

COMPARAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FENOL POR PROCESSO ANAERÓBIO E AERÓBIO

COMPARATION OF THE DEGRADATION OF PHENOL FOR ANAEROBIC AND AEROBIC PROCESS

Maria Lyda Bolaños Rojas¹
Alcina Maria Fonseca Xavier²

Resumo: O objetivo deste trabalho foi comparar os processos biológicos de tratamento aeróbio e anaeróbio na degradação de fenol. Apresenta-se também um estudo de caso de um processo biológico anaeróbio operado em escala industrial na degradação de esgoto sanitário. No processo anaeróbio com relação ao parâmetro DQO, pode-se concluir que não foi afetado pelo aumento da concentração de fenol no reator. Provavelmente no quarto e quinto regime, o reator passou por uma leve instabilidade. Porém, essa condição não foi significativa nem persistente, pois o reator conseguiu recuperar sua capacidade de degradação em tempo relativamente curto, atingindo remoções de 99% de DQO. Na planta de lodos ativados, o monitoramento do reator teve uma duração de 100 dias e a eficiência média de remoção de DQO foi de 79% durante este período. O pH médio no processo anaeróbio esteve na faixa adequada (7,9-8,5), no processo aeróbio o pH médio foi de 7,26 estando dentro da faixa indicada para o bom funcionamento de uma planta de lodos ativados. No reator em escala industrial, houve remoções de fenol da ordem de 100% e a DQO atingiu remoções de 70%, porém foram observadas remoções insignificantes de fenol e baixas remoções de DQO. Este desequilíbrio não afetou o processo, pois rapidamente observou-se aumento da eficiência, mostrando que os reatores UASB se recuperam de sobrecargas com compostos orgânicos como os fenólicos em sua composição.

Palavras chaves: Biodegradação; processo anaeróbio; processo aeróbio; fenol; tratamento de águas residuárias.

Abstract: The goal of this work was compare biological treatment processes aerobic and anaerobic in the degradation of phenol. Also was presents a case study of an anaerobic biological process operated on industrial scale in the wastewater degradation. In the process anaerobic with respect to the COD parameter, can conclude that is not was affected by increasing the concentration of phenol in reactor. Probably in the fourth and Fifth stage, the reactor was a slight instability. However, this condition has not been significant or persistent, because the reactor was able to recover your ability to degradation in relatively short time, reaching 99% removal efficiency of COD. In the sewage sludge plant the reactor was

¹Engenheira Sanitarista e Ambiental. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Rua dos Pinheiros, 462. lydabolanos@hotmail.com

² Engenheira Química. Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Alameda Saul Afonso Silva, 293. alcina@ufu.br

monitored for 100 days and the average efficiency of COD removal was 79% during this period. The medium pH in anaerobic process was the appropriate adequate range (7.9-8,5), in the process average aerobic pH was 7,26 being within the range indicated for an good functioning of a plant of sewage sludge. In full-scale reactor industrial phenol removals, there were 100% and COD reached removal efficiency 70%, however were observed insignificant removals of phenol and low removals of COD. This instability not affected the process, because quickly noted increased efficiency, showing that reactors UASB recovers of overload with organic compounds as the phenolic in its composition.

Keywords: biodegradation; anaerobic process; aerobic process; phenol; wastewater treatment.

1. Introdução

Os compostos aromáticos são encontrados em águas residuárias de várias indústrias, tais como, refinarias de petróleo, carvão, indústrias têxteis, plásticos e resinas, papel e celulose, fundições de metais, entre outros. Muitos desses compostos são tóxicos e alguns são conhecidos por serem carcinogênicos (WILBERG, et al., 2000).

Dentre os compostos aromáticos, os compostos fenólicos caracterizam-se pela presença de hidroxila (OH^-) diretamente ligada ao anel benzênico e fazem parte da composição de vários efluentes industriais (RODRIGUES, et al., 2007).

Além dos mencionados anteriormente, encontram-se também nos efluentes da indústria de beneficiamento da castanha de caju, azeite de oliva, da indústria farmacêutica, curtimento e acabamento de couros, explosivos, corantes sintéticos, de conservantes de madeira, manufatura em produtos em fibra de vidro, produtos químicos e agrícolas (RODRIGUES, et al., 2007; ANDRADE, 2004; BOLAÑOS, 2001).

Segundo 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, cuja presença no meio ambiente pode causar sérios danos ao mesmo e, conseqüentemente, ao homem.

Segundo Amorim (2007), o fenol e seus derivados são poluentes comumente presentes nos efluentes industriais. Também são considerados poluentes orgânicos perigosos e difíceis de serem eliminados, quando presentes em altas concentrações.

Em concentrações relativamente baixas (1 mg/L a 10 mg/L), os fenóis são tóxicos ou letais a peixes e mesmo em concentrações muito baixas, em torno de 5 ppb, provocam sabores indesejáveis à água potável, principalmente após a cloração (BRAILE & CAVALCANTI, 1979).

Algumas indústrias ainda não tratam eficientemente os efluentes gerados e terminam sendo descartados livremente nos corpos receptores ou no sistema público de esgotos (SAPIA e MORITA, 2002).

