

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. FASE 1 – FILTROS ANAERÓBIOS OPERADOS EM SÉRIE

Nesta fase da pesquisa, os dois filtros anaeróbios de fluxo ascendente (FAFAs) foram operados em série. A Tabela 5.1 apresenta uma caracterização expedita do lixiviado no referido período (compreendido entre agosto de 2004 e setembro de 2006). As Tabelas A2 a A7 (em anexo) apresentam os resultados que constituem o conjunto completo de amostras.

Tabela 5.1 Caracterização expedita do lixiviado bruto
(concentração em mg/L)*

Variável	pH	DBO _{5,20}	DQO	COT	N-amoniaco	Sólidos totais
Média	8,0	3.955	7.790	3.798	1.439	16.828
Valor Mínimo	7,7	1.660	3.025	810	661	14.377
Valor Máximo	8,5	8.520	20.070	9.425	2.470	18.503

*Exceto pH

Cada um dos filtros operou com TDH = 3,8 d. Os carregamentos orgânicos aplicados no FAFA 01 e no FAFA 02 foram em média iguais a 2,04 e 0,99 kgDQO/(m³.d), respectivamente. A Tabela 5.2 apresenta as concentrações médias afluente e efluente de DBO_{5,20}, DQO e COT no primeiro filtro da série (FAFA 01) e as eficiências médias obtidas. A Tabela 5.3 apresenta as concentrações médias afluente e efluente de DBO_{5,20}, DQO e COT no segundo filtro (FAFA 02) e as eficiências médias de remoção. A Tabela 5.4 apresenta as eficiências globais médias do sistema na remoção de DBO_{5,20}, DQO e COT. A partir da interpretação dos resultados sumarizados nas tabelas, constatou-se que a quase totalidade da remoção de DBO_{5,20}, DQO e COT ocorreu no primeiro filtro da série. Essa avaliação forneceu o seguinte indicativo: para o tratamento do lixiviado em questão, é pouco interessante a operação em série de dois filtros anaeróbios de fluxo ascendente

semelhantes, pois o segundo filtro da série apresentou desempenho pouco significativo em termos de eficiência.

Tabela 5.2 DBO_{5,20'}, DQO, COT e eficiência média do primeiro filtro

Variável	Afluente	Efluente	Eficiência (%)
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	3.955	1.734	57
DQO (mgO ₂ /L)	7.790	3.748	51
COT (mgC/L)	3.798	1.634	49

Tabela 5.3 DBO_{5,20'}, DQO, COT e eficiência média do segundo filtro

Variável	Afluente	Efluente	Eficiência (%)
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	1.734	1.620	15
DQO (mgO ₂ /L)	3.748	3.509	12
COT (mgC/L)	1.634	1.548	12

Tabela 5.4 Eficiência global média do sistema

Variável	Afluente	Efluente	Eficiência (%)
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	3.955	1.620	59
DQO (mgO ₂ /L)	7.790	3.509	55
COT (mgC/L)	3.798	1.548	53

O aumento do TDH nos filtros certamente determinaria aumento de eficiências. Os filtros anaeróbios em estudo, como já foi exposto, resultaram de uma adequação das duas lagoas anaeróbias propostas quando do início da operação do aterro. Por essa razão, ficaram os volumes dos filtros limitados às condições de espaço que já possuíam as lagoas. Assim, a única possibilidade de aumento do TDH seria a operação dos filtros em paralelo. De qualquer sorte, a eficiência média do FAFA 01 ratificou que filtros

anaeróbios de fluxo ascendente são uma alternativa interessante para a estabilização de pelo menos 50% da matéria orgânica presente em lixiviados.

Os estudos de Young (1991) indicaram que o TDH de filtros anaeróbios de fluxo ascendente tratando lixiviado de aterro sanitário necessariamente deve ser da ordem de vários dias e não de horas. No referido trabalho, o autor cita um filtro cuja operação deu-se com carregamento orgânico aplicado entre 0,2 e 0,7 kgDQO/(m³.d), TDH variando entre 30 e 40 dias, DQO afluyente igual a 11.000 mg/L e DBO_{5,20} igual a 8.650 mg/L (relação DBO_{5,20}/DQO de aproximadamente 0,79). As eficiências obtidas variaram entre 90 e 96% na remoção de DBO_{5,20}. Mesmo sendo a concentração de matéria orgânica citada por Young muito superior à concentração verificada no lixiviado do aterro da CRR, as eficiências obtidas no filtro citado pelo autor são impressionantes. A explicação pode residir em três aspectos (principalmente no primeiro): o TDH citado por Young variou entre 30 e 40 dias, enquanto nos filtros da CRR não ultrapassou 3,8 d; a relação DBO_{5,20}/DQO = 0,79 citada por Young é superior àquela verificada em termos médios na CRR, igual a 0,51; além disso, o carregamento orgânico aplicado nos filtros da CRR [em média, 2,05 e 0,99 kgDQO/(m³.d) no FAFA 01 e no FAFA 02, respectivamente] são muito superiores ao carregamento que apresentou Young (entre 0,2 e 0,7 kgDQO/(m³.d)).

A equação proposta por Young (Eq. 3.1) expressa o desempenho do processo anaeróbio que se desenvolve em filtros anaeróbios de fluxo ascendente tratando efluentes diversos. Nessa equação o TDH do filtro é dado em horas. A aplicação da referida equação no tratamento de lixiviado somente terá validade se o TDH do filtro for expresso em dias, dadas as grandes concentrações iniciais de matéria orgânica que são comumente verificadas nesse líquido. Assim, a Figura 5.1 apresenta o desempenho estimado para um filtro anaeróbio de fluxo ascendente cujo TDH é igual a 3,8 d, caso dos FAFAs da CRR.

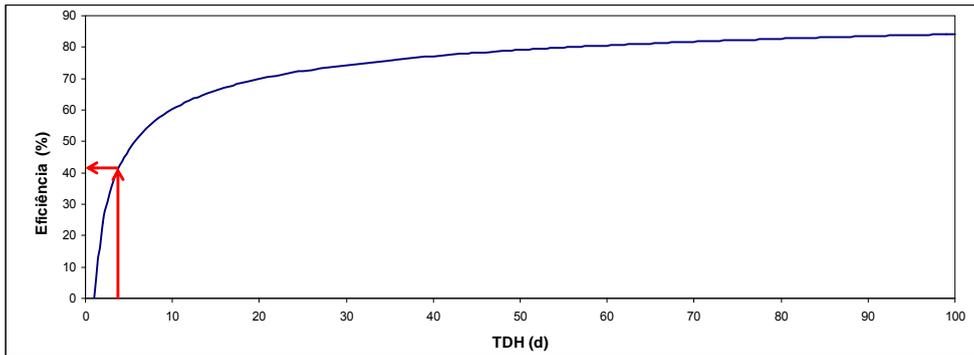


Figura 5.1 Indicação da eficiência prevista (em vermelho) para filtro anaeróbico de fluxo ascendente com TDH = 3,8 d, na remoção de matéria orgânica de lixiviado.

