

**Utilização de sistema combinado de reatores anaeróbio-aeróbio  
(UASB/Lodos ativados) termofílicos para tratamento de efluente  
simulado da indústria de celulose**

Dirlane de Fátima do Carmo

Eduardo Cleto Pires

Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP, Departamento de Hidráulica e Saneamento

**Resumo:** Neste trabalho é demonstrada a viabilidade técnica para o tratamento termofílico de água residuária de indústria de celulose não branqueada em um sistema anaeróbio aeróbio. O experimento foi feito em escala de bancada e o reator anaeróbio utilizado foi o de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), enquanto para o tratamento aeróbio utilizou-se o princípio de lodos ativados (LA). Neste experimento a temperatura foi gradualmente elevada de 25°C a 55°C. Para um período de 90 dias de operação à temperatura mais alta (55°C) a remoção de DQO média foi de 65%. Deve ser ressaltado que esta foi uma primeira experiência e que os reatores e as condições experimentais podem ser melhorados. O trabalho indica que é possível eliminar o estágio de resfriamento para utilizar o sistema de lodos ativados no tratamento da água residuária da indústria de celulose não branqueada.

**Abstract:** In this paper it is shown the technical feasibility of thermophilic wastewater treatment of low strength black liquor in an anaerobic-aerobic system. The experiments were performed in bench scale and the anaerobic reactor used was an UASB, while the aerobic treatment used the activated sludge principle. In this experiment the temperature was raised gradually, from 25°C to 55°C. For a period of 90 days of operation at the highest temperature the average COD removal was 65%. It should be pointed out that this was the first experiment and both the experimental reactor as the operational conditions can be improved. This procedure indicates that it may be possible to use eliminate the cooling stage from wastewater treatment plants that use activated sludge systems.

**Palavras Chave:** lodos ativados; UASB; termofílicos, celulose

**Keywords:** activated sludge, UASB, thermophilic

## **Introdução**

O uso combinado de reatores anaeróbios e aeróbios apresenta-se com grande potencial prático para o tratamento de águas residuárias, incluindo não somente o tratamento complementar da matéria orgânica, como também, a remoção de outros poluentes recalcitrantes, quando necessário. Utilizando-se o reator anaeróbio anteriormente ao aeróbio, reduz-se significativamente as desvantagens atribuídas aos custos de energia, volume do tanque e produção de excesso de lodo do processo aeróbio (CAMPOS, 1999). Em trabalho realizado por NA *et al.* (1996) foi concluído que o sistema anaeróbio-aeróbio apresenta resultados melhores que os tratamentos realizados apenas por processos anaeróbios.

Entretanto, esta tecnologia de tratamento é na maioria das vezes aplicada na faixa de temperatura mesofílica, ou seja, entre 25 e 40°C. A possibilidade de um sistema de tratamento biológico termofílico pode ser uma alternativa atrativa quando a água residuária é descartada em altas temperaturas. Na maioria dos processos industriais, os efluentes são quentes e contém altas concentrações de compostos orgânicos, podendo assim ser adequados ao tratamento nesta faixa de temperatura. O tratamento termofílico eliminaria a necessidade de resfriamento e eventual reaquecimento da água para retornar ao processo (LEPISTÖ, 1997). Isto representa um ganho econômico, evitando custos com a construção e manutenção de uma torre de resfriamento, bem como redução de tempo de operação.

Questionava-se, o tratamento aeróbio termofílico, porque se acreditava em uma deficiente transferência de oxigênio devido a baixas concentrações de saturação do oxigênio em altas temperaturas. Entretanto, em trabalho realizado por VOGELLAR *et al.* (2000), para verificar a taxa de transferência de oxigênio em tratamento aeróbio de águas residuárias recicladas na indústria de papel, analisando águas convencionais e de processo desta indústria, em uma temperatura média de 20-55°C, mostrou-se que a baixa saturação de oxigênio em alta temperatura era compensada pelo aumento na taxa de transferência de oxigênio.

