

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA

SEASIDE, CALIFORNIA

MEMBRO

19. *Leucaspis* (Leucaspis) *lutea* (Fabricius)

1960-61. The first year of the new century was a year of great change in the life of the Society. The Society was incorporated, and the name was changed to the "Society of the Friends of the Library".

COMPAGNIA

DISC
DATA STOR

ASSOCIAÇÃO
MÉDICA SANTISTA

ANEXO BRASILEIRO
SANITÁRIO FEDERATIVO
Gional da AIDSA

ESTEIRA DE
AMBIENTAL

300 METRE CD

A circular metal plate with a decorative border and a central embossed design.

1. *Leucosia* (Leucosia) *leucosia* (L.) (Fig. 1)

FABRICADO PELA MERCER SERVICE - INDÚSTRIA BRASILEIRA

ESTABE
Qualidade

Qualidade Ambiente

A circular logo for "COMPACT DISK DATA STORAGE". The word "COMPACT" is at the top, "DISK" is in the center, and "DATA STORAGE" is at the bottom.



NETTE CO

卷之三



22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

14 a 19 de Setembro 2003 - Joinville - Santa Catarina

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 287 p

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 Agronômica 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

água 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 CELPA V, 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 contém 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 afluente (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 pode 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, \pm 400mg/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.

II-085 - PÓS- TRATAMENTO AERÓBIO TERMOFÍLICO DE EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO E FLUXO ASCENDENT

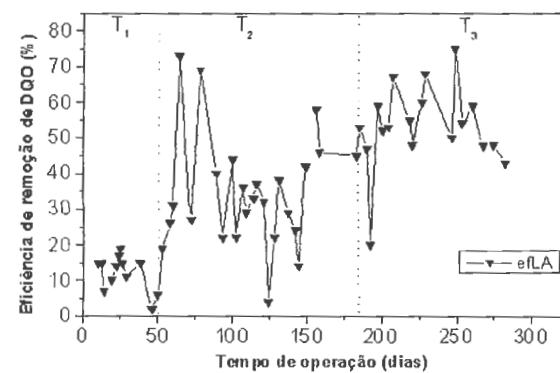
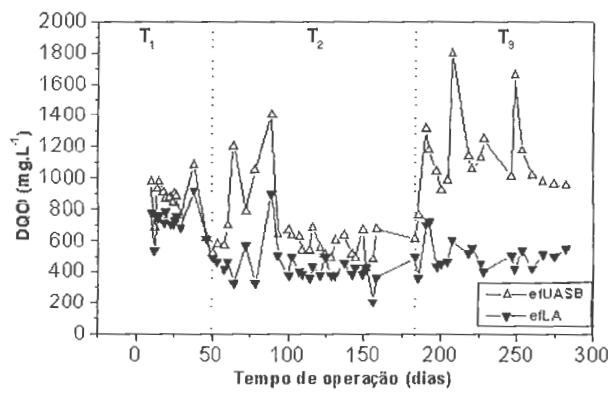
LNI2 (30mL:15L:7mL etanol)	52	11	8	924-1176
LNI2 (30mL:15L:7mL etanol)	52	8	42	986-1250

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.

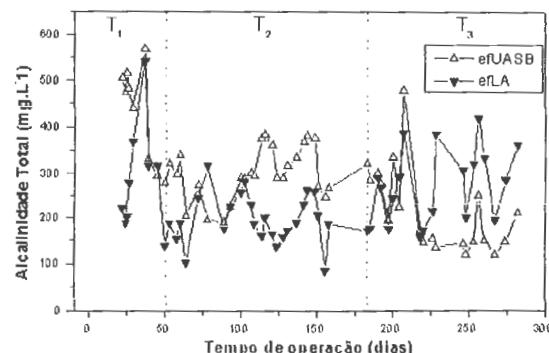
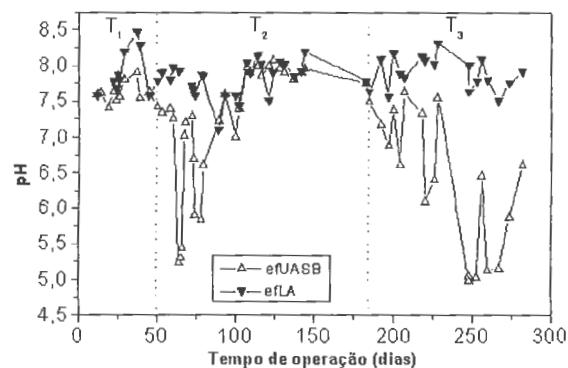
Grupo Funcional	Espécies observadas	Intervalos de Temperatura		
		Ambiente (25°C a 35°C)	Mesofílica (35°C a 47,5°C)	Termofílica (52°C-57°C)
Protozoários				
Flagelados	não identificados	2	1	0
Ciliados livres	<i>Paramecium</i>	0	2	0
	<i>Aspidisca</i>	1	3	0
Rizópodes	<i>Euglypha</i>	3	2	0
	<i>Amoeba</i>	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>O2IN</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 freqüência: (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°C; T₃: 52-57°C).

Conclusões

O reator aeróbio de lodos ativados mostrou-se viável para tratar o efluente em temperatura acima de 50°C 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. 22º 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°C. *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".