A eficiência estimada pela aplicação de Eq. 3.1 é de aproximadamente 41%, como ratifica a visualização da Figura 5.1. A eficiência média obtida no FAFA 01 na remoção de $DBO_{5,20}$ foi igual a 57%. Em termos de DQO, obteve-se 51%. Para ambas as variáveis, as eficiências obtidas na operação do FAFA 01 superaram a previsão indicada na figura. No FAFA 02, por sua vez, as eficiências verificadas ficaram muito distantes do patamar esperado (15 e 12% na remoção de $DBO_{5,20}$ e DQO, respectivamente). As justificativas mais aceitáveis para essa diferença de desempenho seriam de que a matéria orgânica prontamente biodegradável já foi estabilizada no FAFA 01 e o carregamento orgânico aplicado nesse, para TDH igual a 3,8 d, resulta em eficiências mais elevadas.

As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam as concentrações de matéria orgânica verificadas ao longo desta fase da pesquisa e as Figuras 5.5, 5.6 e 5.7 apresentam as eficiências médias obtidas, também em termos de remoção de matéria orgânica.

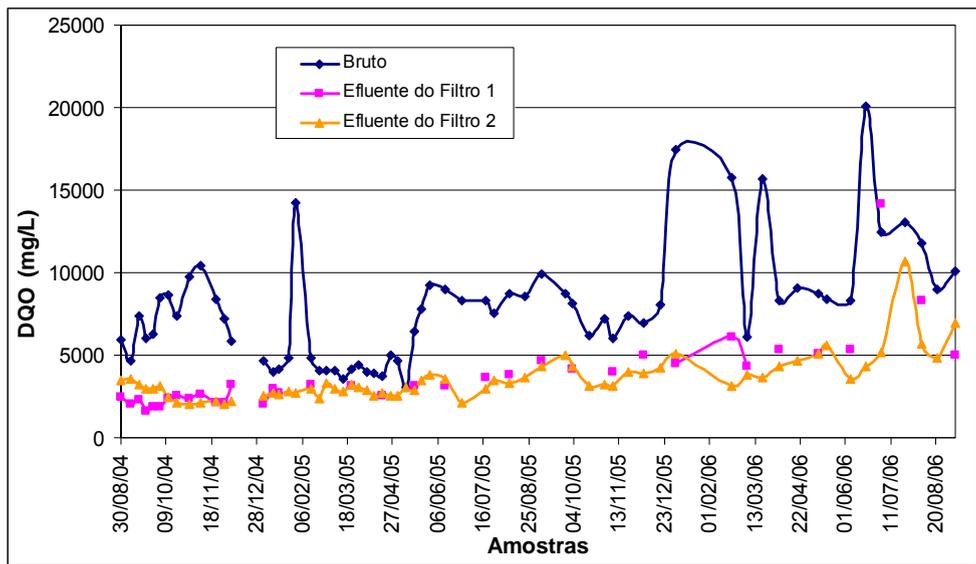


Figura 5.2 DQO durante a Fase 1.

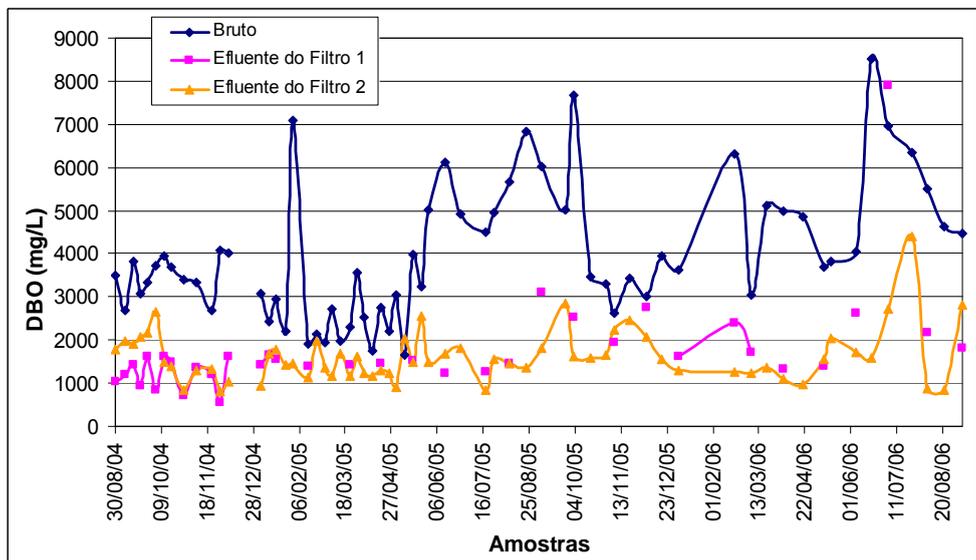


Figura 5.3 DBO_{5,20} durante a Fase 1.

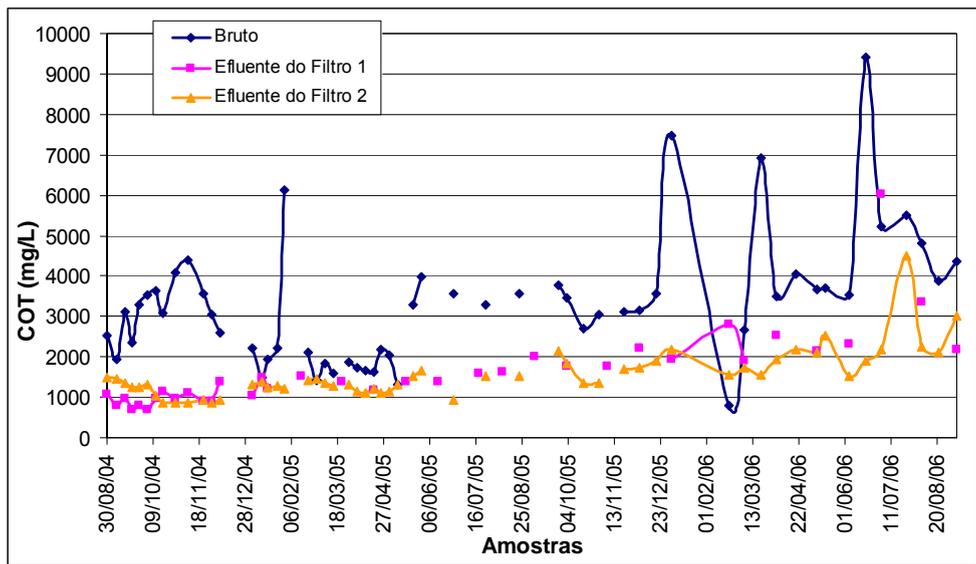


Figura 5.4 COT durante a Fase 1.

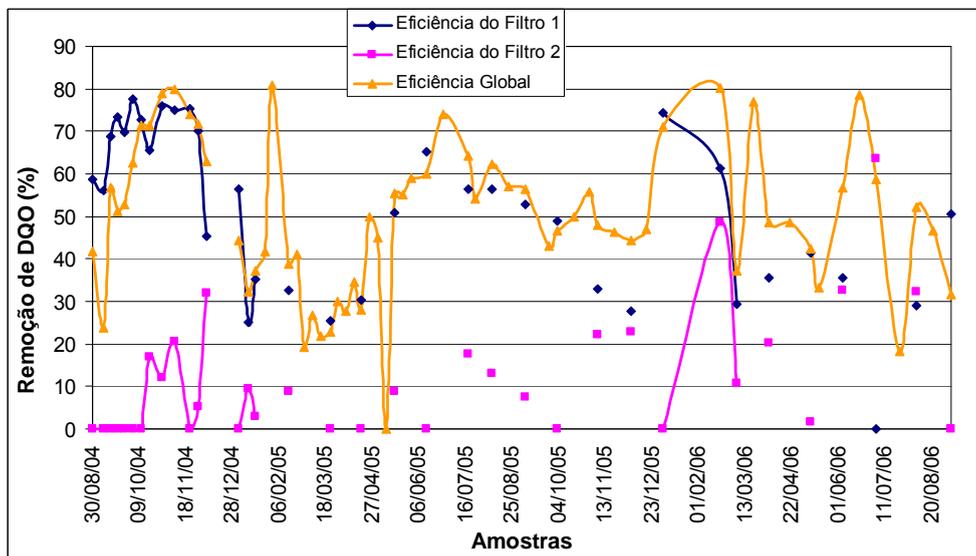


Figura 5.5 Eficiências médias na remoção de DQO.

