



## Estudo do potencial de remoção de corante em efluente sintético utilizando bagaço de cana-de-açúcar por meio de planejamento fatorial 2<sup>3</sup>

Gabriel Dall Orsoletta<sup>1</sup> Raquel Dalla Costa da Rocha<sup>2</sup>

07 abr. 2015

Resumo – Os efluentes têxteis industriais causam sérios problemas de poluição devido à presença de corantes, sendo os da classe reativos, os mais preocupantes, pois não são facilmente degradados por processos biológicos convencionais. Atualmente, tem se elevado o número de pesquisas em adsorção com novos adsorventes oriundos de fontes naturais e que estes, tenham boa capacidade de adsorção, principalmente destes poluentes. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência da remoção do corante têxtil vermelho reativo utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como método alternativo no tratamento de efluentes da indústria têxtil. Para isso, foi aplicando um planejamento fatorial 2<sup>3</sup> com triplicata no ponto central, como variáveis independentes foram avaliadas a quantidade (0,5 a 1,5 g.100 mL<sup>-1</sup>) e faixas granulométricas (<0,59 mm, 0,59 – 1,00 mm e de 1,18 – 2,00 mm) do adsorvente e o pH do adsorvato (5,0 a 6,0). Os resultados da ANOVA demonstrou que a quantidade e o tamanho do adsorvente são estatisticamente significativos com um intervalo de 95% de confiança para o sistema estudado. Este resíduo agroindustrial de baixo custo demonstrou potencial para o processo de adsorção do vermelho reativo.

Palavras-chave: adsorção. vermelho reativo. resíduo agroindustrial.

### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial, assim como o surgimento de novas tecnologias nas últimas décadas, apesar de trazer grandes benefícios à humanidade trouxe também a poluição ambiental, levando o homem a preocupar-se com os problemas causados ao ambiente. Uma indústria que contribui para esses problemas ambientais é a têxtil.

Uma pequena quantidade de corante em água pode ser visualizada facilmente, além de que, esta pequena

quantidade pode afetar a vida em meio aquático devido aos efeitos carcinogênicos e mutagênicos dos corantes sintéticos (KUMAR et al., 2010).

Os efluentes têxteis são de difícil descoloração devido a sua estrutura complexa e de origem sintética, existindo diversas variedades estruturais, entre elas os corantes ácidos, azos, reativos entre outros (ROBINSON et al., 2001).

Nos últimos anos, diversos métodos de tratamento vêm sendo estudados, sendo eles a coagulação e

<sup>1</sup>gabriel.orsoletta@gmail.com, UTFPR Câmpus Pato Branco, Pato Branco, Brasil.

<sup>2</sup>UTFPR Câmpus Pato Branco, Pato Branco, Brasil.



precipitação, osmose reversa, oxidação química, tratamento biológico, fotodegradação e adsorção (KUMAR et al., 2010).

Os processos de adsorção são muito populares devido a sua simplicidade de execução nos ensaios e eficiência elevada, assim como uma grande disponibilidade de materiais adsorventes, o mais utilizado é o carvão ativado (BASAVARAO; RAMMOHANRAO, 2006).

O uso de adsorventes de baixo custo e ecologicamente corretos, vem sendo pesquisado como alternativa na substituição de métodos de custo mais elevado na remoção em corantes de águas residuais, como tratamentos com reagentes químicos (ORSOLETTA, 2013). Nos últimos anos, resíduos agroindustriais, como a casca de arroz (VADIVELAN; KUMAR, 2005; HAN et al., 2007), resíduos de celulose (ANNADURAI et al., 2002) turfa (HO & MCKAY, 2003) palha de trigo (ROBINSON et al., 2002) vem sendo muito estudadas para a remoção de corantes a partir de águas residuais.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo assim o maior produtor de álcool proveniente da cana-de-açúcar e maior produtor de açúcar (MAPA, 2014). O Paraná é o principal produtor de cana-de-açúcar da região sul do Brasil chegando a aproximados 614 mil hectares de área plantada em 2012 (CONAB, 2012).

O objetivo principal deste trabalho consistiu em avaliar a eficiência da remoção de cor de efluente têxtil reativo sintético utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como método alternativo, tendo em vista sua grande disponibilidade nacional, para tanto, será aplicado planejamento fatorial  $2^3$  completo com triplicata no ponto para avaliação das variáveis de entrada escolhidas para o delineamento experimental.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Bagaço de cana-de-açúcar

O resíduo agroindustrial foi coletado em uma indústria de açúcar e álcool na cidade de Perobal, -

Paraná.

