

Remoção de cor de efluentes têxteis com cogumelos *Agaricus bispora*

Renata Lopes Landeira Silva, Maria Alice Zarur Coelho e Magali Christe Cammarota*

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Pedro Calmon, 550, 21941-901, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: christe@eq.ufrj.br

RESUMO. O emprego direto de cogumelos *Agaricus bispora* foi avaliado para a remoção de cor de uma mistura sintética de corantes reativos. Avaliou-se o efeito da granulometria das partículas (cubos de 0,5 ou 1,0 cm e cogumelos moídos), da massa de cogumelos (10, 20, 40, 60 ou 80 g em 250 mL de solução) e de diferentes formas de tratamento do cogumelo sobre a remoção de cor de uma solução sintética dos corantes Reactive Yellow 37, Reactive Black 5 e Reactive Red na concentração de 13,3 mg L⁻¹ cada corante. Os melhores resultados foram obtidos para maiores áreas superficiais de contato do cogumelo (cogumelo moído) com o efluente colorido e sob aeração contínua. A adição de acetona durante o processo de moagem, seguido de congelamento, contribuiu para o aumento da remoção de cor, obtendo-se os melhores resultados: 73% após 6h, com 20 g de biocatalisador 250 mL⁻¹ de efluente. A utilização de diferentes lotes e marcas de cogumelo levou à obtenção de diferentes atividades enzimáticas, mas percentuais similares de remoção de cor, indicando que a remoção de cor não possui relação direta com a atividade enzimática.

Palavras-chave: corantes, efluentes têxteis, tirosinase, tratamento enzimático.

ABSTRACT. Decolorization of textile effluent with mushroom *Agaricus bispora*.

The direct application of *Agaricus bispora* mushroom was evaluated for decolorization of a synthetic mixture of reactive dyes. The effects of particle size (0.5 or 1.0 cm cubes and triturated mushroom), mushroom mass (10, 20, 40, 60 or 80 g in 250 mL of solution) and different mushroom tissue treatments were analyzed regarding color removal efficiency of dyes Reactive Yellow 37, Reactive Black 5 and Reactive Red in a synthetic solution of 13.3 mg L⁻¹ concentration of each dye. The best results were found with larger superficial contact area between mushroom particle (triturated mushroom) and colored effluent under continuous aeration. Acetone addition during mushroom trituration process followed by a freezing step contributed to decolorization improvement, leading to best results: 73% after 6h, with 20 g of biocatalyst 250 mL⁻¹ of effluent. The use of different mushroom batches and brands resulted in different enzymatic activities and similar levels of color removal, such result confirmed that decolorization does not have any direct relation with enzyme activity.

Key words: dyes, textile effluent, tyrosinase, enzymatic treatment.

Introdução

A indústria têxtil consome quantidades consideráveis de água durante os processos de tingimento. Os elevados volumes despejados e a composição complexa dos efluentes fazem com que a indústria têxtil seja considerada uma das mais poluidoras dentre todos os setores industriais. O tratamento de efluentes que contêm corantes é preocupação crescente na indústria têxtil pelo visível impacto estético decorrente do lançamento desses despejos nos corpos hídricos, bem como a possíveis problemas de toxicidade (KUNZ et al., 2002; BIZANI et al., 2006).

A maioria (60-70%) dos corantes utilizados nas indústrias têxteis é constituída de compostos com uma ou mais ligações azo (-N=N-), unindo estruturas aromáticas (ZEE et al., 2001). Estes

compostos são considerados recalcitrantes, por possuírem ligações azo e outros grupos não facilmente biodegradáveis como, por exemplo, grupos sulfônicos (SO₃H). Além de serem considerados tóxicos, seu impacto ambiental é aumentado pela formação de aminas aromáticas (anilinas), consideradas carcinogênicas e/ou mutagênicas, originadas da quebra redutiva da ligação azo (MARTINS et al., 2001).

