

INFLUÊNCIA DA GLICOSE SOBRE O CONSUMO DE FENOL POR *ASPERGILLUS NIGER* AN 400 EM REATORES EM BATELADA

THE INFLUENCE OF GLUCOSE ON THE PHENOL CONSUMPTION BY *ASPERGILLUS NIGER* AN 400 IN BATCH REACTORS

KELLY DE ARAÚJO RODRIGUES

Engenheira Civil. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professora na área de Química e Meio Ambiente – CEFETCE

GLÓRIA MARIA MARINHO S. SAMPAIO

Farmacêutica. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professora na área de Química e Meio Ambiente – CEFETCE

MARCELO ZAIAT

Engenheiro Químico. Doutor em Hidráulica e Saneamento. Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC – USP

SANDRA TÉDDE SANTAELLA

Química. Doutora em Hidráulica e Saneamento. Professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC

Recebido: 21/11/06 Aceito: 30/04/07

RESUMO

Aspergillus niger AN 400 foi inoculado em reatores em batelada para remoção de fenol de meio sintético, na presença e ausência de glicose. O experimento possuía: 5 reatores de controle (grupo 1) com meio contendo apenas fenol; 5 reatores (grupo 2) inoculados com fungos e com meio com fenol e sem glicose; e 5 reatores (grupo 3) inoculados com fungos e com meio com fenol e glicose (5 g/L). Os reatores foram agitados a 200 rpm, a 30°C, durante 5 dias. A concentração média inicial de fenol foi de 323 mg/L e a de matéria orgânica, de 696 mg DQO/L, meio sem glicose, e 6058 mg DQO/L, meio com glicose. Os reatores do grupo 2 removeram 48% de fenol e 21% de DQO, enquanto que os reatores do grupo 3, 100% de fenol e 93% de matéria orgânica. Não houve redução significativa de fenol e de DQO nos reatores de controle. A assimilação foi a via principal de remoção de fenol.

PALAVRAS-CHAVE: *Aspergillus niger*, glicose, fenol, tratamento biológico, água residuária.

INTRODUÇÃO

Os compostos fenólicos caracterizam-se pela presença de hidroxila (OH⁻) diretamente ligada a um anel benzênico e fazem parte da composição de vários efluentes industriais, tais como, os da indústria de beneficiamento da castanha de caju, das refinarias de petróleo, de indústrias têxteis, de papel e celulose, de azeite de oliva e fundições de metais, entre outros (Assadi e Jahangiri, 2001;

García et al, 2000; Kapdan e Kargi, 2002; Sahoo e Gupta, 2005; Vinciguerra et al, 1995).

De acordo com Martinelli e Silva (2003), o fenol é ainda um intermediário químico para a produção de xampus, aditivos para óleos lubrificantes, desinfetantes e agentes anti-sépticos. Os fenóis são compostos ácidos, bactericidas, com efeitos carcinogênicos e mutagênicos (Bolaños et al, 2001), cuja presença no meio ambiente pode causar

ABSTRACT

Batch reactors were inoculated with Aspergillus niger AN 400 to remove phenol from synthetic media with and without glucose. The experiment was set by: five blank reactors (group 1) with media containing only phenol; five reactors (group 2) inoculated with fungi and with media containing only phenol; and five reactors (group 3) inoculated with fungi and with media containing phenol and glucose (5 g/L). These reactors were kept at 30°C under stirring of 200 rpm during 5 days. The mean initial concentrations of phenol and COD were 323 mg/L and 696 mg COD/L for the media without glucose, and 6058 mg COD/L for the media containing glucose. The reactors of group 2 removed 48% of phenol and 21% of COD, while the reactors of group 3 removed 100% of phenol and 93% of COD. There was no significant reduction of phenol and COD in the blank reactors. The assimilation was the main pathway of phenol removal.

KEYWORDS: *Aspergillus niger*, glucose, phenol, biological treatment, wastewater.

sérios danos ao mesmo e, conseqüentemente, ao homem. De acordo com Prieto et al (2002), esses compostos são extremamente tóxicos tanto por ingestão como por inalação, ainda que em baixas concentrações (1 mg/L).

Segundo Vinciguerra et al (1995), a presença de anéis aromáticos constitui o principal obstáculo para o tratamento de despejos que apresentem compostos fenólicos em sua composição. Porém, o interessante ao se utilizar fungos no

tratamento de despejos que contenham compostos desta natureza, reside na grande habilidade destes microrganismos em produzirem enzimas (celulases, ligninases, peroxidases, entre outras) (Luke e Burton, 2001), as quais tornam o organopoluente mais acessível à biodegradação.

Os processos físico-químicos de tratamento possuem custos relativamente mais elevados que os biológicos (Kotsou et al, 2004) que têm a vantagem de exercer menor efeito adverso sobre o meio ambiente (Kauffman et al, 1999; Metcalf e Eddy, 1991). Desta forma, dentre os diversos tipos de reatores biológicos, os reatores com fungos representam uma alternativa para o tratamento de efluentes que possuem compostos aromáticos recalcitrantes, como fenol e derivados.

