



### III-087 - AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E ESGOTO DOMÉSTICO PELO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS

**João Alberto Ferreira<sup>(1)</sup>**

D.Sc. em Saúde Pública pela ENSP - Fundação Oswaldo Cruz e M.Sc. em Engenharia Ambiental pelo Manhattan College, New York, USA. Professor Adjunto do Depto. de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Faculdade de Engenharia - UERJ.

**Raquel Simões Oliveira Franco**

Mestre em Engenharia Ambiental – PEAMB/UERJ. Graduada em Engenharia Civil – Ênfase em Engenharia Sanitária e Ambiental – Faculdade de Engenharia - UERJ.

**Daniele Maia Bila**

Pós-doutora pela COPPE/UFRJ, D.Sc. em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ e M.Sc. em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Depto. de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Faculdade de Engenharia - UERJ.

**Carolina de Menezes Firmino**

Graduanda em Engenharia Civil – Aluna de Iniciação Científica - Faculdade de Engenharia - UERJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua das Laranjeiras, nº 525, apto. 1102, Laranjeiras, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 22240-002 - Brasil. Tel. +55 (21) 2557 – 9941 - e-mail: [joaf@uerj.br](mailto:joaf@uerj.br)

#### RESUMO

Atualmente têm sido pesquisadas tecnologias para o tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos que sejam capazes de assimilar as variações de volume e de carga orgânica dos mesmos. Neste trabalho foi avaliado o tratamento combinado de lixiviado e esgoto em uma Planta Piloto de lodos ativados, instalada na ETE de Icaraí/Niterói (RJ). O estudo foi desenvolvido com percentuais de lixiviado nas proporções de 0,5 a 2,5% em relação ao esgoto (volume/volume). Em termos de carga de DQO, os percentuais foram de 1,9 a 8,7% de carga equivalente ao lixiviado adicionado. Na Planta Piloto foram alcançadas reduções de DQO acima de 90%. Valores médios de DQO remanescente no efluente da planta piloto variaram de 43 a 134mg/L. Quanto às remoções de nitrogênio amoniacal foram obtidos valores médios de 80 a 97%. Ademais, foram monitorados reatores aeróbios em bancada objetivando avaliar possíveis interferências no desenvolvimento do lodo biológico. Foram operados reatores em regime de batelada e em regime contínuo. Os reatores não indicaram prejuízos ao lodo biológico em função do acréscimo de lixiviado para os percentuais de mistura de lixiviado de 0,5 a 2,5% em termos de volume, sendo alcançadas reduções de DQO acima de 80%. As remoções de nitrogênio amoniacal foram maiores no reator operado em regime de batelada. Os resultados obtidos na Planta Piloto e nos reatores operados em bancada demonstraram a viabilidade técnica do tratamento combinado e não indicaram interferência negativa no tratamento, em se tratando de redução de DQO, com o aumento da percentagem de lixiviado. Problemas na sedimentabilidade do lodo biológico foram observados ao longo de todo o período de operação da Planta Piloto, não havendo, entretanto, indicação de perda de sua qualidade em função das diferentes concentrações de lixiviado na alimentação.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixiviado, tratamento combinado, lodos ativados

#### INTRODUÇÃO

Uma alternativa para o tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU) que vêm sendo empregada em alguns países é o tratamento combinado de lixiviado com esgoto doméstico em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). No Brasil, este tratamento já é utilizado em alguns locais, podendo ser citados os Aterros Bandeirantes, São João, Vila Albertina e Santo Amaro, em São Paulo (SP); da Extrema, em Porto Alegre (RS); Salvaterra, em Juiz de Fora (MG), de Belo Horizonte (MG) e o aterro do Morro do Céu, em Niterói (RJ) (FACCHIN *et al*, 2000; FERREIRA *et al*, 2005; PAGANINI *et al*, 2003).

Contudo, devido as suas características recalcitrantes e tóxicas, o lixiviado pode causar efeitos adversos nos processos de tratamento das ETE's. Levantam-se questionamentos quanto às interferências causadas pelas altas concentrações de poluentes, compostos recalcitrantes e micropoluentes orgânicos dos lixiviados, bem

como sobre a toxicidade dos efluentes tratados. Tais questionamentos têm levado pesquisadores a desenvolverem estudos focados no impacto do lixiviado no tratamento combinado com o esgoto doméstico em uma ETE. No entanto, são poucos os trabalhos desenvolvidos sob as condições climatológicas brasileiras.

O presente trabalho visa avaliar o tratamento combinado de lixiviado de aterros de RSU e esgoto doméstico a partir de uma Planta Piloto de lodos ativados. Pretende-se verificar a interferência do tratamento combinado no desempenho das unidades de tratamento de esgotos quando submetidas a diferentes proporções de diluição do lixiviado no esgoto doméstico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação do tratamento combinado de esgoto e lixiviado de aterros de RSU pelo processo de lodos ativados foram monitorados uma Planta Piloto e dois reatores em escala de bancada, sendo um operado em regime contínuo e um operado em batelada. Os reatores em escala de bancada visaram à avaliação da interferência da adição de lixiviado na atividade do lodo biológico, sob condições de maior controle.

A Planta Piloto, instalada na ETE de Icaraí (Niterói/RJ), é composta por um tanque de aeração, com volume de 1150L seguida de um decantador circular, cujo volume é de aproximadamente 100 L (Figura 1). O aerador utilizado foi do tipo superficial, flutuante, que realiza a mistura mecânica do líquido pela rotação de um eixo e injeta ar no tanque. O retorno do lodo para o tanque de aeração é feito por um sistema de *air lift*, onde o lodo sedimentado é arrastado para o tanque de aeração quando o compressor de ar é acionado. Durante o período de operação do sistema, adotou-se o acionamento do retorno do lodo com intervalos de 30 minutos, por um período de 2 minutos.



Figura 1. Foto geral da planta piloto

O sistema foi operado em regime contínuo sendo alimentado com mistura de esgoto mais lixiviado. Inicialmente, foi inoculado com uma biomassa aeróbia proveniente de um processo biológico de outra ETE.

A operação da Planta Piloto foi realizada em três etapas. Na primeira e na terceira, o sistema foi alimentado com mistura de lixiviado e esgoto na proporção de 2 a 2,5% de lixiviado. Na segunda etapa a alimentação da planta foi o próprio efluente da entrada da ETE de Icaraí, após passagem pela caixa de areia da própria Estação. Este efluente consiste em uma mistura de esgoto e lixiviado na proporção de 0,5 a 1,0% de lixiviado. A Planta Piloto foi monitorada diariamente desde a sua partida a fim de verificar se foi atingida a condição de equilíbrio e de avaliar a eficiência do tratamento.



