

OBTENÇÃO E APLICAÇÃO DE CARVÃO DO PSEUDOFRUTO DA UVA-JAPÃO (*Hovenia dulcis* Thunberg) NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS COM CORANTES

Toni Jefferson Lopes¹; Monalisa Alves Vieira²; Maickson de Oliveira²; Beatriz Alves Pereira²; Luciano Luiz Silva²; Suellen Cadorin Fernandes²; Juliana Savio²; Murilo Cesar Costelli²

Resumo

A pesquisa para a produção de adsorventes alternativos ao carvão ativado comercial tem se intensificado e atenção tem sido centrada em vários resíduos de biomassa, que são capazes de remover corantes de efluente, com baixo custo. No presente trabalho, estudou-se a obtenção de carvão a partir do pseudofruto da *Hovenia dulcis* Thunberg (uva-Japão), e avaliou-se através de técnicas de planejamento experimental a influência de diferentes parâmetros no processo de obtenção do carvão para a remoção do corante azul de metileno em solução aquosa. Também, realizou-se uma caracterização do carvão obtido da uva-Japão através da utilização de técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise da cinética de adsorção em sistema estático (batelada). No processo de obtenção de carvão a partir de uma massa inicial de bagaço de uva de 30,0 g, determinou-se uma faixa ótima para os fatores temperatura (560 a 612 °C) e para o tempo de carbonização (23 a 31 min). Outro ponto positivo do estudo desse adsorvente pode ser observado através do percentual de redução da quantidade de corante na solução, sendo que o valor máximo foi de 80 %. Isso vem comprovar a capacidade do carvão em adsorver o corante azul de metileno.

Palavras Chaves: Adsorção, Planejamento Experimental, Azul de Metileno.

Abstract

The research for the alternative adsorbents production to commercial activated coal has intensified and attention has focused on various biomass waste, which are capable of removing dyes from wastewater, with low cost. In the present work, it was studied the obtainment of coal from the pseudofruit of *Hovenia dulcis* Thunberg, and evaluated through experimental design techniques the influence of different parameters in the process of coal obtainment for the removal of methylene blue dye in aqueous solution. Also, it was realized a characterization of the coal obtained from *Hovenia dulcis* Thunberg through the use of Scanning Electron Microscopy (SEM) techniques and adsorption kinetics in static system (batch). In the process of obtaining coal from an initial mass of grape marc of 30.0 g, was determined optimal range for the factors temperature (560-612 °C) and the carbonization time (23 to 31 min). Another positive point of the study of the adsorbent can be observed through the percentage reduction in the amount of dye in the solution, since the maximum value was 80 %. This confirms the ability of the coal to adsorb the methylene blue dye.

Key-words: Adsorption, Experimental design, Methylene blue.

¹ Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha – RS

² Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECO, Área de Ciências Exatas e Ambientais – ACEA, Curso de Engenharia Química

Introdução

A água é um dos constituintes essenciais do meio ambiente para a sobrevivência dos organismos vivos, fazendo parte dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que mantém em equilíbrio os ecossistemas. Além, da manutenção da vida, a água tem uso primordial na agricultura, indústria, alimentação e recreação. No entanto, a má disposição final de esgotos e efluentes, promovem um grande problema de agressão aos recursos hídricos, pois se estes não forem tratados e dispostos devidamente, causam uma série de problemas físicos, químicos e biológicos num corpo d'água (PORTO, 1991).

A presença de cor em efluentes está associada a corantes solúveis provenientes, principalmente, do processo de tingimento, devido a ineficiências dessa etapa. A concentração dos corantes é menor que a de outros produtos químicos, mas a cor é visível, mesmo em baixas concentrações. Dentre os corantes comumente utilizados destaca-se o azul de metileno (MELLO & DEBACHER, 2009; FERREIRA, 2009).

Os corantes, que apresentam uma variedade de usos, são descartados, muitas vezes, junto com os efluentes nos corpos aquáticos, o que constitui um grave problema ambiental. Águas residuais são fontes de poluição para os corpos aquáticos, degradando a qualidade dos mananciais e prejudicando a biota e os usos mais nobres relacionados ao consumo humano.

O desenvolvimento de tecnologia adequada para tratamento de efluentes tem sido objeto de grande interesse nos últimos tempos devido ao aumento da conscientização e rigidez das leis ambientais. As principais técnicas disponíveis na literatura para descoloração das águas de rejeito envolvem principalmente processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica, fotoquímica, biodegradação (HITZ *et al.*, 1978; COOPER, 1993; GUARATINI & ZANONI, 2000).

A adsorção é uma das técnicas que tem sido empregada com sucesso para uma remoção efetiva da cor. Para um processo de adsorção eficiente a escolha de um adsorvente com alta seletividade, alta capacidade e durabilidade, é fundamental. Este deve também estar disponível em grandes quantidades e a um baixo custo (IMMICH, 2006). O carvão ativado tem sido até agora o adsorvente mais usado, porém, devido ao seu alto custo e considerando a enorme quantidade de efluente normalmente produzido pelas indústrias, pesquisas têm sido recentemente direcionadas para adsorventes alternativos, também chamados de adsorventes de baixo custo ou não convencionais.

