

Otimização do processo de remoção do corante preto de remazol B por uso de biomassa mista de *Aspergillus niger* van Tieghem, 1867 (Ascomycota: Trichocomaceae) e *Pennisetum purpureum* Schumach., 1827 (Poales: Poaceae)

Iranildo José da Cruz Filho¹, Hanna Katarina Lopes Ferreira^{1*}, Samyla Kelly Gomes da Silva², Suellen Emilliany Feitosa Machado¹, Léa Elias Mendes Carneiro Zaidan¹, Valmir Felix de Lima¹, Olga Martins Marques¹, Agrinaldo Jacinto do Nascimento Junior³

¹Universidade Federal de Pernambuco. *Campus* Recife. Av. Professor Moraes Rego, 1235. Cidade Universitária. Recife-PE. Brasil. (CEP 50670-901).

*E-mail: hannahkatarina0@gmail.com.

²Graduanda em Química Industrial. Universidade Federal de Pernambuco. *Campus* Recife. Av. Professor Moraes Rego, 1235. Cidade Universitária. Recife-PE. Brasil. (CEP 50670-901).

³Instituto Federal, de Educação Ciência e Tecnologia do Paraná. *Campus* Paranavaí. Rua José Felipe Tequinha, 1400. Jardim das Nações. Paranavaí-PR. Brasil (CEP 87703-536).

Resumo. As indústrias do setor têxtil geram no final de seu processo efluentes com elevada carga orgânica, substâncias tóxicas e cor. O lançamento dessas águas residuais nos corpos hídricos, pode causar sérios problemas do ponto de vista ambiental. Dentre as tecnologias destinadas à remoção de cor destaca-se a biossorção, um processo de captação passiva onde os poluentes depositam-se na superfície de materiais de origem biológica (biossorbentes). As vantagens da biossorção em relação aos métodos convencionais de tratamento são a alta seletividade e eficiência, baixo custo e regeneração do material. Considerando esse fato, o objetivo desse trabalho foi produzir um biossorvente misto utilizando o fungo *Aspergillus niger* van Tieghem, 1867 (Ascomycota: Trichocomaceae) crescido em *Pennisetum purpureum* Schumach., 1827 (Poales: Poaceae) (capim elefante), para a remoção do corante têxtil preto de remazol B pelo processo de biossorção. Para os ensaios de remoção foi aplicado um planejamento fatorial 2⁵ a fim de analisar a influência das variáveis: pH (2,0, 3,5 e 5,0), agitação (150, 200 e 250 rpm), temperatura (30, 40 e 50 °C), concentração de corante (25, 55 e 85 mg L⁻¹) e quantidade de biossorvente misto (0,5, 1,5 e 2,5 g). A melhor condição obtida no planejamento foi pH 2,0, temperatura de 50 °C, agitação de 150 rpm, concentração de biomassa de 0,5 g e concentração de corante de 25 mg·L⁻¹, resultando numa remoção de 96,80%. O estudo permitiu verificar que a utilização de biomassa fúngica associada a um vegetal pode se tornar uma nova alternativa barata e eficiente para o tratamento de efluentes têxteis.

Recebido:
21/07/2016

Aceito:
27/12/2016

Publicado:
31/12/2016



Acesso Aberto
Artigo completo



ORCID

0000-0002-5466-6567
Iranildo José da Cruz
Filho
 0000-0002-3252-5421
Hanna Katarina Lopes
Ferreira

Palavras-chave: Biossorção; Corantes têxteis; Tratamento de efluentes têxteis.

Abstract. *Optimization of the remazol B black dye removal process using mixed biomass of *Aspergillus niger* van Tieghem, 1867 (Ascomycota: Trichocomaceae) and *Pennisetum purpureum* Schumach., 1827 (Poales: Poaceae).* The industries of the textile sector generate at the end of your process wastewater with high organic load, toxic substances and color. The launch of such waste water into water bodies, can cause serious problems from an environmental point of view. Among the technologies for color removal highlights the biosorption, one passive capture process where the pollutants are deposited on the surface of biological materials (biosorbents). The advantages of biosorption over conventional methods of treatment are: selectivity and high efficiency, low cost and regeneration of the material. Considering this fact the objective of this work was to produce a mixed biosorbent using the fungus *Aspergillus niger* van Tieghem, 1867 (Ascomycota: Trichocomaceae) grown in *Pennisetum purpureum* Schumach., 1827 (Poales: Poaceae) (elephant grass), for the removal of textile dye black Remazol B by biosorption process. For the removal tests it was applied a factorial design 2^5 in order to analyze the influence of variables pH (2.0, 3.5 and 5.0), agitation (150, 200 and 250 rpm), temperature (30, 40 and 50 °C) and dye concentration (25, 55 and 85 mg·L⁻¹), and a mixed biosorbent (0.5, 1.5 and 2.5 g). The best condition obtained in the planning was: pH 2.0, 50 °C, agitation of 150 rpm, biomass concentration of 0.5 g and dye concentration of 25 mg·L⁻¹, resulting in the removal of 96.80%. The study showed that the use of fungal biomass associated with a vegetable can become a new inexpensive and efficient alternative for the treatment of textile effluents.