Os parâmetros físico-químicos determinados no afluente e efluente do sistema, de acordo com APHA (2005), foram: pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, SSV, SST e N-NH<sub>3</sub>, turbidez, cor aparente e cor verdadeira. No reator de lodos ativados foram monitorados: oxigênio dissolvido (OD), pH, SST, SSV, IVL e Taxa de Consumo de Oxigênio específica (TCO<sub>esp</sub>). Além destes parâmetros foi analisada a microscopia do lodo, quando foram feitas fotografias do lodo através de uma câmera fotográfica digital (Sony, DSC-W110) posicionada manualmente junto às objetivas do microscópio óptico.

Os reatores operados em bancada possuem volume útil de 3 L, sendo constituídos em material acrílico, com saída na lateral, próximo ao nível superior do líquido. Ambos os reatores foram operados por 32 dias ininterruptos. Na primeira fase, que consistiu nos primeiros 21 dias os reatores foram alimentados com mistura de 0,5 a 1,0% de lixiviado em relação ao esgoto, sendo a mistura utilizada a própria entrada da ETE de Icarai. A partir do 22º dia, foi adicionado à mesma mistura o volume de lixiviado necessário para atingir-se a concentração de 2 a 2,5% de lixiviado em relação ao esgoto.

Diariamente, após um período de decantação de 30 minutos, com os aeradores desligados, fez-se a retirada do sobrenadante no reator em batelada e adicionou-se nova mistura de lixiviado e esgoto na proporção correspondente à fase de operação. A alimentação do reator contínuo foi realizada através de bomba peristáltica. A vazão da bomba foi regulada de modo que o tempo de detenção hidráulica fosse mantido em 6 h. O retorno de lodo foi realizado diariamente e manualmente. A mistura de alimentação do reator contínuo foi armazenada em bombona, sendo diariamente descartado o líquido remanescente e adicionada nova mistura.

Os reatores operados em bancada foram monitorados diariamente, sendo realizadas medições de pH, OD, temperatura, IVL, TCO<sub>esp</sub>, SST, SSV e microscopia do lodo biológico. As análises de TCO foram feitas ao final do ciclo de 24 h. Além destes parâmetros foram monitorados: DQO, DBO<sub>5</sub>, COD, N-NH<sub>3</sub>, e pH nos afluentes e efluentes dos reatores, sendo o efluente do reator em batelada o sobrenadante após 30 minutos de decantação.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Planta Piloto

A planta piloto operou em três fases distintas. Nos primeiros 46 dias de monitoramento, a planta foi alimentada com proporção em volume de lixiviado na faixa de 2 a 2,5%. Na fase II, a alimentação foi modificada para a proporção de 0,5 a 1% de lixiviado. Esta fase foi monitorada por 91 dias. Na fase III, foi repetida a mistura de alimentação da fase I (2 a 2,5% de lixiviado) e o período de monitoramento foi de 12 dias.

As caracterizações das misturas de alimentação da planta piloto de lodos ativados, nas três fases de operação, estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1. Caracterização das misturas de alimentação da planta piloto de lodos ativados nas fases I, II e III de operação**

	pH	DQO* (mg/L)	SST* (mg/L)	DBO <sub>5</sub> * (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> * (mg/L)	COD* (mg/L)	Cloreto* (mg/L)	Alcalinidade* (mg de CaCO <sub>3</sub> /L)
I (2,0 a 2,5%)	<b>7,5</b>	<b>368</b>	<b>161</b>	-	<b>96</b>	-	<b>183</b>	<b>244</b>
II (0,5 a 1,0%)	<b>7,5</b>	<b>379</b>	<b>208</b>	<b>243</b>	<b>36</b>	<b>59</b>	<b>171</b>	<b>195</b>
III (2,0 a 2,5%)	<b>7,5</b>	<b>356</b>	<b>76</b>	-	<b>42</b>	<b>46</b>	<b>188</b>	<b>152</b>

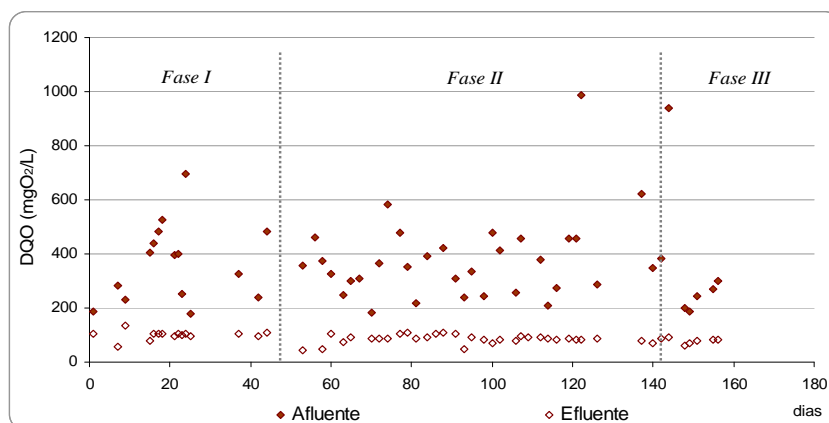
\* valores médios

Os percentuais em termos de volume não são muito expressivos quando não é conhecida a carga do lixiviado em questão, ainda mais se tratando deste tipo de resíduo que apresenta características tão variáveis, de acordo com a época e procedência. Os cálculos mostram que nas fases em que o percentual em termos de volume foi de 2,0 a 2,5%, a carga variou de 5,9 a 8,0%. Na fase II, a proporção entre a carga de lixiviado e a total ficou na faixa de 1,9 a 3,8%. Observa-se que por se tratarem de percentuais baixos de lixiviado em relação ao esgoto, a diferença entre a relação volume de lixiviado por volume de esgoto não é significativamente diferente da relação volume de lixiviado por volume total.

Em função da alta variabilidade de concentração orgânica na alimentação da planta piloto, a relação A/M não foi fixada ao longo do projeto, mas foi determinada a partir da razão entre DQO e SSV, em função da maior confiabilidade e rapidez da análise de DQO, quando comparada à DBO, promovendo um maior número de dados. Segunda esta relação, a planta piloto operou na modalidade de aeração prolongada apenas na fase III. No acompanhamento da relação A/M nesta fase, 75% dos dados estiveram abaixo de 0,20. Nas duas fases iniciais a planta piloto operou na maior parte do tempo no modo convencional. Os valores médios de idade de lodo nas fases I, II e III foram de 11, 17 e 20 dias, respectivamente.

O pH no reator do sistema piloto foi mantido em torno de 7,0. O pH do afluente apresentou valores médios de 7,5, com variações de 6,8 a 8,0. No tanque de aeração o OD foi mantido acima de 2,0 mg/L.

A Figura 2 apresenta os resultados dos valores de DQO no afluente e efluente da planta piloto nas três fases monitoradas.



**Figura 2. Acompanhamento dos valores de DQO no afluente e efluente nas fases I, II e III de operação da planta piloto de lodos ativados**

Os resultados demonstram que os valores de DQO após o tratamento não apresentaram variações consideráveis, mantendo-se em torno de 100 mgO<sub>2</sub>/L independente dos valores de DQO no afluente.