A durabilidade, estabilidade e resistência dos corantes à degradação dificultam a remoção de cor dos efluentes têxteis. Técnicas disponíveis para descoloração de águas resíduárias envolvem processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímicos e fotoquímicos, biodegradação e outros (GUARATINI; ZANONI, 2000). Alternativas mais promissoras para solução de

inúmeros problemas ambientais ocasionados pela atividade industrial derivam do estudo de novas tecnologias para o tratamento de efluentes industriais. Nesse contexto, a utilização de processos biológicos baseados no emprego de fungos e bactérias ou na utilização direta de enzimas tem aparecido como alternativa de grande potencial. As potenciais vantagens do tratamento enzimático, quando comparado aos tratamentos convencionais, incluem: aplicação em materiais recalcitrantes, atuação em ampla faixa de concentração dos contaminantes, pH, temperatura e salinidade, ausência de aclimatação de biomassa e fácil controle do processo, entre outros (WONG; YU, 1999; MARTINS et al., 2001; PEARCE et al., 2003).

Existem várias enzimas que podem ser aplicadas no tratamento de efluentes industriais. Dentre as enzimas empregadas para a remoção de compostos fenólicos, destacam-se as polifenoloxidases. A tirosinase é uma polifenoloxidase presente em vários seres vivos, capaz de catalisar a oxidação de fenóis, utilizando apenas o oxigênio molecular. Além disso, possui ampla distribuição na natureza, o que proporciona um número diversificado de fontes de obtenção. A tirosinase extraída do cogumelo *Agaricus bispora* tem sido bastante investigada, pela facilidade de obtenção em grandes quantidades (KAMEDA et al., 2006).

Considerando-se que a estrutura molecular dos corantes reativos apresenta quase sempre grupos hidroxil ligados, uma alternativa aos processos de remoção de cor seria a aplicação de enzimas polifenoloxidases, que catalisam a reação de *o*-hidroxilação de fenóis a catecós e a desidrogenação destes catecós a quinonas, que são instáveis em meio aquoso, polimerizam e precipitam (DURÁN; ESPOSITO, 2000). A eficiência da tirosinase extraída de cogumelos *Agaricus bispora* para descoloração de soluções sintéticas de corantes reativos largamente aplicados na indústria têxtil: Remazol Black GF (RB), Remazol Red 3B (RR) e Procion Orange MX-2R (PO) foi avaliada, obtendo-se remoções de cor de 80, 78 e 56% para os corantes RB, RR e PO, respectivamente, após 24h de tratamento com atividade enzimática de 85 U mL⁻¹ e concentração inicial de corante de 83 mg L⁻¹ (CAMMAROTA; COELHO, 2001). Assim, neste trabalho, o emprego de cogumelos *Agaricus bispora* foi avaliado para a remoção de cor de uma mistura sintética de corantes reativos, tendo como meta o aproveitamento de restos da produção do cogumelo, eliminando-se o processo de extração da enzima e reduzindo-se os custos do tratamento.

Material e métodos

Origem dos Cogumelos - para cada ensaio conduzido, cogumelos do tipo champignon paris (*Agaricus bispora*) foram adquiridos e usados até 24h após a aquisição. Foram utilizados cogumelos de diferentes marcas, mas sempre com aparência similar e coloração branca a levemente amarronzada. Os cogumelos eram conservados sob refrigeração (4°C) até o momento de seu processamento e sua utilização.

Obtenção do Efluente Sintético - uma mistura dos corantes Reactive Yellow 37, Reactive Red e Reactive Black 5 (com 333,3 mg L⁻¹ de cada corante) foi preparada em tampão fosfato 0,1 mol L⁻¹, pH 7,0, para se simular o efluente sintético. Esta solução-estoque foi mantida à temperatura ambiente, sendo diluída no mesmo tampão fosfato no momento de seu uso.

Condução dos Ensaios - os experimentos foram conduzidos, em triplicata, em provetas de 1.000 mL contendo 250 mL da solução-estoque diluída de corantes na proporção de 1:25 em solução tampão, à temperatura ambiente (27 ± 2°C) e sob aeração com ar comprimido por meio de difusores porosos.