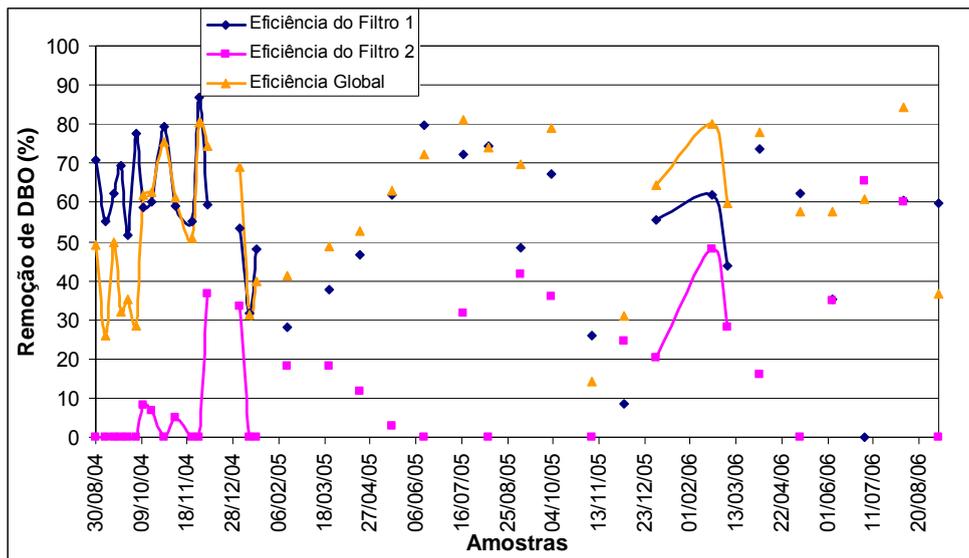


Figura 5.6 Eficiências médias na remoção de DBO_{5,20}.

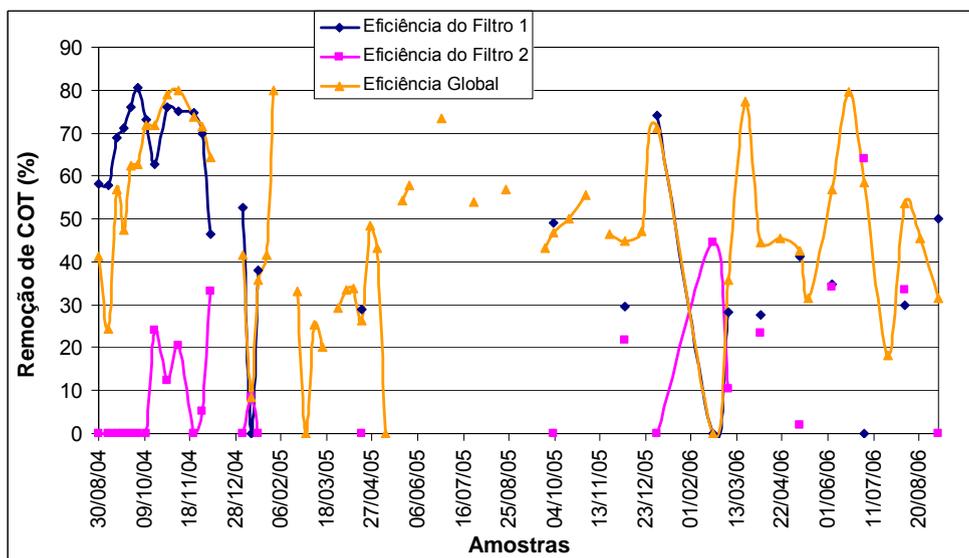


Figura 5.7 Eficiências médias na remoção de COT.

5.2. FASE 2

5.2.1. Caracterização do lixiviado

A caracterização do lixiviado do aterro da CRR, a partir de valores médios, é apresentada Tabela 5.5. As Tabelas A18 a A24 (em anexo) completam os resultados.

Tabela 5.5 Caracterização do lixiviado do aterro

Ensaio	Início da campanha	Nº de ensaios	Freq.	Amostra Resultado
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	Fev/2007	19	Quinz.	3.397
DQO (mgO ₂ /L)	Fev/2007	19	Quinz.	6.997
COT (mgC/L)	Fev/2007	19	Quinz.	3.015
Sólidos totais (mg/L)	Fev/2007	19	Quinz.	15.987
Sólidos totais fixos (mg/L)	Fev/2007	17	Quinz.	11.294
Sólidos totais voláteis (mg/L)	Fev/2007	18	Quinz.	4.647
Sólidos suspensos totais (mg/L)	Fev/2007	18	Quinz.	465
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Março/2007	17	Quinz.	15.338
pH	Fev/2007	19	Quinz.	8,3
Temperatura (°C)	Março/2007	16	Quinz.	20,2
Ácidos voláteis (mgÁc.acético/L)	Março/2007	17	Quinz.	1.399
Alc. Total (mgCaCO ₃ /L)	Março/2007	18	Quinz.	10.837
N-amoniaco (mgN/L)	Fev/2007	19	Quinz.	1.987
NTK (mgN/L)	Fev/2007	19	Quinz.	2.361
Fosfato total (mgPO ₄ ³⁻ /L)	Fev/2007	19	Quinz.	63,2
Sulfato (mgSO ₄ ²⁻ /L)	Março/2007	7	Mensal	111,5
Sulfeto (mgH ₂ S/L)	Nov/2007	Único		0,15
Cádmio (mgCd/L)	Março/2007	9	Mensal	≤ 0,0041
Chumbo (mgPb/L)	Março/2007	9	Mensal	≤ 0,030

Cromo (mgCr/L)	Março/2007	9	Mensal	$\leq 0,410$
Mercúrio (mgHg/L)	Março/2007	9	Mensal	$\leq 0,0017$
Níquel (mgNi/L)	Março/2007	9	Mensal	$\leq 0,1630$
Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	Março/2007	9	Mensal	$2.000 \leq \text{Leitura} \leq 300.000$
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	Março/2007	9	Mensal	$2 \leq \text{Leitura} \leq 8.660$

5.2.2. Filtros anaeróbios operados em paralelo

A proposta de operação em paralelo dos filtros anaeróbios é decorrente da necessidade de aumento das eficiências dessas unidades na remoção de matéria orgânica. Como os dois filtros não poderiam ter seus volumes aumentados, a providência empreendida foi a alteração do TDH das unidades. O aumento do TDH necessariamente demandava redução das vazões introduzidas em cada um dos filtros. Assim, iniciou-se a divisão da vazão de lixiviado entre as duas unidades: metade introduzida no FAFA 01 e a outra metade no FAFA 02. A expectativa era de que as eficiências aumentassem, pois o TDH agora seria duplicado em cada um dos filtros e ambos trabalhariam com iguais cargas orgânicas afluentes. Cabe sublinhar que a mudança no sistema de tratamento foi apenas um remanejamento operativo, permanecendo a totalidade da vazão sendo introduzida na ETL.