A alta variação nos valores de DQO do afluente da planta piloto é factível para um sistema que operou com efluente real, coletado diariamente, em uma ETE que além da variabilidade das características do esgoto a ser tratado soma a variabilidade das características do lixiviado que escoa diretamente para esta ETE. Foi realizada análise estatística dos dados de DQO das amostras do afluente e do efluente da planta piloto cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de DQO das amostras do afluente e do efluente da planta piloto**

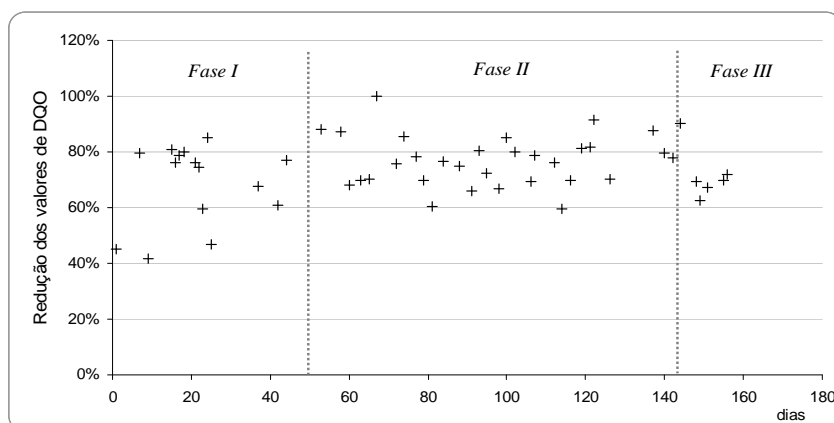
Amostra	Distribuição normal <sup>1</sup>	Dados amostrais comparados	Teste de hipótese <sup>2</sup>	P Valor <sup>3</sup>
Afluente	Não	Entrada x Saída	Mann-Whitney Test	0,000
Efluente	Não			

<sup>1</sup> Obtido pelos testes de normalidade: Anderson-Darling.

<sup>2</sup> Teste de hipótese utilizado para comparar duas amostras: teste de média Mann-Whitney Test (não paramétrico) e Teste T, com nível de confiança de 95%.

<sup>3</sup> P valor < 0,05 (95% de significância): rejeita-se a hipótese nula (de que as médias dos dados amostrais são iguais); P valor > 0,05: não há evidência estatística para afirmar que as médias dos dados amostrais são diferentes.

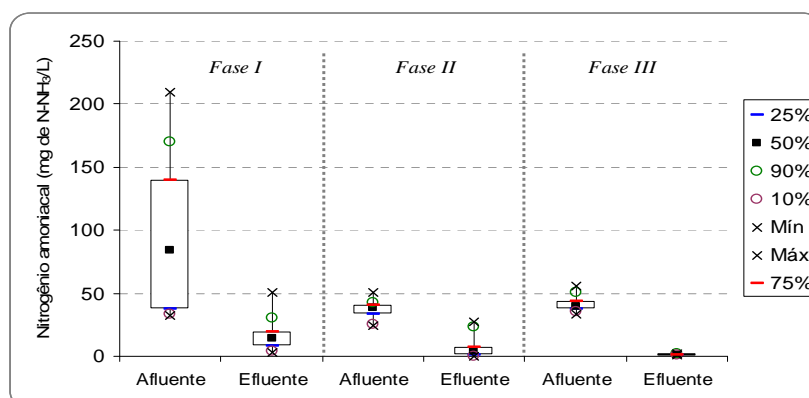
Segundo os resultados, os valores médios dos dados amostrais de DQO do afluente e efluente da planta piloto são estatisticamente diferentes, com intervalo de confiança de 95%. Na Figura 3 são apresentadas as reduções dos valores de DQO alcançadas nas três fases de monitoramento, que foram variáveis ao longo do período de operação da planta piloto, mas com valores médios próximos (69% na fase I, 76% na fase II e 72% na fase III).



**Figura 3. Acompanhamento das Reduções dos valores de DQO nas fases I, II e III de operação da planta piloto de lodos ativados**

Os valores de COD foram monitorados nas fases II e III. Os resultados mostraram que houve uma redução de 73% no COD com valor médio residual no efluente de 14 mg/L na fase II. Na fase III, a redução de COD foi de 63% com valor médio no efluente de 16 mg/L.

Os valores de nitrogênio amoniacal apresentaram alta variação apenas no afluente da Fase I, onde foram obtidas concentrações de até 210 mg/L (Figura 4). Nas fases II e III a concentração nos afluentes não ultrapassou o valor de 56 mg/L e os desvios padrões foram inferiores a 9,4. Na última fase operacional os valores nos efluentes se mantiveram na faixa de 0,8 a 1,7 mg/L.



**Figura 4 Representação gráfica (box-plot) das reduções de nitrogênio moniacal no afluente e efluente nas fases I, II e III de operação da planta piloto de lodos ativados**

A análise estatística dos dados de nitrogênio amoniacal indicou que os valores médios dos dados amostrais do afluente e efluente da planta piloto são estatisticamente diferentes com intervalo de confiança de 95% (Tabela 3)

**Tabela 3. Resultados da análise estatística aplicada aos dados de nitrogênio amoniacal das amostras do afluente e do efluente da planta piloto**

Amostra	Distribuição normal <sup>1</sup>	Dados amostrais comparados	Teste de hipótese <sup>2</sup>	P Valor <sup>3</sup>
Afluente	Sim	Entrada x Saída	Teste T	0,000
Efluente	Sim			

<sup>1</sup> Obtido pelos testes de normalidade: Anderson-Darling.

<sup>2</sup> Teste de hipótese utilizado para comparar duas amostras: teste de média Mann-Whitney Test (não paramétrico) e Teste T, com nível de confiança de 95%.

<sup>3</sup> P valor < 0,05 (95% de significância): rejeita-se a hipótese nula (de que as médias dos dados amostrais são iguais); P valor > 0,05: não há evidência estatística para afirmar que as médias dos dados amostrais são diferentes.



O cálculo das remoções de nitrogênio amoniacal alcançadas na fase I indicou um valor médio de 82%. No início da fase II a remoção de nitrogênio amoniacal foi baixa (remoção média de 41%). Tal fato poder ter ocorrido em função da adição de lodo biológico que ocorreu no início da fase II. Porém, a remoção aumentou ao longo dessa fase atingindo um valor médio de 91%, e manteve-se alta. Na terceira fase, a remoção de nitrogênio amoniacal permaneceu alta com valor médio de 97%.

Na fase II, quando foi iniciado o monitoramento de alcalinidade, observou-se alto consumo de alcalinidade e aumento da concentração de nitrato no efluente da planta piloto. Os percentuais de consumo de alcalinidade foram superiores a 95% a partir do 70º dia de operação, sendo as concentrações efluentes inferiores a 12,5 mg/L. Na fase III a média de redução foi de 87%.