A estrutura molecular ou a natureza do adsorvente é determinante no ordenamento e grau de adsorção. Desta forma, a escolha dos adsorventes é imprescindível para o processo de adsorção, sendo que vários materiais têm sido desenvolvidos para uma ampla faixa de separação (PERUCH, 1997).

Muitos materiais de baixo custo têm sido estudados devido às suas vantagens econômicas. Dentre os quais, podemos citar: madeira, casca de laranja, bagaço de cana-de-açúcar, argilas, sílica, casca de amendoim, bambu etc (NAMASIVAYAM & KAVITHA, 2002).

A árvore *Hovenia dulcis* Thunberg, conhecida vulgarmente por uva-do-Japão (PR), banana-do-japão (SC), caju-do-japão (RJ), mata-fome (SP), pau-doce (MG) e chico-magro (SP), pertence à família Rhamnaceae e ocorre naturalmente entre 25° e 41° N e 100° e 142° L. A espécie é largamente cultivada no Sul do Brasil, de forma isolada ou em pequenos talhões (RIGATTO *et al*, 2001).

O presente trabalho teve como objetivo principal a obtenção de um material adsorvente alternativo, produzido a partir do pseudofruto da *Hovenia dulcis* Thunberg (uva-Japão), avaliando a influência de diferentes parâmetros no processo e a viabilidade de seu uso como adsorvente de baixo custo para a remoção do corante azul de metileno.

MATERIAL E MÉTODOS

- Obtenção do Carvão do pseudofruto da uva-Japão

Na obtenção do adsorvente utilizaram-se bagaços dos frutos da uva-Japão, dos quais se extraiu o caldo por prensagem e se procedeu à lavagem das cascas com água destilada, a fim de retirarem-se resíduos de açúcar, separando-se cascas e sementes. Posteriormente, realizou-se a secagem das cascas e sementes, em estufa sem circulação de ar por 24 h a 100 °C. Na etapa de obtenção do carvão foram utilizadas apenas as cascas dos gomos da uva (Figura 1).



Figura 1- Limpeza das cascas após a secagem.

Na etapa de carbonização das cascas da uva-Japão para a produção do

carvão foi realizada a verificação das melhores condições de operação no processo utilizando-se um planejamento fatorial completo 2³, o qual levou em consideração a massa de casca de uva-Japão (A); o tempo (B); e a temperatura (C), conforme a Tabela 1. Posteriormente, à realização do planejamento, utilizou-se o software Statística 6.0[®] para a análise dos resultados aplicando a Metodologia das Superfícies de Resposta (MSR) com o objetivo de obter as condições ótimas de operação.

Tabela 1 - Fatores e níveis estudados durante o Planejamento Experimental.

Fatores	Níveis de variação dos fatores	
	-1	+1
Massa cascas (g)	20	40
Tempo (min)	15	25
Temperatura (°C)	500	700

- Adsorção do corante de Azul de metileno no carvão

No processo de adsorção do corante de azul de metileno utilizou-se 0,3 g de carvão obtidos nos experimentos da Tabela 1, juntamente com 50 mL de solução de azul de metileno, com concentração de 5 mg.L⁻¹, mantendo-se sob agitação de 60 rpm, temperatura de 40 °C e um tempo de 60 minutos. Posteriormente, a este tempo coletaram-se 10 mL de amostra para as análises de concentração por espectrofotômetro, conforme Castro et al. (2009) e Merg et al. (2010) utilizou-se comprimento de onda de 665 nm.

- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

As medidas foram feitas em um microscópio eletrônico de varredura JEOL-JSM, modelo 6360-LV, sob vácuo, com aceleração do feixe de 10 kV, acoplado a um sistema de análise espectroscópica de energia dispersiva.

- Obtenção das curvas de Cinética de Adsorção do Azul de Metileno

Na obtenção das curvas de cinética para a adsorção do azul de metileno realizou-se a separação do carvão obtido em frações de 5, 9 e 16 mesh. Realizaram-se nove ensaios experimentais para avaliar a cinética de adsorção do corante de azul de metileno em carvão, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaios Experimentais para obtenção da cinética de adsorção de azul de metileno em carvão.

Experimento	Massa adsorvente (g)	Concentração inicial de azul de metileno (mg/L)	Diâmetro médio das partículas de carvão (Mesh)
1		5	5
2		10	9
3		20	16
4		5	16
5	1,0	10	5
6		20	9
7		5	9
8		10	16
9		20	5

Os ensaios de adsorção foram conduzidos em sistema estático (batelada) utilizando-se 50 mL de solução de azul de metileno mantendo-se sob agitação de 60 rpm a uma temperatura de 40 °C, decorrido determinado período de tempo coletaram-se amostras para as análises de concentração por espectrofotômetro, utilizou-se comprimento de onda de 665 nm. Durante a adsorção, realizou-se coleta das amostras, sendo as duas primeiras coletas realizadas com intervalos de 30 segundos e as demais coletas com intervalos de 2 e 3 minutos, até observar-se a estabilidade nos valores de absorvância.