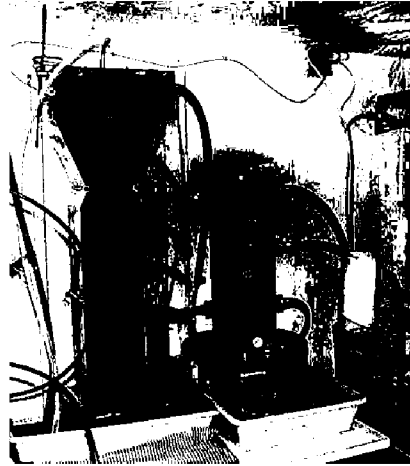
Atualmente, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos em todo o mundo buscando aproveitar as potencialidades deste tratamento e obtendo bons resultados (JAHREN *et al.*; 1997; JAHREN *et al.*; 1999; JAHREN *et al.*, 2002; LEPISTO *et al.*, 1997; RINTALA *et al.*, 1997; KIM *et al.*, 2002; DINSDALE *et al.*, 1997;).

Assim, o principal objetivo deste trabalho é a aplicação de um sistema combinado de reatores biológicos, anaeróbio seguido pelo aeróbio, ambos termofílicos.

## **Procedimento Experimental**

O sistema experimental de reatores biológicos em escala de bancada, foi montado no laboratório de Processos Biológicos, Escola de Engenharia de São Carlos.

O sistema era composto por um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente, alimentando continuamente um reator aeróbio de lodos ativados. No experimento empregou-se um substrato sintético que simula os efluentes de uma fábrica de celulose não branqueada. Na Figura 1 pode ser visualizado o sistema, antes de ser iniciada a operação.



**Figura 1. Esquema do sistema completo utilizado neste trabalho.**

O reator anaeróbio empregado apresenta um volume de reação de 10,5 litros. As faces frontal e dorsal do reator são de acrílico transparente e as faces laterais de aço inoxidável, possuindo na lateral 6 pontos de amostragem.

O tanque aeróbio de lodo ativado foi construído em acrílico transparente e tem um volume de 10 L.

O reator anaeróbio foi inoculado com lodo proveniente de um reator UASB tratando dejetos de um abatedouro de aves. A inoculação foi feita na última quinzena de março de 2002 e a quantidade adicionada de lodo foi de 3,0 litros. O reator foi mantido em batelada por 10 dias. Posteriormente, o reator foi operado de forma contínua, variando-se o tempo de detenção e a carga orgânica.

O reator aeróbio de lodos ativados foi inoculado no início da segunda quinzena de julho de 2002. Foram utilizados 2,0 L de lodo de reator aeróbio da indústria de papel e celulose CELPAV (Unidade de Luís Antônio, São Paulo). O reator foi mantido em batelada, alimentado com o efluente do reator UASB, até a última quinzena do mesmo mês. Posteriormente, os reatores começaram a operar de forma contínua, sendo adaptados da faixa de temperatura mesofílica para termofílica. Na faixa termofílica os reatores foram operados por 133 dias.

Para o preparo do substrato foram utilizados o licor negro concentrado e o intermediário, fornecidos pela indústria de papel e celulose Celpav, caracterizados na Tabela 1. Assim, um determinado volume do licor era colocado em balão volumétrico de 1,0 L e o volume aferido. Posteriormente, o licor diluído era transferido para um recipiente, sendo adicionados extrato de levedura, cloreto de amônio e fosfato de sódio monobásico, de forma a suprir as quantidades de nitrogênio e fósforo recomendados para o processo anaeróbio (relação DQO:N:P de 500:5:1, segundo FORESTI, 1997). O volume então era completado para 15,0 litros e o pH ajustado com ácido acético até atingir um valor aproximado de 7,0.

Para monitoramento dos reatores, duas vezes por semana eram analisadas a demanda química de oxigênio (DQO), a produção de alcalinidade total, ácidos e a produção de gases pelo reator anaeróbio.

**TABELA 1. Composição do licor negro bruto usado no preparo do substrato.**

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.

### **Resultados e Discussão**

Os reatores foram inoculados com lodo mesofílico, em temperatura ambiente e adaptados para a faixa termofílica.

O reator anaeróbico permaneceu em sistema de batelada durante 10 dias, sendo posteriormente colocado em sistema contínuo. O tempo de detenção hidráulico utilizado no tratamento anaeróbico foi reduzido de 42 para 20 horas e a carga orgânica aumentada, de acordo com a Tabela 2. Pelos resultados, notou-se a necessidade de adicionar uma fonte de carbono. Assim, o etanol foi adicionado ao substrato, com 156 dias de operação do reator UASB. O licor utilizado nesta etapa foi o licor negro concentrado, que causou diversos problemas, tanto de caracterização, quanto de perda de sólidos no reator.