A biomassa foi seca em estufa (MA033/1, Marconi) a 105 °C Após secagem foi moída em moinho de facas (Tipo Wyllie Micro - TE 650) e classificada granulometricamente por meio de agitador eletromagnético de peneiras (Bertel) conforme o planejamento experimental.

### 2.2. Adsorbato

O corante vermelho reativo foi doado pela empresa Texpal A solução aquosa sintética do corante (solução-mãe) foi preparada com concentração de 500 mg.L<sup>-1</sup> e a partir desta, foram preparadas as concentrações para o planejamento experimental, sendo que a concentração foi mantida constante em 90 mg.L<sup>-1</sup> em todos os ensaios realizados no planejamento.

### 2.3. Influência das variáveis independentes na capacidade de adsorção dos corantes têxteis em sistema batelada

Para avaliar a influência das variáveis independentes (pH do adsorvato, quantidade e granulometria do adsorvente) na remoção de corantes foi empregado um planejamento experimental fatorial completo  $2^3$  incluindo 3 repetições no ponto central totalizando 11 ensaios, a variável dependente foi o teor de corantes removidos no ensaio.

Para o cálculo experimental, os valores das variáveis independentes e os níveis estão demonstrados na Tabela 1.

**Tabela 01** – Planejamento experimental tendo como fatores o pH e a granulometria.

Fatores	-1	0	+1
1. pH do Adsorvato	5,0	5,5	6,0
2. Quantidade do Adsorvente (g)	0,5	1,0	1,5
3. Granulometria do Adsorvente (mm.)	<0,59	0,59 – 1,00	1,18 – 2,00

Os ensaios para avaliação do processo de adsorção foram conduzidos, em frascos de Erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL da solução com concentração de 90 mg L<sup>-1</sup> de corante, sob agitação (100 rpm) e temperatura (28 °C) constantes em Incubadora de



Bancada Shaker (SL222, Solab), conforme as condições especificadas na Tabela 2, o pH foi ajustado para os valores do planejamento pela adição de HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup>.

**Tabela 02** – Matriz do Planejamento Fatorial 2<sup>3</sup> para o Processo de Adsorção de Corante Vermelho Reativo com bagaço de cana de açúcar.

Ensaio	pH	Quantidade de Adsorvente (g)	Granulometria (mm)
1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1
4	-1	-1	+1
5	+1	+1	-1
6	-1	+1	-1
7	+1	-1	-1
8	-1	-1	-1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

Para determinar a quantidade de corante adsorvido em cada amostra, foi utilizada espectroscopia UV-VIS (SP 2000 UV, *Shanghai Spectrum*), sendo a comprimento de onda de máxima absorção 540 nm. Para cálculo da concentração foi realizada curva de calibração de Concentração em função da Absorbância com as soluções padrões de corante. A equação 1 demonstra a equação encontrada com os valores para um R<sup>2</sup> de 99,98%.

$$C_c = 53,469.X - 0,2098 \quad (1)$$

Em que:

C<sub>c</sub> = Concentração do corante (mg.L<sup>-1</sup>).

X = Absorbância do corante.

Para o cálculo da capacidade de adsorção e a porcentagem de adsorção do corante foram usadas as equações 2 e 3.

$$Q_e = (C_i - C_e) \frac{V}{W} \quad (2)$$

$$\%Rem = (C_i - C_e) \frac{100}{C_i} \quad (3)$$

Em que:

Q<sub>e</sub> = Quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente (mg.g<sup>-1</sup>).

C<sub>i</sub> = Concentração inicial do corante (mg.L<sup>-1</sup>).

C<sub>e</sub> = Concentração de equilíbrio do corante (mg.L<sup>-1</sup>).

V = Volume da solução de corante usada (L).

W = Massa de adsorvente (g).

%Rem = Porcentagem de remoção (%).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos ensaios foi determinada a porcentagem de corante removida e na Tabela 3 encontram-se os valores das remoções dos corantes após tempo de contato de 10 minutos.

Com um tempo de contato de 10 minutos foi possível alcançar remoção de 26,50%, porém, nota-se que para quantidade de remoção o Q<sub>e</sub> foi de apenas 1,59 mg.g<sup>-1</sup>, ou seja, a remoção foi eficiente devido ao aumento da quantidade de material adsorvente, o que proporciona uma maior quantidade de sítios disponível para deposição das moléculas de corante.