Já os experimentos para as cascas *in natura*, foram realizados com massa de 1,0 g, mantendo-se as mesmas condições de aquecimento e agitação utilizados nos ensaios com carvão. A concentração inicial da solução de azul de metileno utilizada foi de 5 mg.L-1. Realizou-se a coleta de amostras e medições das absorvâncias após decorridos 5, 15, 20, 30, 35 e 40 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Obtenção do Carvão do pseudofruto da uva-Japão

Como um estudo inicial, realizou-se um planejamento fatorial completo 23 para avaliar a influência das variáveis: A) Temperatura, B) Tempo e C) Massa de casca de uva-Japão, com níveis codificados predefinidos, sobre a massa do carvão da casca de uva-Japão. A Tabela 3 mostra a matriz de planejamento completo 23 e a as respostas obtidas para cada ensaio.

Tabela 3 - Resultados da quantidade de azul de metileno adsorvida e massa de carvão obtida nos ensaios de carbonização.

Ensaio	A	B	C	Massa adsorvente (g)	Concentração de Azul de metileno adsorvida na fase sólida (mg/g)	Rendimento (Massa de corante adsorvida pelo carvão(mg)/Massa de corante inicial em solução (mg))
1	-1	-1	-1	3,58	0,3737	0,4484
2	1	-1	-1	8,03	0,4102	0,4922
3	-1	1	-1	2,97	0,5878	0,7054
4	1	1	-1	7,07	0,6209	0,7451
5	-1	-1	1	0,19	0,6758	0,8110
6	1	-1	1	2,88	0,6682	0,8018
7	-1	1	1	0,16	0,7050	0,8460
8	1	1	1	1,2	0,6721	0,8065

Observa-se a partir da Tabela 3 rendimentos de remoção de azul de metileno variando de 44 a 84 %. Lima et al (2006), conseguiu uma redução máxima de 97 % para o corante azul de metileno utilizando quitosana quimicamente modificada. Tramontin et al (2011), utilizando carvão ativado de finos de carvão, obteve rendimentos de 95 a 96 %, tendo passado o carvão por fluxo de CO₂ para eliminação de teores de oxigênio nos poros, enquanto o carvão não tratado teve um rendimento de 58%. Estudos e Dotto et al (2011) mostraram rendimentos de 30 a 35 % de remoção de corantes dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina.

Através dos resultados obtidos na Tabela 3, realizou-se uma análise dos efeitos das três variáveis independentes estudadas sobre a massa do carvão obtida nos experimentos e seus respectivos índices estatísticos, que é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Cálculos dos efeitos e respectivos índices estatísticos em relação à massa obtida de carvão de casca de uva-Japão.

	Efeito	Desvio Padrão	Teste t de Student	Nível p	-95% Limite de Confiança	+95% Limite de Confiança
Média/Interações	3,26	0,336	9,695	0,000633	2,33	4,19
(A) Massa de Casca de uva-Japão	3,07	0,672	4,565	0,010298	1,20	4,94
(B) Tempo	-0,82	0,672	-1,219	0,289684	-2,69	1,05
(C) Temperatura	-4,31	0,672	-6,402	0,003058	-6,17	-2,44

Nota-se pela Tabela 4, em relação aos fatores estudados, que os valores mais significativos encontrados foram para a temperatura e massa de casca de uva-Japão, para o nível de confiança adotado de 95 %, por apresentarem em termos absolutos valores maiores do que o efeito do outro fator, neste caso o tempo. Também, observa-se o fato no intervalo de confiança (-95 % e +95 %) conter o número zero indica que o fator tempo em análise pode ter efeito nulo, ou seja, ser considerado não significativo no nível de confiança testado. O coeficiente de determinação (R²) para um ajuste de um modelo linear sem interação entre os fatores foi de 0,9405.

Ainda, através dos resultados obtidos na Tabela 5, pode-se realizar também uma análise dos efeitos das variáveis de estudo sobre a concentração mássica do corante azul de metileno no carvão da casca de uva-Japão obtida nos experimentos e seus respectivos índices estatísticos.

Tabela 5 - Cálculos dos efeitos e respectivos índices estatísticos em relação à concentração mássica do corante azul de metileno no carvão da casca de uva-Japão.

	Efeito	Desvio Padrão	Teste t de Student	Nível p	-95% Limite de Confiança	+95% Limite de Confiança
Média/Interações	0,589	0,0255	23,079	0,000021	0,518	0,660
(A) Massa de Casca de uva-Japão	0,007	0,0510	0,142	0,893589	-0,134	0,149
(B) Tempo	0,114	0,0510	2,241	0,088427	-0,027	0,256
(C) Temperatura	0,182	0,0510	3,567	0,023441	0,040	0,324

Pode-se notar pela Tabela 5 que através da análise dos efeitos deste planejamento foi verificado que somente a temperatura é estatisticamente significativa para o nível de confiança adotado de 95 %. O coeficiente de determinação (R²) para um ajuste de um modelo linear sem interação entre os fatores foi de 0,8162.

