

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

22º CONGRESSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
MARIA DE FÁTIMA 21 a 25 SETEMBRO 2007



ETABES

Qualidade Ambiental

ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
Filiada Nacional da AIDIS



COMPACT
disc
DATA STORAGE

PROTEJA SEUS DADOS CONTENDO NESTE CD

FABRICADO PELA INTERSERVICE - INDÚSTRIA BRASILEIRA

PROTEJA SEUS DADOS CONTENDO NESTE CD



II-085 - PÓS- TRATAMENTO AERÓBIO TERMOFÍLICO DE EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO E FLUXO ASCENDENTE ALIMENTADO POR SUBSTRATO SINTÉTICO DE INDÚSTRIA DE POLPA DE CELULOSE NÃO-BRANQUEADA

Carmo, Dirlane de Fátima⁽¹⁾ C 287p

Doutoranda em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP; Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP; graduada em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa - UFV;

Stanotti, E. P.

Pozzi, E. G.⁽³⁾

Pesquisadora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP; Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos, Ecóloga pela UNESP de Rio Claro.

Pires, Eduardo Cleto⁽²⁾

Professor titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP; Livre-docente pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, USP; Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP; Mestre em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Engenheiro Mecânico formado pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Cezar Ricome, 92 Jardim Lutfalla São Carlos São Paulo Cep 13560-510

Res. (16)270-2355; Fax: (16)273-9550; e-mail: dirlane@sc.usp.br

RESUMO

Muitas indústrias lançam efluentes em elevadas temperaturas, tendo que resfriá-los para efetuar um tratamento biológico. O tratamento biológico termofílico eliminaria a necessidade de resfriamento tomando o processo mais econômico. Neste trabalho foi utilizado um reator de lodos ativados (LA) como pós-tratamento de um reator de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) alimentado por efluente sintético simulando o efluente da indústria de polpa de celulose não branqueada. Houve adaptação do lodo da faixa mesofílica para termofílica. Na fase termofílica o reator de lodos ativados foi operado por 97 dias e apresentou bom desempenho, com eficiência média de 54%, alcalinidade parcial com grandes oscilações, devido principalmente a variações no efluente do UASB.

Palavras-chave: lodos ativados, termofílico, pós-tratamento; polpa de celulose

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios lançados no fim do século 20 foi a busca pela exploração da água de forma sustentável. Diversas são as propostas para o gerenciamento dos recursos hídricos, sendo que uma já aplicada em algumas bacias no Brasil é a cobrança tanto pelo consumo quanto pelo lançamento de efluentes. Para as indústrias que consomem este recurso no processo de fabricação e lançam efluentes poluentes, a busca por processos mais econômicos de tratar seus resíduos torna-se cada vez mais importante. Para indústrias como as de papel e celulose, que lançam efluentes tóxicos e em altas temperaturas, a proposta de um tratamento termofílico é de grande interesse.

O tratamento aeróbio é o processo mais empregado por estas indústrias. No entanto, o tratamento aeróbio termofílico era questionável, porque se acreditava em transferência de oxigênio deficiente devido a baixas concentrações de saturação do gás em altas temperaturas. Para verificar a taxa de transferência de oxigênio em tratamento aeróbio de

águas residuárias recicladas na indústria de papel, VOGELAAR *et al.* (2000), analisaram águas de abastecimento e de processo desta indústria, em temperaturas variando de 20-55°C. Também foi analisada a taxa de transferência de oxigênio no lodo termofílico, a 55°C. Foi verificado que a baixa concentração de saturação de oxigênio era compensada pela sua maior taxa de transferência, possibilitando então o tratamento aeróbio termofílico.

Trabalhos desenvolvidos por JAHREN *et al* (2002) e KIM & SPEECE (2002) também verificaram a viabilidade do tratamento aeróbio termofílico.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de um processo de lodo ativado termofílico, como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio termofílico de manta de lodo e fluxo ascendente, visando eliminar a necessidade de resfriamento para o tratamento de efluente simulado da indústria de celulose.