Keywords: Biosorption; Textile dyes; Treatment of textile effluents.

Introdução

O crescimento econômico do setor têxtil brasileiro resulta em melhores condições de vida à população ao gerar novos empregos e qualificar mão de obra. Ao mesmo tempo, esse setor pode causar grandes danos ao meio ambiente ao majoritariamente lançar efluentes impregnados de corantes têxteis nos corpos hídricos (Kunz, et al., 2002; Akhtar et al., 2016; Resta et al., 2016). Os corantes têxteis utilizados atualmente são compostos orgânicos sintéticos, cuja finalidade é colorir fibras sintéticas ou naturais. Normalmente, a estrutura molecular destes corantes sintéticos apresenta dois constituintes principais: o grupo cromóforo, responsável pela coloração da fibra; e outro grupo funcional, responsável pela fixação

na fibra dos tecidos (Cardoso et al., 2011; Kunz, et al., 2002; Teli, 2016). Esses compostos podem ser classificados de acordo com sua estrutura química e pelo método de fixação na fibra têxtil. Dentre os corantes mais utilizados pelas indústrias estão os do tipo azóico, caracterizados quimicamente pela presença de ao menos um grupo azo (-N=N-), fixam-se a fibra através de ligação química (Kunz, et al., 2002; Dang et al., 2016). Os produtos destas reações com os corantes apresentam colorações resistentes à água e ao sabão. São conhecidos cerca de 10 mil tipos de corantes com uma produção mundial de aproximadamente 900 mil toneladas por ano. Além disso, estima-se um consumo anual aproximado de mais de 20 mil toneladas destes corantes somente pelas

- 0000-0003-0061-0565
Samyla Kelly Gomes da Silva
- 0000-0001-5608-1768
Suellen Emilliany Feitosa Machado
- 0000-0003-4959-2687
Léa Elias Mendes Carneiro Zaidan
- 0000-0003-0280-1533
Valmir Felix de Lima
- 0000-0002-1974-0733
Olga Martins Marques
- 0000-0001-9717-926X
Agrinaldo Jacinto do Nascimento Junior

indústrias do setor têxtil (Dallago e Smaniotto, 2005; Rawat et al., 2016).

A contaminação de corpos hídricos por corantes têxteis tende a diminuir a quantidade da passagem de luz solar causando uma diminuição das atividades fotossintéticas prejudicando a biota (Mahmoodi et al., 2010). Conseqüentemente, a oxigenação da água tende a diminuir resultando muitas vezes em desequilíbrios ecológicos, além disso, a presença dos corantes têxteis torna a água imprópria para o consumo humano (Cordeiro et al., 2015). Diante deste problema, tecnologias são desenvolvidas ou melhoradas para remover a cor dos efluentes têxteis. De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos hídricos após o devido tratamento, e que não apresentem efeitos tóxicos (Brasil, 2011). Logo, estas tecnologias destinadas à remoção da cor dos efluentes são medidas importantes, pois são destinadas ao controle da poluição do meio ambiente. O impacto destas ações reflete favoravelmente na economia e numa melhor qualidade de vida (Cordeiro et al., 2015). A biossorção é uma das tecnologias mais utilizadas na remoção de corantes têxteis devido ao baixo custo e o uso comum na reutilização de materiais. É um fenômeno físico-químico, que consiste na concentração espontânea de contaminantes na superfície de sólidos biológicos ou seus derivados, é um processo passivo, rápido, reversível e independente de energia metabólica (Kyzas et al., 2012). Dentre os mecanismos envolvidos no processo biossortivo, destacam-se troca iônica, complexação, precipitação e cristalização.

Algumas espécies de fungos são utilizadas como agentes biorremediadores, é o caso de *Aspergillus niger* van Tieghem, 1867 (Ascomycota: Trichocomaceae), conhecida por adsorver corantes e também por aproveitá-los como substrato nutritivo, transformando-os em compostos não tóxicos ou de baixa toxicidade (Bishnoi e Garima, 2005). As paredes dos fungos contêm grandes quantidades de

polissacarídeos e proteínas, as quais possuem diversos grupos funcionais, tais como carboxilas, hidroxilas, sulfatos, fosfatos e grupos amina, potencialmente capazes de remover contaminantes. Dessa forma, esses microrganismos podem se enquadrar como bons biossorbentes no tratamento de efluentes. Justamente por isso, o objetivo deste trabalho, foi avaliar a remoção do Preto de Remazol B, um dos corantes mais populares no beneficiamento têxtil, devido ao seu alto grau de fixação e estabilidade pelo uso da biomassa mista de *Aspergillus niger* e *Pennisetum purpureum* Schumach., 1827 (Poales: Poaceae) como biossorvente.