O fenol é volátil e a concentração máxima tolerada no ar é de 5,0 mg/L (COSTA, 1994). Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA N° 357 e 397 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, o limite máximo permissível de fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina), estabelecido como padrão de lançamento de efluentes é de 0,5 mg/L e o padrão estabelecido para corpos receptores enquadrados na classe II não deverá exceder de 0,003 mg/L.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT-NBR N° 9800 de abril de 1987, estabelece que para lançamento de efluentes industriais no Sistema Coletor Público de Esgoto Sanitário com Estação de Tratamento de Esgotos, a concentração máxima permissível de fenol deverá ser menor ou igual a 5,0 mg/L.

Os problemas gerados pela poluição ambiental têm sido alvo de muitos estudos nas últimas décadas. Devido às crescentes exigências por parte da população no que tange à saúde pública, cientistas e pesquisadores têm se empenhado no desenvolvimento e aprimoramento de sistemas que minimizem os efeitos causados pela poluição, evitando assim um maior comprometimento do meio ambiente.

Diante disto, no que diz respeito ao tratamento das águas residuárias urbanas e industriais, a busca por novas tecnologias tem sido motivada por diversos fatores: crescente exigência relativa aos padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores; necessidade de se dispor de sistemas de tratamento com alto desempenho, pouco sujeitos a falhas operacionais; disponibilidade de área para instalação de sistemas de tratamento em centros urbanos e industriais e desintoxicação e/ou eliminação de agentes poluentes prioritários (SILVA, 1995).

Segundo Metcalf & Eddy (1991), dentre as alternativas técnicas de tratamento de fenol, os processos biológicos oferecem custos relativamente baixos quando comparados aos processos físico-químicos. Outra vantagem dos processos de

tratamento biológico é seu potencial para a completa mineralização, se o sistema for projetado cuidadosamente e operado corretamente, para evitar formação de poluentes secundários (BAE et al., 1995).

Dentre os processos de tratamento biológico de resíduos orgânicos, os processos anaeróbio e aeróbio têm sido estudados, apresentando cada um deles vantagens e desvantagens no seu desempenho, situação que indica a alternativa de seu uso seqüencial, visando atingir a legislação ambiental, no que se refere ao padrão de lançamento de efluentes.

As diversas características favoráveis da tecnologia anaeróbia: baixa produção de sólidos; baixo consumo de energia; baixos custos de implantação e operação; tolerância a elevadas cargas orgânicas; a possibilidade de operação com elevados tempos de retenção de sólidos e baixos tempos de retenção hidráulica conferem aos reatores anaeróbios um grande potencial de aplicabilidade no tratamento de efluentes líquidos (CHERNICHARO, 1997).

Fang et al. (2004), trataram água residuária sintética contendo solução de fenol com 1260 mg/L (6,0 gDQO/L-dia) a 26 °C e tempo de retenção hidráulica de 12 horas, em um reator UASB, obtendo-se uma remoção em torno de 98%.

Segundo Veeresch et al. (2005), o reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) foi aplicado com sucesso no tratamento de águas residuárias municipal e industrial. Diversos pesquisadores estudaram a aplicação do processo de tratamento de fenóis em águas residuárias contendo fenol. O tratamento de fenol ainda está numa fase de estudos. Para aumentar o conhecimento da utilização do reator UASB no tratamento de águas residuárias contendo fenol e cresol (*o*-, *m*- e *p*- isômeros), foram realizados diversos estudos de viabilidade para o tratamento. Concentrações de 500 mg/L a 750 mg/L geralmente não possuem nenhuma inibição do processo utilizando o reator UASB. Concentrações de fenol maiores de 500 mg/L, podem ser tratadas por inóculos adaptados, pela recirculação do efluente tratado e/ou suplementação com co-substratos como a glicose. A degradabilidade de fenol é maior que a do *p*-cresol, que é maior que *m*- e *o*- cresol.

Os sistemas descritos na literatura para o tratamento de vários tipos de efluentes, inclusive aqueles contendo fenol, indicam que o processo biológico convencional com lodos ativados tem sido o de maior utilização (MAIORANO, et al. 2005). Nestes sistemas, as reações de síntese celular e de oxidação da matéria orgânica ocorrem em reatores que contêm uma massa de microrganismos capaz de

estabilizar em presença de oxigênio dissolvido o resíduo biodegradável e em solução (VON SPERLING, 1997b).

Silva (1995) estudou em escala piloto o tratamento aeróbio de fenol em reator biológico de leito fluidizado, utilizando areia como suporte para o biofilme de *Pseudomonas putida*. As concentrações de fenol empregadas no afluente variaram entre 51 mg/L e 1588 mg/L, com tempos de retenção entre 0,54 horas e 7,01 horas e velocidade superficial variando entre 0,9 cm/s e 1,8 cm/s. Nestas condições as eficiências de remoção de fenol obtidas foram de 87,2% e 98,9%.

Diez et al. (2002) estudaram a degradação de solução de fenol empregando um sistema de lodos ativados analisando a remoção de DBO₅, DQO, fenóis totais, taninos e ligninas bem como, toxicidade em função do TRH. Para tempos de retenção entre 6 horas e 16 horas a remoção de DBO₅ e DQO foi de 90% e 58 %, respectivamente. A degradação dos compostos fenólicos totais foi seriamente afetada pela variação do TRH, sendo que a maior remoção foi de 33,5 % para o tempo de 48 horas e a menor foi de 3,6 % para 4,5 horas de TRH. Também a remoção de taninos e ligninas foi minimizada pela redução do TRH, variando de 51,2 % a 13,2 % para TRH de 16 horas e 4,5 horas, respectivamente.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho dos processos biológicos: anaeróbio e aeróbio, no tratamento de efluentes contendo fenol. Os resultados obtidos em duas pesquisas realizadas com tratamento de fenol por processo anaeróbio e aeróbio serão comparados, visando mostrar a importância dos mesmos e a necessidade de sua utilização conjunta para obter efluentes com melhor qualidade. Finalmente, como estudo de caso, analisou-se a eficiência de remoção de fenol em uma Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico de um município de aproximadamente 600.000 habitantes, que utiliza reator UASB como uma das etapas do tratamento.

