

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-146 - TRATAMENTO BIOLÓGICO DE CHORUME ORIUNDO DO ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE PIRAÍ (RJ)**Juacyara Carbonelli Campos⁽¹⁾**

Professora Visitante do Depto de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ.
D.Sc. em Engenharia Química- Tecnologia Ambiental – PEQ/COPPE/UFRJ.
Graduada em Engenharia Química pela Escola de Química – UFRJ.

Ubiratan Amorim da Silva

Aluno do Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente/ DESMA/UERJ.
Técnico Nível Superior – Laboratório de Eng^a Sanitária e Meio Ambiente/ UERJ.
Graduado em Engenharia Química pela Escola de Química – UFRJ.

Adriana Brasil Vargas

Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil –Ênfase em Eng. Sanitária e Ambiental – FEN/UERJ

Endereço(1): Av. São Francisco Xavier, 524 sala 5029-F Prédio João Lira Filho – Maracanã - 20550-900 – Rio de Janeiro-RJ. Tel. (21)2587-7743

juacyara@eng.uerj.br**RESUMO**

Parâmetros biocinéticos foram estimados, para diversos modelos, no tratamento biológico do percolado oriundo do Aterro Sanitário de Piraí (RJ), localizado na região sul fluminense do Estado. Esse estudo visa, além de dar uma contribuição científica ao fornecer dados biocinéticos de chorume, que são escassamente existentes na literatura, dar respaldo técnico e científico a eventuais intervenções no sistema de tratamento de chorume existente no aterro sanitário. Cabe ressaltar que este é um dos dois únicos aterros do Estado a ter licença de operação da FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) e o único a ter o acompanhamento de uma universidade (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) desde o início de sua operação em 2000.

PALAVRAS-CHAVE: Chorume, Processos Biológicos, Parâmetros Biocinéticos.

INTRODUÇÃO

Vários estudos mostram que o chorume pode conter substâncias químicas tóxicas em concentrações acima dos limites dos padrões estabelecidos para águas utilizadas para consumo humano. Assim, deve ser observado que nos aterros sanitários construídos próximos aos rios e mananciais ou em locais onde o lençol freático seja próximo, dependendo das características do solo, o chorume pode migrar rapidamente alcançando as águas subterrâneas e facilmente serem transportadas para outras posições podendo vir a contaminar um corpo d'água superficial.

O reconhecimento da poluição e contaminação das águas decorrente da geração de chorume é tratado por especialistas como uma questão de grande importância. O tratamento de chorume representa ainda um grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, uma vez que suas características se alteram em função das propriedades dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, com a idade do aterro. A variabilidade das características do chorume de diferentes aterros e de áreas com idades de aterramento diferentes exigem que os métodos de tratamento sejam adaptáveis às variações de qualidade e de volume.

O Aterro Sanitário do Município de Pirai está situado na região sul fluminense do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1) junto à Rodovia Presidente Dutra, assegurando uma condição de acesso permanentemente boa para o tráfego dos veículos com resíduos a serem dispostos no Aterro. A área está localizada em uma região fora das bacias de contribuição das represas de Ribeirão das Lajes, Vigário e Santana e faz parte da bacia de um pequeno córrego contribuinte do Ribeirão Cachimbal, classificado para uso estético, de preservação de flora e fauna, de dessedentação de animais e diluição de despejos. Do local da área do Aterro até o encontro com o Ribeirão Cachimbal o córrego percorre 6,0 km. Este, por sua vez percorre 13,0 km até desaguar no Rio Paraíba do Sul do qual é contribuinte. O Paraíba do Sul é um dos principais afluentes do Rio Guandu que abastece a cidade do Rio de Janeiro o que torna o trabalho ainda mais relevante no sentido da proteção de mananciais de abastecimento.