O tratamento de águas residuárias contendo compostos fenólicos pelo uso de reatores com fungos tem mostrado ser viável devido à obtenção de efluente residual com menor toxicidade e diminuição da concentração de fenóis (Borja, Alonso e García, 1995, *apud* García et al, 2000; Rodríguez, Ramos – Cormenzana e Martínez, 1988). Os fungos do gênero *Aspergillus*, assim como *Geotrichum*, *Phanerochaete* e outros, utilizam compostos aromáticos através da produção de enzimas catabólicas (García et al, 2000).

De acordo com Kyriacou et al (2005), várias espécies de *Aspergillus* têm demonstrado eficiência na degradação de compostos fenólicos e na remoção de cor dos mais diversos despejos industriais, especialmente a espécie *Aspergillus niger* que vem sendo utilizada no tratamento de águas residuárias com fenol por apresentar boa eficiência na remoção do composto, segundo os trabalhos de Miranda et al (1996), García et al (2000) e Cereti et al (2004). Na degradação de compostos fenólicos por *Aspergillus niger* é observada a participação de sistema enzimático fenol hidroxilase e catecol 1,2-dioxigenases (Santos e Linardi, 2004).

Alterações no pH do meio no qual os fungos se encontram podem ocorrer como resultado da atividade metabólica desses microrganismos (Griffin, 1994). Devido *Aspergillus niger* possuir a capacidade de produzir ácidos orgânicos, o pH pode assumir valores característicos de meio ácido, entre pH 2 e 4, o que representa uma vantagem competitiva em relação a outros microrganismos (Kyriacou et al, 2005).

O objetivo do presente trabalho foi estudar a capacidade do fungo *Aspergillus niger* (AN 400) para o tratamento de água residuária sintética contendo fenol com concentração média inicial de 323 mg/L e a influência do uso de glicose como fonte primária de carbono.

MATERIAIS E MÉTODOS

Meio sintético

A composição do meio sintético é mostrada na Tabela 1. A água empregada para preparo do meio foi esterilizada em autoclave durante 20 minutos sob pressão de 1 atm e à temperatura de 120°C.

Inóculo

Aspergillus niger AN 400 foi utilizado como inóculo, o qual foi doado pelo Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará. O inóculo encontrava-se na forma de solução de esporos e foi adicionado em cada reator na concentração de 2×10^6 esporos/mL.

Montagem dos reatores

Utilizaram-se 15 (quinze) frascos de Duran, capacidade total de 500 mL, como reatores, sendo 5 (cinco) com função de controle (RC), 5 (cinco) com fungos e meio sem glicose (RF) e 5 (cinco) com fungos e meio com glicose. Cada reator foi preenchido com 250 mL do meio sintético, cujo

pH foi ajustado de pH 6 para 4, com ácido clorídrico a 10%, para favorecer o desenvolvimento do *Aspergillus niger*. Após as adições de água residuária e inóculo (reatores RF e RFG), os frascos foram vedados com tampão de algodão e gaze.

Operação em batelada

Os reatores foram mantidos em mesa agitadora horizontal, sob agitação de 200 rpm e temperatura de 30°C e postos fora de operação em função de diferentes tempos de reação, sendo desmontados 1 (um) reator RC, 1 (um) RF e 1 (um) RFG por dia de operação. O experimento foi realizado durante 5 dias, período no qual se verificou a variação das variáveis: fenol — cromatografia gasosa (HP INNOWAX— 30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m); glicose — método colorimétrico; DQO, pH e SSV, de acordo com os métodos descritos em APHA (1998).

A concentração de fenol adsorvido nas paredes da biomassa fúngica foi investigada. O micélio presente na amostra coletada de cada reator foi separado do meio líquido por meio de centrifugação em tubos “racker” para separação das fases líquida e sólida (micélio). O sobrenadante foi vertido dos tubos e à massa úmida adicionou-se 1 mL de hidróxido de sódio (1 M). Os tubos foram submetidos a ultra-som durante aproximadamente 30 minutos a fim de promover liberação de fenol adsorvido, na forma de fenolato. Após este período, acrescentou-se 1 mL de ácido sulfúrico (1 M), de modo a propiciar a conversão do fenolato em fenol

Tabela 1 – Composição do meio sintético

Constituinte	Concentração (g/L)
C ₆ H ₁₁ OH	0,30
NH ₄ SO ₄	2,00
NaNO ₃	1,00
KH ₂ PO ₄	0,20
MgSO ₄	0,25
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,01
CuSO ₄ .7H ₂ O	0,08
H ₂ MoO ₄	0,05
MnSO ₄ .7H ₂ O	0,05
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0,05
ZnSO ₄	0,04

no meio líquido e, então, acrescentou-se 100 µL do padrão interno (2-clorofenol), 100 µL de ácido sulfúrico (1 M) e 0,60 mL de éter. Os tubos foram agitados em vórtex AP 56, sob agitação máxima por 1 minuto, centrifugados (centrífuga Fanem 215) a 1200 rpm, durante 1 minuto, e ao final deste procedimento, injetou-se 1 µL do líquido sobrenadante no cromatógrafo.