A partir do 65<sup>o</sup> dia de operação, passou a ser utilizado no preparo do substrato, o licor negro intermediário e a DQO foi ajustada para aproximadamente 1400  $mg.l^{-1}$ , valor desejado para este trabalho. Com os reatores operando em temperatura ambiente, a eficiência de remoção de DQO no UASB oscilou entre 37 e 62%, estabilizando em torno de 50%.

A alcalinidade gerada no UASB aumentou de 280  $mg.l^{-1}$  para valores em torno de 550  $mg.l^{-1}$ . Porém, começou a decrescer com 153 dias de operação, voltando ao valor inicial com 158 dias. No reator de lodos ativados também houve uma acentuada queda na alcalinidade gerada no final da Fase de operação em temperatura ambiente. A produção de gases no UASB somente sofreu uma queda acentuada com 82 e 104 dias de operação, coincidindo com queda na eficiência de remoção de DQO. A produção de ácidos permaneceu praticamente estável nos reatores.

Com 158 dias de operação, o termostato passou a ser utilizado para controle de temperatura, partindo de 30 graus. Foram sendo feitas alterações na temperatura e no licor negro utilizado de acordo com a Tabela 2.

A eficiência média de remoção de DQO no sistema na faixa de temperatura de 30 para 47<sup>o</sup>C foi de 67%.

Com a temperatura da câmara controlada em 52<sup>o</sup>C, os reatores foram operados por 41 dias, sendo o tempo de detenção hidráulica do reator anaeróbico de 20 horas e o do aeróbico de 11 horas. A demanda química de oxigênio do substrato neste período variou de 1274 a 1648, tendo a eficiência do reator anaeróbico variado de 19 a 73% e a do aeróbico de 42 a 58%. A produção de ácidos neste período foi crescente, partindo de valores em torno de 40 mg/L chegando a 198mg/L, enquanto no

reator aeróbio a produção se manteve constante, com valores em torno de 40 mg/L. A produção de alcalinidade total também variou de 249 a 375mg/L para o reator anaeróbio e de 89 a 289mg/L para o reator aeróbio.

No final deste período, houve um aumento da DQO de entrada que fez com que a produção de metano zerasse, sendo que no início do período os valores estavam em torno de 15µmol.

Para que o reator anaeróbio fosse recuperado, o tempo de detenção hidráulico foi aumentado para 24 horas.

Neste segundo período a DQO de entrada ficou em torno de 1330 mg/L. Entretanto, no décimo dia de operação, houve um pico de DQO de 1852mg/L, fazendo com que o reator anaeróbio que estava recuperando da última carga de choque, com eficiência em torno de 25%, tivesse a eficiência reduzida para 3%. Entretanto, para o reator aeróbio, mesmo com o aumento da carga orgânica de entrada, a eficiência neste período manteve-se em 57% com desvio padrão de 7%.

A causa das variações na carga orgânica não puderam ser determinadas. Acredita-se que foram devidas a formação de aglomerados no licor negro utilizado no preparo do substrato.

O teor de ácidos na entrada ficou em torno de 130mg/L, tendo um pico no mesmo dia em que foi registrado o pico de DQO, de 220mg/L. Entretanto, a alcalinidade total gerada nos reatores teve o maior pico neste mesmo dia, evitando assim que houvesse queda no pH dos reatores. A produção de gases foi crescente, partindo de valores em torno de 1,5µmol chegando no final deste período a 14µmol.

**TABELA 2. Tipo e volume de licor usado, tempo de operação, tempo de detenção hidráulica e DQO média do substrato.**

LNC (10mL:10L)	ambiente	42	*	21
LNC (14mL:10L)	ambiente	42	*	22
LNC (18mL:10L)	ambiente	42	*	25
LNC (20mL:10L)	ambiente	30	*	37
LNC (25mL:10L)	ambiente	30	*	40
LNI1 (50mL:10L)	ambiente	20	*	98
LNI1 (50mL:10L)	ambiente	20	batelada	104
LNI1 (60mL:12L)	ambiente	20	11	132
LNI1 (60mL:15L)	ambiente	20	11	133
LNI1 (45mL:15L:4mL etanol)	ambiente	20	11	154
LNI1 (50mL:15L:5mL etanol)	ambiente	20	11	158
LNI1 (50mL:15L:5mL etanol)	35	20	11	161
LNI1 (55mL:15L:7mL etanol)	35	20	11	166
LNI1 (55mL:15L:7mL etanol)	35	20	11	168
LNI1 (55mL:15L:7mL etanol)	37,5	20	11	172
LNI1 (50mL:15L:7mL etanol)	37,5	20	11	186
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	37,5	20	11	215
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	42,5	20	11	245
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	47,5	20	11	250
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	47,5	20	11	252
LNI1 (45mL:15L:7mL etanol)	52	20	11	298