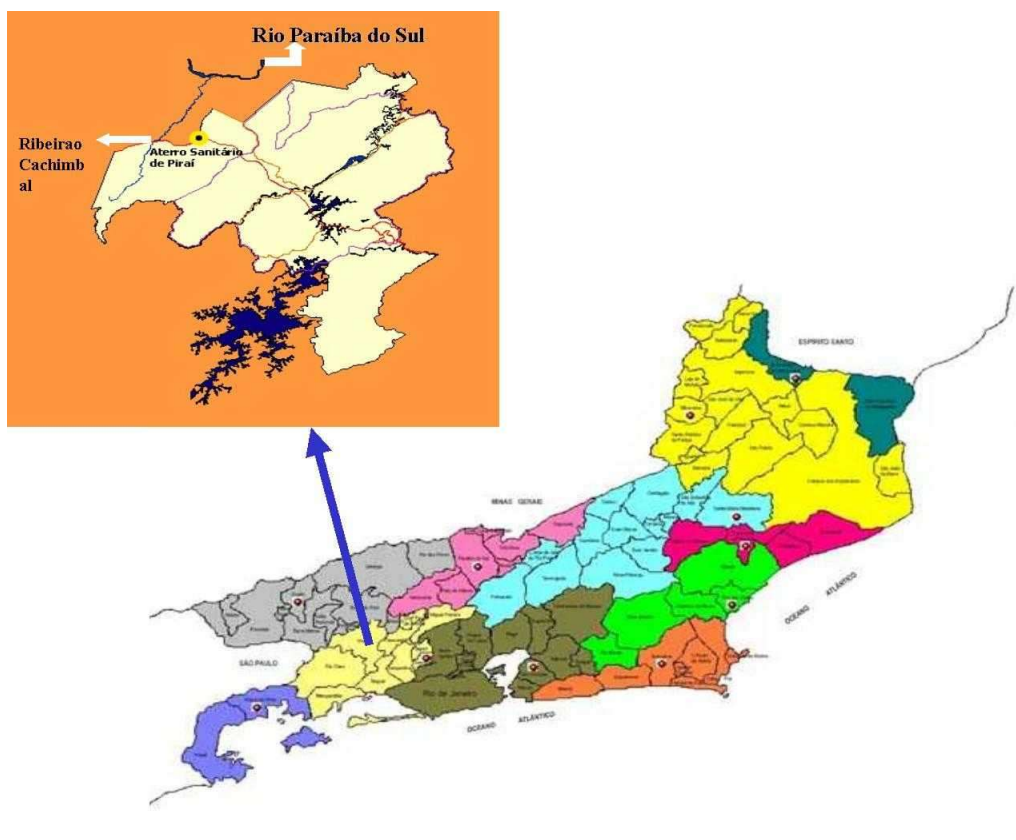


Figura 1. Localização do Aterro Sanitário do Município de Pirai (RJ)

O aterro sanitário recebe 20 t/dia de lixo urbano e seu projeto incluiu o controle de água superficial, barreira de proteção de argila (*liner*) e sistema de captação de gás e chorume. A vida útil do aterro é calculada em torno de 30 anos. É importante ressaltar que este é um dos dois únicos aterros do estado a ter licença de operação da FEEMA e o único a ter o acompanhamento da Universidade desde o início de sua operação em 2000.

O sistema de tratamento de chorume é composto por um filtro biológico, um *wetland* e uma lagoa. O sistema tem se mostrado eficiente e os resultados encontrados mostram que, até o presente, o aterro sanitário de Pirai vem cumprindo o seu objetivo de dar destinação adequada aos resíduos do município sem impactos ambientais significativos (Ferreira et al, 2003).

Em paralelo com a operação do aterro e do sistema de tratamento de chorume, ensaios são realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente (LES/UERJ) para estudar a caracterização desse chorume e sua tratabilidade com o objetivo de permitir eventuais intervenções buscando sempre uma melhor eficiência do tratamento do percolado.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a tratabilidade do chorume oriundo do Aterro Sanitário de Pirai em biorreator aerado (escala de laboratório) visando obter dados cinéticos de biodegradação, dados de remoções de poluentes como o nitrogênio amoniacal e matéria orgânica, e dados sobre o comportamento do lodo biológico perante o contato com o chorume.

MODELOS BIOCINÉTICOS

Processos biológicos de tratamento, tais como o processo de lodos ativados, são muito utilizados para o tratamento de diversos tipos de efluentes, desde esgotos domésticos até efluentes industriais. Assim, há uma necessidade de conhecimento de modelos cinéticos para analisar a performance do processo durante o tratamento do efluente. Esses modelos podem servir de base para a melhoria do desempenho operacional do sistema de tratamento, além do desenvolvimento do projeto desses sistemas. Os valores dos parâmetros biocinéticos podem ser obtidos durante ensaios em escala de laboratório.

O modelo que descreve melhor um processo biológico é o descrito nas equações 1 a 3. Segundo Metcalf & Eddy (2002), a equação 1 (referida na literatura como a equação de Michaelis-Menten) representa bem a remoção de substrato. Além disso, esta também é a forma proposta por Monod para a taxa específica de crescimento celular (equação 2), na qual o substrato limitante está disponível para os microrganismos na forma dissolvida (Metcalf & Eddy, 2002). Vale lembrar que a concentração de substrato utilizada nas equações refere-se ou à DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) ou à DQO (Demanda Química de Oxigênio) biodegradável e que a concentração celular, na maioria das vezes, é representada através do parâmetro SSV (Sólidos Suspensos Voláteis).

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{kXS}{K_s + S} \quad (1)$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu_m XS}{K_s + S} - bX \quad (2)$$

$$k = \frac{\mu_m}{Y} \quad (3)$$

onde: X= concentração de biomassa (mg SSV/L)

S= concentração de substrato (mg DQObiodegradável ou DBO/L)

k= taxa específica máxima de utilização de substrato (mg DQObiodegradável ou DBO/mgSSV.d)

μ_m =taxa específica máxima de crescimento celular (d^{-1})

K_s =constante de meia velocidade (mg DQObiodegradável ou DBO /L)

Y=fração de conversão de substrato em massa celular – produção específica de lodo (mgSSV/mgDBO ou DQObiodegradável removida)

b= taxa de decaimento celular (d^{-1} ou h^{-1})

Alternativamente, outras expressões podem ser usadas para descrever as taxas de utilização de substrato e de crescimento celular. Vale ressaltar que as expressões utilizadas para os processos biológicos são todas empíricas, baseadas em coeficientes determinados experimentalmente. Algumas equações (4 a 8) que representam o consumo de substrato estão apresentadas a seguir.

$$\frac{dS}{dt} = -k \quad (4)$$

$$\frac{dS}{dt} = -kS \quad (5)$$

$$\frac{dS}{dt} = -kXS \quad (6)$$

$$\frac{dS}{dt} = -kX \frac{S}{S_0} \quad (7)$$

$$\frac{S_0 - S}{X.t} = K \frac{S}{S_0} \quad (8)$$

As equações utilizadas para representar a cinética de utilização de substrato dependem principalmente dos dados experimentais disponíveis, que serão utilizados para o ajuste ao modelo e às aplicações do modelo. Em alguns casos, o modelo de primeira ordem (equações 5 e 6) é satisfatório para descrever a taxa de utilização de substrato quando o processo biológico opera com concentrações baixas de substrato (Ramalho, 1991 e Metcalf & Eddy, 2002). O modelo de ordem zero (equação 4) pode representar bem condições de elevada concentração de substrato (Ramalho, 1991). Em Eckenfelder (1989), é descrito um modelo (equação 8) que é baseado em um sistema de mistura completa, onde a taxa de remoção global irá decrescer de acordo com o decréscimo da concentração dos compostos orgânicos remanescentes, onde as substâncias mais prontamente biodegradáveis serão removidas primeiro. Ainda em Eckenfelder (1989), são relacionados valores obtidos do parâmetro K para diversos tipos de efluentes.