Materiais e Métodos

Corante

O corante utilizado neste experimento foi o Preto de Remazol B (PRB) (Figura 1), cuja massa e fórmula molecular são $991,82 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ e $\text{C}_{26}\text{H}_{21}\text{N}_5\text{Na}_4\text{O}_{19}\text{S}_6$, respectivamente. Apresenta comprimento de onda de máxima absorção na faixa de 597 nm (Silva et al., 2007). A quantificação da concentração do corante em cada etapa do processo de remoção foi avaliada através da leitura da absorbância a 597 nm, a 30 °C e convertida em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ através de uma curva analítica na faixa de 5 a 30 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

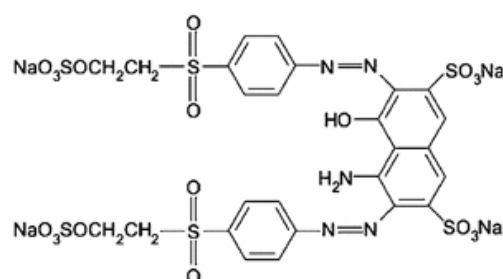


Figura 1. Estrutura molecular do corante Preto de Remazol B (Murugesan et al., 2007).

Produção do biossorvente misto *Pennisetum purpureum* (capim elefante). *Pennisetum purpureum* (PP) foi coletada em um canteiro específico, pertencente ao Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal Rural de

Pernambuco (UFRPE). Em seguida, foi cortada, lavada com água destilada e seca a 75 °C, por 72 h. Depois de seca foi triturada em moinho de facas, tamisada em peneiras de Tyler (1,43 mm).

Aspergillus niger. Foi utilizada a cultura pura do fungo *Aspergillus niger* (ATCC 1015), pertencente à Coleção de Microrganismos, do Laboratório de Microbiologia Industrial, do Departamento de Engenharia Química (DEQ), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O micro-organismo foi previamente cultivado por cinco dias a 30 °C em tubos contendo 10,0 mL de caldo Czapeck (CZ), com a seguinte composição ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$): NaNO_3 (3,0), K_2HPO_4 (1,0); MgSO_4 (0,50), KCl (0,5), FeSO_4 (0,01), Sacarose (30,0). Após este período, os conteúdos dos tubos foram transferidos para frascos de Roux de capacidade de 500 mL, contendo 200 mL do meio CZ solidificado com $16 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de ágar. Estes foram incubados a 30 °C, por cinco dias, e após esse tempo os esporos do fungo foram removidos e postos em suspensão aquosa. Avaliou-se a concentração celular da solução usando-se a técnica de contagem de esporos pelo uso de uma Câmara de Neubauer, ajustando-a a uma concentração de 10^7 esporos $\cdot\text{mL}^{-1}$.

Produção do biossorbente misto.

Um volume de 5,0 mL de suspensão de esporos foi transferido para um frasco de Erlenmeyer previamente esterilizado contendo 250 mL de caldo CZ modificado, tendo 67% de (PP) e 33% de sacarose. O sistema foi mantido sob agitação de 200 rpm a 30 °C, por 72 h. Todo o processo foi realizado em condições assépticas. A biomassa produzida foi autoclavada a 121 °C, durante 30 min, filtrada e em seguida lavada com água estéril e seca a 75 °C, por 72 h.

Planejamento experimental

Para avaliar o processo de remoção, foi empregada a técnica de planejamento fatorial em dois níveis. Esta metodologia utiliza ferramentas estatísticas para avaliar a eficiência de um sistema e consiste em se

organizar as variáveis estudadas, em uma série de experimentos, variando-as em níveis altos (+1), níveis baixos (-1) e ponto médio (0). Dessa forma, foi realizado um planejamento fatorial 2^5 completos, totalizando, assim, 35 experimentos (Barros Neto et al., 1996). As variáveis estudadas foram: pH das soluções do corante PRB 2,0; 3,5 e 5,0 (-1, 0 e +1), temperatura 30; 40 e 50 °C (-1, 0 e +1), agitação 150, 200 e 250 rpm (-1, 0 e +1), quantidade de biossorbente (biomassa) 0,5; 1,5 e 2,5 g (-1, 0 e +1) e concentração de corante 25, 55 e 85 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (-1, 0 e +1). Os experimentos foram realizados em ordem aleatória e a resposta foi avaliada em função do percentual de remoção R (%) calculado pela Equação 1. As análises foram realizadas utilizando o software Statística® 8.0.

$$R(\%) = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Onde: C_0 é a concentração inicial de corante PRB ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e C_f é a concentração de corante PRB ao final do processo ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Resultados e discussão