Procedimento Experimental

Reator: neste trabalho foi utilizado o tanque aeróbio de lodos ativados, construído em acrílico e com volume de 7 L. Inicialmente trabalhou-se com um volume útil de 6 L e posteriormente com 3,7L, com a finalidade de diminuir o tempo de detenção sem o aumento da vazão. O reator de lodos ativados foi utilizado como pós-tratamento de um reator UASB, 10,5L. Foi empregado um decantador após o reator de lodos ativados, sendo que inicialmente 1/3 da vazão era recirculada para o reator aeróbio e posteriormente passou-se a 2/3 da vazão. A temperatura inicial de trabalho era ambiente ($\approx 25^{\circ}\text{C}$), porém, passou a ser controlada com o emprego de cabine climatizada controlada por um termostato, sendo aumentada gradativamente até atingir 57°C . O reator de lodos ativados ficou em batelada por 10 dias e posteriormente foi operado com tempo de detenção hidráulico de 11 e 8 horas.

A aeração do reator de lodos ativados era controlada por um rotâmetro, mantendo a vazão de ar em 60L/min e o oxigênio dissolvido em torno de 3mg/L.

Inóculo: o reator foi inoculado com 2,0 L de lodo aeróbio da indústria de papel e celulose CELPAV, unidade de Luís Antônio, São Paulo.

Substrato: o reator foi alimentado, nos primeiros 87 dias, diretamente da saída do reator UASB. Posteriormente foi utilizado um tanque de acúmulo deste efluente e uma bomba alimentava o reator de lodos ativados a partir deste tanque. O substrato que alimentava o reator anaeróbio simulava o efluente da indústria de polpa de celulose não branqueada e era preparado utilizando o licor negro, caracterizado na Tabela 1 e fornecido pela indústria de papel e celulose Celpav. O licor negro pode simular satisfatoriamente este efluente porque contem os reagentes químicos utilizados no processo da fabricação da pasta de celulose e os subprodutos gerados na decomposição dos constituintes da madeira. Para isto, era colocado em um balão volumétrico de 1,0 L, um determinado volume de licor negro, de acordo com a DQO desejada (Tabela 2), sendo o volume completado com água destilada. O licor diluído era transferido para um recipiente, sendo adicionados extrato de levedura, fosfato de sódio monobásico e cloreto de amônio para suprir as quantidades de nitrogênio e fósforo recomendados para o processo anaeróbio. Finalmente, o volume era completado para 15,0 litros com água de abastecimento e o pH ajustado para um valor aproximado de 7,0, com a adição de ácido acético. O etanol foi adicionado ao substrato posteriormente como fonte de carbono. O efluente do reator UASB alimentava o LA sem adição de nenhum reagente e os valores da DQO afluente estão descritos na Tabela 2.

Análises: o monitoramento do reator foi feito analisando-se ácidos graxos voláteis, alcalinidade, pH, sólidos, demanda química de oxigênio (DQO) e concentração de oxigênio. Estas análises seguiram os procedimentos do "Standard Methods for the Examination of water and the wastewater" (APHA, 1998). Para acompanhar a variação e adaptação da microbiota ao aumento de temperatura, foram realizados exames microscópicos utilizando-se Microscópio Olympus BX60, acoplado à câmera com captura de imagem e software Image-Pro Plus, versão 4.1.

Tabela 1. Composição do licor negro utilizado no preparo do substrato sintético.

Parâmetro	Licor negro		
	Concentrado	Intermediário (1)	Intermediário (2)
pH	13,6	13,6	13,0
DQO (mg.l-1)	350.000	278.000	233.000
DBO (mg.l-1)	80.275	108.835	100.687
Sulfeto	4.400	1.925	n.d.
Carbono orgânico total	58.270	89.800	50.100
Zn (mg.l-1)	1,76	1,58	n.d.
Pb (mg.l-1)	n.d.	4,70	n.d.
Cd (mg.l-1)	1,24	n.d.	n.d.
Ni (mg.l-1)	4,36	2,60	n.d.
Fe (mg.l-1)	8,80	10,00	n.d.
Mn (mg.l-1)	4,56	10,30	n.d.
Cu (mg.l-1)	1,48	0,03	n.d.
Cr (mg.l-1)	2,60	1,17	n.d.

Tabela 2. Tipo e volume de licor usado, temperatura da cabine, tempo de detenção hidráulico, tempo que o reator operou em cada condição e DQO média do substrato.