Essas equações têm destaque na utilização em análise de balanço de massa e vale lembrar que os valores obtidos não devem ser utilizados fora da faixa de condições adotadas para obtê-los.

ENSAIOS PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO DO LODO BIOLÓGICO

Ensaio de Respirometria do Lodo

Durante o tratamento biológico de esgotos e efluentes por processo aeróbio, a remoção do substrato e o crescimento da biomassa estão relacionados com o consumo de oxigênio. A respirometria é a medição e interpretação da taxa de consumo de oxigênio (*OUR-Oxygen Uptake Rate*), ou algumas vezes chamada taxa de respiração do lodo ativado, e é definida como a quantidade de oxigênio por unidade de volume e tempo que é consumida pelos microrganismos.

Para o controle operacional de estações de tratamento de esgotos e efluentes, a caracterização do afluente e a velocidade de resposta dos métodos empregados na análise são de fundamental importância. Nesse contexto, a respirometria pode significar uma alternativa complementar às análises de laboratório, uma vez que permite análise imediata dos processos metabólicos. A respirometria vem sendo utilizada, em muitos países, de forma sistemática no controle e operação de estações de tratamento de lodos ativados, atuando como uma ferramenta fundamental no diagnóstico de eventuais problemas, e ainda, o ensaio de respirometria pode ser utilizado como um teste de toxicidade bacteriana baseado na inibição da atividade biológica e pode ser utilizado na caracterização bioquímica de efluentes e na caracterização da fração da DQO afluente prontamente disponível para a biomassa do processo de lodos ativados (Costa, 2002).

IVL (Índice volumétrico do lodo) ou SVI (sludge volume index)

É um ensaio em proveta que nos dá um indicativo da decantabilidade do lodo, que é um parâmetro importante na operação de lodos ativados. Alguns dos valores reportados pela literatura para esse parâmetro estão indicados na Tabela 1 (Costa, 2002), onde se pode observar que quando o processo apresenta valores de IVL entre 35 - 150 mL/g a sedimentação do lodo no decantador secundário é satisfatória, proporcionando um efluente com baixa turbidez. Valores acima de 200 mL/g são normalmente indicativos de lodo de baixa qualidade, podendo ocorrer perdas significativas de sólidos no sobrenadante do decantador secundário. Cabe ressaltar que os valores acima são válidos para o tratamento de esgoto sanitário. Para outros tipos de efluentes, um estudo rigoroso deve ser efetuado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Chorume

O chorume estudado é oriundo do poço de acumulação que precede o sistema de tratamento no aterro sanitário (Figura 2). A Tabela 2 ilustra a caracterização desse efluente. A metodologia analítica utilizada segue os métodos de análise previstos na 20ª edição de *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, publicado em conjunto por AWWA, WPCF e APHA (1998).

Tabela 1. Valores de referência para o parâmetro IVL.

Referências	Faixa satisfatória do IVL (mL/g)
Eckenfelder, 1989	100 - 150
Von Sperling, 1997	50 - 100: faixa ideal > 200: sedimentação ruim
Bitton, 1994	50 - 150
Jenkins et al., 1993	80 - 120: faixa ideal < 150: faixa satisfatória
Jordão & Pessoa, 1995	40 - 150: faixa ideal > 200: lodo de qualidade inferior
Ramalho, 1991	35 - 150

**Figura 2. Poço de acumulação de chorume no Aterro Sanitário de Pirai.****Tabela 2. Caracterização do chorume do Aterro Sanitário de Pirai (julho 2002 – setembro 2003)**

Parâmetros	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo
Cloreto (mg/L)	1.146	498	1.789
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L)	2.817	1.746	3.470
Condutividade (mS/cm)	7,61	5,53	8,61
Cor (mg Pt/L)	1.250	400	3.000
pH	7,04	6,1	7,59
Fósforo Total (mg/L)	0,71	0,13	1,2
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	351	162	426
SST – Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	201	44	560
COT - Carbono Orgânico Total (mg/L)	170	140,9	189,6
DQO - Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	818	195	1.414
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	215	40	555

Reator Biológico

Os ensaios foram conduzidos em batelada, utilizando reator de acrílico, com volume útil de 3,2 L. O reator segue o modelo convencional descrito em Eckenfelder (1989) e Ramalho (1991). As Figuras 3 e 4 ilustram a operação do mesmo. A aeração e agitação do conteúdo do reator são realizadas por borbulhamento de ar através de difusor poroso, à temperatura ambiente. O tempo de retenção do processo é de 24 horas.