Efeito da Granulometria dos Cogumelos - 40 g de cogumelo cortado em cubos de 0,5 ou 1,0 cm ou moído foram acrescentados ao efluente sintético e mantidos em suspensão por causa da aeração. A remoção de cor foi acompanhada ao longo do tempo.

Processamento dos Cogumelos - com base no procedimento proposto por Atlow et al. (1984) para extração da enzima dos cogumelos, foram testados três modos de processamento dos cogumelos, a fim de se facilitar o contato da enzima com os corantes: (a) os cogumelos foram lavados e moídos com água destilada gelada (1 g cogumelo:1 mL água) em liquidificador na potência máxima por 2 min., sendo em seguida filtrados em tecido de algodão; (b) os cogumelos foram lavados com água destilada e moídos com acetona gelada (1 g cogumelo:1 mL acetona), lavados novamente por três vezes com água destilada gelada e filtrados; (c) os cogumelos foram lavados com água destilada e moídos com acetona gelada (1 g cogumelo:1 mL acetona), lavados três vezes com água destilada gelada, filtrados e congelados por 12h. A remoção de cor foi avaliada em experimentos com duração de 6h.

Avaliação de Diferentes Marcas e Lotes de Cogumelos - após selecionado o procedimento mais adequado para processamento dos cogumelos, diferentes lotes e marcas foram avaliados quanto à atividade enzimática e remoção de cor após 6h de reação com solução diluída de corante a 1:25 e sob aeração contínua.

Efeito da Massa de Cogumelo - diferentes massas (10, 20, 40, 60 ou 80 g) de cogumelos processados foram avaliadas em ensaios de remoção de cor com solução-estoque diluída de corante a 1:25 e sob aeração contínua.

Ensaios controle - foram conduzidos com solução-estoque diluída de corante a 1:25, sob aeração contínua, com 20 g de cogumelo e 6h de duração, para: (i) detectar a remoção de cor por adsorção ou (ii) por oxidação química, (iii) verificar a liberação de produtos para o meio reacional e (iv) a eficiência de remoção com o extrato enzimático, a saber:

- para se avaliar a remoção de cor por adsorção, experimentos foram conduzidos com borbulhamento de N₂ ao invés de ar e também com adição de um sequestrante de oxigênio (sulfito de sódio) juntamente com borbulhamento de N₂, a fim de se garantir a ausência completa de O₂ no meio reacional;

- ensaios-controle foram conduzidos com aeração contínua e ausência de cogumelos, para se avaliar a remoção de cor por oxidação química ao longo de 6h;

- levando-se em conta a possibilidade de que os cogumelos pudessem liberar no meio reacional produtos que influenciariam negativamente a remoção de cor por ação enzimática, foram realizados experimentos com solução tampão (sem adição de corantes) na presença de 20 g de cogumelo com aeração ou borbulhamento de N₂;

- ensaios de remoção de cor que usam o extrato enzimático obtido a partir dos cogumelos foram feitos em triplicata em provetas de 1.000 mL que continham ao todo 250 mL de solução formada por efluente sintético, extrato enzimático e solução tampão. A proporção de cada um foi dependente da atividade enzimática encontrada no extrato, sendo este adicionado para se obter 100 U de atividade nos 250 mL de solução final. A proporção da solução de corantes foi calculada de maneira a se obter fator de diluição de 1:25 e os experimentos também foram conduzidos sob aeração contínua. Em todos os ensaios-controle, a remoção de cor foi acompanhada ao longo do tempo.

Métodos Analíticos - a cor da solução de corantes foi medida por meio de leitura de absorbância a 520 nm. A atividade tirosinásica foi medida, adicionando-se a determinado volume de amostra solução de L-tirosina (1,2 mM) em tampão fosfato (0,2 M, pH 6,0). A mistura foi homogeneizada e mudanças na absorbância foram medidas a 280 nm, sendo uma unidade de atividade tirosinásica definida como a quantidade de enzima que provoca o incremento de 0,001 na absorbância a 280 nm por minuto. O pH foi

determinado em pHmetro Actron DL-14 previamente calibrado com soluções tampão pH 4,0 e 7,0. A concentração de proteínas foi determinada de acordo com o método de Lowry et al. (1951).