Tipo de licor e volume utilizado	Temperatura (°C)	Tempo de detenção hidráulico (h)	Tempo que operou nesta condição (dias)	Variação da DQO afluyente (mg/L)
LNI1 (50mL:10L)	ambiente	batelada	10	892
LNI1 (60mL:12L)	ambiente	11	15	682-974
LNI1 (60mL:15L)	ambiente	11	4	760-900
LNI1 (45mL:15L:4mL etanol)	ambiente	11	8	618-1084
LNI1 (50mL:15L:5mL etanol)	ambiente	11	3	516
LNI1 (50mL:15L:5mL etanol)	35	11	5	576
LNI1 (55mL:15L:7mL etanol)	35	11	2	563-964
LNI1 (55mL:15L:7mL etanol)	37,5	11	8	1201
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	37,5	11	6	783
LNI1 (50mL:15L:7mL etanol)	37,5	11	11	1051
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	37,5	11	18	626-1406
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	42,5	11	28	486-680
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	47,5	11	2	488-512
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	52	11	41	420-1312

Resultados Obtidos e esperados

O reator aeróbio de lodos ativados foi inoculado no início da segunda quinzena de julho de 2002 e mantido em batelada, durante 10 dias, sendo alimentado com o efluente do reator UASB, com DQO afluente variando de acordo com a Tabela 2. Após 104 dias de operação do reator UASB e 10 dias de operação em batelada do reator de lodo ativado, o sistema de reatores anaeróbio e aeróbio começou a ser operado de forma contínua.

O reator operou em temperatura ambiente, aproximadamente 25°C, por 50 dias. Neste período, a eficiência média foi de 15% e a alcalinidade total gerada variou de 189 a 542mg/L.

Com 53 dias de operação do reator de lodos ativados, os reatores passaram a ser operados em cabine climatizada, sendo a temperatura controlada por termostato e inicialmente aumentada para 35°C. A eficiência de remoção de DQO foi crescente (19% a 73%), caindo para 27% em período onde houve queda do pH no reator anaeróbio de valores em torno de 7,5 para 5,3, provavelmente pela ação de um conjunto de fatores: mudanças nas características do licor utilizado para o substrato do reator anaeróbio além da adição do etanol como fonte de carbono e "stress" provocado pela mudança de temperatura. Para otimização do UASB foi utilizado o bicarbonato de sódio, restabelecendo-se o pH em dois dias, voltando a cair com 72 dias de operação. A alteração no substrato não pôde ser explicada e o bicarbonato de sódio foi novamente utilizado.

Para evitar que o reator de lodos ativados fosse alimentado diretamente com um possível efluente ácido do reator anaeróbio, optou-se pela alimentação do reator de LA diretamente com o efluente simulado. Foi utilizada uma bomba dosadora e a vazão foi mantida em 0,52L/h. Assim, com 87 dias de operação do LA, os reatores passaram a ser operados separadamente, alimentados pelo mesmo substrato, diminuindo-se a DQO afluente ao reator anaeróbio de 1400 para 1000mg/L. Entretanto, neste período houve muitas oscilações da DQO do substrato, ± 400 mg/L. Acredita-se que estas alterações no licor negro devam-se a formação de "grumos" no licor negro estocado na geladeira.

Com este aumento na DQO afluente ao reator de lodos ativados, em torno de 400 mg/L, além da alimentação direta, sem a ação do pré-tratamento pelo reator anaeróbio, foi notada visualmente uma alteração da estrutura dos flocos do reator de lodos ativados e perda de sólidos para o tanque após o decantador.

A má formação e dispersão dos flocos foi confirmada pelos exames microscópicos e optou-se por fazer a alimentação do reator de lodos ativados a partir do tanque efluente do UASB, utilizando-se uma bomba.

Para a recuperação dos flocos do reator de lodos ativados, o tempo de detenção hidráulica foi aumentado de 7 para 12 horas, sendo feita nova inoculação com 102 dias de operação. Foi utilizado lodo do reator de lodos ativados da indústria Faber Castell, São Carlos. Também foi alterada a recirculação do lodo do decantador, inicialmente igual a 1/3 da vazão de entrada ao reator, foi aumentada para 2/3 da vazão.