Posteriormente, a concentração relativa ao volume da amostra de 2 mL foi padronizada em função do fator de diluição (2:1000) e da biomassa úmida pesada, a fim de obter a concentração de fenol adsorvido por grama de massa fúngica.

Obtenção das velocidades de consumo de substrato

As velocidades de consumo de substrato (r_s) resultaram da relação entre concentração final (C) e concentração inicial (C_o) de fenol ao longo da duração do experimento. Os dados de C/C_o foram ajustados em programa computacional Microcal Origin® 6.0, obtendo-se decaimento de substrato (C/C_o) em função do tempo (t), no qual o modelo matemático de Boltzman (equação 1) foi o que apresentou melhor representatividade. Na Equação (1): C/C_o – concentração normalizada do substrato (mg/L); $(C/C_o)_i$ – concentração inicial normalizada do substrato (mg/L); $(C/C_o)_R$ – concentração residual normalizada do substrato (mg/L); C_o – concentração inicial do substrato (mg/L); C – concentração de substrato no tempo “t” (mg/L); t – tempo t (dia); t_o – tempo inicial (dia); dx – tamanho do trecho onde a variação em x implica na maior variação em y.

$$\frac{C}{C_o} = \left(\frac{C}{C_o}\right)_R + \frac{\left(\frac{C}{C_o}\right)_i - \left(\frac{C}{C_o}\right)_R}{1 + e^{\frac{(t-t_o)}{dx}}} \quad (1)$$

Foram obtidos valores da velocidade de consumo (r_s) pela diferenciação da Equação (1) em função do tempo, de acordo com a Equação (2), bem como a velocidade máxima de consumo ($r_{s\text{máx}}$) para cada situação (reatores RFG e RF). A velocidade média de consumo ($r_{s\text{média}}$) foi calculada a partir da Equação (3).

$$r_s = \frac{d\left(\frac{C}{C_o}\right)}{dt} \quad (2)$$

$$r_{s\text{média}} = \frac{\int r_s dt}{\int dt} \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O preparo da água residuária sintética, em cada reator, resultou em diferentes concentrações iniciais de matéria orgânica, medida como DQO, e fenol, conforme mostrado na Tabela 2.

Nas Figuras 1 e 2 observa-se, respectivamente, a remoção de DQO e fenol nos reatores RC, RF e RFG. O uso de glicose favoreceu a obtenção de maiores reduções da concentração de fenol e de DQO. No último dia do experimento, nos reatores RFG, a concentração do poluente era inferior a 1 mg/L, concentração mínima detectável pelo método, tendo-se obtido 93% de redução de DQO.

O percentual máximo de redução de fenol nos reatores RC foi de 30% (5o dia), contudo não se considerou a eficiência de remoção do poluente significativa, uma vez que não foi verificada redução gradual de fenol ao longo do tempo. Com relação à remoção de DQO, nos reatores de controle não foi alcançada redução expressiva desse parâmetro e o percentual máximo de remoção registrado foi de, aproxima-

damente, 9%. Nos reatores RF, os maiores percentuais de redução de fenol (48%) e DQO (21%) foram obtidos no quinto dia.

Segundo Vinciguerra et al (1995), o emprego de substrato primário no tratamento de efluentes é de grande importância, pois propicia melhor degradação do poluente. A glicose representa uma fonte mais fácil de ser assimilada, sendo um composto universalmente assimilado pelos organismos, suprimindo as necessidades energéticas de quase todas as células (Marzocco e Torres, 1999).

A glicose é um composto mais facilmente degradado, resultando no aumento mais rápido da biomassa, e, conseqüentemente, da eficiência de remoção de matéria orgânica, devido seu maior consumo pela população microbiana, o que foi observado com a obtenção dos maiores percentuais de degradação pelos reatores RFG. Assim, o uso de glicose favoreceu a assimilação do poluente pelos fungos, a qual aumentou gradativamente ao longo do tempo até alcançar 100% de remoção, no 5o dia.

Tabela 2 – Concentração inicial de DQO e fenol na água residuária sintética no interior dos reatores

Concentração (mg/L)	Média	Máximo	Mínimo
DQO ¹	696 ± 19	730	676
DQO ²	6058 ± 150	6180	5920
Fenol	323 ± 30	416	285

¹DQO relativa à água residuária sem adição de glicose (reatores RC e RF)

²DQO relativa à água residuária com adição de glicose (reatores RFG)