Resultados e discussão

Foram conduzidos experimentos com 40 g de cogumelo cortado em cubos de 1,0 e 0,5 cm ou moído, a fim de se avaliar a remoção de cor mediante diferentes tamanhos de partícula do cogumelo. A variação de cor foi acompanhada durante 22h, sendo obtidas remoções totais de 37,6; 40,5 e 41,8% para os cogumelos com 1,0 e 0,5 cm e moído, respectivamente (Figura 1). Os resultados obtidos comprovam que o aumento da área superficial de contato entre cogumelo e efluente contribuiu para maior remoção de cor, especialmente nas primeiras 4h de experimento. Considerando-se que a moagem dos cogumelos é uma operação mais fácil e rápida que o corte em cubos de 0,5 cm e que as remoções de cor obtidas com estes dois tamanhos ao final do experimento foram muito próximas, ao se avaliar diferentes modos de processamento dos cogumelos, passou-se a empregar os cogumelos moídos.

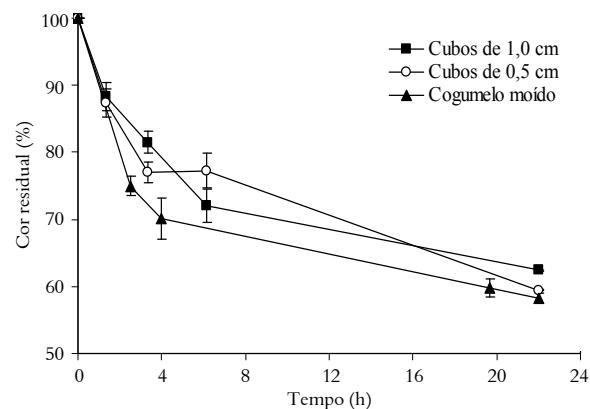


Figura 1. Cor residual nos experimentos com 40 g de cogumelo em cubos de 1,0 e 0,5 cm e moído, sob aeração contínua.

Para os processamentos a, b e c, descritos anteriormente, conduzidos com 40 g de cogumelo, foram obtidas remoções de cor de 26,9; 46,5 e 52,6%, respectivamente, após 22h de ensaio (Figura 2). Verificou-se que a moagem do cogumelo com acetona, seguida de congelamento (processamento c), resultou em maior remoção de cor, sendo este procedimento adotado nos demais experimentos. Observa-se ainda que a maior variação de cor é obtida nos instantes iniciais do processo. A acetona aparece na literatura como um dos principais agentes nas etapas iniciais de metodologias de extração enzimática, mas essas publicações não explicam o

motivo de sua utilização. Provavelmente a acetona atua como um solvente de componentes da parede celular do fungo, facilitando a extração de enzimas intracelulares bem como o acesso aos sítios ativos na superfície do cogumelo (KAMEDA et al., 2006). O mesmo acontece com o congelamento, que auxilia no rompimento da parede celular.

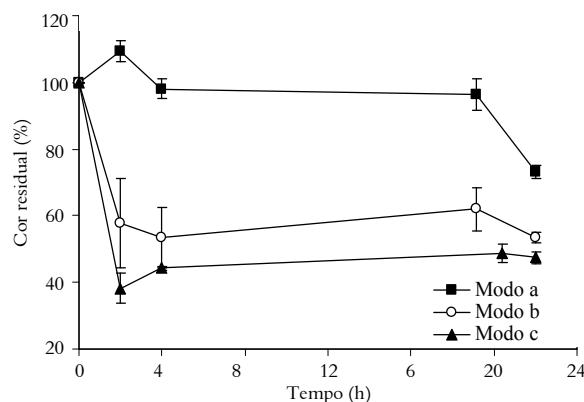


Figura 2. Cor residual nos experimentos com cogumelos processados de acordo com os modos: a (cogumelos moídos com água destilada e filtrados), b (cogumelos moídos com acetona, lavados com água destilada e filtrados) e c (cogumelos moídos com acetona, lavados com água destilada, filtrados e congelados).