\* o sistema ainda não estava sendo operado

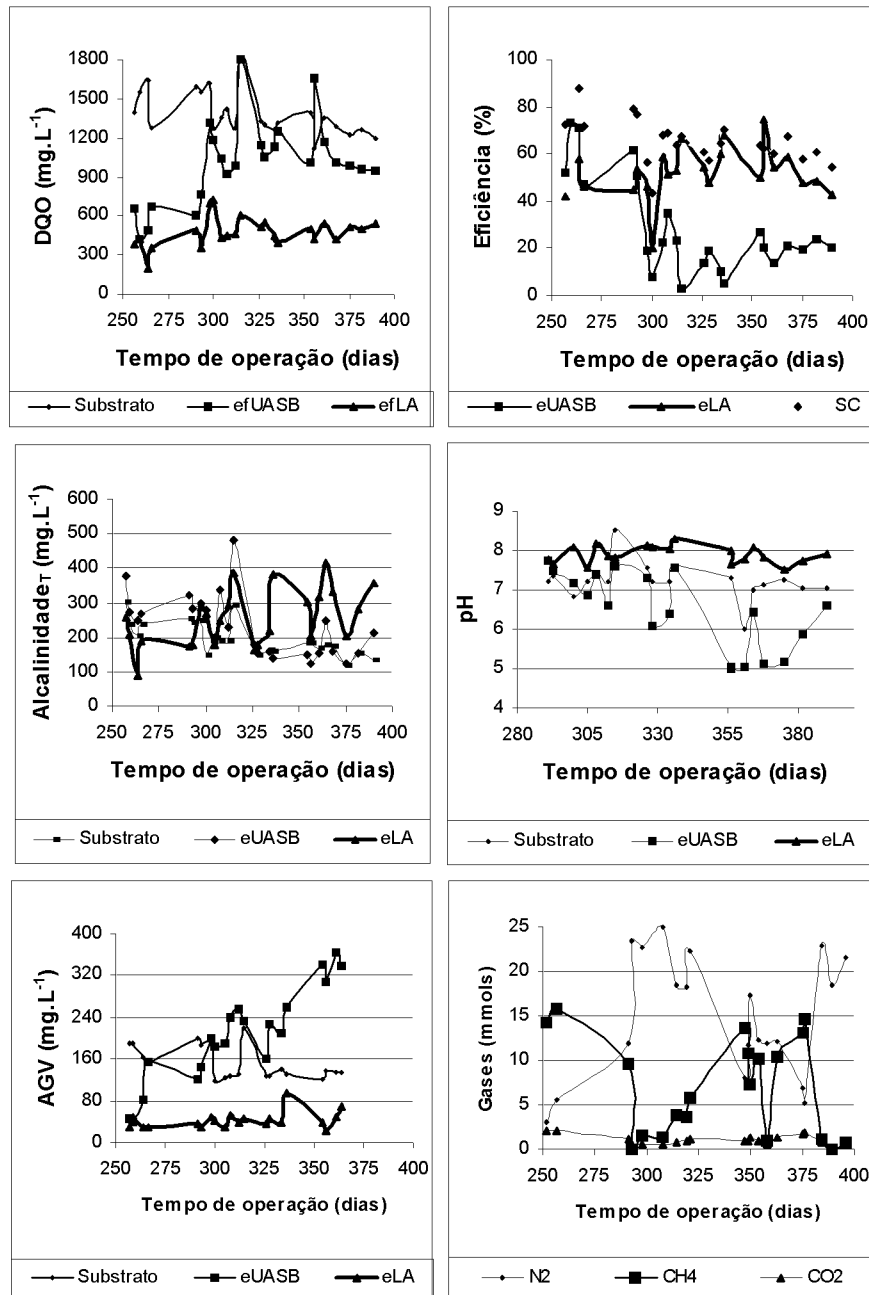
LNC: licor negro concentrado, LNC11: licor negro concentrado intermediário 1; LNC12: licor negro concentrado intermediário 2.  
T<sub>c</sub>: temperatura da Câmara; TCO: taxa de carregamento orgânico

Os reatores operaram nesta condição por 50 dias, a temperatura foi então ajustada para 57<sup>o</sup>C e os reatores foram operados por mais 34 dias, aproximadamente.