Com o intuito de se obter a melhor condição de processo de remoção, foi realizado um planejamento fatorial completo 2^5 acrescidos de três pontos centrais para avaliar a influência das variáveis: pH, temperatura, agitação, quantidade de biossorbente (biomassa) e concentração de corante. A seguir estão listados os resultados obtidos para cada ensaio de remoção (E): E₁ (2, 30, 150, 0,5, 25, 89,02); E₂ (5, 30, 150, 0,5, 25, 9,86); E₃ (2, 50, 150, 0,5, 25, 96,80); E₄ (5, 50, 150, 0,5, 25, 6,88); E₅ (2, 30, 250, 0,5, 25, 2,88); E₆ (5, 30, 250, 0,5, 25, 17,12); E₇ (2, 50, 250, 0,5, 25, 7,66); E₈ (5, 50, 250, 0,5, 25, 26,38); E₉ (2, 30, 150, 2,5, 25, 53,99); E₁₀ (5, 30, 150, 2,5, 25, 3,32); E₁₁ (2, 50, 150, 2,5, 25, 63,54); E₁₂ (5, 50, 150, 2,5, 0,5, 5,34); E₁₃ (2, 30, 250, 2,5, 25, 21,18); E₁₄ (5, 30, 250, 2,5, 25, 8,57); E₁₅ (2, 50, 250, 2,5, 25, 1,25); E₁₆ (5, 50, 250, 2,5, 25, 1,75); E₁₇ (2, 30, 150, 0,5, 85, 55,30); E₁₈ (5, 30, 150, 0,5, 85, 26,46); E₁₉ (2, 50, 150, 0,5, 85, 74,56); E₂₀ (5, 50, 150, 0,5, 85,

23,11); E₂₁ (2, 30, 250, 0,5, 85, 50,74); E₂₂ (5, 30, 250, 0,5, 85, 29,28); E₂₃ (2, 50, 250, 0,5, 85, 64,12); E₂₄ (5, 50, 250, 0,5, 85, 27,57); E₂₅ (2, 30, 150, 2,5, 85, 73,34); E₂₆ (5, 30, 150, 2,5, 85, 28, 16); E₂₇ (2, 50, 150, 2,5, 85, 74,50); E₂₈ (5, 50, 150, 2,5, 85, 76,88); E₂₉ (2, 30, 250, 2,5, 85, 48,93); E₃₀ (5, 30, 250, 2,5, 85, 28,74); E₃₁ (2, 50, 250, 2,5, 85, 36,29); E₃₂ (5, 50, 250, 2,5, 85, 22,08); E₃₃ (3,5, 40, 200, 1,5, 55, 30,66); E₃₄ (3,5, 40, 200, 1,5, 55, 29,49) e E₃₅ (3,5, 40, 200, 1,5, 55, 29,43).

Conforme as condições utilizadas no processo, a melhor porcentagem de remoção do corante PRB foi de 96,80%, obtida no Ensaio 3. Observa-se também que os pontos centrais para a resposta, apresentaram uma pequena variação da porcentagem o que indica uma boa reprodutibilidade do processo (Barros Neto et al., 1996). Os efeitos das variáveis e os respectivos erros foram calculados a um limite de confiança estatística de 95%. Os resultados foram obtidos através da análise de resíduos, e a qualidade do ajuste do modelo baseada na ANOVA.

A soma quadrática residual (850,78), foi obtida somando-se o erro puro (0,96) com a falta de ajuste (849,82). A soma quadrática da regressão (21522,08) é calculada pela diferença entre a soma quadrática total (22372,86) e a soma quadrática residual (850,78). A média quadrática residual (94,53) e da regressão (860,92) foram calculadas pela divisão da soma quadrática residual e da regressão e seus respectivos graus de liberdade (9 e 25). O valor estatístico do teste F de Fischer é a razão entre a média quadrática da regressão e a média quadrática residual. O coeficiente de determinação (R^2) fornece uma medida da proporção da variação, explicada pela equação de regressão em relação à variação das respostas (Barros Neto et al., 2007). A porcentagem de variação explicada pela regressão foi dada pela razão entre a soma quadrática devido à regressão e a soma quadrática total (96,20%). A diferença entre o valor da porcentagem da variação explicada (96,20%) e o valor da porcentagem máxima de variação explicável (99,99%), foi de 3,79%, esta diferença é considerada pequena, indicando

assim que houve um bom ajuste do modelo. Para Barros Neto et al. (1996), o valor de F calculado (9,12) para a regressão deve ser pelo menos 3 a 4 vezes maior que o valor de F tabelado (2,24) valor crítico referente ao teste, indicando assim a validade estatística do modelo, assim rejeita-se a hipótese nula do teste F: as diferentes condições de processo apresentaram resultados médios iguais entre si.

A Figura 3A mostra o diagrama de Pareto com os resultados do teste de significância dos efeitos principais, a um nível de confiança de 95% ($p=0,05$), representado pela linha vertical tracejada em vermelho. As alturas das barras fornecem as contribuições relativas das variáveis na função resposta, percentual de remoção do corante. A Figura 3B mostra o gráfico dos valores preditos e observados.