5.2.2.1. $DBO_{5,20}$, DQO, COT

Nesta fase da pesquisa, se mantida a vazão média de projeto (355 m³/d), os filtros teriam operado cada um com TDH igual a 7,6 d. Nessa condição, as eficiências esperadas em termos de remoção de DQO seriam próximas a 55% em ambas as unidades, conseqüentemente ampliando também as remoções de $DBO_{5,20}$ e COT. No entanto, as médias obtidas foram: remoção de $DBO_{5,20}$ igual a 15% no FAFA 01 e 24% no FAFA 02, para $DBO_{5,20}$ média afluente igual a 3.397 mgO₂/L; remoção de DQO igual a 17% no FAFA 01 e 24% no FAFA 02, para DQO média afluente igual a 6.997 mgO₂/L; remoção de COT igual a 17% no FAFA 01 e 24% no FAFA 02, para COT médio afluente igual a 3.015 mg/L.

A interpretação dos valores referidos mostra que o aumento esperado de eficiências não aconteceu. As possíveis justificativas para o desempenho dos filtros são as seguintes:

- 1) A geração de lixiviado no aterro vem aumentando enormemente. Essa é uma decorrência do grande incremento do aporte de resíduos à CRR, razão pela qual a vazão projetada de 355 m³/d tem atingido valores superiores a 500 m³/d. Desse aumento de vazão, resultam TDHs cada vez menores nas unidades, de modo que o sistema de tratamento do líquido não consegue evoluir com a mesma celeridade com que aumenta sua geração. Há um descompasso natural entre o aumento da massa de resíduos disposta e a implementação de medidas de melhoria na ETL. A interferência necessária para garantia de eficiências superiores a 50% na remoção de matéria orgânica é provavelmente a introdução de mais filtros anaeróbios no sistema. A execução das referidas interferências é necessariamente lenta, embora já venha sendo providenciada, pois envolve, entre outras atividades, concepção de alternativas, detalhamento da solução, previsão de investimentos, discussões de ordem técnico-burocrática e execução do projeto. Os projetos atualmente conduzidos no aterro, que visam a melhoria do tratamento do lixiviado, têm trabalhado com a estimativa de vazão de 600 m³/d. Durante toda a pesquisa, a capacidade instalada de bombeamento de lixiviado foi igual a 15 m³/h. Em dezembro de 2007, a capacidade de adução de lixiviado foi esgotada, surgindo a necessidade improrrogável de instalação de uma segunda bomba no sistema. Com capacidade de adução duplicada, o conjunto composto por duas bombas e duas linhas de recalque já se encontra em operação.
- 2) O projeto dos filtros previu a sua operação em série, de tal modo que quando operados em paralelo ficou dificultada e comprometida a perfeita partição da vazão entre as duas unidades. Embora a rede que conduz o lixiviado tenha sofrido adaptação, a sua nova configuração introduziu diferentes perdas de carga entre a entrada do lixiviado na ETL e a entrada de cada um dos filtros. Assim, ficou o FAFA 02 recebendo menor vazão de líquido durante toda a Fase 2 da pesquisa. Essa é a justificativa para a diferença entre as eficiências médias verificadas. Por ser menor a vazão afluyente ao

Fafa 02, foi maior o TDH nessa unidade, razão pela qual a mesma apresentou eficiências superiores às verificadas no Fafa 01 [para todas as variáveis controladas (DBO_{5,20}, DQO e COT)].

- 3) Conforme permite a interpretação das Figuras 5.8 a 5.13, o desempenho dos filtros foi instável, sendo grande a amplitude observada entre as eficiências. As remoções médias de DBO_{5,20}, DQO e COT no Fafa 01 foram iguais a 15%, 17% e 17%, respectivamente. No Fafa 02, por sua vez, as eficiências médias na remoção de DBO_{5,20}, DQO e COT no Fafa 01 foram iguais a 24%, 24% e 24%, respectivamente.

A observação das Figuras 5.8 e 5.9 indica a alternância de pontos de eficiências máximas e mínimas na remoção de matéria orgânica. As possíveis razões para tais desempenhos são assim sumarizadas: nos pontos em que a concentração afluente de DBO_{5,20} encontra-se próxima da faixa entre 4.000 e 6.000 mg/L e a sua concentração efluente é inferior a 3.000 mg/L, o comportamento do filtro é o esperado; nos pontos em que as concentrações de DBO_{5,20} afluente e efluente pertencem ambas à faixa entre 2.000 e 3.000 mg/L, ou estão muito próximas desses valores, é provável que a matéria orgânica em questão apresente-se já refratária ao tratamento biológico ou tenha havido arraste (desprendimento, perda) de biomassa ativa dos filtros, tendendo a zero a eficiência das unidades; nos pontos em que a concentração afluente de DBO_{5,20} é inferior ou próxima a 2.000 mg/L e a concentração efluente é inferior ou próxima a 1.000 mg/L, é provável que tenha havido diluição do lixiviado bruto, consequência de chuvas intensas sobre a célula de disposição de resíduos.

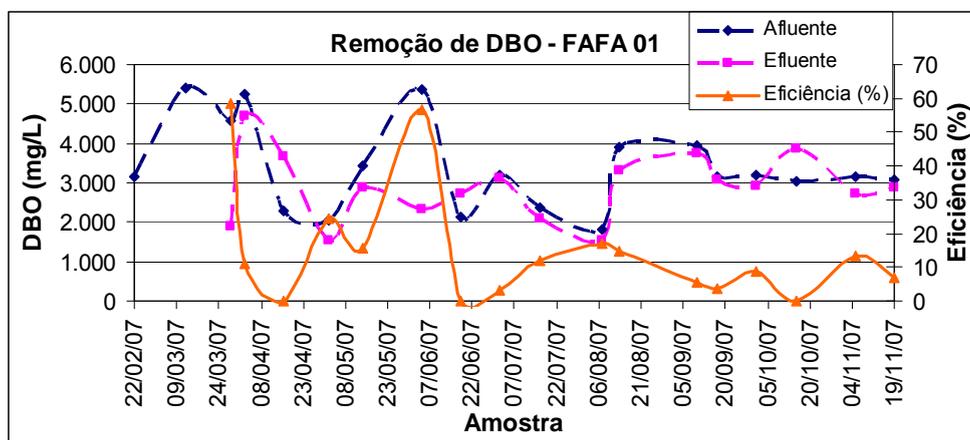


Figura 5.8

Remoção de DBO no FAFA 01.