Neste último período a eficiência do UASB ficou em torno de 20% e a do lodos ativados em torno de 50%, com eficiência global em torno de 65%. A produção de ácidos caiu no reator anaeróbio de 364 para 237mg/L, entretanto, no reator aeróbio a produção de ácidos sofreu grande variação, 24 a 90mg/L. Porém, a alcalinidade total gerada foi alta, em torno de 300mg/L, enquanto para o anaeróbio esta produção ficou em torno de 170mg/L.

O pH no efluente do anaeróbio neste último período ficou em torno de 6 e a produção de gases sofreu grande variação, de 0 a 15µmol.

Na Figura 2 são apresentados os gráficos para visualização da demanda química de oxigênio, eficiência de remoção de DQO, alcalinidade total, produção de ácidos e de gases.



**Figura 2. Resultados da Fase de operação na faixa termofílica: DQO, Eficiência de remoção, Alcalinidade, pH, ácidos graxos voláteis e produção de gases.**

## **Conclusão**

Os reatores mostraram-se viáveis para tratar o efluente em temperatura acima de 50<sup>o</sup>C, sendo que o reator de lodos ativados apresentou-se mais estável na fase termofílica quando comparado ao reator UASB.

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

## **Referências Bibliográficas**

- DINSDALE, R.; HAWKES, F.R.; HAWKES, D. (1997). Comparison of mesophilic and thermophilic upflow anaerobic sludge blanket reactors treating instant coffee production wastewater. *Water Research*. Vol. 31, n. 1, p. 163-169. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- JAHREN et al; 1999 The effect of extreme temperatures (70-800C) on the effluent quality and sludge characteristics of UASB reactors. *Water Science Technology*. Vol. 36, n. 6-7, p. 325-332. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- JAHREN, S.; RINTALA, J. (1997). The closure water circuits by internal thermophilic (55 and 70<sup>o</sup>C) and anaerobic treatment in the thermomechanical pulping process. *Water Science Technology*. Vol. 35, n. 2-3, p. 49-56. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- JAHREN, S.; RINTALA, J.; ODEGAARD (1999). Anaerobic thermophilic (55<sup>o</sup>C) treatment of TMP whitewater in reactors based on biomass attachment and entrapment. *Water Science Technology*. Vol. 40, n. 11-12, p. 67-75. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- JAHREN, S.; RINTALA, J.A.; ODEGAARD, H. (2002). Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions. *Water Research*. Vol. 36, p. 1067-1075. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- KIM; m.; SPEECE, R.E. (2002). Aerobic waste activated sludge (WAS) for start-up seed of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion. *Water Research*. Vol. 36, p. 3860-3866. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- LEPISTO, R.; RINTALA, J. (1997). The effect of extreme temperatures (70-80<sup>o</sup>C) on the effluent quality and sludge characteristics of UASB reactors. *Water Science Technology*. Vol. 36, n. 6-7, p. 325-332. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- NA, H.; QIAN, Y.; GU, X.; TANG, W. Z. (1996). Biological Treatment of dye wastewaters using an anaerobic-oxic system. *Chemosphere*, vol. 33, no. 12, p. 2533-2542. Elsevier Science Ltda, Grã-Bretanha.
- RINTALA, J.A.; LEPISTO, S.S. (1997). Pilot-scale thermophilic anaerobic treatment of wastewaters from seasonal vegetable processing industry. *Water Science Technology*. Vol. 36, n. 2-3, p. 279-285. Elsevier Science Ltda. Grã-Bretanha.
- VOGELAAR, J. C. T.; KLAPWIJK, A.; LIER, J. B.; RULKENS, W.H. (2000). Temperature effects on the oxygen transfer rate between 20 and 55<sup>o</sup>C. *Water Research*, vol. 34, n. 3, p. 1037-1041, 2000.