Na obtenção das condições ótimas de obtenção do carvão do pseudofruto uva-Japão avaliaram-se dois aspectos: a massa de carvão obtida e a capacidade do carvão em adsorver o corante azul de metileno. Sendo, que as maiores quantidades de carvão são obtidas em condições de menor tempo e temperatura no processo de carbonização. Devido ao fato que quanto maior o calor adicionado no sistema e o tempo de aquecimento, maior será a redução de massa de carvão obtida, por causa de transformações físicas e químicas dos compostos orgânicos (por exemplo: proteínas e açúcares) e água existentes na composição da uva-Japão (Figura 2).

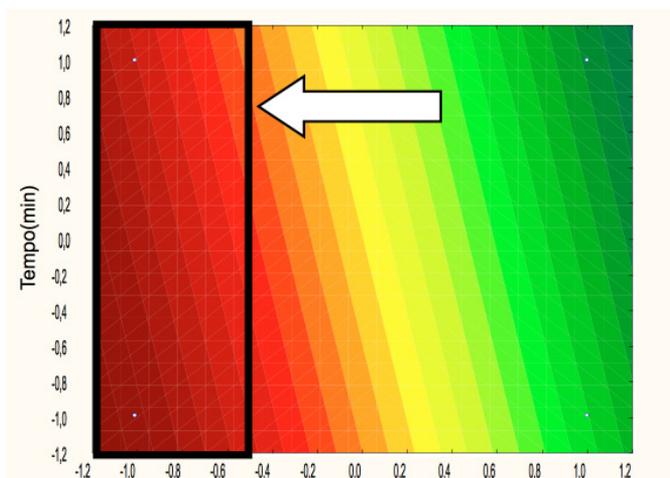


Figura 2 - Resposta - Massa de Carvão

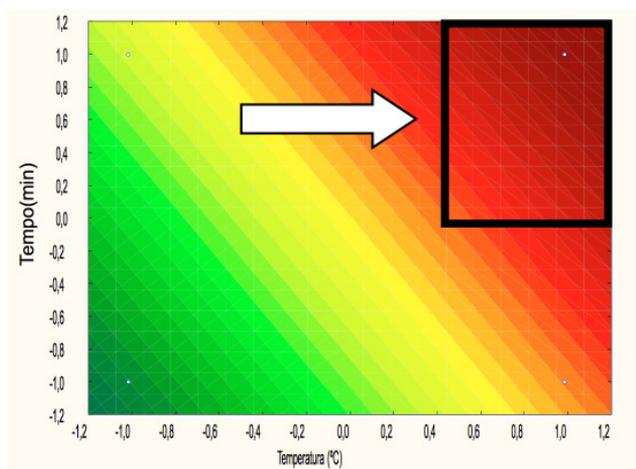


Figura 3 - Resposta - Capacidade de adsorção

Também, é de se supor que quanto maior a temperatura e o tempo de carbonização ocasionarão um acréscimo no percentual de carbonização da matéria-prima, na porosidade, na área superficial e nos sítios ativos na superfície do adsorvente auxiliando numa maior adsorção do corante (MIMURA et al., 2010) (Figura 3). Portanto, procurou-se trabalhar em uma condição, principalmente, de temperatura e tempo onde ocorre o equilíbrio para obtenção da maior massa de carvão possível com uma capacidade de adsorção adequada (Figura 4).

Por meio da junção das curvas de nível apresentadas na Figura 2 e 3, é verificada a área em que se estabelece a melhor condição para obtenção do carvão da casca de uva-Japão em relação a ambas as respostas como mostra a Figura 4. A escolha deste ponto teve o interesse de obter um carvão com maior

poder de adsorção e com maior rendimento em massa, apesar de observar-se que não há uma região clara de intersecção entre as duas com a junção das Figuras 2 e 3. Assim, optou-se por uma região de maior capacidade de adsorção, mas com um rendimento de massa de carvão mediano, devido à constatação de que a escolha de uma região com maior rendimento em massa gera um adsorvente parcialmente carbonizado, pouca porosidade ou baixa presença de sítios ativos provocando uma baixa capacidade de adsorção.

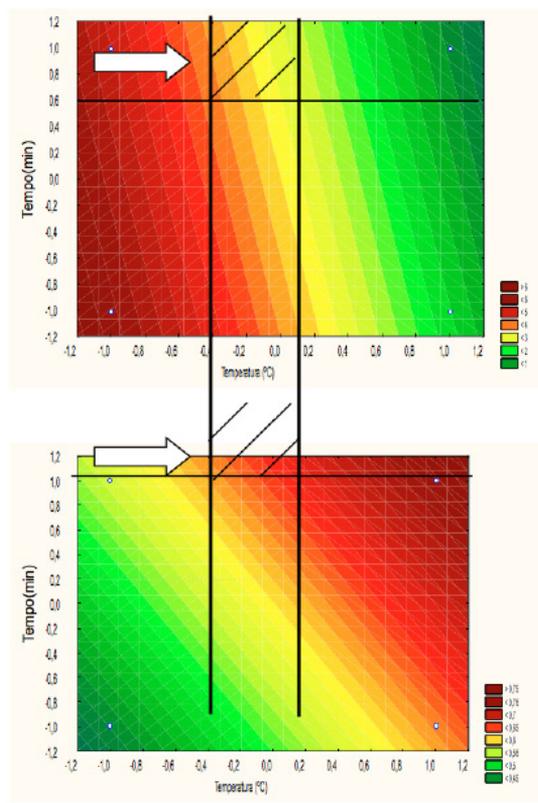


Figura 4 - Curvas de nível para os fatores codificados tempo e temperatura em relação às respostas rendimento em massa do carvão e concentração mássica de corante azul de metileno no carvão (massa de casca inicial = 50 g)