A alcalinidade sofreu uma variação grande, de 89 a 314mg/L, provavelmente pela variação na produção de ácidos graxos voláteis do efluente do reator UASB que alimentava o reator de LA.

A temperatura foi ajustada neste período de 35°C para 47,5°C. A eficiência de remoção teve variações, mantendo-se em torno de 50% nos últimos 27 dias deste período, com a temperatura mantida na faixa de 45°C-47°C.

Durante 97 dias, o reator de LA foi operado na faixa termofílica de 52°C a 57°C. A eficiência média neste período foi de (54 \pm 7)%. A alcalinidade parcial gerada oscilou, entretanto, o efluente do UASB que alimentava o reator, também variou muito. Apesar deste substrato ter alimentado o LA por 21 dias com alcalinidade real baixa, abaixo do limite detectável pelo método empregado no monitoramento, a alcalinidade gerada pelo LA suportou as oscilações, não alterando o pH deste reator.

Deve-se considerar que, com 239 dias de operação houve uma falha no sistema e o reator de lodos ativados ficou sem aeração por aproximadamente 12 horas. Observou-se o efeito "bulking" gerado pelos organismos filamentosos que foi solucionado apenas com o aumento da taxa de aeração de 60 para 90l./min.

Na tabela 3 estão descritos os microrganismos predominantes em cada intervalo de temperatura.

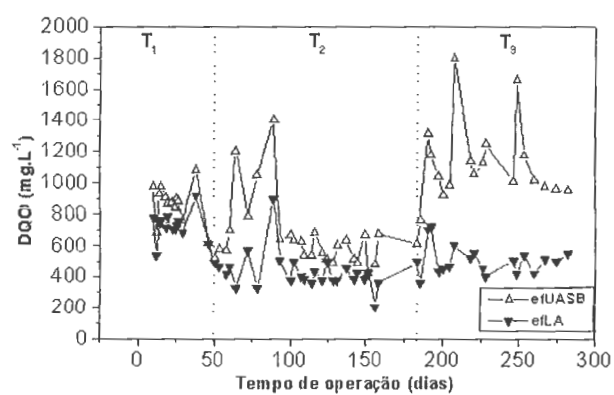
LNI2 (30mL:15L:7mL etanol)	52	11	8	924-1176
LNI2 (30mL:15L:7mL etanol)	52	8	42	986-1250

Todos os resultados obtidos no monitoramento do reator de lodos ativados são apresentados na Figura 1: DQO, eficiência de remoção, pH, alcalinidade parcial e total gerada. As temperaturas de operação (ambiente, de 35 a 47,5°C e 52 a 57°C) estão representadas na Figura 1 por T₁, T₂ e T₃, respectivamente.

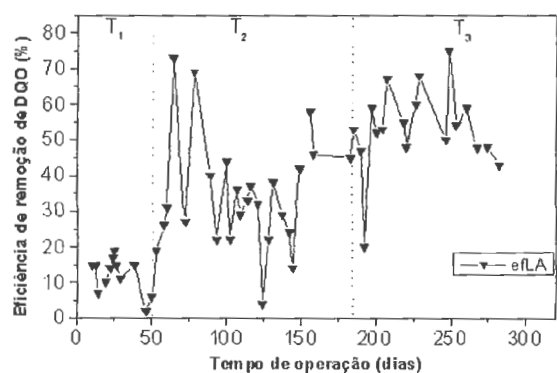
Tabela 3. Microrganismos predominantes nas três faixas de trabalho selecionadas.