**Tabela 03** – Respostas de remoção do corante Vermelho Reativo após tempo de contato de 10 minutos.

Ensaio	(C <sub>i</sub> ) (mg.L <sup>-1</sup> )	(C <sub>e</sub> ) (mg.L <sup>-1</sup> )	Q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	%Rem (%)
1	90	78,39	2,32	12,90
2	90	82,08	1,58	8,80
3	90	67,11	1,53	25,43
4	90	74,08	1,06	17,69
5	90	80,96	1,81	10,04
6	90	83,34	1,33	7,40
7	90	66,15	1,59	26,50
8	90	74,11	1,06	17,66
9	90	74,98	1,50	16,69
10	90	70,48	1,95	21,69
11	90	75,93	1,41	15,63

O maior Q<sub>e</sub> encontrado neste estudo foi de 2,32 mg.g<sup>-1</sup>, na condição de menor quantidade e menor granulometria, isto demonstra que mesmo reduzindo a quantidade em massa de adsorvente, pode-se atingir valores satisfatórios de quantidade máxima de adsorção, isto ocorre pois, ao reduzir o tamanho da partícula, aumenta-se a área superficial de contato, deixando maior quantidade de sítios disponíveis para deposição.

Utilizando o planejamento fatorial pode-se verificar a



influência do pH, quantidade de adsorvente e granulometria da biomassa para a adsorção do corante Vermelho Reativo. Na Tabela 4 encontra-se a estimativa dos efeitos para as variáveis de entrada do planejamento e suas interações.

Tabela 04 – Estimativas dos efeitos das variáveis independentes (pH do adsorvato, quantidade e granulometria do adsorvente) para a remoção do corante vermelho reativo.

Fatores	Efeitos	Erro Padrão	t <sub>calc</sub>	p-valor	Estimativas por intervalo (95%)	
					L Inferior	L Superior
Média*	16,36206	0,558487	29,29713	0,000000*	15,07419	17,64993
(1) pH	-0,67670	1,322463	-0,51170	0,622683	-3,72631	2,37290
(2) Quantidade*	12,15586	1,322463	9,19183	0,000016*	9,10625	15,20546
(3) Granulometria*	-6,04192	1,312599	-4,60302	0,001749*	-9,06878	-3,01506
(1) x (2)	1,27609	1,289770	0,98940	0,351446	-1,69812	4,25031
(1) x (3)	0,21445	1,322463	0,16216	0,875204	-2,83516	3,26405
(2) x (3)	-2,34018	1,322463	-1,76956	0,114762	-5,38979	0,70942

\*Fatores estatisticamente significativos (p<0,05)

Observa-se que apenas os fatores quantidade e granulometria do adsorvente (bagaço de cana-de-açúcar) foram significativos estatisticamente no processo de adsorção do corante vermelho reativo nas condições estudadas.

A Figura 1 apresenta o gráfico de Pareto que confirma os fatores significativos do processo adsorvativo, para o intervalo de confiança de 95%.

Foi realizado o teste t-student para determinar se os efeitos calculados foram diferentes de zero, estes valores podem ser visualizados na Tabela 4, assim como estão dispostos no gráfico de Pareto em colunas horizontais (PONNUSAMI et al., 2007).

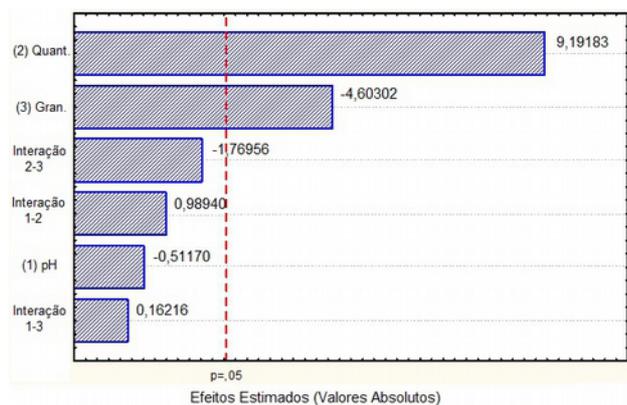


Figura 01 – Gráfico de Pareto para o Processo de Adsorção do Corante Vermelho Reativo utilizando bagaço de cana de açúcar.

Valores posicionados ao lado esquerdo da linha de referência, ou seja, são valores não significativos, já os valores que estão posicionados ao lado direito, ou seja, transpassam a linha de referência, são valores

significativos para um intervalo de confiança de 95% (MATHIALAGAN E VIRARAGHAVAN, 2009).