No caso do procedimento adotado neste trabalho, tanto a acetona como o congelamento auxiliaram na exposição da enzima e, consequentemente, dos sítios ativos, na superfície dos cogumelos, facilitando o contato entre estes e os grupos reativos presentes na estrutura dos corantes. Cabe ressaltar que o processamento que apresentou melhores resultados implicaria maiores custos com reagente (acetona) e energia. No entanto, o solvente poderia ser reciclado, tornando o processo mais econômico.

Empregando-se o processamento do cogumelo que resultou em maiores remoções de cor (moagem com acetona e congelamento), foram avaliadas as atividades enzimáticas, bem como a remoção de cor durante 6h de experimento, empregando-se cogumelos de diferentes lotes e marcas. Pode-se observar, na Tabela 1, que os percentuais de remoção de cor variaram muito pouco para os lotes e marcas testados. Ao contrário do esperado, observa-se também que não há relação direta entre a remoção de cor e a atividade enzimática nos extratos obtidos para cada lote. Com isso, pode-se supor que a atividade enzimática quantificada no extrato não corresponde necessariamente à atividade na qual o efluente é exposto. Ou seja, apesar de os cogumelos apresentarem extratos enzimáticos com boas atividades, não são obtidas remoções de cor compatíveis ao se empregar o tecido fúngico diretamente nos experimentos.

Tabela 1. Atividade enzimática em diferentes lotes e marcas e remoção de cor após 6h em experimentos com 40 g cogumelo moído (modo c de processamento) 250 mL⁻¹ de efluente (solução diluída de corante a 1:25) sob aeração contínua.

Lote	Marca	Atividade específica (U g ⁻¹ proteína)	Remoção de cor (%)
1	A	654	62,5 ± 2,0
2	B	972	63,8 ± 0,6
3	C	1920	55,3 ± 0,9
4	B	2274	61,7 ± 0,3
5	A	9130	61,2 ± 7,1

Tendo em vista a baixa disponibilidade dos sítios ativos enzimáticos nos cogumelos, procurou-se avaliar o efeito da massa de cogumelo sobre a remoção de cor. Os resultados obtidos em ensaios com 10 a 80 g de cogumelos de um mesmo lote são apresentados na Figura 3. Observa-se que a remoção de cor melhorou com o aumento da massa de 10 para 20 g de cogumelos, conforme esperado. No entanto, a partir de 20 g, o aumento da massa resulta em valores de remoção de cor bem próximos. Além disso, percebe-se que a maior parte da remoção de cor ocorria nas primeiras 2h de experimento, com uma taxa menor para 10 g de cogumelos e uma taxa maior e similar para as demais massas avaliadas. As seguintes hipóteses são possíveis: (1) a possibilidade de liberação de algum produto dos cogumelos durante os ensaios, mais acentuada a partir de 20 g de cogumelos, provocando aumento de cor e mascarando a remoção pelo processo enzimático; (2) a formação de produtos insolúveis formados pela reação enzimática, que ficariam aderidos à superfície do cogumelo, impossibilitando o contato do efluente com o interior deste; (3) a dificuldade em se estabelecer contato adequado entre uma massa muito grande de biocatalisador e o efluente, pelas dificuldades no processo de mistura pelo aumento do teor de sólidos.