Para o percentual de remoção o gráfico da Figura 3A indica que foram significativos, em ordem decrescente os efeitos principais: pH das soluções do corante PRB, agitação, quantidade de biossorvente (biomassa), concentração de corante e temperatura. O gráfico da Figura 3B relaciona os valores preditos e observados. Os resultados indicam que os fatores, concentração de corante e quantidade de biossorvente estão relacionados com a força motriz que causa a transferência de massa entre as fases. A variável quantidade de biomassa apresentou efeito negativo, resultado semelhante aos obtidos por Crini et al. (2007) e Weng et al. (2009), sugerindo que com o aumento do número de sítios disponíveis para a biossorção deve ocorrer uma redução da concentração de corante na fase líquida, e com isso a redução dessa força motriz. Já a concentração de corante apresentou efeito positivo, quanto maior sua concentração maior será a diferença de concentrações na fase fluida e no biossorvente, aumentando a força motriz (Piccin et al., 2011).

Os resultados ainda apontam que o processo não é favorecido pelo aumento do pH, isto é, em soluções mais ácidas há uma melhor remoção, pois, a biossorção de corantes é influenciada pela carga superficial do material e pelo grau de ionização do corante (Cardoso et al., 2011).

Como o valor do pH da solução influencia significativamente na eficiência do processo, a variação deste fator faz com que o biossorvente apresente superfície positiva, favorecendo a biossorção de ânions (Kumar e Barak, 2013). Além da protonação em grupos funcionais na superfície do biossorvente, a molécula do corante também apresenta alguns grupos funcionais passíveis de protonação com a diminuição do pH. Mesmo assim, o grupo sulfônico presente no corante preserva a sua forma

aniônica já que seu pK_a é inferior a 1. Essa interação de cargas (positivas e negativas) sugere que a biossorção ocorra via grupos protonados do material com grupos aniônicos do PRB (Cardoso et al., 2011). Já com o aumento do pH da solução, embora o corante permaneça na forma aniônica, deverá haver uma diminuição de sítios protonados na superfície do biossorvente, ocasionando a diminuição da capacidade biossorbitiva devido ao aumento e repulsão de cargas negativas (Kumar e Barak, 2013).

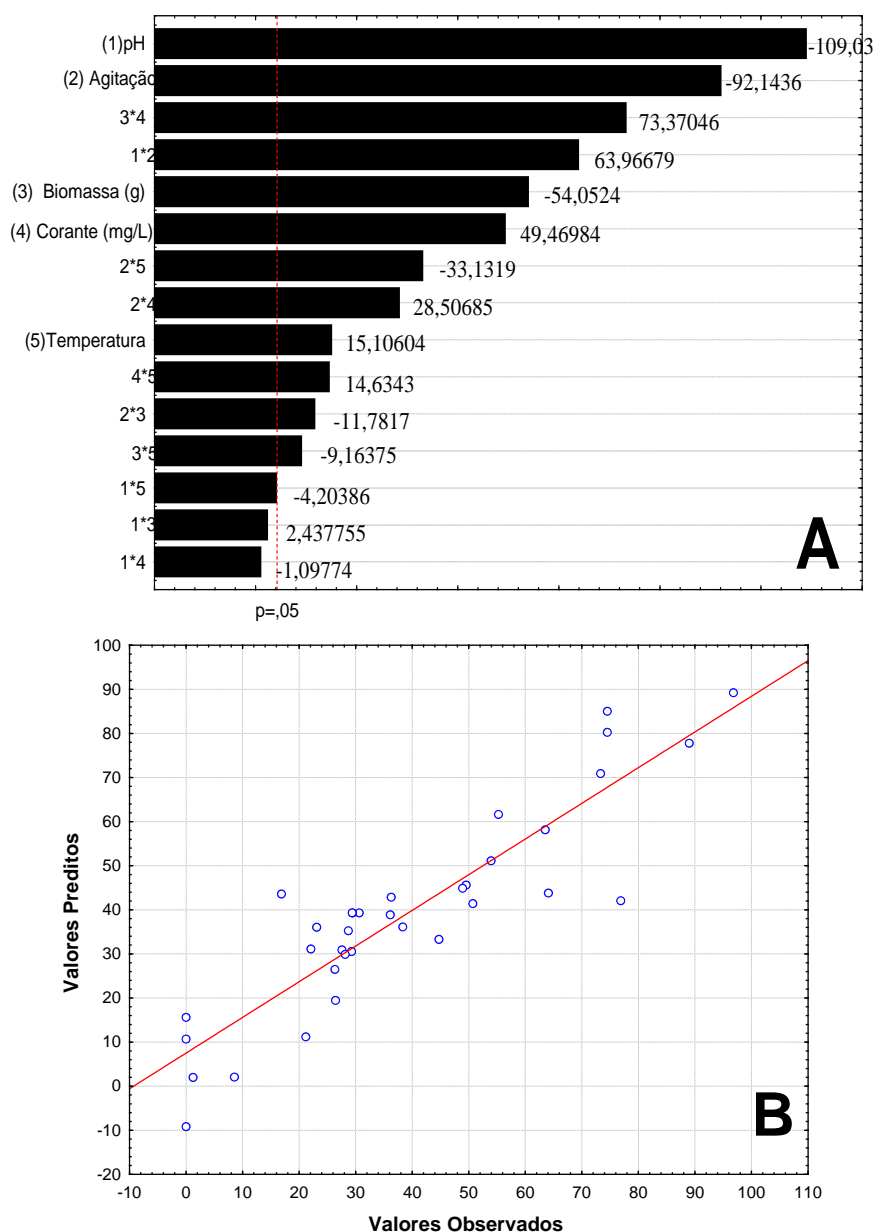


Figura 3. A) Diagrama de Pareto do planejamento fatorial 2^5 tendo como resposta o percentual de remoção. B) Diagrama de preditos versus observados.