Este teste mostrou que para a variável dependente, remoção de corante vermelho reativo, o efeito da quantidade e granulometria do adsorvente foram muito significativos com  $p < 0,000016$  e  $p < 0,01749$ , respectivamente. Para o efeito da quantidade observa-se um valor positivo, que indica que quanto maior a quantidade de adsorvente melhor a remoção e o efeito da granulometria apresentou valores negativos, indicando assim que quanto menor a granulometria melhor remoção, justificando-se assim, que haverá uma maior adsorção quando se tem uma maior área superficial do adsorvente.

A reta de equalidade demonstrada na Figura 2, mostra que houve pouca dispersão dos pontos em torno da reta, indicando que o modelo matemático proposto apresenta grande confiabilidade e que dentro da faixa de estudo das variáveis, o modelo consegue explicar.

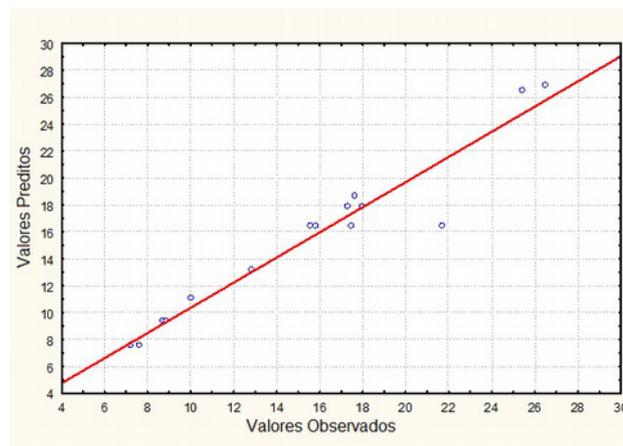


Figura 02 – Relação entre os valores observados e previstos pela equação.

A Figura 3 representa a superfície de resposta para a interação quantidade – granulometria em relação a resposta, porcentagem de remoção de corante vermelho reativo.

O que também pode ser visualizado na Figura 4, mostrando os níveis onde há uma tendência para as maiores remoções, sendo útil na compreensão dos efeitos principais e a interação dos fatores (BINGOL et al., 2010).

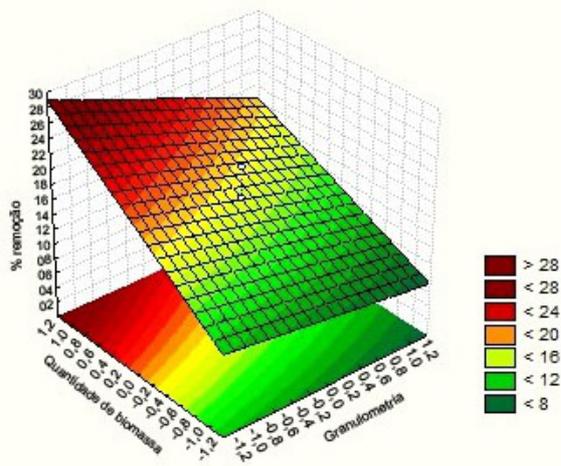


Figura 03 – Superfície de resposta para a variável independente remoção de corante vermelho reativo no experimento fatorial  $2^3$  na interação quantidade \* granulometria do adsorvente bagaço de cana-de-açúcar.

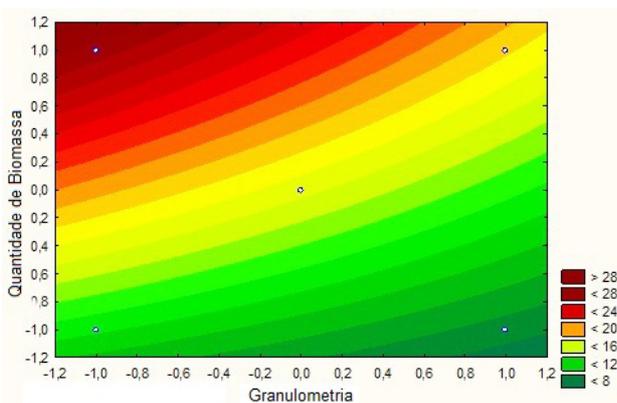


Figura 04 – Gráfico de Contorno da variável independente resposta da remoção de corante Vermelho Reativo no experimento fatorial  $2^3$  na interação quantidade \* granulometria do adsorvente bagaço de cana-de-açúcar.