Figura 3. Biorreator em operação (julho/2003)

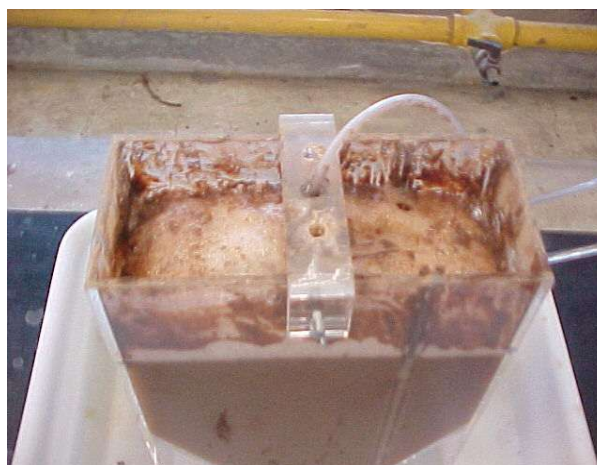
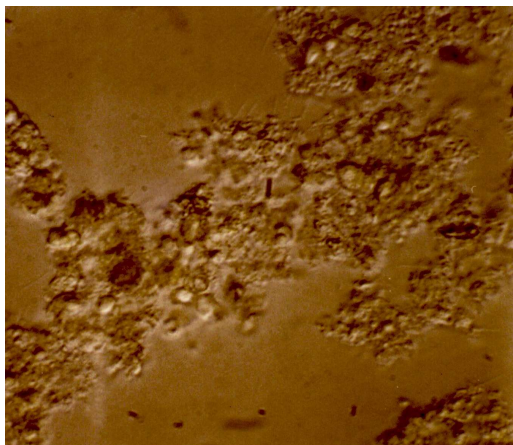


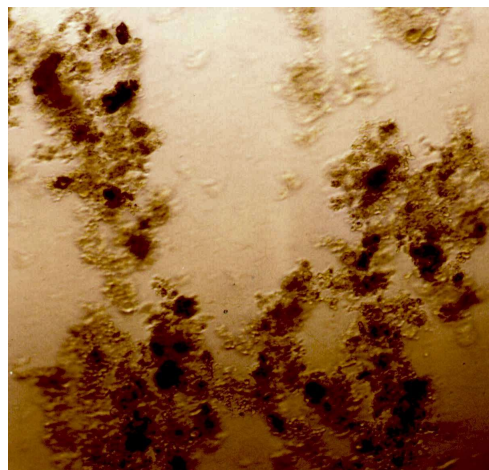
Figura 4. Biorreator em operação (julho/2003)

Aclimação do Lodo

A aclimação do lodo biológico foi executada de forma gradual, de modo a manter a atividade microbiana do inóculo utilizado. A aclimação foi realizada em várias fases: Primeiramente, foi utilizado como inóculo a biomassa proveniente do tanque de aeração da Estação de Tratamento de Esgotos da Penha (ETEP) e o lodo oriundo da Estação de Tratamento de Chorume de Gramacho. Aumentou-se gradativamente a proporção de chorume em relação ao de esgoto doméstico (em volume). O percentual volumétrico inicial do lodo biológico inoculado ao reator foi de 20%. A qualidade e a quantidade do lodo atuante foram monitorados através de ensaios de IVL, SSV e Respirometria. Além disso, foram realizadas algumas observações microscópicas do lodo. As Figuras 4 e 5 ilustram microscopia realizada com o lodo, após um mês de aclimação.



**Figura 4. Microscopia do lodo ativado
(aumento 100X)**



**Figura 5. Microscopia do lodo ativado
(aumento 400X)**

Por fim, foi adicionado lodo da Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico da Ilha do Governador (ETIG), que passou por um período adicional (1 mês) de aclimação. Após esse período, o reator foi alimentado com chorume (100%) e foi adicionado glicose para se obter uma relação alimento/microrganismo (F/M) na faixa de 0,10-0,15 kg DBO/kgSSVd, operando assim como lodos ativados modalidade aeração prolongada. Além disso, a biomassa foi purgada eventualmente, quando a concentração de SSV excedia 3000 mg/L.

Aquisição de dados experimentais e estimação dos parâmetros cinéticos

Os dados experimentais foram adquiridos através bateladas, onde amostras de lodo e chorume foram retiradas periodicamente durante um período de 24 horas. Os dados foram analisados através de software apropriado e os parâmetros estimados.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Devido ao período de chuvas na região do aterro sanitário, o chorume coletado no período dos ensaios, na maioria das vezes, apresentou-se diluído, com a DBO muito baixa, dificultando a realização dos experimentos. Assim, os resultados que serão apresentados são referentes a aquisição de dados de duas bateladas.

Resultados de remoção de DQO e N-NH_4^+

A Figura 6 ilustra a média dos resultados obtidos, em termos de decaimento de concentração de DQO e nitrogênio amoniacal.