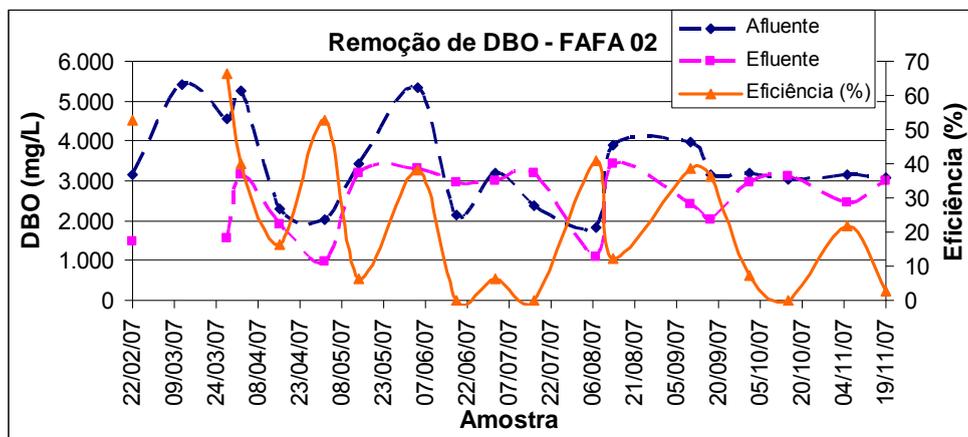


Figura 5.9 Remoção de DBO no FAFA 02.

A interpretação dos resultados relativos à remoção de COT é muito semelhante à avaliação do comportamento da DBO_{5,20'}, com algumas ressalvas. No FAFA 01, a remoção em nenhum momento foi superior a 31%. No FAFA 02, a remoção máxima não superou 38%. As Figuras 5.10 e 5.11 permitem a verificação de que as eficiências foram sempre baixas, embora tenha havido certa estabilidade em termos de concentrações de COT afluentes e efluentes nos dois filtros.

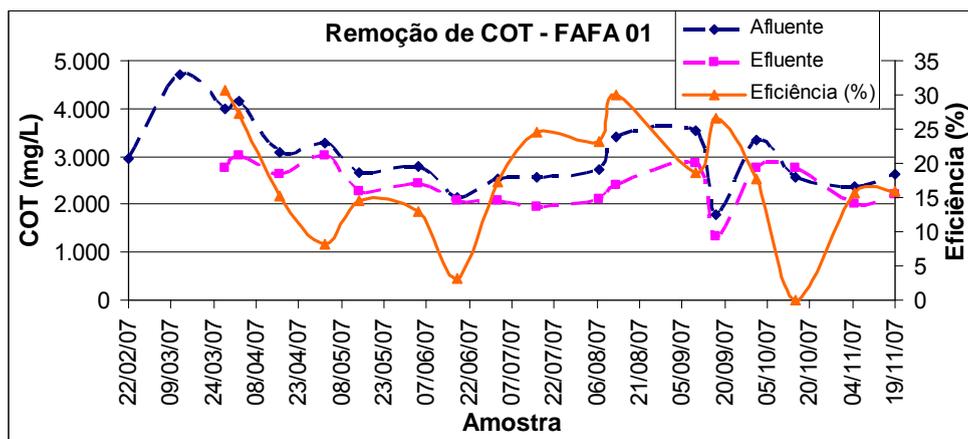


Figura 5.10 Remoção de COT no FAFA 01.

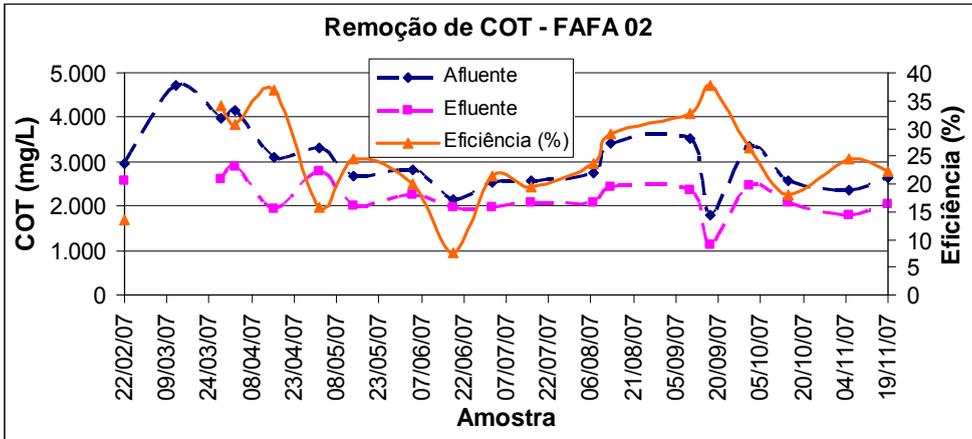


Figura 5.11 Remoção de COT no FAFA 02.

A interpretação das Figuras 5.12 e 5.13 permite a avaliação do comportamento dos filtros em termos de remoção de DQO. Nos dois filtros, as concentrações afluentes e efluentes foram em média muito próximas, como consequência da introdução de vazões excessivas de lixiviado nas unidades. Esse comportamento determinou as baixas eficiências das unidades.

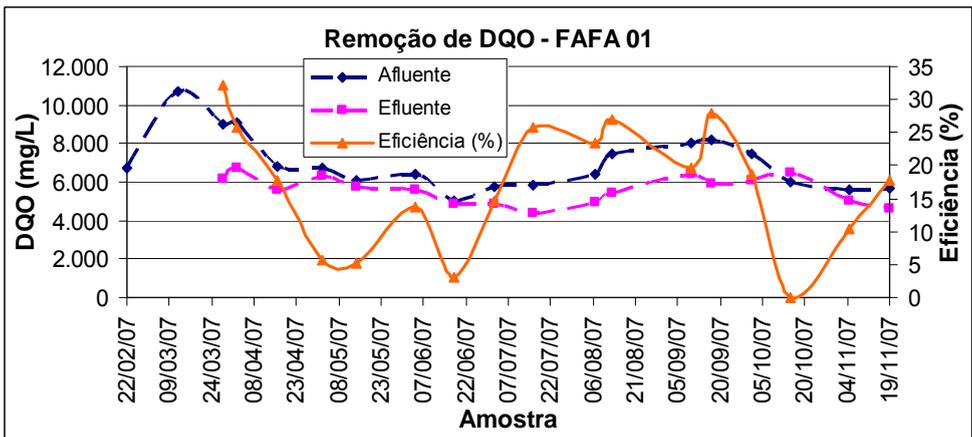


Figura 5.12 Remoção de DQO no FAFA 01.

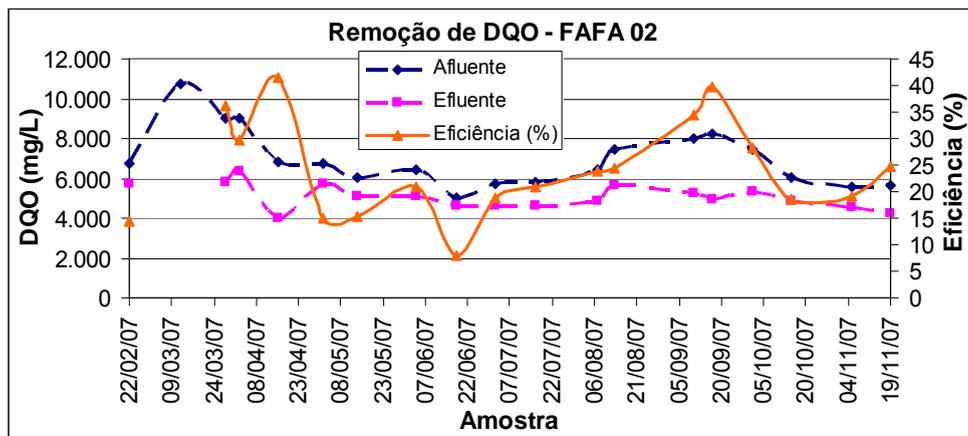


Figura 5.13 Remoção de DQO no FAFA 02.

