da concentração

Os resultados da influência da concentração inicial na adsorção do corante azul de metileno pela bainha foliar foram obtidos analisando-se a Figura 4, apresentada no item 3.2.

O aumento da concentração do adsorbato de 5×10^{-5} M para 1×10^{-4} M, ou seja, o dobro da concentração, não alterou o tempo de equilíbrio, onde praticamente não ocorreu alteração na porcentagem de adsorção (de 90,9 % para 90,8 %). Comparando estas duas concentrações (5×10^{-5} e 1×10^{-4} M) com as concentrações de 1×10^{-3} e $2,5 \times 10^{-3}$ M, pode-se perceber que há um tempo de equilíbrio maior nas soluções mais concentradas, e além disso, a porcentagem de adsorção obtida foi próxima para a concentração 1×10^{-3} M (92,4 %), mas inferior para a concentração $2,5 \times 10^{-3}$ M (74,1 %).

O fato de que com o aumento da concentração ocorre uma diminuição na porcentagem de adsorção pode ser explicado pelo fato de que após a saturação do biossorbente não ocorre mais o processo de adsorção e o excesso de adsorbato pode gerar competição. Assim, com os dados obtidos neste estudo, a concentração ótima da solução de azul de metileno estaria em torno de 1×10^{-5} e 1×10^{-3} M.

3.4 Isoterma de adsorção

A isoterma de adsorção do azul de metileno é indicada na Fig. 5, onde esta relaciona a quantidade de corante adsorvida por massa da bainha foliar da palmeira Real e a concentração resultante nas soluções.

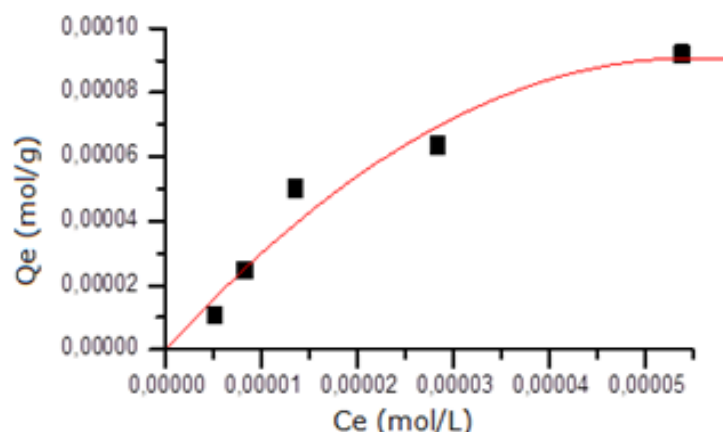


Figura 5. Isoterma de adsorção do azul de metileno pela bainha foliar da palmeira Real.

Analisando a Fig. 5 pode-se verificar uma capacidade máxima de adsorção de 9×10^{-5} mol.g⁻¹ de adsorvente, que resulta em aproximadamente 27,5 mg de azul de metileno adsorvido em um grama da bainha foliar da palmeira Real. Além disso, conforme a classificação da IUPAC, a isoterma indicada na Fig. 5 pode ser classificada como tipo I, ou seja, é uma isoterma do tipo microporosa. Esse tipo de isoterma representa uma adsorção limitada a poucas camadas moleculares, onde os poros do biossorvente excedem um pouco o diâmetro molecular do corante.

4 Conclusão

A partir dos resultados obtidos pode-se inferir que o tempo de equilíbrio mostrou-se relativamente baixo para as menores concentrações (10 minutos), sendo esta uma característica essencial na utilização de materiais adsorventes alternativos em escala industrial.

Em relação à condição mais favorável para a adsorção do corante, esta se mostrou no intervalo de concentração entre 1×10^{-5} e 1×10^{-3} M. Já em relação à capacidade máxima de adsorção, pode-se concluir que o valor obtido ($Q_{\text{máx}} = 27,5 \text{ mg.g}^{-1}$) mostrou-se relativamente elevado quando comparado a outros materiais de adsorção, como por exemplo a caulina rosa ($1,2 \text{ mg.g}^{-1}$) e o carvão ativado comercial ($232,6 \text{ mg.g}^{-1}$).