Decodificando os valores tem-se que a melhor condição para a produção do carvão é a região de temperatura de 560 a 612 °C (-0,4 a 0,12) e tempo de 23 a 31 minutos (0,6 a 1,2) para uma massa de casca de uva-Japão de 30 g, com isso, dentro desta região, foi escolhido o ponto de 560 °C, 25 minutos e 30,0 g, utilizado na obtenção de carvão que foi posteriormente utilizado nos ensaios de cinética de adsorção.

- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) do carvão obtido mostrou um material que apresenta uma formação parcial de poros em forma de crateras (Figura 5A) e uma estrutura porosa fibrosa (Figura 5B). Na etapa de obtenção das melhores condições de obtenção do carvão, optou-se por condições que propiciaram uma massa de carvão em torno de 4,0 g de carvão / 30 g de uva-Japão e com um poder de adsorção do azul de metileno de aproximadamente 70 % da concentração inicial utilizada. Sendo que, as condições de temperatura (560 °C) e tempo de carbonização da uva-Japão (25 min), ocasionaram, além de uma parcial formação de poros na estrutura do carvão, também uma grande quantidade de partículas depositadas nos poros formados.

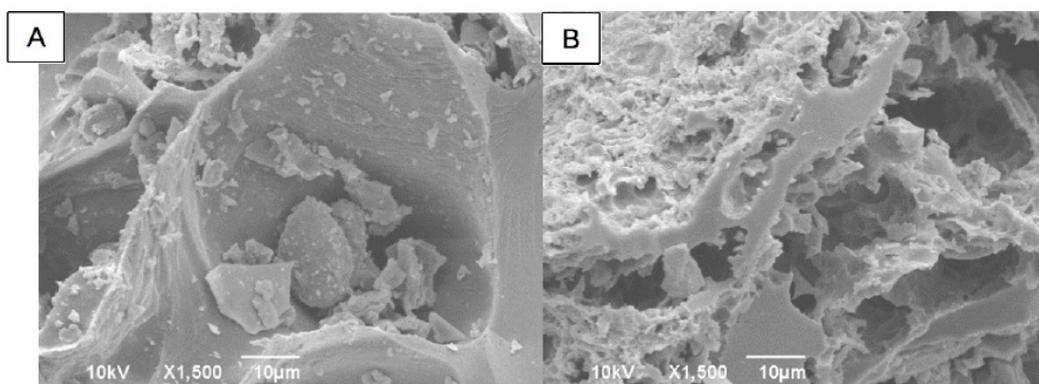


Figura 5 - Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) do carvão: poros em forma de crateras (A); estrutura porosa (B).

- Obtenção das curvas de Cinética de Adsorção do Azul de Metileno

Após a realização dos ensaios, avaliou-se o comportamento da concentração de corante com o tempo durante o processo de adsorção, conforme exposto a seguir. Na Figura 6 são apresentados os resultados dos ensaios experimentais de número 1, 4 e 7 (concentração inicial de azul de metileno de 5 mg.L⁻¹). Na Figura 7 são apresentados os resultados dos ensaios experimentais de número 2, 5 e 8 (concentração inicial de azul de metileno de 10 mg.L⁻¹). Na Figura 8 são apresentados os resultados dos ensaios experimentais de número 3, 6 e 9 (concentração inicial de azul de metileno de 20 mg.L⁻¹). Na Figura 9 encontra-se o ensaio com massa de 1g de casca in natura de uva-Japão e concentração inicial de azul de metileno de 5 mg/L)