2. Fundamentos

O desenvolvimento da comparação entre os processos anaeróbio e aeróbio foi fundamentado com a avaliação de pesquisas realizadas sobre o assunto.

Para avaliar o desempenho do processo anaeróbio na degradação de fenol utilizaram-se os resultados obtidos no trabalho “*Tratamento de fenol em reator*

anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) sob condições mesofílicas” (Bolaños, 2001).

O objetivo foi avaliar o desempenho do RAHLF, que utiliza espuma de poliuretano com densidade de 23 kg/m³ como suporte de imobilização da biomassa anaeróbia, quando submetido a incrementos seqüenciais da concentração de fenol afluente, visando o uso potencial desse reator no tratamento de águas residuárias contendo esse tipo de composto, alcançando assim um melhor entendimento desse tipo de biotecnologia que possibilite a aplicação das técnicas de biorremediação na minimização de problemas ambientais.

O reator foi operado durante 8 meses, com tempo de retenção hidráulica constante de 12 horas e temperatura de 30°C ± 1 °C e lodo proveniente de um reator anaeróbio de uma indústria de papel. Fontes de carbono como glicose, ácido acético e ácido fórmico foram colocadas inicialmente no substrato sintético. Retiradas as fontes de carbono foi adicionado fenol como única fonte de carbono e energia, além de soluções de sais, vitaminas e traços de metais, de acordo com o recomendado por Damianovic (1997). O fenol foi adicionado progressivamente no afluente com aumento de concentração de 50 mg/L a 1200 mg/L, dividindo a operação do reator em seis fases.

Já no processo biológico aeróbio analisaram-se os dados obtidos no trabalho *“Desenvolvimento, modelagem e controle de uma planta de lodos ativados para tratamento de efluentes contendo fenol”* (Andrade, 2004). O objetivo deste trabalho foi monitorar uma planta de lodos ativados para tratamento de efluente contendo fenol e desenvolver um modelo para posteriormente testar estratégias de controle (tais como, controle da concentração de substrato na saída do reator e controle da biomassa no sedimentador) para se obter um melhor desempenho de uma planta de lodos ativados.

O efluente sintético utilizado neste trabalho foi uma solução contendo fenol (300 mg/L), com uma DQO de 715 mg/L, glicose (216 mg/L) fornecendo uma DQO de 230 mg/L, resultando em um valor total de DQO de 945 mg/L. A semente para o desenvolvimento do lodo biológico empregado nos ensaios experimentais foi o efluente proveniente da represa da Usina Hidrelétrica dos Martins (CEMIG), do rio Uberabinha, município de Uberlândia – MG.

No tratamento aeróbio de efluente contendo fenol empregou-se o processo de lodos ativados. Inicialmente caracterizou-se o lodo e procedeu-se o processo de adaptação.

Foram colocados 5 L de lodo no reator biológico e completou-se o volume do reator com água de abastecimento público. Em seguida iniciou-se o processo de adaptação do lodo biológico. Estes testes foram realizados com o reator operando em batelada, iniciando-se a alimentação do mesmo com uma solução de fenol de 50 mg/L , equivalente a uma DQO de 119,05 mg/L e 761 mg/L de glicose correspondente a uma DQO de 812 mg/L.

Análises de DQO foram realizadas em um dia de operação, até obter-se uma eficiência de remoção de aproximadamente 80%, neste momento, aumentava-se a concentração de fenol em 50 mg/L e diminuía-se a concentração de glicose em 50 mg/L ate obter-se a concentração desejada que foi 300 mg/L de fenol e 216 mg/L de glicose.

Para efeitos de comparação das pesquisas realizadas, em escala de laboratório foram comparados os parâmetros DQO e pH do processo anaeróbio e aeróbio.

Para ilustração, avaliou-se também o desempenho de um processo biológico em escala industrial formado por reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo – (UASB), que compõem a Estação de Tratamento de Esgotos de uma cidade de aproximadamente 600.000 habitantes, na remoção de fenol.

O monitoramento do desempenho do processo biológico foi realizado durante três meses, coletando-se amostras inicialmente três vezes por semana, após verificação da estabilidade do resultado, a coleta continuou sendo realizada uma vez por semana.

O método de análise para determinação de compostos fenólicos, utilizado nesta pesquisa refere-se a determinação fotométrica direta. A faixa ótima de operação deste ensaio é de 1,0 mg a 5,0 mg de composto fenólico/L.