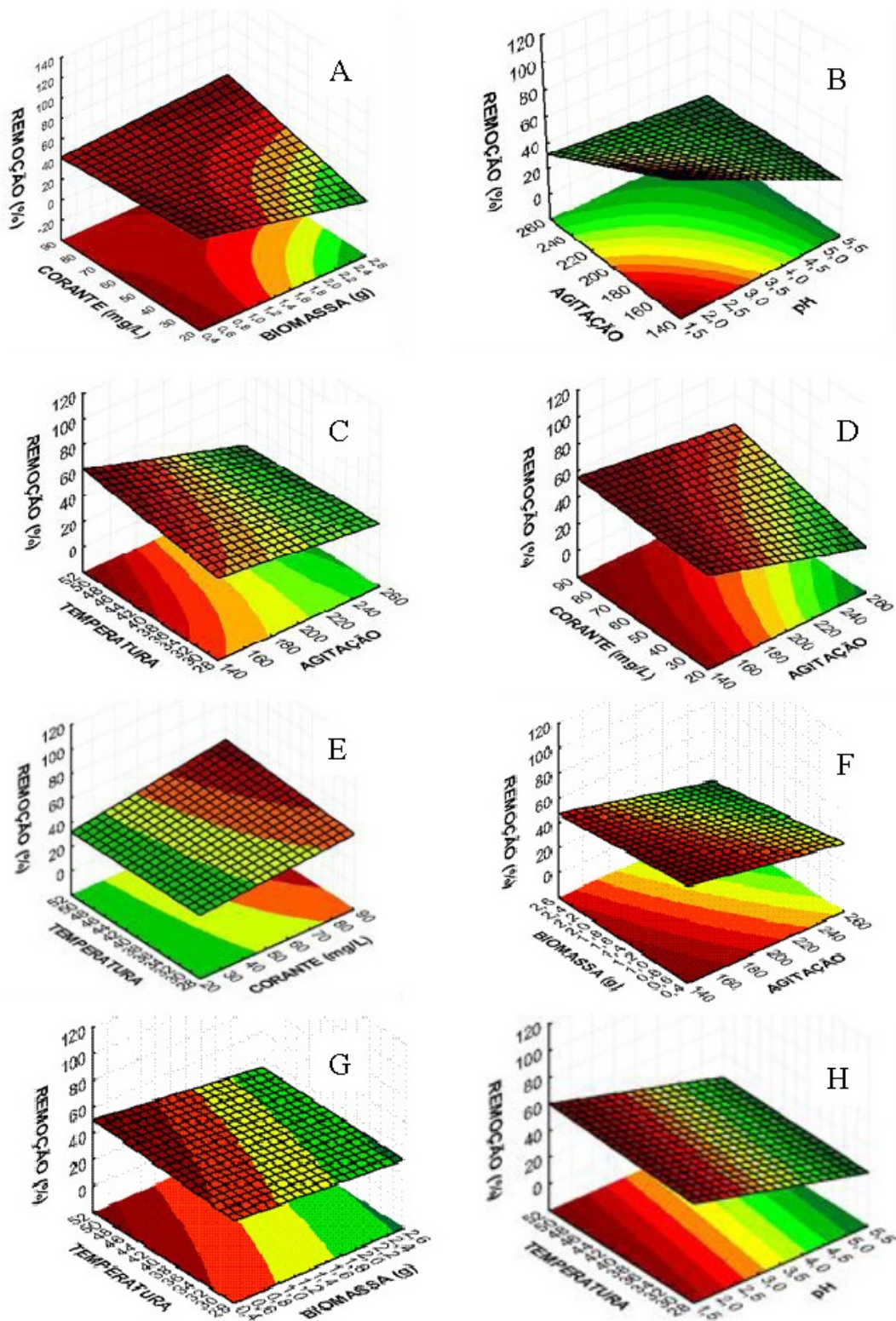


Figura 4. Superfícies de resposta das interações: A) 3*4; B) 2*1; C) 2*5; D) 2*4; E) 4*5; F) 2*3; G) 3*5; H) 1*5. As variáveis são (1) pH; (2) agitação; (3) quantidade de biossorbente; (4) concentração de corante; (5) Temperatura.