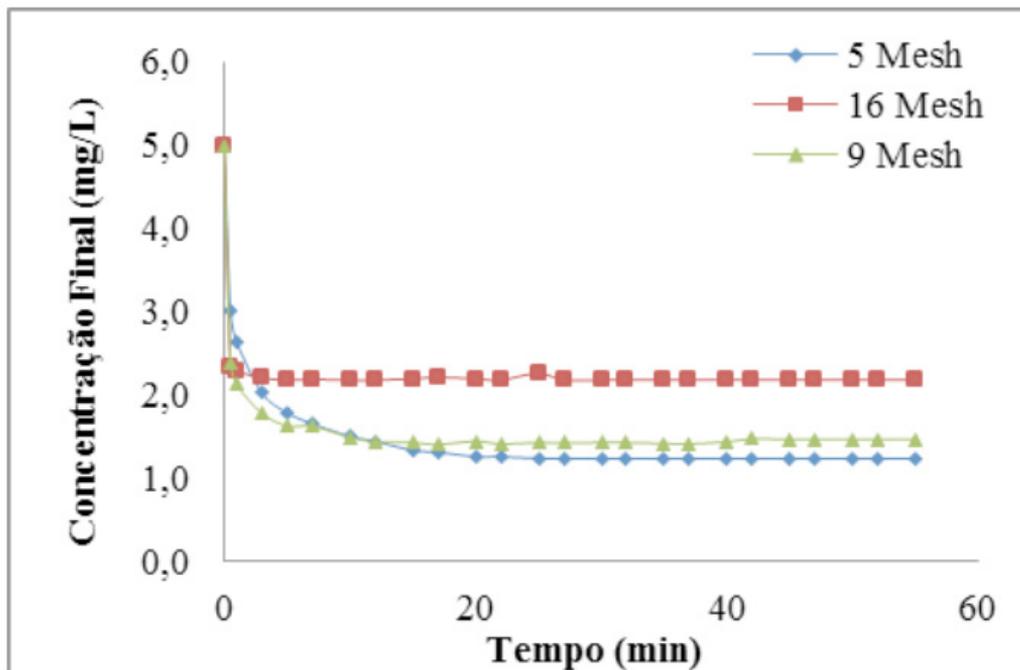


Figura 6 - Ensaios 1, 4 e 7 (concentração inicial de azul de metileno de 5 mg.L⁻¹), carvão.

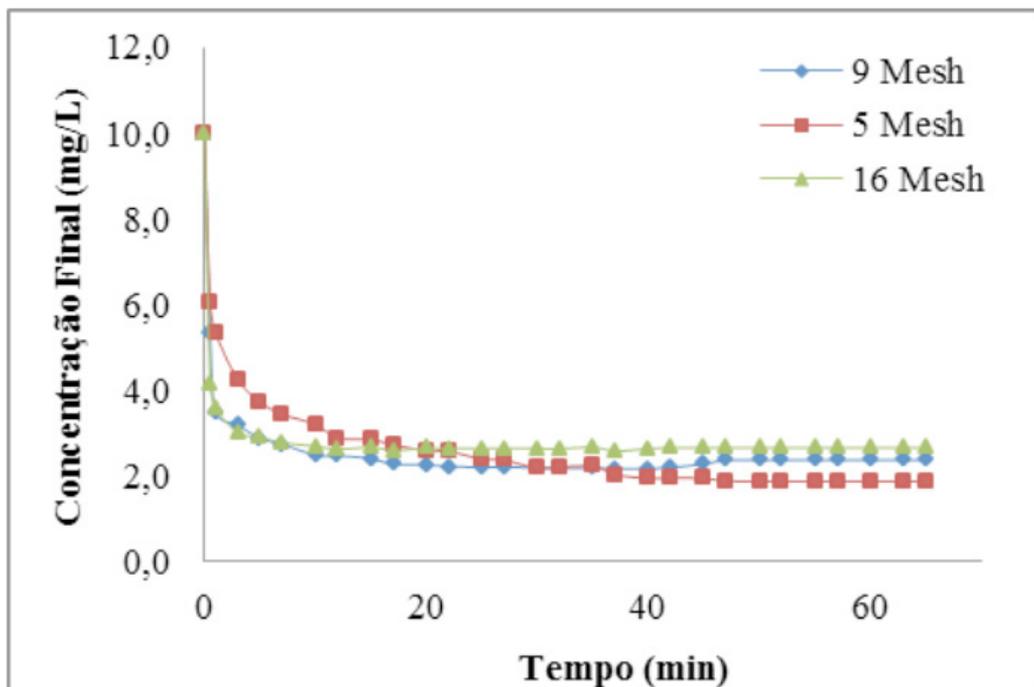


Figura 7 - Ensaios 2, 5 e 8 (concentração inicial de azul de metileno de 10 mg.L⁻¹), carvão.