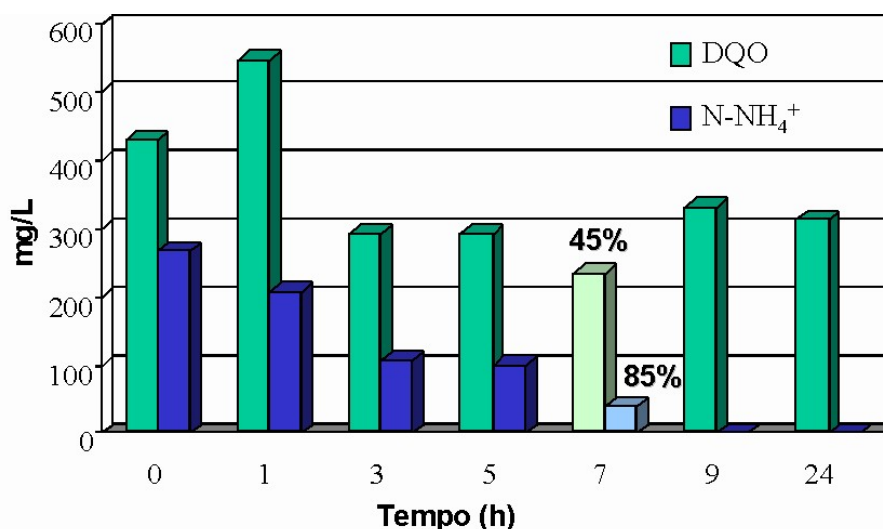


Figura 6. Resultados de decaimento de DQO e nitrogênio amoniacal com o tempo.

Em 7 horas de operação obtivemos uma eficiência de remoção de 45% de DQO e 85% de amônia. A remoção apenas razoável de DQO é resultado de uma biodegradabilidade desse chorume não tão elevada (relação DBO/DQO na faixa de 0,20-0,40), o que para um percolato gerado em um aterro sanitário recente não é esperado. Segundo McBean et al (1995) essa relação seria maior que 0,7. O aterro sanitário de Piraí, desde que começou a ter uma geração contínua de percolato, apresentou a relação DBO/DQO em uma faixa não tão elevada (0,2-0,4), que pode ser devido a própria característica do aterro: o alto grau de compactação da primeira camada de lixo que poderia ter reduzido a taxa de decomposição biológica no aterro (Ferreira et al, 2003).

Resultados referentes à biomassa

Os resultados obtidos para os parâmetros relacionados à decantação e atividade do lodo (IVL, SSV/SST, OUR e SOUR – *Specific Oxygen Uptake Rate*) estão ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de parâmetros relacionados ao lodo biológico

Parâmetros	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo
IVL (mL/g)	42	28	75
SSV/SST	0,67	0,62	0,73
OUR (mgO ₂ /L.h)	138	-	-
SOUR (mg O ₂ /gSSV.h)	66,5	-	-

Os valores obtidos de IVL estiveram dentro da faixa de boa decantabilidade, o que era percebido visualmente. A relação SSV/SST (valor médio de 0,67) está um pouco abaixo da faixa recomendada para tratamento de esgoto doméstico (0,70-0,85). A atividade do lodo era bem elevada, 66,5 mg O₂/gSSV.h (SOUR) e 138 mgO₂/L.h (OUR), esses valores estão bem acima aos comentados na literatura para vários tipos de efluentes.

Valores obtidos para os parâmetros biocinéticos

Com os resultados das bateladas foram ajustados diferentes modelos e seus parâmetros foram estimados. Os valores obtidos estão relacionados na Tabela 4. Os gráficos de ajuste estão apresentados ao fim do trabalho, no item "Anexos".

Tabela 4. Valores obtidos para os parâmetros biocinéticos de diversos modelos.

Modelo	Valores dos parâmetros	
$\frac{dS}{dt} = -kS$, equação (5)	$k [d^{-1}]$	2,1
		4,7
$\frac{dS}{dt} = -kXS$, equação (6)	$k [mg\ SSV/L.d]$	$2,62 \times 10^{-4}$
		$1,31 \times 10^{-3}$
$\frac{S_0 - S}{X.t} = K \frac{S}{S_0}$, equação (8)	$K [mgDQO^*/mgSSV.d]$	0,145
		0,259
$\frac{dS}{dt} = -\frac{kXS}{K_s + S^{**}}$, equação (1)	$k [mgDQO^*/mgSSV.d]$	0,11
		0,22
	$K_s [mgDQO^*/L]$	12
		97

* fração biodegradável da DQO

**foi considerado $\frac{dX}{dt} = 0$, ou seja, a concentração de biomassa foi constante durante os ensaios.

Eckenfelder (1989) apresenta vários valores de K (referentes à equação 8) para diversos tipos de efluentes. O valor obtido é bem inferior ao menor valor tabelado no seu trabalho (1,2 mg DQO/mgSSV/ d, para efluentes de indústria de curtume).

O valor de k (equação 1) está bem abaixo do tabelado em Mecalf & Eddy (2002) para esgoto doméstico: 2-5 mgDQO/mgSSV.d. Esses resultados indicam que o chorume utilizado nos ensaios tem uma biodegradação relativamente lenta. Já o parâmetro Ks está dentro da faixa citada pelos mesmos autores para esgoto doméstico (10-60 mgDQO/L).

Tellez et al (1995) calcularam valores de k e Ks para a água de produção de petróleo, utilizando a equação 1: $k=1,70-7,45$ mg n-alcanos totais/mgSSV.d e $K_s=1,36-7,97$ mg n-alcanos totais/L.

Comparação com os valores obtidos no biofiltro que opera no Aterro Sanitário de Pirai

O filtro biológico que opera no sistema de tratamento do chorume existente no aterro apresenta uma carga bem baixa (0,0092-0,0264 kgDBO/m³.d), o que tem favorecido a redução do teor de amônia, muito provavelmente pelo processo de nitrificação (Campos et al, 2003). Durante o período monitorado pelos autores, o filtro foi eficiente na remoção de matéria orgânica, com uma remoção crescente de DBO (30-90%), 69% de nitrogênio amoniacal, porém os últimos resultados estão na faixa de 90% e valores médios de 40% de remoção de DQO. Desta maneira, observa-se que os resultados relatados em campo são corroborados pelos ensaios realizados em laboratório.