As Tabelas A8 a A13 (em anexo) apresentam os resultados de todos os ensaios relativos à remoção de matéria orgânica do lixiviado na Fase 2 da pesquisa.

5.2.2.2. N-amoniacal

A redução das concentrações de N-amoniacal verificadas em lixivados brutos é certamente a maior dificuldade enfrentada no tratamento desse líquido. No âmbito da massa de resíduos acontece estabilização anaeróbia da matéria orgânica e um dos subprodutos desse processo é o N-amoniacal. Como esperado, a concentração média de N-amoniacal no lixiviado bruto do aterro foi igual a 1.997 mg/L. Na saída do FAFA 01, o valor verificado foi em média igual a 1.903 mg/L, enquanto na saída do FAFA 02 verificou-se a média de 1.880 mg/L. A avaliação dessas médias indica que houve perda de N-amoniacal ao longo do processo de tratamento. Como o processo de tratamento no âmbito dos filtros é anaeróbio, não é razoável dizer-se que houve remoção de N-amoniacal nessas unidades. Assim, é provável que a redução das concentrações seja uma consequência da volatilização ou do *stripping* de uma parcela de N-amoniacal que se encontrava no meio líquido sob a forma de amônia livre (NH_3).

A Tabela A14 apresenta os resultados de todos os ensaios relativos ao controle do N-amoniacal presente no lixiviado na Fase 2 da pesquisa.

5.2.2.3. Ácidos voláteis

Os ácidos voláteis são gerados na fase acidogênica da metanogênese. A geração e o consumo desses subprodutos intermediários da digestão anaeróbia é indispensável para a formação de metano. Normalmente, prevalece no processo a formação dos ácidos acético e propiônico em detrimento da formação dos ácidos valérico, butírico, fórmico, capróico, láctico, fúlvico e húmico. No lixiviado bruto da CRR, a concentração média de ácidos voláteis foi igual a 1.399 mgÁc.acético/L. As concentrações médias nos efluentes dos filtros foram iguais a 890 mgÁc.acético/L no FAFA 01 e 708 mgÁc.acético/L no FAFA 02. Ambas as concentrações efluentes indicam ter havido consumo de ácidos voláteis nos filtros anaeróbios. A partir da interpretação de tais resultados, pode-se inferir que tenha havido geração de gases (metano e gás carbônico) durante a estabilização da matéria orgânica do lixiviado.

A Tabela A15 apresenta os resultados de todos os ensaios relativos ao controle de ácidos voláteis no lixiviado na Fase 2 da pesquisa.

5.2.2.4. Alcalinidade total

A alcalinidade total é uma variável importantíssima no controle da estabilidade do processo anaeróbio. A digestão de substratos complexos resulta na produção de ácidos intermediários, sendo então importante que a alcalinidade do meio seja suficiente para manter o pH dentro da faixa ótima para a atuação dos microrganismos, situada entre 6,6 e 7,4. No lixiviado bruto da CRR, a alcalinidade total média foi verificada igual a 10.837 mgCaCO₃/Lbruto. Na saída do FAFA 01, verificou-se média igual 10.815 mgCaCO₃/L. Na saída do FAFA 02, verificou-se média igual a 9.975 mgCaCO₃/L. A interpretação desses valores mostra que em todos os estágios do tratamento anaeróbio houve alcalinidade suficiente para o tamponamento do meio.

A Tabela A16 apresenta os resultados dos ensaios realizados para o controle da alcalinidade total do lixiviado na Fase 2 da pesquisa.

5.2.2.5. Bactérias heterotróficas

As bactérias heterotróficas são aquelas para as quais as fontes de carbono e de energia são os compostos orgânicos. Em um processo estritamente anaeróbio, como o verificado em filtros anaeróbios, é

interessante o controle da concentração desses microrganismos. Se for confirmada a sua existência, pode-se afirmar que, pelo menos do ponto de vista da presença dos microrganismos, a unidade de tratamento está capacitada para a estabilização da matéria orgânica. No lixiviado bruto da CRR, a concentração variou entre 2.000 e 300.000 UFC/mL. No ponto em que os efluentes dos dois FAFAs eram reunidos, a média verificada foi igual a 78.467 UFC/mL. A avaliação dos resultados mostra a presença das bactérias heterotróficas desde o tanque de bombeamento do lixiviado até a saída dos FAFAs. A avaliação dos resultados indica que, desde a geração do lixiviado, no âmbito da massa de resíduos, até a sua saída, nos filtros anaeróbios, os microrganismos responsáveis pela estabilização anaeróbia da matéria orgânica estão presentes.

A Tabela A17 apresenta os resultados dos ensaios realizados para o controle de bactérias heterotróficas no lixiviado na Fase 2 da pesquisa.

5.2.3. Banhados construídos

O desempenho dos banhados construídos merece abordagem especialmente cuidadosa. O primeiro aspecto a ser discutido é a não operação do banhado de fluxo superficial. As macrófitas nele plantadas não se desenvolveram satisfatoriamente. O projeto da unidade previu o plantio de mudas da espécie *Typha subulata*, popularmente conhecida como “tabôa”, por ser o desempenho dessa espécie já consagrado no tratamento de efluentes. Entretanto, foi introduzido na unidade o *Scirpus californicus*, vulgarmente conhecido como “junco de banhado”. A opção pelo *Scirpus californicus*, que aconteceu no momento da execução dos banhados, decorreu de dois motivos principais: essa espécie é muito comum em banhados naturais no Rio Grande do Sul, levando a crer que a sua aclimação não seria difícil; possibilidade de comparação entre o seu desenvolvimento e o desenvolvimento da *Typha subulata*, do banhado de fluxo subsuperficial. Um mês após o plantio, já era possível verificar-se a o crescimento descompassado das plantas de cada um dos banhados. Enquanto a *Typha subulata* aclimatava-se e desenvolvia-se sem dificuldades aparentes, o *Scirpus californicus* apresentava crescimento inexpressivo. Possivelmente, a não adaptação do “junco de banhado” seja consequência dos seguintes fatores: a espécie de macrófita não resistiu às cargas de N-amoniaco presentes no lixiviado, fato verificado quando foram realizadas aplicações de pequenas vazões do líquido no banhado (o objetivo das

iniciativas foi estimular, através da introdução de líquido rico em nutrientes, a aclimação das plantas); a composição do substrato do banhado não foi suficiente para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas, pois o plantio das mesmas deu-se diretamente em uma camada de 0,15 m de argila orgânica, não havendo, portanto, o leito suporte de brita para amparar fisicamente o crescimento das raízes das macrófitas.