A eficiência de remoção de fenol (ER) foi calculada conforme equação (1).

$$ER = \frac{(fenol)_a - (fenol)_e}{(fenol)_a}$$

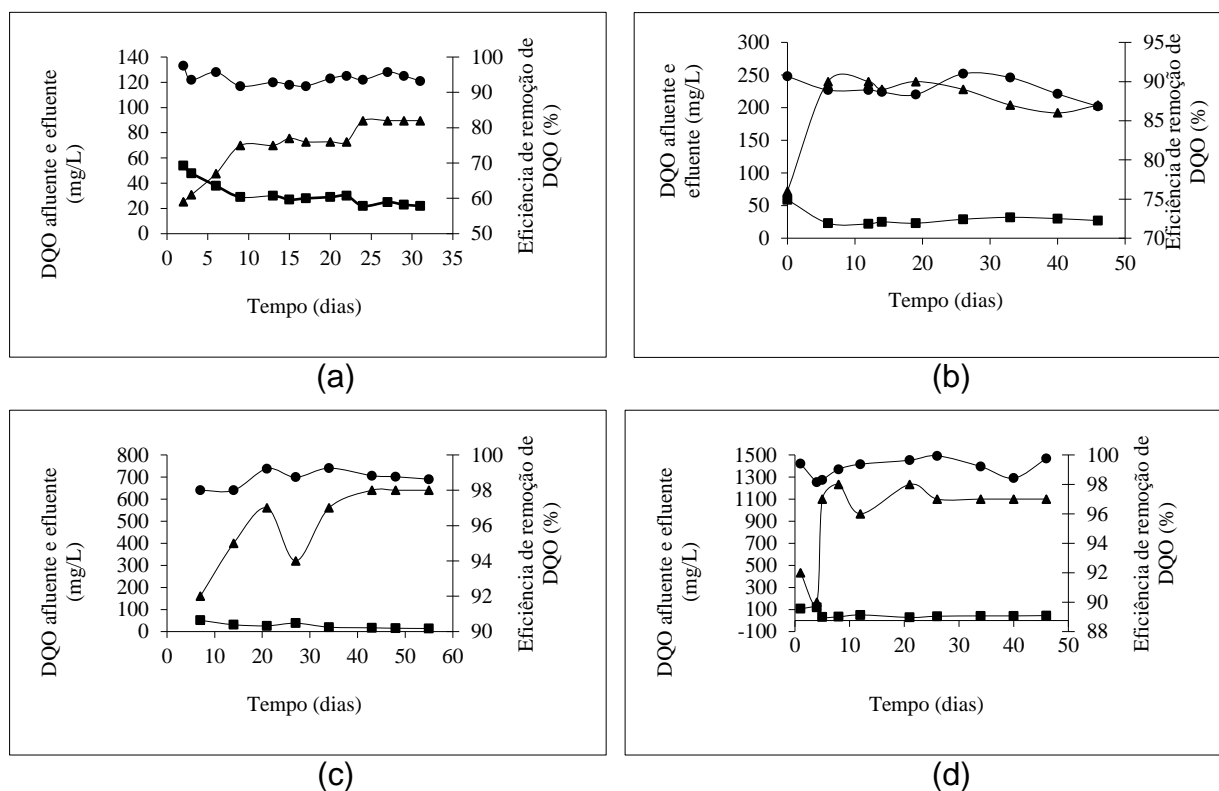
Onde: $(\text{fenol})_a$ = concentração afluente de fenol, (mg/L); $(\text{fenol})_e$ = concentração de fenol efluente, (mg/L).

3. Resultados e Discussão

3.1 Processo anaeróbio

No tratamento de fenol por processo anaeróbio, inicialmente o reator foi alimentado com substrato sintético contendo glicose, ácido acético e ácido fórmico, até atingir condição estável operacional e adequada imobilização da biomassa. O fenol foi adicionado como única fonte de carbono após o reator alcançar eficiência de remoção de DQO de 98%.

Na Figura 1 apresentam-se os gráficos dos valores encontrados para a DQO afluente, efluente e a eficiência de remoção em cada fase do experimento.



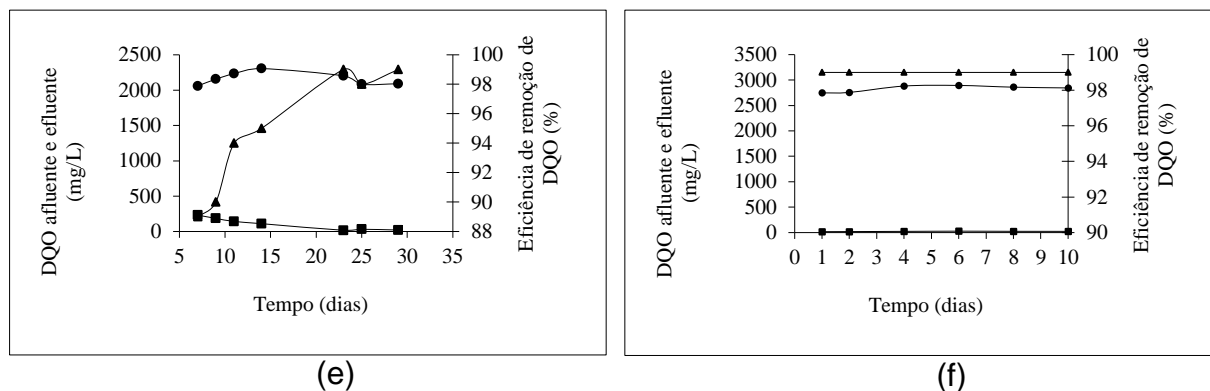


Figura 1 – Demanda Química de Oxigênio e Eficiência de Remoção com o tempo de operação do reator- DQO afluentes (●), DQO efluente (■) e remoção de DQO (▲) nas diferentes concentrações de fenol aplicadas no experimento. Fase I : 50,2 mg/L (a); Fase II : 102 mg/L (b); Fase III : 309 mg/L (c); Fase IV : 634 mg/L (d); Fase V : 906 mg/L (e); Fase VI : 1203 mg/L (f).