Com os resultados apresentados em Campos et al (2003), foi ajustado o modelo de Eckenfelder (equação 9) para Filtros Biológicos, (Eckenfelder, 1989 e Ramalho, 1991) e foi calculada a constante de tratabilidade K.

$$\frac{S_e}{S_0} = \exp\left(-\frac{KD}{Q^n}\right) \quad (9)$$

onde:

S_e = concentração de DBO efluente do filtro (mg/L);

S_0 = concentração de DBO que alimenta o filtro (mg/L);

K = constante de tratabilidade correspondente ao recheio do filtro utilizado e sua profundidade (neste caso, a unidade é d⁻¹);

n = constante hidráulica do meio filtrante, calculado com bases nos dados de Campos et al (2003) , $n=1$;

D = altura do recheio (m);

Q = taxa hidráulica de carregamento (m^3/m^2d).

O valor estimado para K foi de $0,038 d^{-1}$.

CONCLUSÕES

Os processos biológicos de tratamento (como por exemplo, o processo de lodos ativados) são processos convencionalmente utilizados em tratamento de rejeitos. O desenvolvimento de unidades tratamento biológico exige como etapa inicial o reconhecimento do modelo cinético que melhor represente as reações globais que ocorrem no processo. No caso de rejeitos que apresentem características complexas tal qual o chorume, esse passo torna-se imprescindível.

A aquisição de dados biocinéticos é de grande valia para a caracterização desse chorume, avaliação da sua biotratabilidade, além de desenvolver uma metodologia para determinação dos principais parâmetros de projeto, baseada em bases, cientificamente, mais seguras.

Neste trabalho, o chorume oriundo do aterro sanitário de Pirai submetido a ensaios de biotratabilidade alcançou remoções de 45% de DQO e 85% de amônia, em 7 horas de experimento. Além disso, foram obtidos parâmetros biocinéticos relativos a diversos modelos propostos na literatura.

Percolados oriundos de aterro sanitários novos se caracterizam por valores elevados de biodegradabilidade (McBean, et al, 1995). Os resultados obtidos ilustram uma biodegradabilidade não tão elevada do chorume. Tal fato pode estar relacionado à operação do aterro, ou seja, ao nível cobertura e de compactação do lixo.

Os experimentos estão tendo continuidade para obtenção de mais conjuntos de dados que permitam obter informações mais precisas sobre os parâmetros cinéticos de degradação.

AGRADECIMENTOS

à Prefeitura Municipal de Pirai (RJ) pela coleta de chorume.

ao Labpol/PEQ/COPPE/UFRJ, pela realização das análises microscópicas.

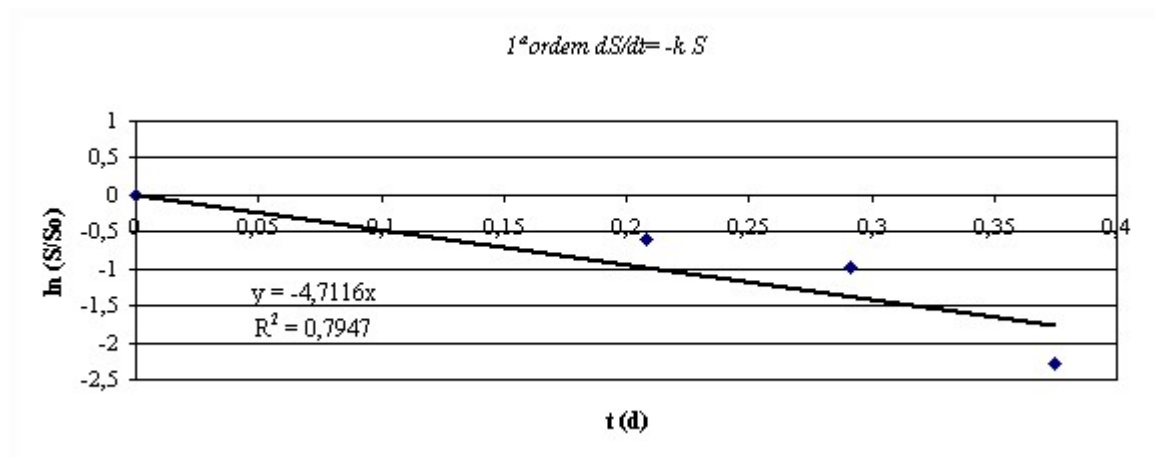
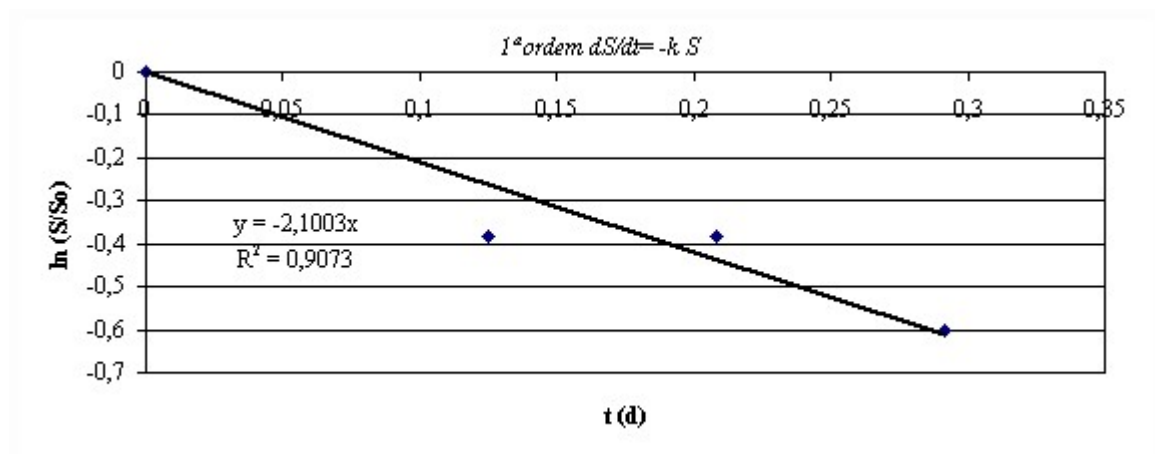
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition, New York, 1998.
2. BITTON, G. *Wastewater Microbiology*, New York, Wiley-Liss, 1994.
3. CAMPOS, J.C., FERREIRA, J. A, RITTER, E., MANNARINO, C.F. Filtro biológico aeróbio – resultados no tratamento do chorume do aterro sanitário de Pirai – RJ: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2003. Anais, Joinville SC, 2003.
4. COSTA, F.C. Avaliação do Processo de Lodos Ativados e Aplicação de Carvão Ativado para o Tratamento de um Efluente da Indústria Química, Tese M. Sc., Programa de Engª Química, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
5. ECKENFELDER Jr., W. W. Industrial Water Pollution Control, McGraw-Hill Book Company, New York, 1989.
6. FERREIRA, J. A., CAMPOS, J.C., RITTER, E., GIORDANO, G., MANNARINO, C.F. Eficiência global do sistema de tratamento de chorume do aterro sanitário de Pirai: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2003. Anais, Joinville SC, 2003.
7. FERREIRA, J.A., ROSSO, T.C.A., GIORDANO, G., RITTER, E., CAMPOS, J.C. Relatório Técnico Monitoramento do Aterro de Pirai e Ensaios de Laboratório em Escala Piloto. RELATÓRIO RHA/CNPQ, Rio de Janeiro, 2001.