Grupo Funcional	Espécies observadas	Intervalos de Temperatura		
		Ambiente (25°C a 35°C)	Mesofílica (35°C a 47,5°C)	Termofílica (52°C-57°C)
Protozoários				
Flagelados	não identificados	2	1	0
Ciliados livres	<i>Paramecium</i>	0	2	0
	<i>Aspidisca</i>	1	3	0
Rizópodes	<i>Euglypha</i>	3	2	0
	<i>Amoeba</i>	0	0	0
Metazoários (rotíferos)	não identificados	3	1	0
Bactérias				
Em suspensão	não identificados	2	2	2
Cocos	não identificados	0	2	3
Bacilos	não identificados	0	0	3
Filamentos	<i>Thiotrix I</i>	0	0	3
	<i>Thiotrix II</i>	0	0	2
	<i>021N</i>	1	2	1
	<i>Nocardia</i>	0	0	4
	<i>N.Limicola II</i>	0	0	3
	<i>M. Parvicela</i>	0	0	1

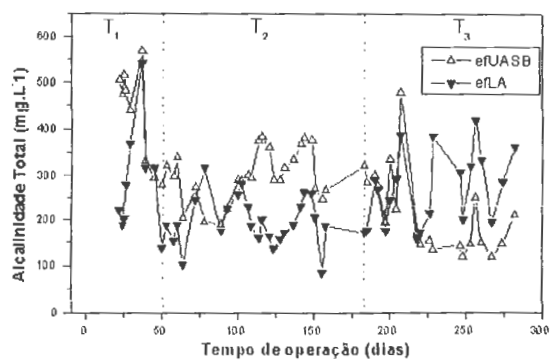
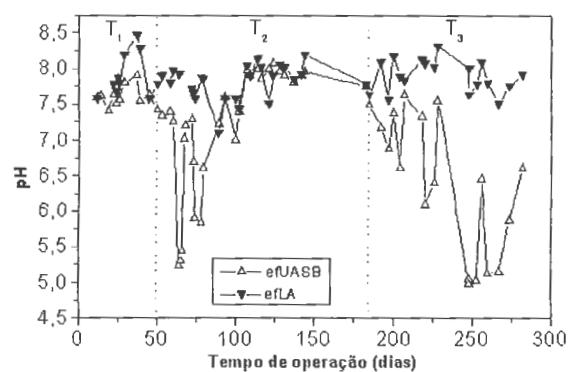
Escala qualitativa de frequência: (0) nenhuma; (1) rara; (2) comum; (3) muito comum; (4) abundante



(a)



(b)



(c)

(d)

Figura 1. Resultados de análises do reator de lodos ativados: DQO (a), Eficiência de remoção (b), pH (c) e Alcalinidade total (d), nas três faixas de temperatura (T₁: ambiente; T₂: 35-47,5^oC; T₃: 52-57^oC).

Conclusões

O reator aeróbio de lodos ativados mostrou-se viável para tratar o efluente em temperatura acima de 50^oC e mais estável na fase termofílica quando comparado ao reator UASB.

Foi observada variação na diversidade de microrganismos em cada intervalo de temperatura.

Houve perda de sólidos no reator e o decantador não se mostrou eficiente. O maior crescimento da biomassa foi observado na faixa de temperatura termofílica.

Alguns testes estão sendo feitos para verificar a taxa de transferência de oxigênio no substrato em alta temperatura e também na água, como tentativa de se avaliar a viabilidade econômica do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARMO, D.F.; PIRES, E.C. Tratamento anaeróbio termofílico de efluente sintético de indústria de pasta de celulose não branqueada utilizando reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente. 22^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
2. JAHREN, S.; RINTALA, J.A.; ODEGAARD, H. Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions. *Water Research*. Vol. 36, p. 1067-1075, 2002.
3. JENKINS, D.; RICHARD, M. G.; DAIGGER, G. T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. 2nd. Edition. 193p. 1993.
4. KIM, M.; SPEECE, R.E. Aerobic waste activated sludge (WAS) for start-up seed of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion. *Water Research*. vol. 36, p. 3860-3866, 2002.
5. VOGELLAR, J.c.T.; KLAPWIJK, A.; LIER, J. B.; RULKENS, W.H. Temperature effects on the oxygen transfer rate between 20 and 55^oC. *Water Research*, vol. 34, n. 3, p. 1037-1041, 2000.

AGRADECIMENTOS. Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento pela bolsa de doutorado concedida, e pela bolsa de produtividade e pesquisa. Agradecem também a indústria Celpav-unidade de Luís Antônio, pelo licor negro cedido para a realização deste trabalho. E a FAPESP pelo financiamento do projeto Temático "Desenvolvimento, análise, aprimoramento e otimização de reatores anaeróbios para tratamento de águas residuárias".