Os valores de nitrato durante as fases de operação II e III são indicados na Tabela 4. No 12º dia de operação da planta na fase II, a concentração de nitrato alcançou valores próximos de 10 mg/L, porém, essa concentração aumentou ao longo do tempo alcançando valores de 46 mg/L no 60º dia de operação na fase II. As concentrações médias de nitrito no efluente da planta piloto em ambas as fases II e III foram de 0,14 mg/L e 0,07 mg/L, respectivamente.

**Tabela 4. Valores de Nitrato no afluente e efluente na fase II de operação da planta piloto de lodos ativados.**

Nitrato (mg NH <sub>3</sub> /L)					
		Média	Máximo	Mínimo	Desvio
Fase II	Afluente	1,0	1,6	0,4	0,4
	Efluente	20,5	46,4	0,2	16,9
Fase III	Afluente	1,4	1,5	1,2	0,12
	Efluente	13,1	14,6	10,2	1,8

Ao longo das fases II e III de operação da planta constatou-se uma redução na alcalinidade, alta remoção de nitrogênio amoniacal e um aumento da concentração de nitrato no efluente da planta piloto. O aumento da concentração de nitrato no efluente, indica que provavelmente houve nitrificação.

Na segunda fase de operação a concentração de SSV iniciou elevada e teve rápido decaimento. Observa-se que no início desta fase foi adicionado lodo aeróbio. Após o decaimento, o sistema manteve os valores de SSV em torno de 1000mg/L, valor um pouco superior à média da fase I (1040 mg/L). Na fase III observou-se crescimento da massa microbológica. Os valores médios da Taxa de Consumo de Oxigênio específica (TCO<sub>esp</sub>) nas fases I, II e III foram 9,8, 12,9 e 4,8 mg O<sub>2</sub>/g.L.h, respectivamente.

Nas três fases (I, II e III) a planta piloto operou com baixa concentração de SSV, ou seja, de biomassa, quando comparada com a geralmente empregada no processo de lodos ativados nas modalidades convencional e aeração prolongada. Mesmo com a adição de lodo biológico no início da fase II, a concentração de SSV diminuiu até atingir valor médio de 1000 mg/L.

A avaliação dos valores de SSV/SST ao longo da operação da planta indica que os valores médios desta relação para as fases I e III, onde o percentual de lixiviado na alimentação foi de 0,5 a 1,0%, foram de 0,80 e 0,76, respectivamente. Na fase II, esta relação esteve na média de 0,72, apresentando um pico de 1,37 no 53º dia, quando foi acrescentado lodo na planta.

Os valores médios de IVL do lodo variaram entre 31 e 38 ml/g. Segundo Jordão e Pessôa (2005), valores de IVL na faixa de 40 a 150 ml/g indicam geralmente uma boa qualidade do lodo biológico formado. Desta forma, valores fora desta faixa podem comprometer a sedimentabilidade do lodo e com isso o bom funcionamento da planta de lodos ativados. Esse poderia ser um dos motivos da perda de sólidos observada no efluente ao longo da operação da planta piloto.

O monitoramento da biomassa realizado por observações microscópicas demonstrou que o lodo biológico apresentou boas características. Observou-se a presença de diversos protozoários, tais como *ciliados penduculados* e livre nadantes, além da presença de *rotíferos* e *anelídeos*. A presença dessa comunidade microbiana está associada a boa qualidade do lodo biológico. Nas Figuras 5 a 8 são apresentados alguns dos



protozoários presentes no lodo. As figuras que apresentam os protozoários permitem também a observação dos flocos do lodo. Na Figura 5 é observada desagregação dos flocos, em consequência aos baixos valores de IVL já apresentados, com reduzida quantidade de filamentosos. Já na Figura 9 observa-se boa estruturação dos flocos com presença de filamentosas.



FIGURA 5. *euploite*  
Aumento: microscópio 400x  
câmera fotográfica digital  
Data: 29/09/08

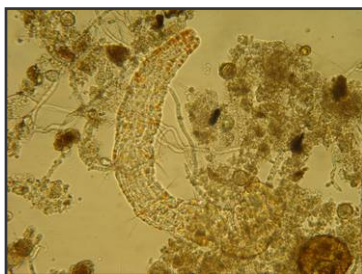


FIGURA 6. *anelídeo*  
Aumento: microscópio 250x  
3x câmera fotográfica digital 2x  
Data: 29/09/08

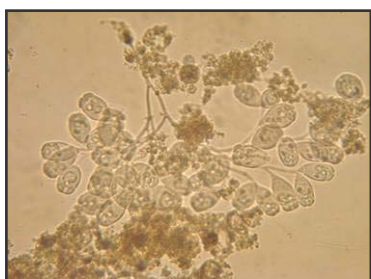


FIGURA 7. colônia de *penduculados*  
Aumento: microscópio 250x  
câmera fotográfica digital  
Data: 02/10/08

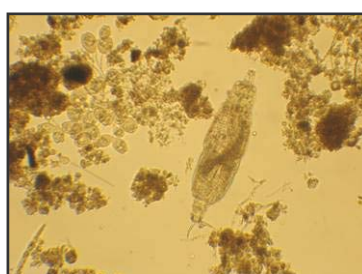


FIGURA 8. *rotíferos*  
Aumento: microscópio 100 x  
câmera fotográfica digital 3 x  
Data: 02/10/08

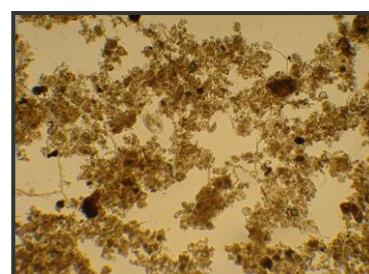


FIGURA 9. *Lodos ativados*  
Aumento: microscópio 100x  
câmera fotográfica digital: 2x  
Data: 06/10/08

Os valores de SST no afluente e efluente do tratamento não foram avaliados em termos de percentuais de remoção, visto que o SST no esgoto bruto é composto principalmente por matéria orgânica e micro-organismos (estando os micro-organismos em bem menor quantidade), enquanto em um efluente tratado por lodos ativados, o SST é composto principalmente por flocos biológicos perdidos, ou seja, por biomassa ativa. Portanto, as concentrações de SST, no afluente e no efluente a este tipo de tratamento, podem possuir diferentes significados e os valores no efluente de saída do tratamento podem indicar problemas na formação de flocos. Após o tratamento, o valor médio de SST no efluente da planta piloto foi de 73, 70 e 47 mg/L nas fases I, II, e III respectivamente. Ademais, foram verificados vários valores acima de 100 m/L no efluente. A última fase de operação foi a que apresentou menores valores de SST.