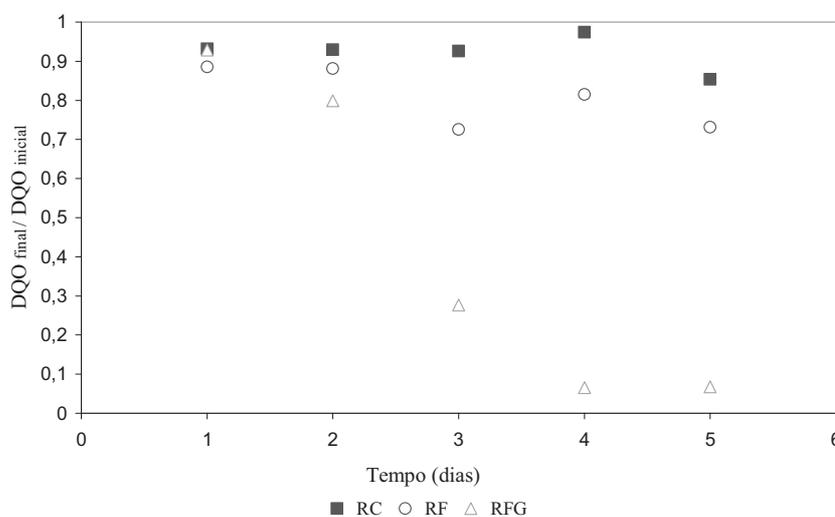


Figura 1 – Remoção da concentração de DQO nos reatores RC, RF e RFG

Nos reatores RFG, a glicose foi utilizada pelos fungos até o terceiro dia, quando se registrou 99% de remoção do referido composto (Figura 3), sendo que, após sua exaustão, foram alcançadas maiores remoções de fenol no meio, pois os fungos, a partir deste dia, passaram a utilizar exclusivamente o fenol como fonte de carbono.

Nas Figuras 4a e 4b é mostrada a normalização das concentrações do substrato (fenol) para os reatores com glicose (RFG) e sem glicose (RF), a partir dos quais foram obtidas as velocidades de consumo (r_t) em função do tempo (t) (Figuras 5a e 5b). Observou-se que os reatores RFG apresentaram maiores velocidades de consumo de fenol, de modo que a presença de glicose influenciou na aceleração da remoção do fenol.

Na Tabela 3 são apresentados os valores das velocidades máxima e média de consumo de fenol pelos fungos nos reatores RF e RFG. Verificou-se que, em relação à velocidade máxima (r_{\max}), nos reatores contendo glicose, o consumo de fenol foi 5,4 vezes maior que nos reatores que receberam inóculo fúngico sem adição de glicose na água residuária (RF). Da mesma maneira, a velocidade média de consumo nos reatores RFG foi, aproximadamente, 2 vezes maior que nos reatores RF.

No presente trabalho, tanto nos reatores com fungos e meio sintético com fenol e glicose (RFG), como nos que continham fungos e meio sintético com fenol e sem glicose (RF), houve assimilação gradual do poluente pelos fungos, ao longo de todo o experimento, fato comprovado devido à obtenção de dados inerentes à concentração de fenol adsorvido à biomassa fúngica que cresceu no interior dos reatores RF e RFG (Tabela 4).

Verificou-se que a concentração de fenol não assimilado ou adsorvido à biomassa fúngica, presente no interior dos reatores RF e RFG, foi pouco relevante, indicando que o mecanismo de adsorção teve pouca influência na remoção global do fenol do meio sintético e que não está relacionado ao emprego de glicose. As concentrações baixas de fenol adsorvido no micélio fúngico são justificadas devido ao mecanismo de adsorção ser menos intenso em células vivas, conforme relatado por Rao e Viraraghavan (2002), sendo fortemente influenciado pelo pH e por fatores como propriedades da superfície do microorganismo, fisiologia da célula,