Estes resultados indicam que, apesar do RAHLF ter apresentado dificuldades para degradar o fenol nas concentrações de 600 mg/L e 900 mg/L no início de cada fase, a adaptação da biomassa a esse composto foi alcançada, já que o reator apresentou melhor desempenho comparado com as outras fases quando foram aplicadas maiores concentrações de fenol.

Com relação ao parâmetro DQO, pode-se concluir que não foi afetado pelo aumento da concentração de fenol no reator. Provavelmente na quarta e quinta fase, o reator passou por uma leve instabilidade. Porém, essa condição não foi significativa nem persistente, pois o reator conseguiu recuperar sua capacidade de degradação em tempo relativamente curto, atingindo remoções de 99% de DQO.

De acordo com os resultados obtidos, concluí-se que o RAHLF pode ser utilizado no tratamento de águas residuárias contendo fenol e de água contaminada com fenol, para concentrações tão altas como as utilizadas neste estudo. Com respeito ao TRH, este foi adequado para se obterem altas eficiências de remoção, como já havia sido descrito por Fang et al. (1996). A utilização de biomassa imobilizada pode estar relacionada às altas eficiências de remoção e a adaptação da biomassa do reator em tempos relativamente curtos.

Com relação ao parâmetro pH, observou-se que as variações apresentadas não foram significativas e provavelmente ocorreram devido a erros sistemáticos ou analíticos. Portanto, pode-se dizer que o incremento da concentração do fenol no RAHLF não influenciou no comportamento do pH. A variação do pH, em função das concentrações de fenol estudadas, pode ser observada na Figura 2, oscilando entre 7,9 e 8,5.