Os resultados apontam para problemas com a sedimentabilidade do lodo no sistema de tratamento, que pode ocorrer em função de má qualidade do lodo, causada por intoxicação dos micro-organismos, pela idade do lodo muito elevada ou ainda por problemas de alta turbulência no tanque de aeração que ocasiona a desintegração dos flocos. Outro possível interferente nas características da biomassa é o teor de gorduras no afluente da planta piloto. Dados do monitoramento do esgoto afluente à ETE de Icarai indicaram que a concentração média de óleos e graxas é de 45 mg/L. Em sistemas biológicos de tratamento de esgoto, a gordura é usualmente reduzida juntamente com a espuma nos decantadores primários. Nesta pesquisa foi utilizado esgoto após passagem por uma caixa de areia. Não foi possível a captação de efluente após o decantador da ETE de Icarai por neste ponto já haver coagulante adicionado. Em pesquisa realizada por Monteiro (2007) em reatores biológicos aeróbios, valores de OG de 20 mg/L já indicaram prejuízos ao lodo biológico.

Os percentuais de redução de turbidez na fase I foram superiores ao da fase II. Na fase I as remoções mantiveram-se em sua maioria na faixa de 80 a 90. No entanto, segundo Jordão e Pessoa (2005), a turbidez no



efluente após um tratamento de lodos ativados normalmente é inferior a 10 UNT, resultado que não foi alcançado neste estudo. Os valores de cor verdadeira nos efluentes tratados apresentaram variações, encontrando-se sempre abaixo de 80 UC (Figura 4.36), sendo a média na segunda fase a menor de toda a operação (45 UC).

### Reatores operados em bancada

As misturas de alimentação dos reatores operados em batelada e em regime contínuo apresentaram valores médios similares, conforme esperado, visto que as misturas continham o mesmo percentual de lixiviado. A caracterização das misturas é apresentada na Tabela 5.

**Tabela 5. Caracterização da mistura de alimentação dos reatores operados em batelada e em regime contínuo na fase I.**

FASE I 0,5 a 1,0%	pH*	DQO* (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> * (mg/L)	COD* (mg/L)
Reator operado em batelada	7,6	381	50	111
Reator operado em regime contínuo	7,4	330	44	53

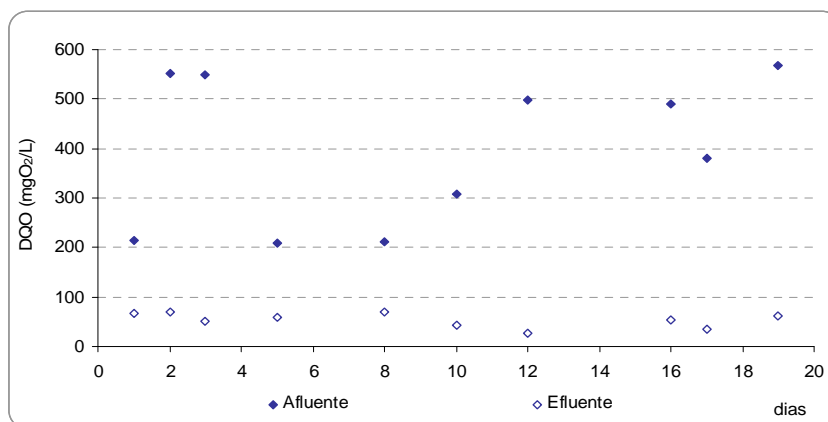
\* valores médios

Para o percentual estimado de lixiviado em termos de volume de 0,5 a 1,0%, a carga de DQO aplicada no reator operado em batelada foi de 1,9 a 3,7% e no reator operado em regime contínuo foi de 2,2 a 4,3%.

Com o tempo de detenção mantido fixo e com as variações de DQO no efluente de alimentação, a relação A/M apresentou variações. No reator operado em regime contínuo a relação manteve-se entre 0,11 e 0,49 kgDQO/kgSSV.d, com valor médio de 0,24 kgDQO/kgSSV.d. No reator operado em batelada, a faixa de variação da relação A/M inicial foi de 0,07 a 0,20 kgDQO/kgSSV.d, com um valor médio 0,14 kgDQO/kgSSV.d.

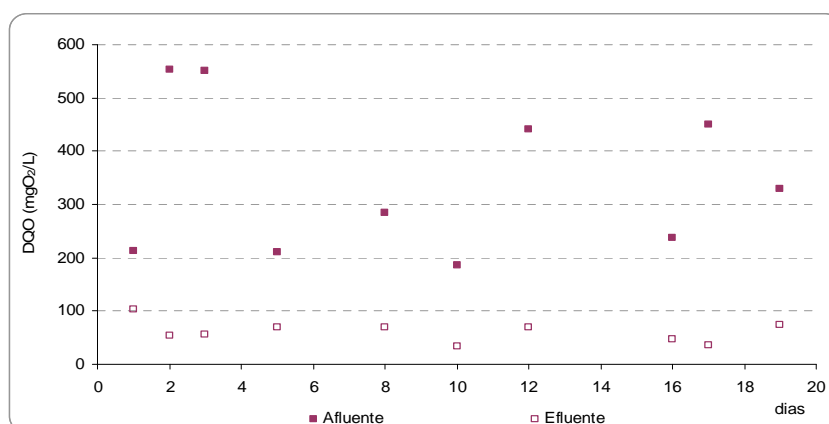
Os dados indicaram que o reator operado em batelada operou no modo de aeração prolongada. Embora o reator operado em regime contínuo tenha apresentado dados de A/M acima da faixa para o modo de aeração prolongada, a maioria dos dados obtidos de A/M, bem como a média deles encontrou-se dentro da faixa indicada na bibliografia para este modo operacional.

As Figuras 10 e 11 apresentam os valores de DQO no afluente e efluente dos reatores operados em batelada e em regime contínuo na fase I.



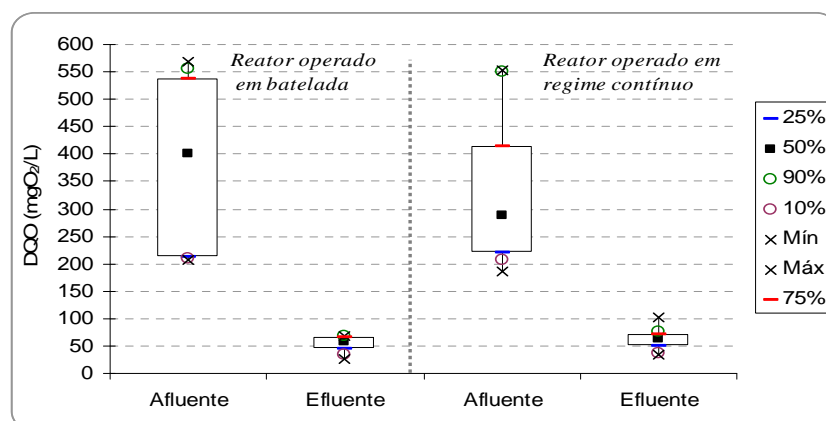
**Figura 10. Acompanhamento dos valores de DQO do reator operado em batelada na fase I (0,5 a 1,0%).**





**Figura 11. Acompanhamento dos valores de DQO do reator operado em regime contínuo na fase I (0,5 a 1,0%).**

Os gráficos indicam que apesar da alta variabilidade das concentrações de DQO na alimentação dos reatores, as concentrações dos efluentes dos reatores não ultrapassaram a concentração de 103 mg/L, sendo os valores médios de DQO nos efluentes iguais a 57 mg/L e 62 mg/L para os reatores operados em batelada e em regime contínuo, respectivamente. Na Figura 12 é possível observar a faixa de concentração dos afluentes aos reatores e que as concentrações nos efluentes de ambos os reatores apresentaram valores em torno de 60 mg O<sub>2</sub>/L.