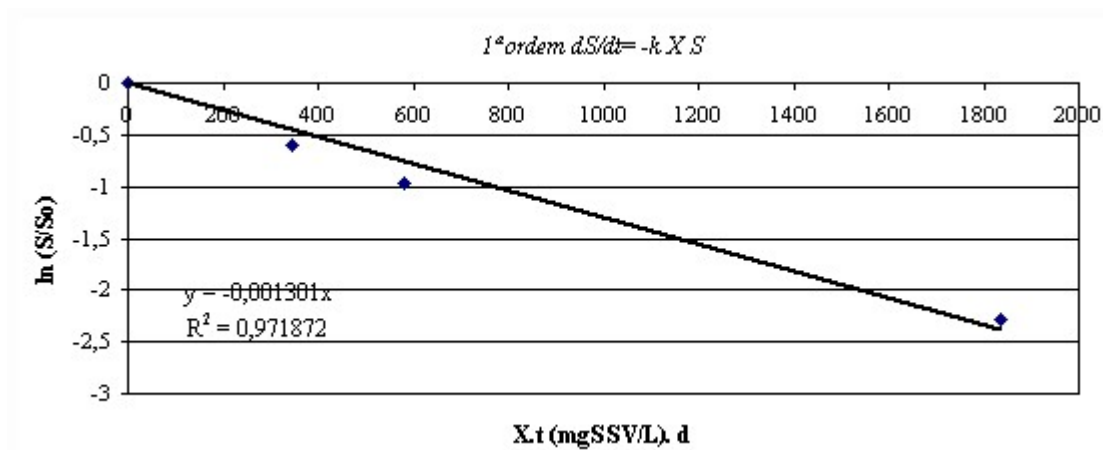
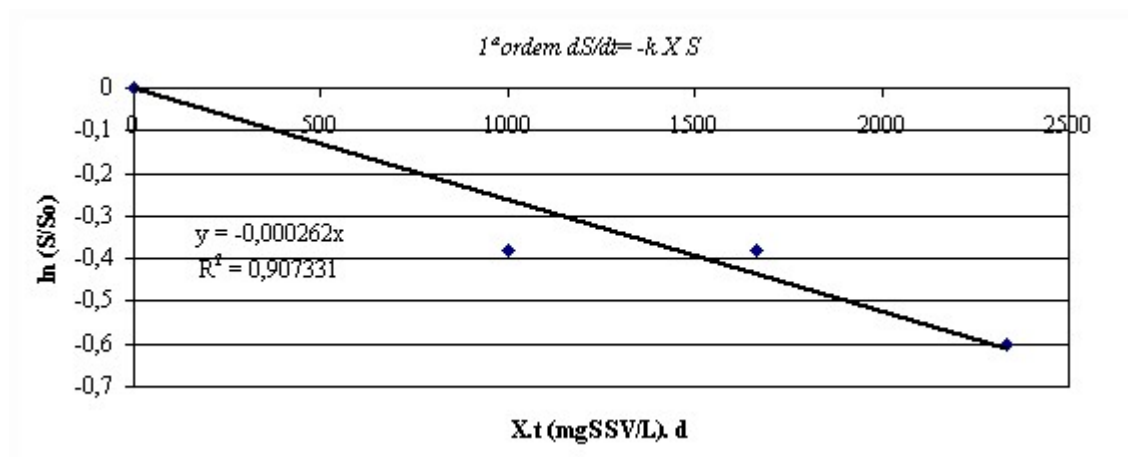
8. JENKINS, D., RICHARD, M. G., DAIGGER, G.T. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming, 2nd edition, Michigan, Lewis Publishers, 1993.
9. JORDÃO, E. P., PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos, 3ª edição, Rio de Janeiro, ABES, 1995.
10. Mc BEAN, E.A., ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall USA, 1995.
11. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment And Reuse. McGraw-Hill USA, 2002.
12. RAMALHO, R. S. Tratamiento de Aguas Residuales, Barcelona, Editorial Reverté S.A, 1991.
13. TELLEZ, G.T., NIRMALAKHANDAN, N., GARDEA-TORRESDEY, J.L.. Evaluation of Biokinetic Coefficients in Degradation of Oilfield Produced Water Under Varying Salt Concentrations. Water Research, v. 29, n.7, p. 1711-1718, 1995.
14. VON SPERLING, M. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, Volume 4 – Lodos Ativos, DESA, UFMG, Brasil, 1997.