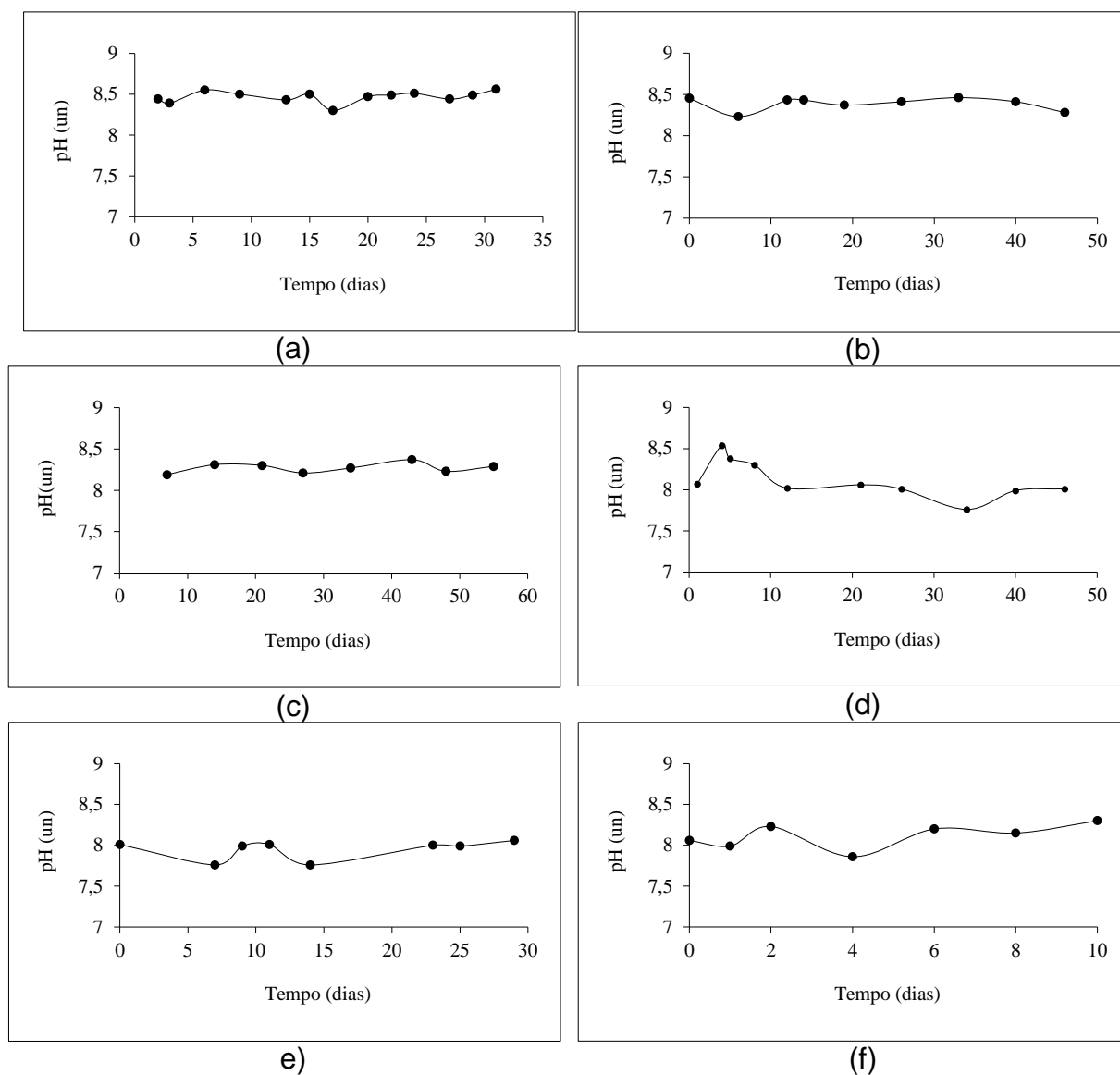


Figura 2 – pH efluente com o tempo de operação do reator. Fase I : 50,2 mg/L (a); Fase II : 102 mg/L (b); Fase III : 309 mg/L (c); Fase IV : 634 mg/L (d); Fase V : 906 mg/L (e); Fase VI : 1203 mg/L (f).

4. Processo aeróbio

Os resultados desta pesquisa mostraram que durante a etapa de adaptação, o lodo encontrava-se adaptado após 27 dias de operação, com eficiência de remoção de DQO de aproximadamente 80%. O monitoramento do reator teve uma duração de 100 dias e a eficiência média de remoção de DQO também foi de 79%

durante este período, com tempo de retenção hidráulica de 100 minutos, como mostrado na Figura 3.

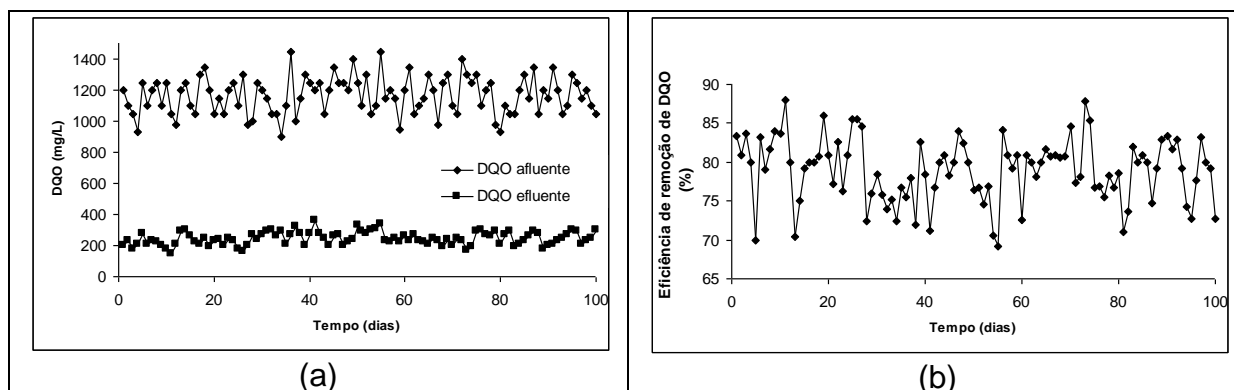


Figura 3 - Demanda Química de Oxigênio com o tempo de operação do reator- DQO afluente, DQO efluente (a); eficiência de remoção de DQO (b).

Durante o tempo de monitoramento do reator o parâmetro pH apresentou valor médio de 7,26, mostrando que estava dentro da faixa adequada para um bom funcionamento de uma planta de lodos ativados, como mostrado na Figura 4.

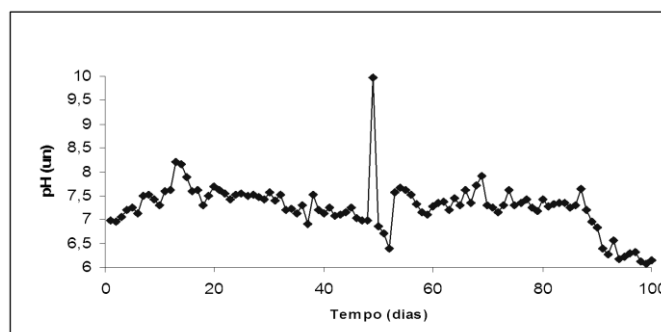


Figura 4 - Comportamento do pH no reator com o tempo de operação do reator.

Este trabalho mostrou que a adaptação ao fenol é relativamente rápida, e que após 14 dias de operação o lodo biológico formado apresentou boas condições de sedimentabilidade, IVL para uma planta de lodos ativados. Também mostrou que é possível tratar fenol utilizando esgoto doméstico como inóculo, verificado pela eficiência média de remoção de DQO de 79% durante a etapa de monitoramento do reator.

5. Avaliação do tratamento anaeróbio na remoção de fenol de uma ETE

Como estudo de caso, monitorou-se a concentração de fenol afluente e efluente do processo biológico, constituído por oito reatores anaeróbios de fluxo ascendente, operados em paralelo, de uma Estação de Tratamento de Esgoto de uma cidade de aproximadamente 600.000 habitantes.

O monitoramento da concentração de fenol foi realizado entre os meses de fevereiro e junho de 2008, equivalente a 106 dias.

Na Figura 5 apresentam-se os resultados obtidos de concentração afluente e efluente de fenol e a remoção deste parâmetro e na Figura 6 apresentam-se os resultados de DQO afluente e efluente e a remoção deste parâmetro, durante este período.