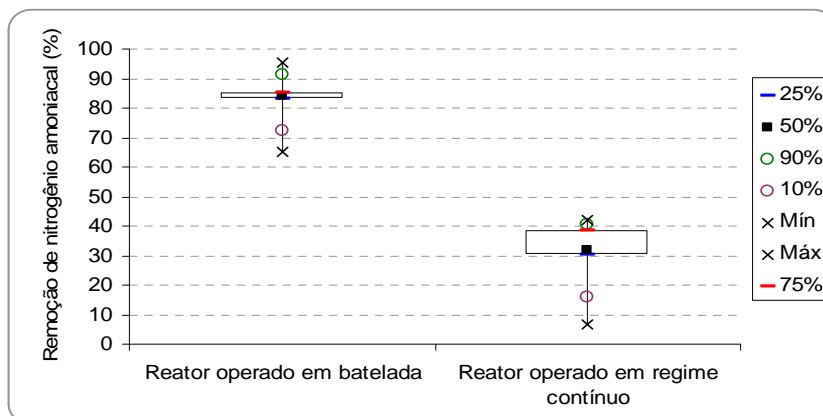


**Figura 12. Representação gráfica (box-plot) dos valores de DQO dos reatores operados em batelada e em regime contínuo na fase I (0,5 a 1,0%).**

Ambos os reatores alcançaram reduções dos valores de DQO próximas. A eficiência média de redução de DQO foi de 84% para o reator operado em batelada e de 79% para o reator operado contínuo.

Segundo os resultados de COD, na fase I, o reator operado em batelada alcançou uma remoção média de 79% com uma concentração média no efluente de 21 mg/L. No reator operado em regime contínuo, a remoção média foi de 46% e a concentração média no efluente de 29 mg/L. Na segunda fase de operação, a média das remoções foi de 48% no reator operado em batelada, sendo a concentração no efluente tratado inferior a 24 mg/L. No reator operado em regime contínuo a concentração média no efluente foi inferior a 28 mg/L, sendo a remoção média de 47%.

As remoções de nitrogênio amoniacal na fase I estão apresentadas nas Figuras 13. A concentração média de nitrogênio amoniacal nos afluentes dos dois reatores permaneceu na faixa de 40 a 45 mg/L. Os dados obtidos indicaram que o reator operado em batelada apresentou concentrações menores no efluente tratado, sendo obtida uma concentração média de 7 mg/L.



**Figura 13. Representação gráfica (box-plot) da remoção de nitrogênio amoniacal nos reatores operados em batelada e em regime contínuo na fase I (0,5 a 1,0%).**

Na fase em que os reatores foram alimentados com 0,5 a 1,0 % de lixiviado na mistura, o reator operado em batelada alcançou uma redução de nitrogênio amoniacal média de 84%, porém, apenas remoções de 32% foram alcançadas no reator operado contínuo. As concentrações médias de nitrogênio amoniacal nos efluentes dos reatores foram de 27 mg/L, no reator operado de modo contínuo, e de 7 mg/L, no operado em batelada.

No efluente foram detectadas concentrações de nitrato com valores médios de 10 e 8 mg/L para o reator operado em batelada e para o reator operado em regime contínuo, respectivamente. Provavelmente as diferentes condições operacionais foram responsáveis por um melhor estabelecimento das bactérias nitrificantes.

Na fase I, foram obtidos valores médios de  $TCO_{esp}$  para o lodo biológico nos reatores operados em batelada e regime contínuo de 5,8 e 13,6 mg  $O_2$ /g.L.h, respectivamente. No entanto, também se observa que em ambos os reatores houve aumento da  $TCO_{esp}$  ao longo da operação.

Os valores de SSV no reator operado em batelada estiveram na faixa de 2800 a 4560 mg/L, já o contínuo operou com valores de SSV na faixa de 1460 a 2520 mg/L. Os valores mostraram que houve decaimento nas concentrações de SSV nos dois reatores, finalizando o reator em batelada em 2800 mg/L e o reator operado em regime contínuo em 1140 mg/L. A relação SSV/SST do lodo na primeira fase apresentou média de 0,66 e de 0,70 para os reatores operados em batelada e em regime contínuo, respectivamente.

Na análise microscópica foram observados flocos bem formados no lodo do reator em batelada, com presença de filamentosas, além de anelídeos, rotíferos e de colônias de *ciliados penduculados*. No lodo do reator contínuo foi observado aumento da quantidade de filamentosas ao longo dos dias.

Na fase II, ambos os reatores foram alimentados com 2,0 a 2,5 % de lixiviado na mistura. A caracterização da alimentação está apresentada na Tabela 6.

**Tabela 6. Caracterização da mistura de alimentação dos reatores em batelada e contínuo operados na fase II.**

FASE II 2,0 a 2,5%	pH*	DQO* (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> * (mg/L)	COD* (mg/L)
Reator operado em batelada	7,8	788	63	50
Reator operado em regime contínuo	7,5	657	62	47