ANEXOS

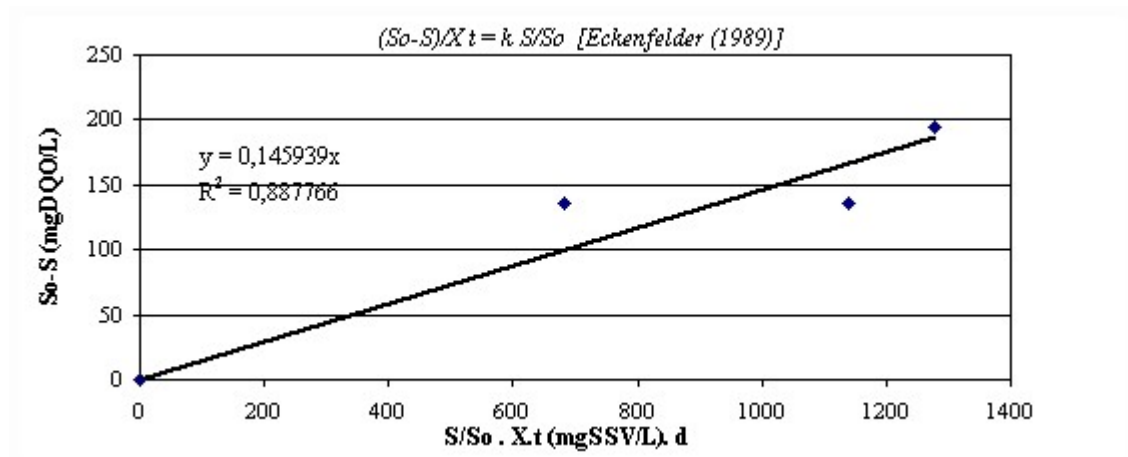
a) Modelo 1ª ordem: $\frac{dS}{dt} = -kS$

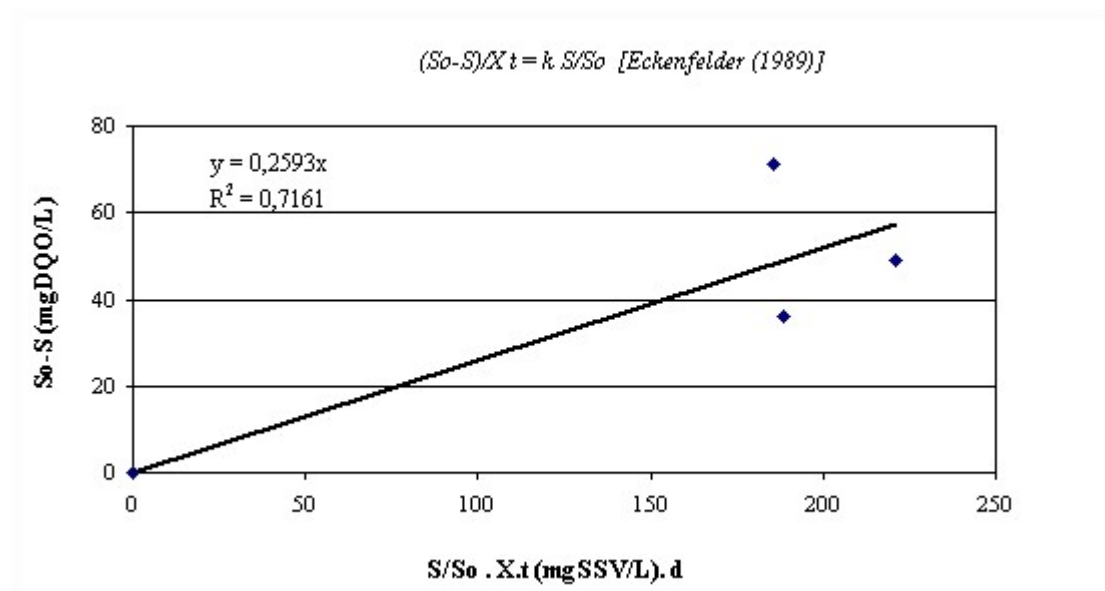


b) Modelo 1ª ordem: $\frac{dS}{dt} = -kXS$



c) Modelo: $\frac{S_0 - S}{X.t} = K \frac{S}{S_0}$ (Eckenfelder, 1989)





d) Equação de Michaelis-Menten $\frac{dS}{dt} = -\frac{kXS}{K_s + S}$