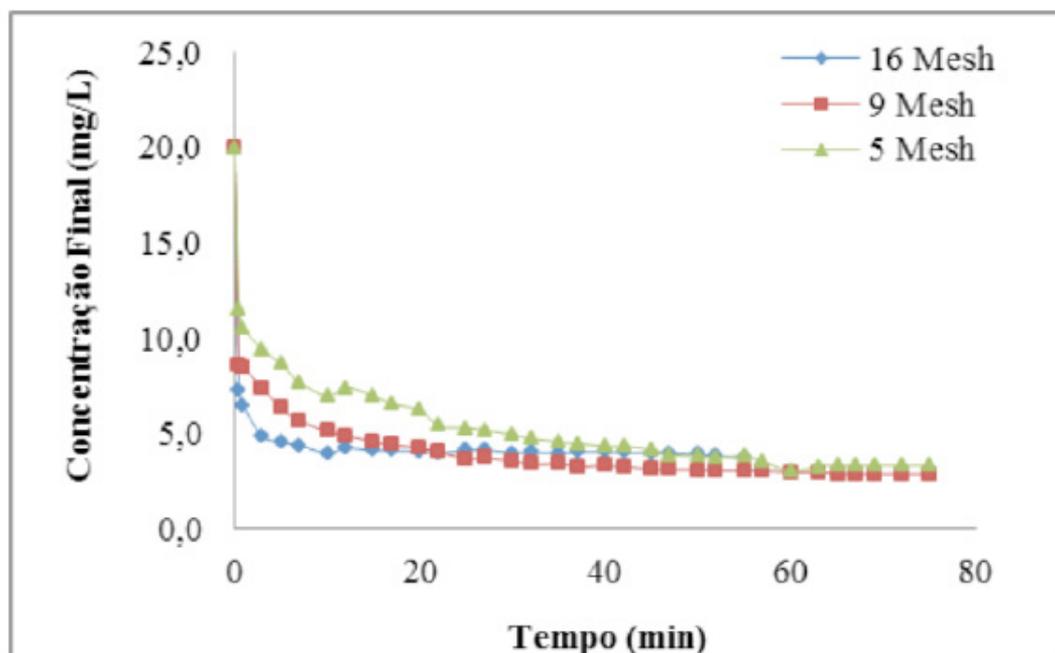


Figura 8 - Ensaios 3, 6 e 9 (concentração inicial de azul de metileno de 20 mg.L^{-1}), carvão.

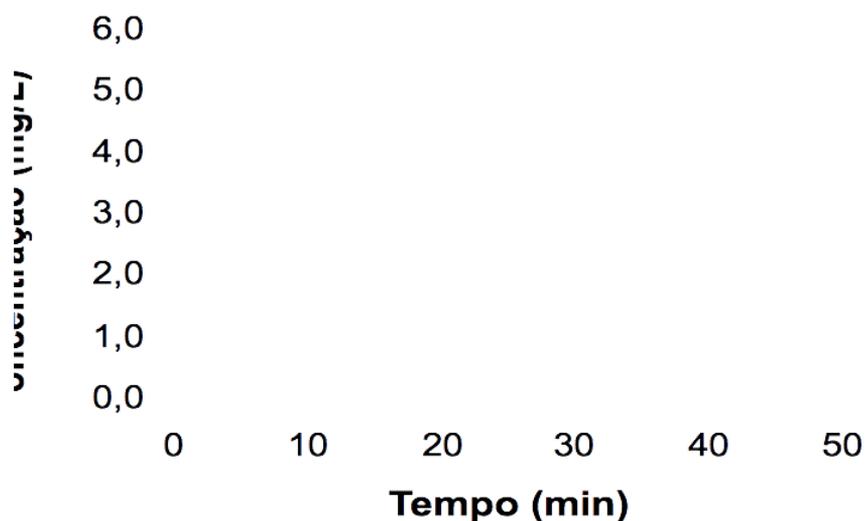


Figura 9 - Ensaio com massa de 1g de casca in natura de uva-Japão e concentração inicial de azul de metileno de 5 mg.L^{-1}

Analisando as Figuras 6, 7, 8 e 9, pode-se observar um comportamento semelhante nos dez ensaios. Todas as cinéticas apresentaram redução significativa da concentração inicial de azul de metileno nos primeiros 5 minutos. Fazendo-se uma análise geral das cinéticas, pode-se observar que,

após decorridos o tempo de 30 minutos, as remoções passam a ser menos significativas, o que prova que o carvão ativado iniciou o processo de saturação.

Os melhores resultados foram obtidos com o diâmetro da partícula de 5 Mesh, independentemente da concentração inicial de azul de metileno. A explicação para tal resultado reside no fato de que as partículas de 5 Mesh apresentam uma área superficial maior do que as demais partículas, aumentando assim a superfície de contato entre o carvão ativado e a solução em questão, facilitando a difusão da solução nos poros e a remoção da coloração da solução.

Os experimentos desenvolvidos por Gonçalves et.al. (2007) comprovam os resultados aqui encontrados. Nos experimentos em questão, foram utilizando carvão ativado oriundo da erva mate, em três diferentes diâmetros de partículas: 1,5; 2,0 e 2,8 mm. Novamente, a eficiência de remoção apresentou-se maior para as partículas de menor diâmetro.

A análise comparativa da cinética realizada com a carvão e a casca *in natura*, após decorridos 40 minutos do processo, o valor obtido para a concentração de corante da amostra *in natura* foi de 1,617 mg.L⁻¹ e para a amostra com o carvão foi de 1,225 mg.L⁻¹. Sendo assim, o carvão oriundo da uva-Japão mostra-se cerca de 25 % mais eficiente na remoção de azul de metileno da solução. Estudos desenvolvidos por Cardoso (2010) apresentaram resultados semelhantes quando se comparou a eficiência de remoção do azul de metileno utilizando-se casca de pinhão *in natura* e carbonizada. As cascas de pinhão carbonizadas apresentaram eficiências maiores devido à melhoria das características texturais, como área superficial e volume médio e diâmetro médio dos poros.