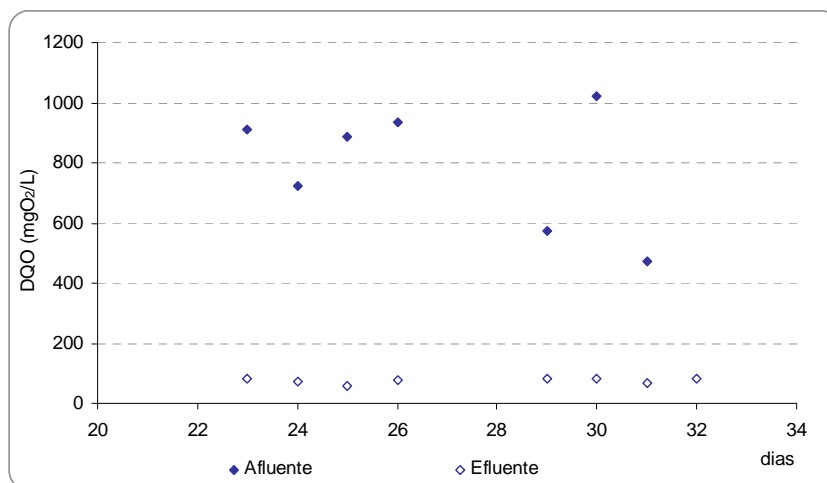
\* valores médios



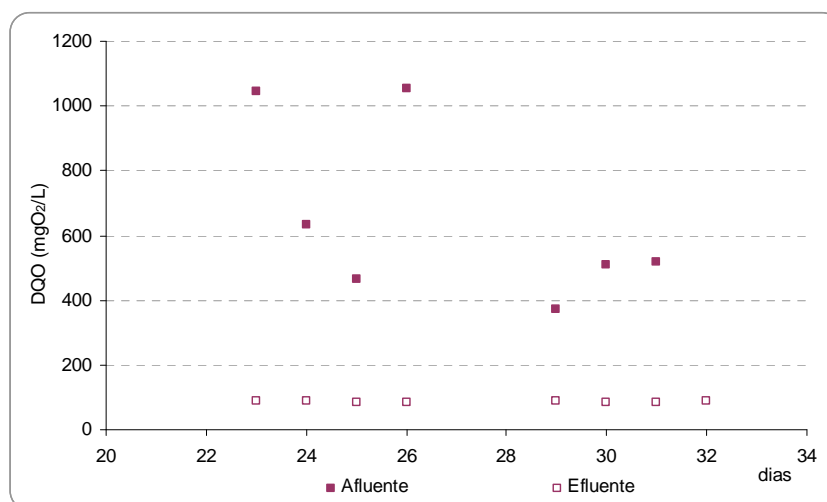
Segundo as estimativas, o percentual de lixiviado e esgoto, em termos de carga orgânica de DQO, aplicado nos reatores operados em batelada, foi de 5,7 a 7,5%, para um percentual em termos de volume de 2 a 2,5%. No reator operado em regime contínuo, o percentual de lixiviado em termos de carga de DQO foi de 6,6 a 8,7%.

A relação A/M inicial no reator operado em regime de batelada variou de 0,25 a 0,52 kgDQO/kgSSV.d, com média de 0,38 kgDQO/kgSSV.d. O reator operado em regime contínuo apresentou variações de 0,31 a 0,98 kgDQO/kgSSV.d, sendo o valor médio de 0,64 kgDQO/kgSSV.d. Os dados indicam que ambos os reatores operaram no modo convencional.

Os valores de DQO no afluente e efluente dos reatores estão apresentados nas Figuras 14 e 15.

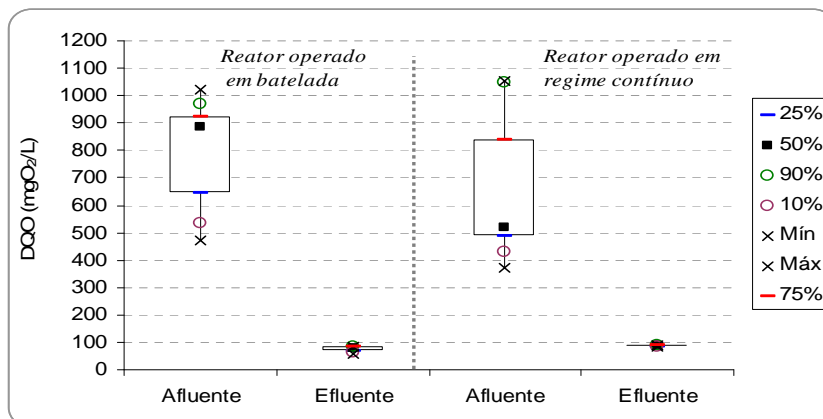


**Figura 14. Acompanhamento dos valores de DQO do reator operado em batelada na fase II (2,0 a 2,5%)**



**Figura 15. Acompanhamento dos valores de DQO do reator operado em regime contínuo na fase II (2,0 a 2,5%).**

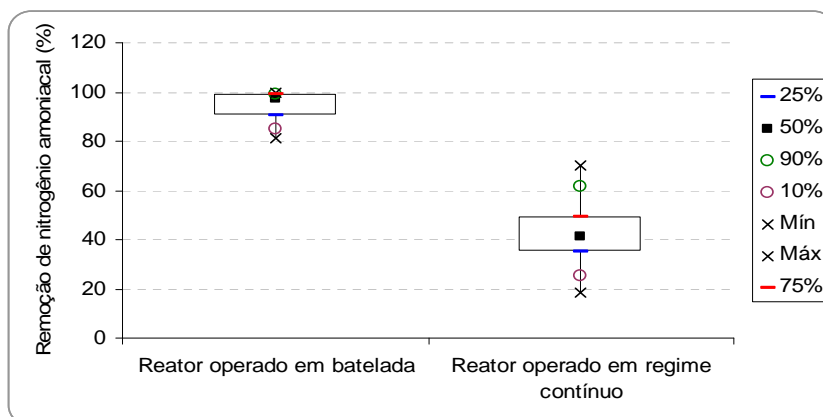
O efluente do reator operado em batelada apresentou um valor médio de DQO de 76 mg de O<sub>2</sub>/L, próximo ao valor médio encontrado no efluente do reator operado contínuo que foi de 86 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 16).



**Figura 16. Representação gráfica (box-plot) dos valores de DQO dos reatores operados em batelada e em regime contínuo na fase II (2,0 a 2,5%).**

As reduções médias dos valores de DQO alcançadas na fase II pelos reatores operados em batelada e em regime contínuo foram 90% e 85%, respectivamente.

A Figura 17 apresenta as remoções de nitrogênio amoniacal nos reatores operados em batelada e contínuo na fase II. Do mesmo modo que ocorreu na fase I, os reatores operados em batelada alcançaram maiores remoções de nitrogênio amoniacal, uma remoção média de 94%. O reator operado em regime contínuo alcançou uma remoção média de 43%.



**Figura 17. Representação gráfica (box-plot) das Remoções de nitrogênio amoniacal alcançadas nos reatores operados em batelada e em regime contínuo na fase II (2,0 a 2,5%).**

Na fase II (2 a 2,5% de lixiviado), os valores médios da TCO<sub>esp</sub> foram de 6,3 mg O<sub>2</sub>/g.L.h no reator em batelada e de 24,8 mg O<sub>2</sub>/g.L.h no reator contínuo.

Foram obtidos valores de SSV no reator operado em batelada entre 2360 e 2980 mg/L. No reator operado em regime contínuo os valores estiveram na faixa de 1000 a 2360 mg/L. Observou-se decaimento na concentração de SSV no reator operado em regime contínuo, o que pode ter ocorrido tanto pelo descarte ocorrido nesta fase como pela perda de lodo junto ao efluente. Não é provável que este decaimento seja em função do aumento de percentual de lixiviado visto que não houve queda na TCO específica do lodo deste reator.