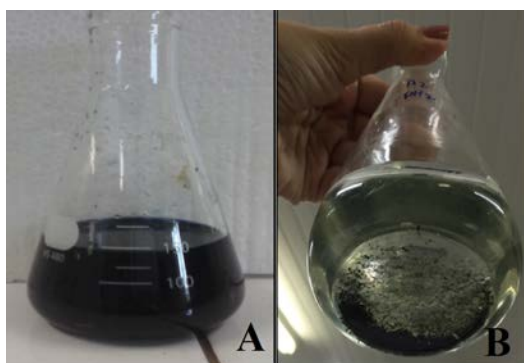


Figura 5. Efluente têxtil, antes (A) e depois (B) do processo biossortivo, respectivamente.

O aumento da temperatura provocou um efeito positivo na remoção do PRB, segundo Wang e Shu (2007), o aumento da temperatura tende a provocar um acréscimo na energia cinética e na mobilidade das moléculas do sistema, o que favorece o aumento na taxa de difusão do corante. Aksu e Tezer (2005) utilizaram algas verdes da espécie *Chlorella vulgaris* como biossorbentes para a remoção do PRB em temperaturas que variavam de 25 °C a 55 °C. Já Aravindhana et al. (2007) utilizaram como biossorbente algas da espécie *Caulerpa scalpelliformis* para remover o corante amarelo ouro básico em temperaturas entre 20 °C a 60 °C. Nos dois trabalhos os autores verificaram que em temperaturas acima de 50 °C ocorreu baixa eficiência de remoção. Os autores relacionam essa diminuição na eficiência do processo a possíveis danos nos sítios de biossorção na superfície do biossorbente, devido ao aumento da temperatura e, conseqüentemente, a atividade superficial é diminuída.

O aumento da velocidade de agitação apresentou efeito negativo, em velocidades mais baixas se tem maiores taxas de remoção. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Kyzas et al. (2012), quando investigaram o efeito da agitação na remoção de corantes utilizando resíduo industrial de café e por Cengiz et al. (2012), ao tentar remover o corante vermelho astrazon utilizando a erva marinha *Posidonia oceanica*. Esse aumento

da remoção de corante com a diminuição da frequência de agitação pode ser atribuído a possível dessorção de moléculas de PRB fracamente ligadas ao biossorbente, justificado pelo aumento na turbulência do sistema.

A Figura 4 mostra os gráficos de superfície de resposta, onde é possível verificar comparativamente a influência das variáveis na remoção do corante PRB, corroborando com os resultados observados no Diagrama de Pareto. As regiões onde o percentual de remoção é maior são representadas pelas regiões vermelho, enquanto as verdes apresentam os menores valores para a variável considerada.

O planejamento fatorial completo 2^5 auxiliou na obtenção das melhores condições para maior eficiência de remoção do PRB pelo biossorbente misto. Decodificando os valores tem-se que a melhor condição foi obtida na seguinte configuração: temperatura de 50 °C, agitação de 150 rpm, quantidade de biossorbente 0,5 g, concentração de corante 25 mg L⁻¹ e pH 2,0 em 100 mL de solução. A Figura 5 mostra o ensaio três, antes (A) e depois (B) da biossorção do corante.

Conclusão

Os resultados obtidos a partir da aplicação do planejamento fatorial, mostraram que as variáveis temperatura e pH apresentaram respectivamente a menor e maior influência no processo de remoção do corante Preto de Remazol B a partir do biossorbente misto de fungo *Aspergillus niger* crescido em *Pennisetum purpureum*. De acordo com a análise dos dados, o aumento da temperatura no ensaio três em relação ao ensaio um aumentou a eficiência de processo em 7,82%. Embora o rendimento obtido a temperatura ambiente já apresentasse uma boa eficiência de processo (89,02%). Foi observado também que, no geral quando menor a frequência de agitação durante o processo, tende a ser maior o percentual de remoção do PRB.

Deste modo, utilizar o biossorbente misto de fungo *Aspergillus niger* crescido em *Pennisetum purpureum* nas condições

ótimas aqui mostradas apresenta-se como alternativa eficiente para as indústrias têxteis na remoção de PRB dos efluentes. Esta ação contribui na redução dos impactos ambientais, causados pelo descarte inadequado de efluentes têxteis. Algumas das vantagens desse processo otimizado para a remoção do PRB foram: baixo custo, isto devido ao potencial de regeneração e reuso do biossorvente; alta eficiência na remoção do corante; rapidez e não gera efluentes intermediários tóxicos. Sendo assim a utilização de biomassa fúngica associada a um vegetal pode se tornar uma nova alternativa eficaz como biossorvente para tratamento de efluentes têxteis.