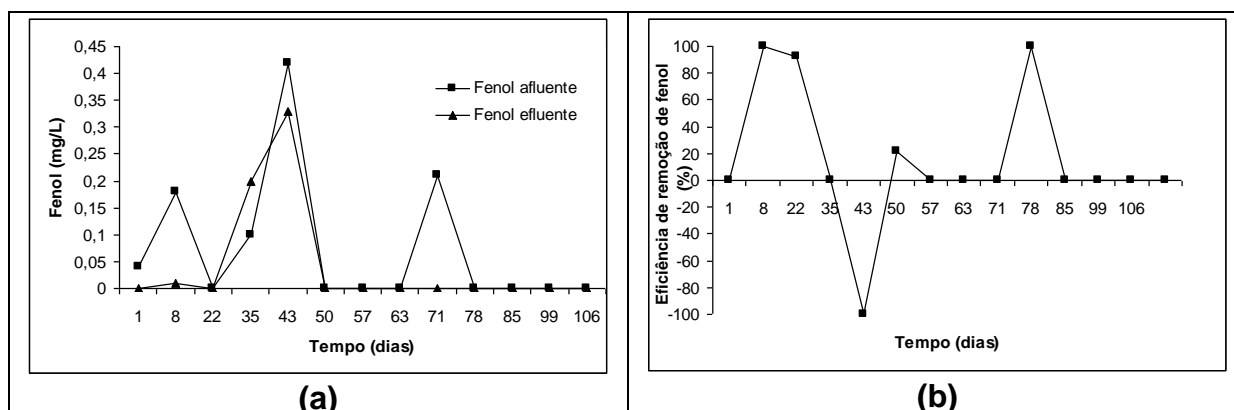


Figura 5 – Concentrações afluente e efluente de fenol durante o monitoramento do processo a escala industrial (a); eficiência de remoção de fenol (b).

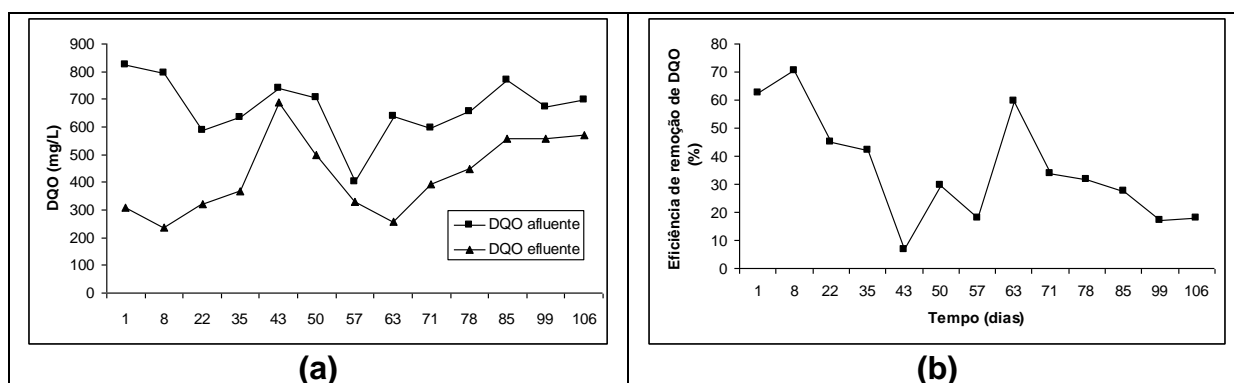


Figura 6 – Concentrações afluente e efluente de DQO durante o monitoramento do processo a escala industrial (a); eficiência de remoção de DQO (b).

Na Figura 5(a) e 5(b) observa-se que após 35 dias de iniciado o monitoramento não houve remoção de fenol e a eficiência de remoção de DQO nesse mesmo tempo teve uma leve diminuição, como pode ser observado na Figura 6(a) e 6(b). Após este período a remoção de matéria orgânica em termos de DQO, caiu drasticamente.

No entanto, na semana seguinte observa-se a recuperação, mostrando que se houve inibição, o processo biológico não foi afetado, e que a população microbiana adaptou-se rapidamente ao composto.

Deve-se levar em consideração que o esgoto doméstico apresenta composição muito complexa, e, portanto um acompanhamento mais rigoroso torna-se necessário para avaliar com maior precisão os resultados anteriores.

Os resultados mostraram que no geral tanto a concentração afluente como a efluente apresentaram valores baixos.

No período analisado observou-se que ao menos uma vez por mês chegou à ETE uma concentração maior que o normal, provavelmente proveniente de efluentes industriais lançados na rede pública de esgoto.

Em relação ao parâmetro fenol, o processo biológico estudado apresentou valores no efluente que se enquadram dentro das normas exigidas pelos órgãos ambientais Federal, Estadual e Municipal.

6. CONCLUSÕES

O reator anaeróbico RAHLF, operado em escala de bancada com uma DQO em torno de 3000 mg/L, atingiu eficiência de remoção de 99%. O reator apresentou leve instabilidade, quando foram aplicadas concentrações de fenol de 600 mg/L e 900 mg/L, contudo, esta condição não foi significativa e o reator conseguiu recuperar sua capacidade de remoção em tempo relativamente curto.

O reator aeróbico, operado em escala de bancada com concentrações de DQO em torno de 1300 mg/L, atingiu eficiências de remoção de 79%, mostrando adaptação relativamente rápida do lodo biológico aeróbico ao fenol.