O lodo do reator operado em batelada manteve as mesmas características da fase I, permanecendo os flocos bem formados e diversidade de protozoários. No reator operado em regime contínuo observou-se crescimento excessivo das bactérias filamentosas, permanecendo a presença de flocos firmes da fase I. Apesar da presença de rotíferos, estes foram encontrados em menor quantidade do que na fase I.



A relação SSV/SST do lodo na fase II apresentou média de 0,66 e de 0,74 para os reatores operados em batelada e em regime contínuo, respectivamente. Os resultados foram bem similares aos da fase I, não havendo indícios de que o acréscimo de lixiviado tenha prejudicado a comunidade microbiana. Ao final do monitoramento, o valor desta relação foi bem similar nos dois reatores: 0,64 e 0,66.

Na Tabela 7 é apresentado o resumo dos resultados obtidos na planta piloto e nos reatores em escala de bancada. As remoções de nitrogênio amoniacal foram superiores a 80% tanto na planta piloto como no reator operado em regime de batelada. As reduções de DQO foram superiores nos reatores operados em bancada. As reduções de DQO na planta piloto, na faixa de 70%, foram similares aos valores obtidos em sistema piloto de lodos ativados pesquisado por Kelly, 1987 com percentuais de lixiviado de 4 e 16% em relação ao volume de esgoto.

**Tabela 7. Resumo dos dados obtidos no monitoramento da planta piloto e dos reatores em escala de bancada**

Bancada		Planta piloto		Escala de bancada Batelada		Escala de bancada Contínuo	
% (v/v)		0,5-1,5%*	1,5-2,5%	0,5-1,5%	1,5-2,5%	0,5-1,5%	1,5-2,5%
TDH		17-19h		24h		6h	
Lixiviado (A. Morro do Céu)	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	1428					
	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	421					
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	904					
Esgoto	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	172					
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	31					
Mistura afluente	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	368 / 356	379	398	788	346	657
Lodo	SSV (mg/L)	949 / 1735	1425	3400	2640	1920	1525
A/M	(KgDQO/KgSSV.d)	0,21 / 0,33	0,28	0,14	0,38	0,24	0,64
Redução (%)	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	69% / 72%	76%	84%	90%	79%	85%
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	82% / 97%	91%	83%	94%	30%	43%

\* valores referentes às fases de operação I e III

## CONCLUSÕES

Constatou-se que não houve prejuízo na operação dos reatores, tanto operado em batelada como em regime contínuo, com o aumento da percentagem de lixiviado na mistura de alimentação, pois reduções elevadas dos valores de DQO foram alcançadas em ambas as fases. Contudo, a remoção de nitrogênio amoniacal só foi maior quando o reator foi operado em batelada, independente da fase de operação. Os resultados indicaram que houve nitrificação em ambos os reatores operados nas fases I e II. Provavelmente, a nitrificação ocorreu em maior escala no reator operado em batelada devido às condições operacionais serem mais adequadas, para a ocorrência desse processo, do que o reator operado em regime contínuo.

A partir dos resultados obtidos no monitoramento da planta piloto, pôde-se verificar que, em se tratando de redução de DQO, não houve interferência negativa no tratamento da mistura de esgoto doméstico e lixiviado com o aumento da percentagem de lixiviado no afluente da planta piloto. Mesmo assim, os resultados obtidos





ao longo da operação da planta piloto mostraram que as reduções de DQO, DBO<sub>5</sub> e COD ficaram aquém das esperadas por este tipo de processo de tratamento em se tratando somente de esgoto doméstico.

Verificou-se alta remoção da concentração de nitrogênio amoniacal em todas as fases de operação da planta piloto acompanhada por um aumento da concentração de nitrato no efluente de saída da planta piloto ao longo do tempo de operação. Ademais, houve consumo de alcalinidade do afluente da planta piloto, demonstrando a ocorrência de nitrificação no tanque de aeração da planta piloto.

Embora o lodo biológico tenha apresentado reduzida presença da quantidade de organismos filamentosos e problemas na sedimentabilidade, o monitoramento não indicou perda da qualidade em função das diferentes concentrações de lixiviado na alimentação.

Não foram observados indícios de que componentes tóxicos do lixiviado tenham interferido no desenvolvimento das bactérias filamentosas da planta piloto, visto que nos reatores operados em bancada houve um desenvolvimento maior das mesmas na segunda fase monitorada, quando o percentual de lixiviado era mais elevado. No entanto, características obtidas na planta piloto apontam para interferências no sistema responsáveis por problemas no desenvolvimento de bactérias filamentosas e por valores de IVL muito baixos, provavelmente responsáveis pela perda de sólidos, constatada pelas altas concentrações de SST e alta turbidez no efluente. Ressalta-se que nos reatores em escala de bancada, operados com diferentes percentuais de lixiviado, não foi observada baixa concentração de SSV no tanque de aeração, nem valores de IVL que indicassem dificuldades na sedimentabilidade do lodo.

Com os dados obtidos, pode ser verificado que o tratamento combinado de lixiviado e esgoto pode apresentar boas remoções de poluentes, devendo ser avaliadas questões referentes à presença de materiais recalcitrantes, bem como a questão da toxicidade para uma avaliação mais criteriosa sobre a interferência dos lixiviados, principalmente no lodo biológico, em um sistema de tratamento combinado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP e à Caixa Econômica Federal pelo financiamento, ao apoio do CNPq, à Companhia Municipal de Limpeza Urbana de Niterói – CLIN e à empresa Águas de Niterói pelos dados cedidos e apoio operacional. Esse trabalho foi desenvolvido no escopo de um projeto de pesquisa integrante do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, Edital 5, Tema 3 – Resíduos Sólidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. New York 21th ed. 2005.
2. FACCHIN, J. M. J., COLOMBO, M. C. R., COTRIM, S. L. da S., REICHERT, G. A. Avaliação do Tratamento Combinado de Esgoto e Lixiviado de Aterro Sanitário na ETE LAMI (Porto Alegre) após o Primeiro Ano de Operação. In: 27º Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária E Ambiental, 2000, Porto Alegre. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.
3. FERREIRA, J. A.; EIGENHEER, E.; ADLER, R. R.; DOS SANTOS, M. F. Plano de Gestão do Encerramento do Aterro do Morro do Céu em Niterói (RJ). In: Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. p. 1-9.
4. JORDÃO, E. P., PESSÓA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 2005.
5. KELLY, H.G. Pilot Testing for Combined Treatment of Leachate from a Domestic Waste Landfill Site. Journal of Water Pollution Control Federation, v.59, n.5, 1987. p.254-261.
6. MONTEIRO, Tatiana Gonçalves do Rego. Avaliação de Interferência de Óleos e Graxas na Eficiência de Reatores Biológicos Aeróbios. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil - Universidade do Estado Rio de Janeiro, 2007.
7. PAGANINI, W.S., BOCCHIGLIERI, M.M.; LOPES, G.F. Avaliação da capacidade das Estações de Tratamento de Esgotos do sistema integrado da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP – para o recebimento do chorume produzido nos aterros sanitários da região. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2003.