Nota-se que a maior remoção ocorreu quando se utiliza uma maior quantidade de biomassa, assim como quando utiliza-se os menores valores de granulometria, onde a remoção foi de aproximadamente 25% com um tempo de contato de 10 minutos. Espera-se que aumentando o tempo de contato entre adsorvente e adsorbato a porcentagem de remoção seja próxima de 100%, tendo em vista que o bagaço de cana-de-açúcar é um material lignocelulósico, os quais apresentam excelentes características adsorptivas.

Estes resultados são esperados, visto que aumentando a quantidade de adsorvente, maior será a adsorção, ou seja, maior a disponibilidade de poros para a adsorção, assim como diminuindo a granulometria,

aumenta-se a área superficial, ou seja, área de contato do adsorvente e com isso ocorre o aumento dos sítios disponíveis o que proporciona uma maior adsorção do corante.

Robinson et al. (2002) obtiveram 91% de remoção de cor de efluente têxtil sintético utilizando como material adsorvente o bagaço de maçã com um tamanho de partícula de 600  $\mu\text{m}$  e 81% com a partícula com tamanho de 2 mm X 4 mm, ou seja, quanto menor o tamanho da partícula, maior será a área superficial de contato entre o adsorvente e o adsorbato, com um tempo de contato de 50 minutos.

Processos adsorptivos onde a velocidade de remoção é rápida são de grande interesse industrial, pois se reduz o tempo de tratamento dos efluentes além de que demonstra uma forte característica de processos de adsorção físicos, os quais podem ser reversíveis e a biomassa pode ser reutilizada. Kyzas et al. (2012) realizaram ensaios de dessorção e reúso em resíduos de café após ter passado por processo de adsorção e obtiveram resultados satisfatórios, sendo que a redução do potencial de remoção foi de aproximadamente 10%, os autores explicam que isto ocorre devido a saturação de alguns sítios por moléculas de corante, pela degradação do material por trabalhar em condições extremas de pH no processo de dessorção, estes ensaios somente são possíveis pois o processo de adsorção é físico, onde não há reação química entre adsorvente e adsorbato.

A faixa de pH utilizada (5,0 – 6,0) não teve significância no processo de remoção do corante. Esta resposta pode ter ocorrido, pois a faixa utilizada foi muito reduzida. Mall et al. (2006), realizaram estudos de adsorção de um corante e encontraram valores de remoção mais satisfatórios em pH entre 3 e 4, as faixas de pH utilizadas dependem muito da característica do corante, assim como da característica do adsorvente, Kyzas et al. (2012) utilizando o mesmo material adsorvente obtiveram diferentes respostas em relação ao pH ao trabalhar com corantes diferentes, o corante Azul brilhante Remazol apresentou melhores respostas com pH ácido, já o corante Azul básico 3G apresentou



melhores respostas em pH alcalino.

A equação 4 encontrada para níveis codificados apresenta um  $R^2 = 93,50\%$ , o que demonstra grande confiabilidade.

$$\text{Rem}\% = 16,362 + 6,078 x_{\text{qtde}} - 3,021 x_{\text{gran}} - 1,170 x_{\text{qtde}} x_{\text{gran}} \quad (4)$$

Em que,

$x_{\text{qtde}}$  = nível codificado para a quantidade de adsorvente

$x_{\text{gran}}$  = nível codificado para a granulometria do adsorvente

A partir dos dados obtidos foi possível encontrar uma equação matemática que representa a remoção do corante vermelho reativo para as condições estudadas nesta pesquisa, proporcionando a determinação do comportamento de adsorção em diferentes quantidades de adsorvente e granulometria dentro da faixa trabalhada neste estudo.

#### 4. CONCLUSÃO

O bagaço de cana-de-açúcar apresentou ser uma boa alternativa no processo de remoção de corante têxtil vermelho reativo em meio aquoso sintético, por ser um biossorvente de baixo custo, por ser um resíduo de outros processos industriais, tais como os processos sucroalcooleiros e que não necessita de tratamento prévio, além da redução da granulometria. Podendo ser utilizado como meio complementar de tratamento de efluentes da indústria têxtil, tendo em vista que os processos de tratamentos em lagoas com utilização de lodos ativados não obtêm êxito na remoção da coloração de tais efluentes, pois se trata de uma molécula complexa e de difícil degradação e o emprego de apenas esta técnica não atinge os padrões estabelecidos pela legislação.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o Departamento de Química e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