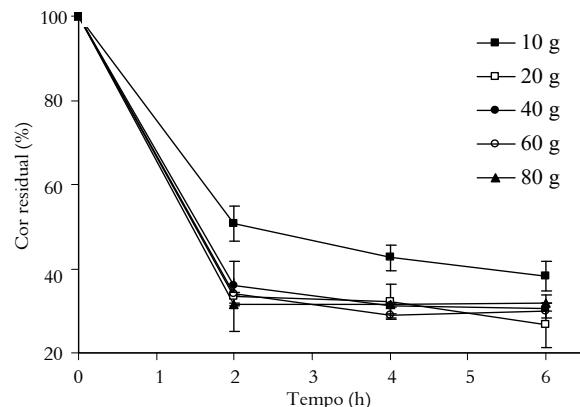


Figura 3. Influência da massa de cogumelo na remoção de cor ao longo de 6h de reação. Cogumelo processado segundo modo c, em 250 mL de efluente (solução diluída de corante a 1:25).

A fim de se verificar que parcela de remoção de cor poderia ser atribuída somente à ação enzimática, foram realizados ensaios com 20 g de cogumelo em diferentes condições de reação. Experimentos com aeração foram comparados com os seguintes controles: borbulhamento com N_2 sem e com adição de Na_2SO_3 (controles para medida de adsorção); aeração sem cogumelos (controle para medida de oxidação química). A Tabela 2 apresenta comparação entre os valores de remoção de cor obtidos nos experimentos e respectivos controles. O controle realizado com borbulhamento de N_2 , ou seja, ausência de O_2 , representa a parcela de remoção de cor atribuída à adsorção de corante à superfície do cogumelo. Por outro lado, os resultados do experimento com aeração apresentaram a remoção total obtida no ensaio. Como os valores foram bem próximos, verificou-se que a parcela de remoção vinculada à atividade enzimática era bem pequena.

Sabendo-se que o oxigênio é imprescindível para que a reação enzimática ocorra, uma concentração residual de oxigênio dissolvido nos experimentos realizados com borbulhamento de N_2 poderia ser suficiente para pequena remoção de cor por ação enzimática. Assim, o experimento com 20 g de cogumelo e aeração contínua foi comparado com um controle com N_2 juntamente com adição de sulfito de sódio, a fim de se eliminar qualquer resquício de O_2 que pudesse desencadear a reação enzimática. As remoções obtidas ao fim de 6h ($61,2 \pm 7,1\%$ para o experimento e $50,8 \pm 0,8\%$ para o controle) comprovaram que a maior parcela de remoção de cor se dá por adsorção e não por ação enzimática.

Tabela 2. Remoção de cor ao longo de 6h de reação em experimentos (sob aeração contínua) e respectivos controles, com 20 g cogumelo moído (modo c de processamento) 250 mL⁻¹ de efluente (solução diluída de corante a 1:25).

Condição	Remoção de cor (%)			
	Tempo (h)	2	4	6
Exp. com aeração		$66,5 \pm 8,3$	$67,8 \pm 4,1$	$73,4 \pm 5,2$
Controle com N_2		$59,6 \pm 0,9$	$64,5 \pm 1,0$	$67,0 \pm 3,3$
Exp. com aeração		$51,2 \pm 5,4$	$51,4 \pm 1,6$	$61,2 \pm 7,1$
Controle com $N_2 + Na_2SO_3$		$40,2 \pm 1,5$	$46,8 \pm 2,1$	$50,8 \pm 0,8$
Exp. com aeração		$49,7 \pm 5,6$	$53,8 \pm 7,0$	$52,5 \pm 4,7$
Controle sem cogumelos e ar		$1,5 \pm 0,1$	$0,5 \pm 1,3$	$0,8 \pm 0,4$

Para se avaliar uma possível remoção de cor por oxidação química, resultados com 20 g de cogumelo e aeração contínua foram comparados com controles com aeração, mas na ausência de cogumelos. A remoção de cor no experimento com cogumelos foi de $52,5 \pm 4,7\%$, valor menor que o obtido em

experimentos anteriores sob as mesmas condições (73,4 e 61,2%). Esse resultado pode ser atribuído ao fato de este último experimento ter sido conduzido com lote diferente de cogumelo, com maior tempo de coleta e/ou de estocagem (BEVILAQUA et al., 2002). Já a remoção de cor no ensaio-controle foi praticamente nula ($0,8 \pm 0,4\%$), uma vez que os valores de cor residual mantiveram-se praticamente constantes ao longo do experimento. Portanto, pode-se dizer que a remoção de cor por oxidação química é desprezível.