O banhado de fluxo subsuperficial pôde ser operado. As macrófitas nele plantadas desenvolveram-se plenamente. No entanto, as vazões de lixiviado aplicadas no banhado não foram as estabelecidas no projeto, pois verificou-se que possivelmente as plantas não resistiriam às elevadas cargas de N-amoniacal. Com o objetivo de viabilizar a perfeita aclimação da *Typhas*, iniciou-se, em fevereiro de 2007, a operação do banhado com aplicação de 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água, regime operativo que se estendeu até fim do mês de junho de 2007. A partir de então, foi eliminada a introdução de água no banhado, permanecendo somente os 18 m³/d de lixiviado afluindo à unidade. No início de setembro de 2007, aumentou-se a vazão aplicada no banhado para 50 m³/d. Nesse estágio da operação, imaginava-se que as macrófitas resistiriam ao tratamento, pois as eficiências obtidas no banhado em termos de remoção de N-amoniacal eram elevadas, ratificando a aclimação das *Typhas* e a adaptação das mesmas ao tratamento do líquido. A dificuldade então passou a ser o estabelecimento da vazão máxima a ser aplicada no banhado de modo a não haver grande perda de eficiência na unidade ou, ainda, morte das plantas por sobrecarga de nutrientes. Atualmente, a vazão introduzida no banhado permanece sendo aumentada de maneira gradativa com a finalidade de estabelecer-se uma relação interessante entre a vazão afluyente ao banhado e a área necessária para o tratamento. O valor de 50 m³/d representa somente 28% da vazão prevista para a unidade (50 m³/d sobre os 177 m³/d). Em função dessas várias interferências operativas, entende-se que a avaliação das concentrações de entrada e de saída do banhado não pode prescindir da avaliação conjunta das vazões aplicadas nas unidades.

5.2.3.1 $DBO_{5,20}$, DQO e COT

As eficiências na remoção da matéria orgânica no banhado de fluxo subsuperficial estão apresentadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Remoção de $DBO_{5,20}$ no banhado de fluxo sub-superficial

Data	Vazão (m ³ /d)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
13/03/07	18*	1.815	55	97
28/03/07	18*	2.385	35	99
02/04/07	18*	3.200	115	96
16/04/07	18*	3.960	180	95
02/05/07	18*	2.120	30	99
14/05/07	18*	3.480	100	97
04/06/07	18*	2.850	260	91
18/06/07	18*	2.435	100	96
02/07/07	18	700	10	99
16/07/07	18	2.040	40	98
01/08/07	18	1.505	75	95
13/08/07	50	3.310	1.065	68
10/09/07	50	2.140	1.570	27
17/09/07	50	3.020	2.595	14
01/10/07	50	3.430	1.700	50
15/10/07	50	2.730	485	82
05/11/07	50	1.935	165	91
19/11/07	50	3.360	190	94

* Vazão total introduzida no banhado = 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água

A interpretação dos resultados apresentados na Tabela 5.6 permite as seguintes constatações: (1) enquanto a vazão de lixiviado introduzida no banhado foi igual a 18 m³/d (com e sem diluição do lixiviado em 18 m³/d de água), a eficiência na remoção de $DBO_{5,20}$ foi estável, apresentado valores superiores a 90%; (2) a partir do aumento da vazão aplicada de lixiviado para 50 m³/d, houve inicialmente queda de eficiência, com posterior recuperação

de desempenho positivo. Frente ao exposto, a conclusão relativa ao funcionamento do banhado de fluxo subsuperficial para remoção de $DBO_{5,20}$ é a seguinte: o banhado foi eficiente na redução das concentrações de $DBO_{5,20}$ do lixiviado, quando a vazão aplicada do líquido foi igual ou inferior a 50 m^3/d . Possivelmente, as interessantes eficiências obtidas na operação do banhado deveram-se ao largo TDH sob o qual operou a unidade. A vazão projetada para a operação (177 m^3/d) não foi, em nenhum momento, aplicada no banhado, pois provavelmente as macrófitas não resistiriam à enorme carga de nutrientes às quais seriam submetidas. Ainda, o desempenho dos filtros anaeróbios que antecediam o banhado comprometeu a avaliação dessa unidade, pois as concentrações afluentes previstas foram muito inferiores às concentrações verificadas em termos práticos. A introdução no sistema de tratamento de um processo aeróbio, a jusante dos filtros e a montante do banhado, resultaria em provável melhoria do desempenho da unidade, pois essa receberia assim um afluente mais estabilizado em termos de compostos orgânicos.

A verificação das eficiências na remoção de DQO e de COT indica que essas variáveis apresentaram comportamento análogo ao da $DBO_{5,20}$, como pode ser verificado nas Tabelas 5.7 e 5.8, que apresentam os resultados dos ensaios realizados para controle dessas duas variáveis.

Tabela 5.7 Remoção de DQO no banhado de fluxo sub-superficial

Data	Vazão (m ³ /d)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
12/03/07	18*	6.165	160	97
28/03/07	18*	5.770	115	98
02/04/07	18*	6.705	370	94
16/04/07	18*	6.030	485	92
02/05/07	18*	5.730	340	94
14/05/07	18*	5.580	255	95
04/06/07	18*	5.240	315	94
18/06/07	18*	4.570	130	97
02/07/07	18	5.120	95	98
16/07/07	18	4.380	120	97
07/08/07	18	4.980	120	98
13/08/07	50	5.670	2.175	62
10/09/07	50	6.195	3.985	36
17/09/07	50	5.935	4.260	28
01/10/07	50	5.910	5.055	14
15/10/07	50	5.535	950	83
05/11/07	50	4.225	370	91
19/11/07	50	4.495	280	94

* Vazão total introduzida no banhado = 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água

Tabela 5.8 Remoção de COT no banhado de fluxo sub-superficial

Data	Vazão (m ³ /d)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
12/03/07	18*	2.820	75	97
28/03/07	18*	2.620	810	69
02/04/07	18*	3.025	175	94
16/04/07	18*	2.820	335	88
02/05/07	18*	2.820	160	94
14/05/07	18*	2.475	115	95
04/06/07	18*	2.300	185	92
18/06/07	18*	2.080	60	97
02/07/07	18	2.185	45	98
16/07/07	18	1.975	55	97
07/08/07	18	2.190	55	97
13/08/07	50	2.495	1.025	59
10/09/07	50	2.705	1.740	36
17/09/07	50	130	98	25
01/10/07	50	2.685	2.325	13
15/10/07	50	2.360	435	82
05/11/07	50	1.805	150	92
19/11/07	50	2.150	130	94

* Vazão total introduzida no banhado = 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água

5.2.3.2. N-amoniacal

A Tabela 5.9 refere-se à remoção, verificada no banhado construído, do N-amoniacal do lixiviado. A iniciativa de implementação do banhado objetivou principalmente: o consumo da amônia solúvel por parte das macrófitas; e, a transformação de parte da concentração de N-amoniacal em nitrato (nitrificação). Assim, como as concentrações afluentes ao banhado eram próximas a 2.000 mg/L, esperava-se que os valores efluentes sofressem grandes reduções. A partir da avaliação do que está exposto na Tabela 5.9, é possível afirmar-se que foi verificado o esperado. A particularidade dos dados mostrados na referida tabela reside na queda de eficiência de remoção e

transformação, determinada pelo aumento da vazão introduzida no banhado. A eficiência foi posteriormente recuperada, ratificando a capacidade da unidade de reduzir concentrações de N-amoniacal.