Comparando-se as eficiências de remoção do processo anaeróbico e do aeróbico, pode-se concluir que para as condições estudadas em cada processo, o reator anaeróbico apresentou os melhores resultados quanto à eficiência de remoção

de DQO, provavelmente, pela capacidade que o processo anaeróbio tem para degradar cargas orgânicas elevadas e à utilização da técnica de imobilização da biomassa anaeróbia.

O parâmetro pH, também esteve dentro da faixa recomendada para processos anaeróbios e aeróbios.

Quando comparados os resultados do processo anaeróbio em escala de bancada com o reator em escala industrial, observa-se que este apresentou eficiência média de remoção de DQO de 35% durante o período estudado, mostrando que o processo anaeróbio de bancada teve melhor desempenho.

Deve ser considerado que em escala de bancada as condições são controladas e, portanto eficiências maiores podem ser obtidas em relação ao desempenho de reatores em escala industrial.

Apesar das metodologias de análises de fenol terem sido diferentes, conseguiu-se observar que houve remoção de fenol no RAHLF e no UASB, como pode ser verificado ao se comparar com a remoção de DQO, enquadrando-se dentro da norma exigida pelos órgãos ambientais.

Devido à complexidade do esgoto sanitário, recomenda-se dar continuidade à pesquisa, visando melhorar o desempenho de reatores em escala industrial, já que como foi observado ocorre variação periódica da concentração de fenol no esgoto sanitário afluente à ETE.

A combinação dos dois processos apresenta-se como uma estratégia efetiva, para gerir de forma integrada a preservação do meio ambiente, e assim, a proteção do recurso natural vital para existência da vida, a água.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à UFU e à União Educacional Minas Gerais - Uberlândia MG – UNIMINAS, pela oportunidade e pelas ferramentas oferecidas no curso de Gestão Ambiental para a realização deste trabalho.

Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT-NBR 9800*. 1987.

AMORIM, E. L. C. *Desempenho de reator anaeróbio de leito fluidificado operado sob condições de aumento progressivo de carga orgânica no tratamento de fenol*. São Carlos. Dissertação (Mestrado). EESC-SHS, Universidade de São Paulo. 167p. 2007.

ANDRADE, J. F. *Desenvolvimento, modelagem e controle de uma planta de lodos ativados para tratamento de efluentes contendo fenol*. Uberlândia. Dissertação (Mestrado). UFU, Universidade Federal. 153 p. 2004.

APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.*, American Public Health Association, 2005.

BAE, B. et al. *Kinetics of multiple phenolic compounds degradation with a mixed cultured in a continous-flow reactor*. Water Environment Research. V. 67. p. 215-223. 1995.

BOLAÑOS. R. M. L., et al. *Phenol degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized biomass (haib) reactor under mesophilic conditions*. Water Science Technology. v. 44. n. 4, p. 167-174, 2001.

BOLAÑOS, R. M. L. *Tratamento de fenol em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) sob condições mesofílicas*. São Carlos. Tese (Doutorado). EESC-SHS, Universidade de São Paulo. 135p. 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 5. Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. DOU Nº 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, p. 58-63.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 397, de 03 de abril de 2008*. DOU Nº 66, de 07 de abril de 2008, p. 68-69.

COPAM, Conselho Estadual de Política Ambiental. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008*. DOU de Minas Gerais de 13 de maio de 2008.

COSTA, S. R. A. *Remoção de fenol em reator anaeróbio de leito fluidificado de carvão ativado*. São Carlos. Tese (Doutorado). EESC-SHS, Universidade de São Paulo. 1994.

DAMIANOVIC, M.H.R.Z. *Degradação de pentaclorofenol (PCP) em reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF)*. Tese (Doutorado). EESC-SHS, Universidade de São Paulo. 1997.

DIEZ, et al. *Operational Factors and Nutrient Effects on Activated Sludge Treatment of Pinus radiata Kraft mill*. Wastewater Bioresource Technology. v. 83, p.131-138, 2002.

FANG, H. H. P. et al. *Anaerobic degradation of phenol in the wastewater at ambient temperature*. Water Science and Technology. v. 49, n. 1, p. 95-102, 2004.

MAIORANO, A. E. et al. *Influência das condições de aeração no tratamento de efluentes fenólicos com biofilmes em reator aeróbio*. . Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 10, n. 4, p. 285-289, 2005.

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. EESC-SHS, Universidade de São Paulo. p. 194-201, 2003.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, disposal and reuse*. 3a. Ed. New York: McGraw Hill. 1334p, 1991.

RODRIGUES, K. A. et al. *Influência da glicose sobre o consumo de fenol por Aspergillus Níger AN 400 em reatores em batelada*. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 12, n. 2, p. 222-228, 2007.

SAPIA, P. M. A. & MORITA, D. M. *Critérios de recebimento de efluentes não domésticos em sistemas públicos de esgotos: uma análise crítica*. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 8, n. 3, p. 145-156, 2003.

SILVA, E. L. *Tratamento aeróbio de fenol em leito fluidificado trifásico*. São Carlos. Tese (Doutorado). EESC-SHS, Universidade de São Paulo. 425p., 1995.

WILBERG, K. Q. et al. *Removal of phenol by enzymatic oxidation and flotation*. Brazilian Journal of Chemical Engineering. v. 17, n. 4-7, 2000.

VEERESCH, et al. *Treatment of phenol and cresols in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process a review*. Water Research. v. 39. p. 154-170. 2005.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Lodos ativados*. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997b.