Declaração de conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

Referências

- Akhtar, M. F.; Ashraf, M.; Anjumb, A. A.; Javeeda, A.; Sharif, A.; Saleem, A.; Akhtar, B. Textile industrial effluent induces mutagenicity and oxidative DNA damage and exploits oxidative stress biomarkers in rats. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 41, p. 180-186, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2015.11.022>
- Aksu, Z.; Tezer, S. Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. **Process Bioch.**, v. 40, n. 3/4, p. 1347-1361, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2004.06.007>
- Aravindhana, R.; Rao, J. R.; Nair, B. U. Removal of basic yellow dye from aqueous solution by sorption on green alga *Caulerpa scalpelliformis*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 1/2, p. 68-76, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.07.058>
- Barros Neto, B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. **Como fazer experimentos**. 3. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2007.
- Barros Neto, B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora Unicamp, 1996.
- Bishnoi, N. R.; Garima, A. Fungus - an alternative for bioremediation of heavy metal containing wastewater: a review. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 64, n. 2, p. 93-100, 2005. Disponível em: [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/5015/1/JSIR_64\(2\)_93-100.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/5015/1/JSIR_64(2)_93-100.pdf). Acesso em: 26 jan. 2016.
- Brasil. Leis, decretos etc. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf. Acesso em: 26 jan. 2016.
- Cardoso, N. F.; Lima, E. C.; Pinto, I. S.; Amavisca, C. V.; Royer, B.; Pinto, R. B.; Pereira, S. F. Application of cupuassul sheel as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **J. Environ. Manag.**, v. 92, n. 4, p. 1237-1247, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.010>
- Cengiz, S.; Tanrikulu, F.; Aksu, S. An alternative source of adsorbent for the removal of dyes from textile waters: *Posidonia oceanica* (L.). **Chem. Engin. J.**, v. 189, p. 32-40, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.02.015>
- Cordeiro, R. B.; Alexandre, J. I. D. S.; Silva, J. P. F.; Sales, D. C. S.; Cavalcanti, L. A. P. Purificação e reutilização de águas residuárias da produção de biodiesel por meio da eletrofloculação. **Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent.**, v. 2, n. 2, p. 51-58, 2015. <http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.020205>
- Crini, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1061-1085, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.001>
- Dallago, R. M.; Smaniotto, A. Resíduos sólidos de curtumes como biossorvente para remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 433-437, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000300013>
- Dang, T.; Banerjee, A. N.; Tran, Q.; Roy, S. Fast degradation of dyes in water using manganese-oxide-coated diatomite for environmental remediation. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, v. 98, p. 50-58, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpcs.2016.06.006>
- Kumar, R., Barakat, M. A. Decolourization of hazardous brilliant green from aqueous solution using binary oxidized cactus fruit peel. **Chemical Engineering Journal**, v. 226, p. 377-383, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.063>
- Kunz, A.; Peralta, Z. P.; Moraes, S. G.; Duran, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000100014>
- Kyzas, G.; Lazaridis, N. K.; Mitropoulos, A. Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost

- adsorbents: equilibrium, reuse and thermodynamic approach. **Chemical Engineering Journal**, v. 189/190, p. 148-159, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.02.045>
- Mahmoodi, N. M.; Hayati, B.; Arami, M. Textile dye removal from single and ternary systems using date stones: kinetic, isotherm, and thermodynamic studies. **Journal of Chemical and Engineering**, v. 55, n. 11, p. 4638-4649, 2010. <http://dx.doi.org/10.1021/jc1002384>
- Murugesan, K.; Nam, I. H.; Kim, Y. M.; Chang, Y. S. Decolorization of reactive dyes by a thermostable laccase produced by *Ganoderma lucidum* in solid state culture. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 7, p. 1662-1672, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.08.028>
- Piccin, J. S.; Dotto, G. L.; Vieira, M. L. G.; Pinto, L. A. A. Kinetics and mechanism of the food dye FD&C Red 40 adsorption onto chitosan. **Journal of Chemical & Engineering**, v. 56, p. 3759-3765, 2011. <http://dx.doi.org/10.1021/jc200388s>
- Rawat, D.; Mishra, V.; Sharma, R. S. Detoxification of azo dyes in the context of environmental processes. **Chemosphere**, v. 155, p. 591-605, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.068>
- Resta, B.; Gaiardelli, P.; Pinto, R.; Dotti, S. Enhancing environmental management in the textile sector: an Organisational-Life Cycle Assessment approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 620-632, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.135>
- Silva Filho, E. B.; Alves, M. C. M.; Da Motta, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. **Revista Matéria**, v. 12, n. 2, p. 322-338, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v12n2/v12n2a10.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.
- Teli, M. D. Environmental textiles: testing and certification. In: Wang, L. **Performance testing of textiles: methods, technology and applications**. Duxford, UK: Elsevier, 2016. (Woodhead Publishing Series in Textiles). p. 177-192. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100570-5.00009-8>
- Wang, S; Zhu, Z. H. Effects of acidic treatment of activated carbons on dye adsorption. **Dyes and Pigments**, v. 75, n. 2, p. 306-314, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.06.005>
- Weng, C. H.; Lin, Y. T.; Tzeng, T. W. Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder. **J. Haz. Mat.**, v. 170, n. 1, p. 417-424, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.080>