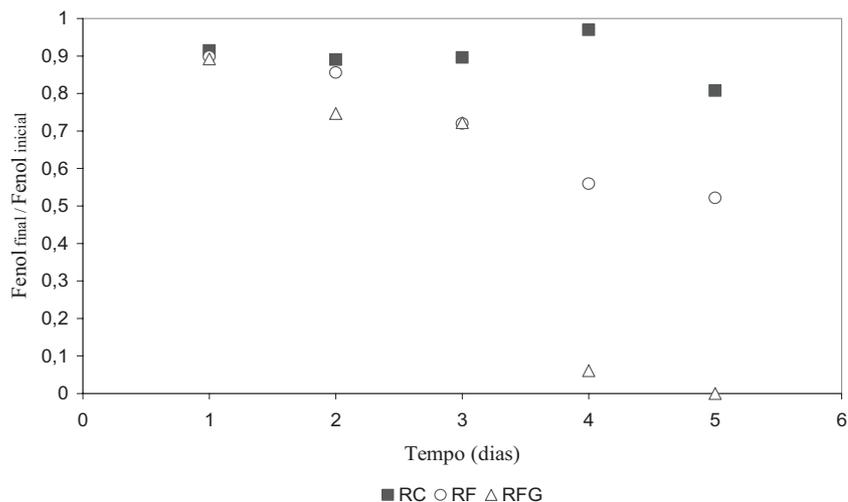


Figura 2 – Remoção da concentração de fenol nos reatores RC, RF e RFG

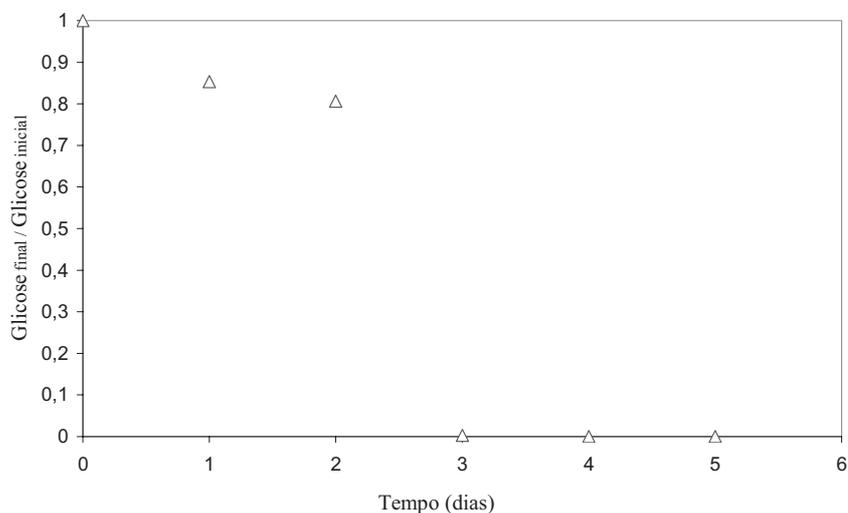


Figura 3 – Remoção da concentração de glicose nos reatores RFG

concentração do poluente e temperatura (Goyal et al, 2003). Porém, estes dados confirmaram que a principal via de remoção de fenol foi a de assimilação, indicando que o composto foi realmente incorporado à célula fúngica.

Paralelamente ao consumo de fenol, observou-se crescimento de biomassa nos reatores RFG, conforme mostrado na Figura 6. O crescimento máximo foi alcançado no quarto dia, após o qual houve diminuição de biomassa, provavelmente ocasionada pela exaustão de nutrientes no meio. Nesses reatores, a biomassa apresentou-se sob a forma de pequenas esferas aglutinadas, formando pequenos blocos compactos, cujo aspecto foi atribuído ao estímulo da produção de polissacarídeos pelo uso de glicose.

De acordo com Costa et al (2004), a glicose é composto essencial para

suprimento da fonte de carbono e produção de moléculas como polissacarídeos, proteínas e lipídios, compostos que favorecem também acúmulo do peso seco. Além disso, muitos fungos produzem amilases extracelulares que lhes conferem capacidade de aderência (Carlile e Watkinson, 1994).

Nos reatores RF, a biomassa encontrava-se “fragmentada” e dispersa no meio líquido e o crescimento de microrganismos foi muito inferior ao observado nos reatores RFG, de modo que a maior produção de biomassa, medida em mg SSV/L, no reator RFG, no quarto dia de operação, foi 6 vezes superior à obtida no reator RF, neste mesmo dia. Similarmente, Rodrigues et al (2004) observaram, em experimento em batelada, biomassa disforme e aglutinada de *Aspergillus niger* e *Fusarium sp.* ao utilizar mesma água

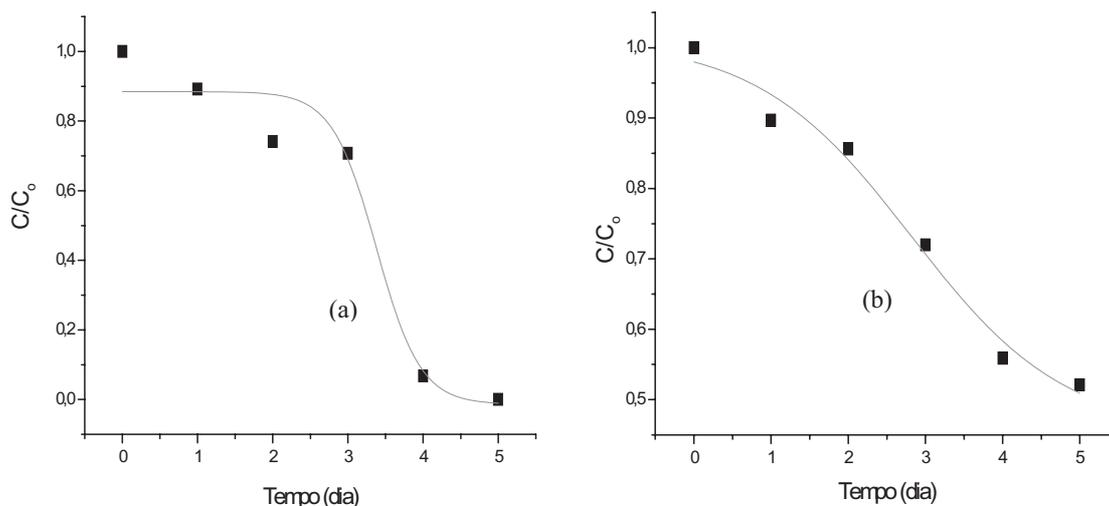


Figura 4 – Normalização das concentrações de substrato (fenol) obtidas durante o ensaio em batelada nos reatores RFG (a) e RF (b)