A quantidade de proteína e a atividade enzimática no meio reacional foram acompanhadas ao longo do tempo para o experimento com aeração contínua e o controle com borbulhamento de N_2 , ambos com 20 g de cogumelo. Foram obtidos resultados nulos, mostrando-se que o aumento de cor atribuído a possíveis produtos liberados pelo cogumelo não estava relacionado à enzima propriamente dita. Assim, para se verificar se a liberação de produtos pelos cogumelos durante os experimentos poderia influenciar os resultados de remoção de cor, experimentos com 20 g de cogumelo e aeração contínua foram comparados com ensaios-controle com borbulhamento de ar (Controle a) ou N_2 (Controle b) em solução tampão e cogumelos (sem presença de corantes). Os resultados obtidos, apresentados na Figura 4, indicam aumento da absorbância nos controles (de 0,138 e 0,180 unidades de absorbância para os controles a e b, respectivamente), o que pode ter interferido nos resultados de remoção de cor. Caso essa absorbância fosse descontada no experimento com solução de corantes, a eficiência de remoção de cor aumentaria de 53 para 77%. Portanto, em todos os experimentos realizados, pode-se considerar que maior fração da remoção de cor poderia ser atribuída à ação enzimática.

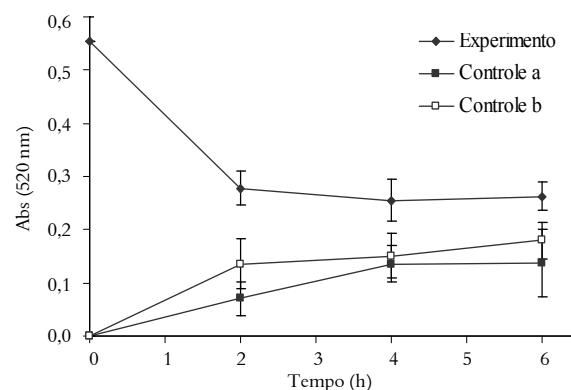


Figura 4. Variação de absorbância a 520 nm em experimentos com aeração contínua, Controle a (tampão + cogumelo + aeração) e Controle b (tampão + cogumelo + borbulhamento de N_2).

Para efeito de comparação, foram realizados ensaios de remoção de cor com o extrato enzimático obtido a partir dos cogumelos. O extrato empregado apresentou atividade de 760 U mL⁻¹ (volume de extrato) e a análise foi feita para 100 U de atividade no meio reacional (250 mL). A remoção de cor verificada nesse caso foi de 80,5 ± 8,2%, apresentando melhor resultado em relação aos ensaios de remoção pelo cogumelo propriamente dito. Esse fato já era esperado, uma vez que, conforme visto anteriormente para os experimentos com cogumelo, acredita-se que, nesse caso, o efluente não é exposto a toda atividade enzimática esperada, comprovando mais uma vez a hipótese de que produtos insolúveis formados pela reação enzimática ou os próprios corantes adsorvidos formam uma “barreira” na superfície do cogumelo, impedindo que o efluente consiga atingir seu interior.

O valor de atividade enzimática no extrato foi menor que o obtido por Bevilaqua et al. (2002), que alcançou atividades na faixa de 2.000 a 8.800 U mL⁻¹. Conforme se constatou anteriormente, as atividades variam muito de acordo com o lote e com a marca de cogumelos utilizada. Bevilaqua et al. (2002), por exemplo, observaram variação de até 300% entre as atividades dosadas.