Conclusão

Na etapa de produção do carvão foram utilizadas técnicas de planejamento experimental, determinando para as condições testadas, uma faixa ótima de produção que vai de 560 a 612 °C para a temperatura e de 23 a 31 min para o tempo para uma massa inicial de casca de uva-Japão de 30,0 g. Dentre os parâmetros estudados na produção do adsorvente a partir do pseudofruto da uva-Japão, obteve-se as maiores quantidades adsorvidas com o carvão a 5 mesh. Também, observou-se que o tratamento térmico utilizado na carbonização das cascas de uva-Japão, acrescentou em média 25 % no poder adsorção do corante pelo carvão quando comparado com a uva-Japão "*in natura*".

Outro ponto positivo do estudo desse adsorvente pode ser observado através do percentual de redução da quantidade de corante na solução, sendo que o valor máximo foi de 80 % para efluentes a 40 °C. Isso vem comprovar a capacidade do carvão em adsorver o corante azul de metileno. Sugere-se que para melhorar o processo de adsorção procedimentos como a ativação

química pode ser realizada para que o adsorvente alcance níveis máximos de qualidade e eficiência. Podendo assim ser utilizado como adsorvente de baixo custo e fácil obtenção no tratamento de efluentes de indústria têxtil.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte técnico e financeiro promovido da FUNDESTE, ao Governo do Estado pelo apoio através da oferta de bolsas pelo artigo 170 e UNOCHAPECÓ.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, N.F. Remoção de corante de azul de metileno de efluentes aquosos utilizando casca de pinhão in natura e carbonizada como adsorvente. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

CASTRO, C. S.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A.; GONÇALVES, M. Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H₂O₂. Química Nova, São Paulo, v.32, n.6, p. 1561-1565, 2009.

COOPER, P. Removing colour from dyehouse waste waters – a critical review of technology available. Journal of the Society of Dyers and Colourists, v.109, n.3, p. 97-100, 1993.

DOTTO, G.L.; VIEIRA, M.L.G.; GONÇALVES, J.O.; PINTO, L.A.A. Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande - RS, 2011.

FERREIRA, M. E.; FRANÇA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Avaliação da Dinâmica e Equilíbrio de Adsorção de Azul de Metileno em Borra de Café. Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de Minas Gerais. 2009.

GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; BIANCHI, M. L.; OLIVEIRA, L. C. A.; PEREIRA, E. I.; DALLAGO, R. M. Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso. Ciência e agrotecnologia, v.31, n.5, pp. 1386-1391, 2007.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B.. Corantes têxteis. Química Nova, v. 23, n.1, p. 71-78, 2000.

HITZ, H. R.; HUBER, W. E REED, R. H. The adsorption of dyes on activated sludge.

Journal of the Society of Dyers and Colourists, v.94, p.71-76, 1978.

IMMICH, A.P.S. ; MUNDIM, B.C.; SOUZA, S.M.A.G.; SOUZA, A.A.U. Remoção de Corantes de Efluentes Têxteis Utilizando Folhas de Azadirachta indica como adsorvente. Dissertação de mestrado, UFSC - 2006.

LIMA, I.S.; RIBEIRO, E.S.; AIROLDI, C. O emprego de quitosana quimicamente modificada com anidrido succínico na adsorção de azul de metileno. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2006.

MELLO, C. A. D.; DEBACHER, N. A. Adsorção do azul de metileno em misturas de argila e surfactante a 25°C. Sociedade Brasileira de Química. Disponível em: < <https://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1085-1.pdf> >. Acesso em: Out./2010.

MERG, J. C; ROSSETT, F.; PENHA, F. G.; PERGHER, S. B. C.; PETKOWICZ, D. I.; SANTOS, J. H. Z. Incorporação de dióxido de titânio em zeólitas para emprego em fotocatalise heterogênea. Química Nova, São Paulo, v.33, n.7, p. 1525-1528, 2010.

MIMURA, A.M.S.; SALES, J.R.C.; PINHEIRO, P.C. Atividades experimentais simples envolvendo adsorção sobre carvão. Química Nova na Escola, v. 32, n.1, p. 53-56, 2010.

NAMASIVAYAM, C. MINIASAMY, N.; GAYATRI, K.; RANI, M.; RANGANATHAN, K. Bioresource Biotechnology, v. 57, p 37-43, 1996.

PERUCH, M.G.B. Adsorção de corantes têxteis em solução aquosa sobre carvão ativado e alumina ativada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 126 f., 1997.

PORTO, R. La Laina. Hidrologia Ambiental. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, 1991.

RIGATTO, P.A.; PEREIRA, J.C.D.; MATTOS, P.P.; SCHAITZA, E.G. Características Físicas, Químicas e Anatômicas da Madeira de Hovenia dulcis.

Comunicado Técnico – Ministério da Agricultura e do Abastecimento. ISSN 1517-5030, Colombo – PR, 2001.

TRAMONTIN, Deise P.; PETERSON, Michael; PIZZOLO, Juliana P.; PIZZOLO Jussara P.. Adsorção do corante básico (azul de metileno) por carvão ativado preparado a partir de finos de carvão. III Congresso Brasileiro De Carvão Mineral. Gramado, RS. 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede-carvao/artdir3.htm>. Acesso em abril 2014.