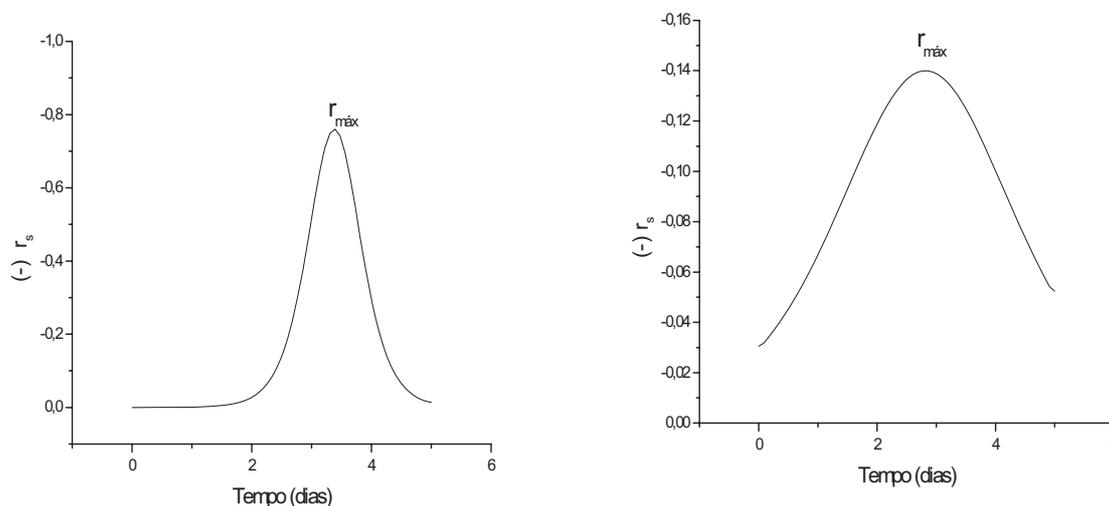


Figura 5 – Variação da velocidade de consumo de fenol durante o ensaio em batelada nos reatores RFG (a) e RF (b)

Tabela 3 – Velocidades de consumo de fenol obtidas durante o experimento em batelada

Reatores	$r_{\text{máx}}$ (d ⁻¹)	$r_{\text{média}}$ (d ⁻¹)
RF	0,14	0,094
RFG	0,76	0,18

residuíria sintética empregada nessa pesquisa em reatores em batelada, sob condições de temperatura não controlada e agitação por meio de aeradores de aquário. Não se observou crescimento de biomassa no interior dos reatores de controle (RC).

A variação de pH ao longo do experimento é apresentada na Figura 7. Houve diminuição do pH em todos os reatores estudados, contudo os valores menores de pH foram apresentados

pelos reatores RFG devido à maior produção de ácidos orgânicos, a partir do consumo de glicose, conforme relatado por Assas et al (2002).

Assas et al (2002) obtiveram resultados semelhantes na utilização de *Geotrichum candidum* no tratamento do efluente da indústria de azeite de oliva e a diminuição do pH foi atribuída à geração de ácidos orgânicos. Da mesma forma, Rodrigues et al (2004) ao empregar água residuíria sintética

com fenol em reatores com *Aspergillus niger* e *Fusarium sp.* observaram redução inicial nos valores de pH, sendo que nos reatores que dispunham de glicose a diminuição do pH foi mais rápida em relação aos demais reatores, como reflexo de atividade microbiana mais intensa.

De acordo com Kyriacou et al (2005), a atividade microbiana é diretamente influenciada pela quantidade de biomassa, observando-se

Tabela 4 – Concentração de fenol adsorvido no micélio presente nos reatores RF e RFG

Reatores	Fenol inicial no meio (mg/L)	Fenol no meio após final da operação (mg/L)	Remoção de fenol da água residuária (%)	% Fenol adsorvido	% Fenol assimilado
RF ₁	300	269	10,33	0,470	9,74
RF ₂	319	273	14,42	0,130	14,29
RF ₃	350	252	28,00	0,220	27,78
RF ₄	295	165	44,07	0,210	43,86
RF ₅	330	172	47,88	0,010	47,87
RFG ₁	314	280	10,80	0,570	10,23
RFG ₂	324	240	25,31	0,060	25,25
RFG ₃	311	220	27,78	0,063	27,72
RFG ₄	294	20	93,88	0,002	93,88
RFG ₅	250	0	100,00	0,000	100,00

melhor remoção de DQO. Ainda segundo os autores, menores valores de pH são alcançados como resultado da atividade metabólica de *Aspergillus niger*. Maior produção de biomassa de *A. niger* foi obtida por O'Donnell et al (2001) em pH 3 (5,1 g/L), registrando-se valores menores em pH 7 (1,9 g/L), fora da faixa ótima de pH para o crescimento da espécie, ao investigar o efeito do controle do pH sobre a atividade de enzimas proteases.

Nesse trabalho, observou-se que o pH diminuiu até o 4º dia de batelada, quando o crescimento de biomassa atingiu o valor máximo, passando a apresentar início de fase endógena no último dia, motivado pela exaustão de nutrientes no meio. No final do experimento, o pH manteve-se constante em relação ao dia anterior, com valores em torno de 2,4, indicando que os ácidos orgânicos gerados pela fermentação do meio ainda não teriam sido consumidos.

O processo de fermentação favorece a produção de ácidos orgânicos (Fadil et al, 2003) e, em função da concentração de glicose no meio, pode ocorrer alteração da via oxidativa de respiração aeróbia para fermentação (Griffin, 1994). Segundo Fadil et al (2003), com o consumo dos ácidos gerados na fermentação, o pH tende a subir, voltando a valor próximo do inicial.