De maneira geral, pode-se considerar a utilização direta do cogumelo *Agaricus bispora* no tratamento de efluentes têxteis como método eficiente. Entretanto, deve-se salientar que a remoção de cor se deu em sua maior parte por um processo físico e não pela ação enzimática. A maior remoção de cor obtida foi de 73,4%, resultado próximo a outros estudos que utilizaram tratamento enzimático. Zhang et al. (2006) analisaram a remoção de cor com lacase extraída de diferentes fungos e observaram remoções de cor por volta de 70% para o corante Acid Green 27 (antraquinona) sem a utilização de mediadores. Por outro lado, estudos sobre a utilização do fungo *Trametes versicolor*, produtor de lacase, levaram a melhores resultados: 97% de remoção de cor em efluente sintético e 92% em efluente real (AMARAL et al., 2004) com adição de glicose ao meio.

Conclusão

A substituição do extrato enzimático pela matriz fúngica do cogumelo *Agaricus bispora* resultou em menor remoção de cor. Os experimentos com extrato enzimático apresentaram cerca de 80% de remoção de cor após 6h, enquanto nos ensaios com cogumelo a remoção de cor foi de 73% após 6h na

melhor condição. No entanto, a utilização da matriz fúngica não deve ser descartada, pois houve remoção de cor, sendo a maior parte obtida pela adsorção do corante ao cogumelo e não por atividade enzimática.

Referências

- AMARAL, P. F. F.; FERNANDES, D. L. A.; TAVARES, A. P. M.; XAVIER, A. B. M. R.; CAMMAROTA, M. C.; COUTINHO, J. A. P.; COELHO, M. A. Z. Decolorization of dyes from textile wastewater by *Trametes versicolor*. **Environmental Technology**, v. 25, n. 11, p. 1313-1320, 2004.
- ATLOW, S. C.; BONADONNA-APARO, L.; KLIBANOV, A. M. Dephenolization of industrial wastewaters catalyzed by polyphenol oxidase. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 26, n. 6, p. 599-603, 1984.
- BEVILAQUA, J. V.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G.; SANT'ANNA JR., G. L. Phenol removal through combined biological and enzymatic treatments. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 19, n. 2, p. 151-158, 2002.
- BIZANI, E.; FYTIANOS, K.; POULIOS, I.; TSIRIDIS, V. Photocatalytic decolorization and degradation of dye solutions and wastewaters in the presence of titanium dioxide. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 1, p. 85-94, 2006.
- CAMMAROTA, M. C.; COELHO, M. A. Z. Tratamento enzimático para remoção de cor de efluentes da indústria têxtil. **Química Têxtil**, v. 24, n. 65, p. 40-48, 2001.
- DURÁN, N.; ESPOSITO, E. Potential application of oxidative enzymes and phenoloxidase-like compounds in wastewater and soil treatment: a review. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 28, n. 2, p. 83-99, 2000.
- GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.
- KAMEDA, E.; LANGONE, M. A. P.; COELHO, M. A. Z. Tyrosinase extract from *Agaricus bisporus* mushroom and its *in natura* tissue for specific phenol removal. **Environmental Technology**, v. 27, n. 11, p. 1209-1215, 2006.
- KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.
- LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 193, n. 1, p. 265-275, 1951.
- MARTINS, M. A. M.; FERREIRA, I. C.; SANTOS, I. M.; QUEIROZ, M. J.; LIMA, N. Biodegradation of bioaccessible textile azo dyes by *Phanerochaete chrysosporium*. **Journal of Biotechnology**, v. 89, n. 2-3, p. 91-98, 2001.
- PEARCE, C. I.; LLOYD, J. R.; GUTHRIE, J. T. The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. **Dyes and Pigments**, v. 58, n. 3, p. 179-196, 2003.
- WONG, Y.; YU, J. Laccase-catalysed decolorization of synthetic dyes. **Water Research**, v. 33, n. 16, p. 3512-3520, 1999.

ZEE, F. P.; LETTINGA, G.; FIELD, J. A. Azo dye decolourisation by anaerobic granular sludge. **Chemosphere**, v. 44, n. 5, p. 1169-1176, 2001.

ZHANG, M.; WU, F.; WEI, Z.; XIAO, Y.; GONG, W. Characterization and decolorization ability of a laccase from *Panus rufus*. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 39, n. 1, p. 92-97, 2006.

Received on February 12, 2009.

Accepted on August 27, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.