## Study of the potential of color removal of wastewater using synthetic marc de cane sugar through planning factor $2^3$

**Abstract** – Industrial textile effluents cause serious pollution problems due to the presence of dyes, the class of reactive being, the most worrisome as they are not easily degraded by conventional biological processes. Currently, there is a high number of adsorption on adsorbents with new searches from natural sources and that they have good adsorption capacity, especially of these pollutants. Thus, the objective of this research was to evaluate the efficiency of removal of reactive red textile dye using bagasse from sugar as an alternative method in the treatment of textile effluents. For this, was applying a  $2^3$  factorial design with three replications at the center point, as independent variables were assessed amount (0.5 to 1.5 g.100 mL<sup>-1</sup>) and particle sizes (<0.59 mm, 0.59 - 1.00 mm 1.18 to 2.00 mm) of the adsorbent and adsorbate pH (5.0 to 6.0). ANOVA results showed that the amount and size of the adsorbent are statistically significant with a range of 95% confidence interval for the studied system. This agroindustrial residue inexpensive demonstrated potential for the red reactive adsorption process.

**Keywords:** adsorption. reactive red. agroindustrial residue.

#### REFERÊNCIAS

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2012** - Companhia Nacional de

Abastecimento. – Brasília: Conab 2012.

ANNADURAI, G., JUANG, R.; LEE, D. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. v. 92, p. 263–



274, 2002.

BASAVARAO, V.; RAMMOHANRAO, S. Adsorption studies on treatment of textile dyeing industrial effluent by flyash. *Chemical Engineering Journal*, v.116, n. 1, p. 77–84, 2006.

BINGOL, D., TEKIN, N.; ALKAN, M. Brilliant Yellow dye adsorption onto sepiolite using a full factorial design. *Applied Clay Science*, v. 50, n. 3, p. 315–321, 2010.

HAN, R. et al. Biosorption of methylene blue from aqueous solution by rice husk in a fixed-bed column. *Journal of Hazardous Materials*, v. 141, p. 713–718, 2007.

HO, Y.S. ; MCKAY, G. Sorption of dyes and copper ions onto biosorbents. *Process Biochemistry*, v. 38, p. 1047–1061, 2003.

KYZAS, G.Z., LAZARIDIS, N.K.; MITROPOULOS, A.C. Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost adsorbents: Equilibrium, reuse and thermodynamic approach. *Chemical Engineering Journal*, v. 190, p. 148–159, 2012.

MATHIALAGAN, T.; VIRARAGHAVAN, T. Biosorption of pentachlorophenol from aqueous solutions by a fungal biomass. *Bioresource technology*, v. 100, n. 2, p. 549–58, 2009.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2014. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. Acesso em: 22 nov. 2014.

PONNUSAMI, V. et al. Biosorption of reactive dye using acid-treated rice husk: factorial design analysis. *Journal of hazardous materials*, v. 142, n. 2, p. 397–403, 2007.

ROBINSON, T. et al. Remediation of dyes in textile effluent : a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, v. 77, p. 247–255, 2001.

ROBINSON, T.; CHANDRAN, B.; NIGAM, P. Removal of dyes from a synthetic textile dye effluent by biosorption on apple pomace and wheat straw. *Water Research*, v. 36, p. 2824–2830, 2002.

SENTHIL KUMAR, P. et al. Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. *Desalination*, v. 261, n. 2, p. 52–60, 2010.

VADIVELAN, V.; KUMAR, K.V. Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 286, p. 90–100, 2005.

Correspondência:

Gabriel Dall Orsoletta

[gabriel.orsoletta@gmail.com](mailto:gabriel.orsoletta@gmail.com), UTFPR Câmpus Pato Branco, Pato Branco, Brasil.

Recebido: 30/07/2014

Aprovado: 07/04/2015

Como citar: ORSOLETTA, Gabriel Dall; ROCHA, Raquel Dalla Costa da. Estudo do potencial de remoção de corante em efluente sintético utilizando bagaço de cana-de-açúcar por meio de planejamento fatorial 2<sup>3</sup>. *Syn. Scy. UTFPR*, Pato Branco, v. 10, n. 1, p. 74–80, jan./mar. 2015. ISSN 2316-4689 (Eletrônico). Artigos convidados da SIMTEQ 2014, Pato Branco-PR. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/synscy>>. Acesso em: DD mmm. AAAA.

DOI: “em processo de registro”

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.