Assim, a presença de glicose propiciou o aumento de biomassa no interior dos reatores RFG e, conseqüentemente, teria ocorrido maior

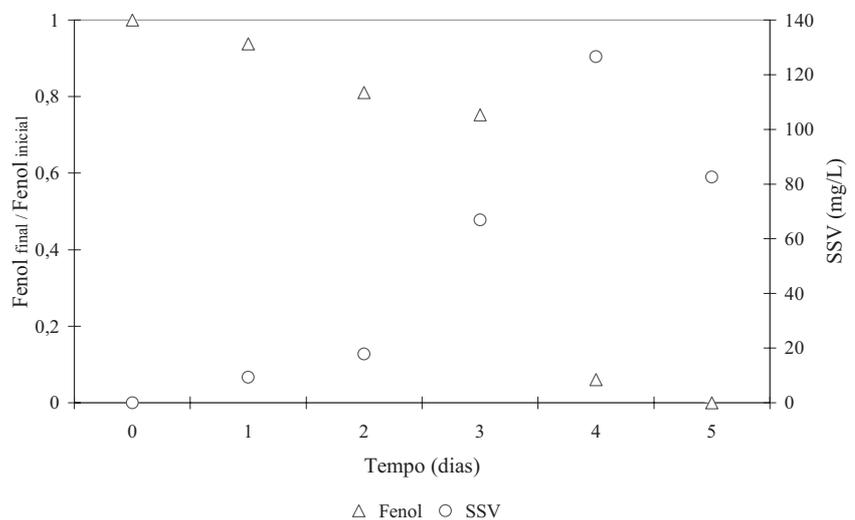


Figura 6 – Variação de SSV e fenol nos reatores RFG

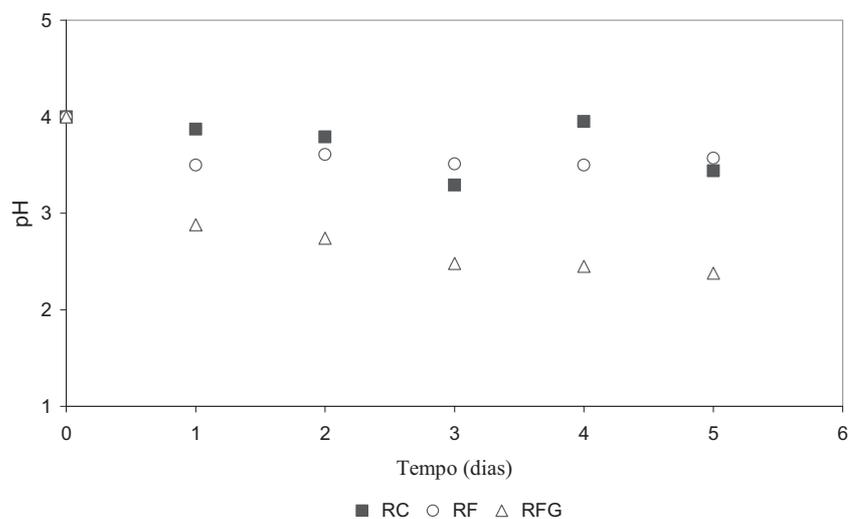


Figura 7 – Variação de pH nos reatores RC, RF e RFG

produção de ácidos orgânicos nesses reatores, refletida nos menores valores de pH, como medida de atividade microbiana mais intensa.

CONCLUSÕES

A espécie *Aspergillus niger* apresentou eficiência ao remover fenol de meio sintético com adição de glicose (5 g/L) como fonte primária de carbono e alcançou, aproximadamente, 100% de remoção, no 5º dia da batelada. O uso de glicose favoreceu obtenção de maiores velocidades (média e máxima) de consumo do fenol e resultou em maior crescimento de biomassa e melhor eficiência de remoção de fenol e DQO do meio sintético.

O pH atingiu valores menores nos reatores RFG, indicando maior produção de ácidos orgânicos durante a degradação da matéria orgânica (fenol e glicose), refletindo a maior atividade metabólica nos reatores onde os fungos dispunham inicialmente de glicose e indicando a necessidade do uso de fonte primária de carbono para uma melhor eficiência do processo.

Verificou-se que a principal via de remoção do poluente do meio foi através do mecanismo de assimilação, tanto nos reatores desprovidos de fonte primária de carbono (RF) como nos que receberam adição de glicose (RFG), indicando que o mecanismo de adsorção teve pouca influência na remoção global do poluente da água residuária e não esteve relacionado ao emprego de glicose como co-substrato.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida para a realização do curso de Doutorado e pelo financiamento da pesquisa pelo projeto no. 475375/2001 do Edital Universal. À Profa. Dra. Ana Paula Paim, da UFPE, e à Maria Ângela Talarico e à Elisabete Moraes, do Laboratório de Processos Biológicos, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, pelo apoio técnico e científico. À Profa. Dra. Iracema Crusius, do Instituto de Botânica de São Paulo, à Profa. Dra. Regina Monteiro pela imprescindível ajuda na elucidação de aspectos sobre a fisiologia do *Aspergillus niger*. À Iolanda Duarte e à Luisa Oliveira, pela identificação do *Aspergillus niger*.