Deste modo, a bainha foliar da palmeira Real se mostrou como um promissor biossorvente na remoção do corante azul de metileno em meio aquoso, com uma alta potencialidade para emprego em escala industrial, uma vez esta alcança taxas de adsorção superiores a 90 %. O material apresenta ainda a vantagem de poder ser utilizado na sua forma *in natura*, não requerendo tratamento superficial além da trituração do mesmo.

Agradecimentos

Aos professores Dr. Clodoaldo Machado e Giovani Pakuszewski e à técnica de laboratório Mayara Silva pelos conselhos oferecidos durante a realização do estudo. À Indústria e Comércio de Conservas Berri, pelo auxílio e fornecimento de matéria-prima. E a todo o corpo docente do curso Técnico em Química (Modalidade Integrado), técnicos e direção do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul, pelo incentivo e estímulo à pesquisa.

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.

AHLUWALIA, S. S.; GOYAL, D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. **Bioresour. Technol**, v. 98, 2007.

BALDEZ, E. E.; ROBAINA, N. F.; CASSELLA, R. J. Employment polyurethane foam for the adsorption of methylene blue in aqueous medium. **Journal of Hazardous Materials**, v. 159, 2008.

BALDISSARELLI, V. Z. **Estudo da Adsorção do corante reativo preto 5 sobre carvão ativado: caracterização do adsorvente e determinação de parâmetros cinéticos e termodinâmicos**. Dissertação (Mestrado em Química) – FURB, Blumenau, 2006.

BLOEMER, G.; CECHETTI, R.; DRESH, A.; MARTINS, C. A.; PAPI, A. P. M.; SCHEIDT, W. F. Utilização de adsorventes alternativos de baixo custo para a remoção de corantes têxteis. *In*: II ENDICT - Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Anais do evento**, Toledo, 2010.

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.

ÇIÇEK, F.; ÖZER, D.; ÖZER, A., ÖZER, A. Low cost removal of reactive dyes using wheat bran. **J. Hazard. Mater**, v. 146, 2007.

EPAGRI. Orgânicos: inovações e desafios. **Agropecuária Catarinense**, v. 23, mar. 2011.

FISPQ. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos**. Nº 102. Disponível em: <[http://www.fca.unicamp.br/portal/images/Documentos/FISPQs/FISPQ%20Azul%20de%20Metile no.pdf](http://www.fca.unicamp.br/portal/images/Documentos/FISPQs/FISPQ%20Azul%20de%20Metile%20no.pdf)>. Acesso em 11 de novembro de 2013.

GUELFY, L. R.; SCHEER, A. P. **Estudo de adsorção para purificação e separação de misturas na indústria petrolífera**. Monografia (Titulação de Engenheiro Químico) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L.; LATIFF, K. N. A. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. **Dyes and Pigments**, v. 75, 2007.

KIMURA, Y. I.; GONÇALVES JR, A. C.; STOLBERG, J.; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 1999.

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

LOUKIDOU, M.; LIAKOPOULOUKYRIAKIDO, M.; ZOUBOULIS, A. I.; MATIS, K. A. Removal of As(V) from wastewaters by chemically modified fungal biomass. **Water Research**, v. 37, 2003.

MONTEIRO, S. M. **Mesocarpo de coco verde (*cocos nucífera*) e pó de serragem da Tatajuba (*BagassaGuianensis Aubi*) como adsorventes em meio aquoso**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, 2010.

NEUMANN, M. G.; GESSNER, F.; CIONE, A. P. P.; SARTORI, A. R.; CAVALHEIRO, S. C. C. Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa. **Química Nova**, v. 23, 2000.

PINO, G. H.; TOREM, M. L. Aspectos fundamentais da biossorção de metais não ferrosos – Estudo de caso. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 8, n. 1, jan./mar. 2011.

POGGERE, P. A.; DAVIS, R.; MONTANHER, S. F.; LOBO, V. S. Azul de metileno: propriedades e tratamentos. *In*: III ENDICT - Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Anais do evento**, Toledo, 2011.

ROCHA, E. R. L.; MARCATO, V. J.; COSSICH, E. S. Biossorção de cromo por biomassa de *Saccharomyces cerevisiae*. *In*: VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação

Científica, **Anais do evento**, Campinas, 2005.

SCHEER, A. P. **Desenvolvimento de um sistema para simulação e otimização do processo de adsorção para avaliação da separação de misturas líquidas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – UNICAMP, Campinas, 2002.

VOLESKY, B. **Sorption and biosorption**. Quebec: BV-Sorbex, 2004.