REFERÊNCIAS

- APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th.ed. Washington: American Public Health Association, 936 p., 1998.
- ASSADI, M. M., JAHANGIRI, M. R. *Textile wastewater treatment by Aspergillus niger*. *Desalination*. v. 14, p. 1–6, 2001.
- ASSAS, N. et al. *Decolorization of fresh and stored-black olive Mill wastewaters by Geotrichum candidum*. *Process Biochemistry*. v. 38, p. 361 – 365, 2002.
- BOLAÑOS, R. M. L. et al. *Phenol degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized biomass (haiB) reactor under mesophilic conditions*. *Water Science and Technology*. v. 44, n. 4, p. 167 – 174, 2001.
- CARLILE, M. J., WATKINSON, S. C. *The Fungi*. San Diego, Academic Press – Harcourt Brace & Company, 482p, 1994.
- COSTA, J. M., CORBELLINI, V. A., SCROFERNEKER, M. L. *Study of different nitrogens sources on glucose uptake and production of melanin precursors and fungal mass of Fonsecaea pedrosoi cultured in tricyclazole*. *Process Biochemistry*. v. 39, p. 633 – 636, 2004.
- FADIL, K. et al. *Aerobic biodegradation and detoxification of wastewaters from the olive oil industry*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. v. 51, n. 1, p. 37 – 41, 2004.
- GARCIA, I. G. et al. *Removal of phenol compounds from olive Mill wastewater using Phanerochaete chrysosporium, Aspergillus niger, Aspergillus terreus and Geotrichum candidum*. *Process Biochemistry*, n. 35, p. 751 – 758, 2000.
- GOYAL, N. JAIN, S. C., BANERJE, E. *Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals*. *Advances in Environmental Research*, v. 7, p. 311 – 319, 2003.
- GRIFFIN, D. H. *Fungal Physiology*. Wiley-Liss, New York, 344 p, 1994.
- KAPDAN, I. K., KARGI, F. *Simultaneous biodegradation and adsorption of textile dyestuff in an activated sludge unit*. *Process Biochemistry*, n. 37, p. 973 – 981, 2002.
- KAUFFMANN, C., PETERSEN, B. R., BJERRUM, M. J. *Enzymatic removal of phenols from aqueous solutions by Coprinus cinereus peroxidase and hydrogen peroxide*. *Journal of Biotechnology*, n. 73, p. 71 – 74, 1999.
- KYRIACOU, A. et al. *Combined bioremediation and advanced oxidation of green table olive processing wastewater*. *Process Biochemistry*, n. 40, p. 1404 – 1408, 2005.
- LUKE, A. K., BURTON, S. G. *A novel application for Neurospora crassa: progress from batch culture to a membrane bioreactor for the bioremediation of phenols*. *Enzyme and Microbial Technology*, n. 29, p. 348 – 356, 2001.
- MARTINELLI, F. R., SILVA, E. L. *Estudo de biofilme em partículas suporte para reator anaeróbio de leito fluidificado na degradação de fenol*. In: II SEMINÁRIO DO PROJETO TEMÁTICO, São Carlos, SP: SHS, p. 194 – 201, Julho, 2003.
- METCALF, E. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 3a ed. New York: Mc Graw-Hill. 1334p, 1991.
- MIRANDA, M. P. et al. *Color elimination from molasses wastewater by Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*, v. 57, p. 229 – 235, 1996.
- O'DONNELL, D. et al. *Enhanced heterologous protein in Aspergillus niger through pH control of extracellular protease activity*. *Biochemical Engineering Journal*, n. 8, p. 187 – 193, 2001.
- PIETRO, M. B. et al. *Degradation of phenol by Rhodococcus erythropolis UPV-1 immobilized on biolite in a packed-bed reactor*. *Journal of Biotechnology*, v. 97, p. 1 – 11, 2002.
- RODRIGUES, K. A. et al. *Redução da concentração de fenol pelo uso de reatores biológicos com fungos*. In: XI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – SILUBESA. Natal, RN: ABES, p. 58 – 59, Abril, 2004.
- SANTOS, V. L., LINARDI, V. R. *Biodegradation of phenol by a filamentous fungi isolated from industrial effluents – identification and degradation potential*. *Process Biochemistry*, v. 39, p. 1001 – 1006, 2004.
- SAHOO, D. K., GUPTA, R. *Evaluation of lignolytic microorganisms for efficient decolorization of a small pulp and paper mill effluent*. *Process Biochemistry*, v. 40, p. 1573 – 1578, 2005.
- VINCIGUERRA, V. et al. *Correlated effects during the bioconversion of waste olive waters by Lentinus edodes*. *Bioresource Technology*. n. 51, p. 2211 – 276, 1995.

Endereço para correspondência:

Kelly de Araújo Rodrigues
DIPPG/CEFETCE
Av. Treze de Maio, 2081
60040-531 Fortaleza - CE - Brasil
Tel: (85) 3307-3600
E-mail: kelly@cefetce.br