Tabela 5.9 Remoção de N-amoniacal no banhado

Data	Vazão (m ³ /d)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
12/03/07	18*	1.270	2	100
28/03/07	18*	1.864	2	100
02/04/07	18*	1.753	100	94
16/04/07	18*	2.726	185	93
02/05/07	18*	2.121	185	91
14/05/07	18*	2.283	178	92
04/06/07	18*	2.439	197	92
18/06/07	18*	1.590	74	95
02/07/07	18	1.837	93	95
16/07/07	18	1.157	90	92
01/08/07	18	1.920	153	92
13/08/07	50	1.698	751	56
10/09/07	50	2.070	1.160	44
17/09/07	50	2.170	1.460	33
01/10/07	50	1.750	1.660	5
15/10/07	50	2.240	274	88
05/11/07	50	1.729	196	89
19/11/07	50	1.875	97	95

* Vazão total introduzida no banhado = 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água

5.2.3.3. NTK

O desempenho do banhado na remoção de NTK é muito semelhante ao seu desempenho na remoção de N-amoniacoal. Esse comportamento era esperado, pois o N-amoniacoal é uma das parcelas que compõem o NTK. Promovida a redução da concentração de N-amoniacoal, esperava-se que fosse proporcionalmente reduzida a concentração de NTK.

Talvez, a conclusão mais interessante a partir do controle do NTK seja a seguinte: as concentrações do NTK do lixiviado da CRR praticamente confundem-se com as concentrações de N-amoniacoal do líquido, conforme mostra a Figura 5.14. Essa conclusão ratifica que o objetivo do tratamento deve ser a remoção do N-amoniacoal.

Tabela 5.10 Remoção de NTK no banhado

Data	Vazão (m ³ /d)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
12/03/07	18*	1.716	4	100
28/03/07	18*	2.324	9	100
02/04/07	18*	1.922	110	94
16/04/07	18*	2.949	253	91
02/05/07	18*	2.315	199	91
14/05/07	18*	2.404	178	93
04/06/07	18*	2.790	228	92
18/06/07	18*	1.635	88	95
02/07/07	18	2.130	101	95
16/07/07	18	1.393	108	92
01/08/07	18	2.128	161	92
13/08/07	50	1.733	804	54
10/09/07	50	2.230	1.500	33
17/09/07	50	2.340	1.700	27
01/10/07	50	2.050	1.930	6
15/10/07	50	2.410	357	85
05/11/07	50	1.790	198	89
19/11/07	50	2.035	104	95

* Vazão total introduzida no banhado = 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água

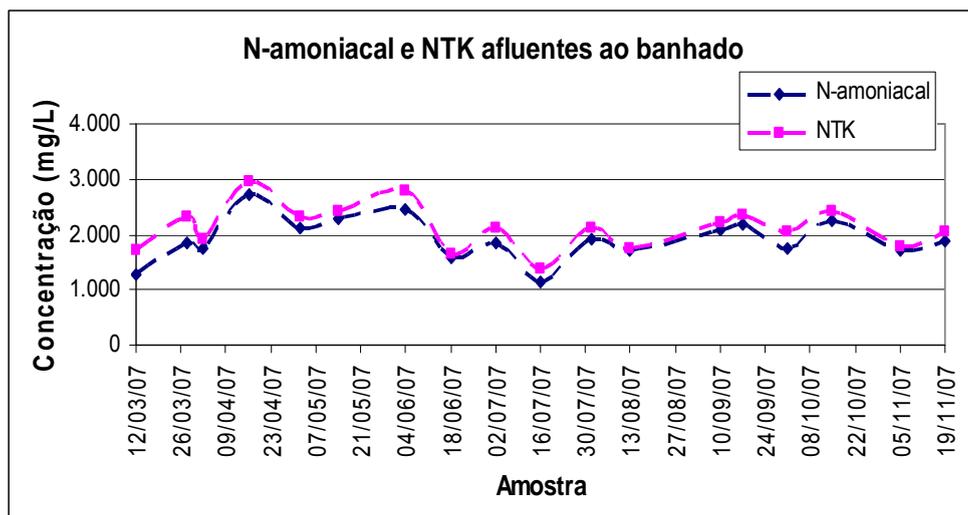


Figura 5.14 Concentrações de N-amoniacoal e de NTK no lixiviado.

5.2.3.4. Nitrito

A Tabela 5.11 apresenta as concentrações de nitritos verificadas durante a pesquisa. Os nitritos são uma forma intermediária no nitrogênio no processo de nitrificação, razão pela qual, do ponto de vista da geração de nitratos, o seu controle é menos importante. Além disso, a conversão de nitritos para nitratos, em condições favoráveis de oxigenação, acontece rapidamente, fazendo com que seja muito instável a concentração de nitritos no meio líquido. De qualquer modo, esperava-se que houvesse geração de nitritos durante a passagem do lixiviado pelo banhado. O esperado foi verificado.

Tabela 5.11 Geração de nitrito no banhado

Data	Vazão (m ³ /d)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)
13/03/07	18*	0,05	0,3
28/03/07	18*	1,5	0,3
02/04/07	18*	N.D.	0,7
16/04/07	18*	1,7	0,2
02/05/07	18*	1,8	3,1
14/05/07	18*	1,8	9,1
04/06/07	18*	0,0	4,0
18/06/07	18*	0,0	1,4
02/07/07	18	N.D.	3,4
16/07/07	18	N.D.	1,7
01/08/07	18	N.D.	1,0
13/08/07	50	N.D.	N.D.
10/09/07	50	N.D.	N.D.
17/09/07	50	209,0	124,0
01/10/07	50	1,3	13,2
15/10/07	50	N.D.	10,8
05/11/07	50	N.D.	28,6
19/11/07	50	N.D.	2,3

* Vazão total introduzida no banhado = 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água

5.2.3.5. Nitrato

A geração de nitratos é o último estágio da nitrificação. O nitrogênio orgânico, o nitrogênio amoniacal e o nitrito são transformados em nitrato, que será a forma mais estável do nitrogênio no meio líquido. Com base nas elevadas concentrações de N-amoniacal geradas na digestão anaeróbia dos resíduos, propôs-se o banhado construído com os seguintes objetivos: promover a nitrificação de grande parcela do nitrogênio presente no lixiviado; oferecer nitratos como fonte de nutrientes para a assimilação das

macrófitas; promover a transformação de uma parcela do nitrato em nitrogênio gasoso (desnitrificação). O principal mecanismo do processo de nitrificação seria a introdução do oxigênio no meio líquido, por parte das macrófitas aquáticas. Com relação a desnitrificação, a ocorrência de regiões anóxicas no banhado estabeleceria as condições favoráveis para o processo. A interpretação dos resultados apresentados na Tabela 5.12 permite algumas conclusões: (1) nos pontos em que a concentração de nitratos afluente ao banhado é inferior à concentração efluente, é provável que tenha havido nitrificação do lixiviado; (2) nos pontos em que a concentração de nitratos afluente ao banhado é, por sua vez, superior à concentração efluente, é possível que tenha havido desnitrificação ou consumo de nitratos por parte das macrófitas.

Tabela 5.12 Remoção ou geração de nitrato no banhado

Data	Vazão (m ³ /d)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)
13/03/07	18*	0,81	1,6
28/03/07	18*	N.D.	1,4
02/04/07	18*	11	12,2
16/04/07	18*	89	N.D.
02/05/07	18*	276	27,6
14/05/07	18*	29	33,7
04/06/07	18*	12	0,1
18/06/07	18*	7	10,4
02/07/07	18	184	33,5
16/07/07	18	N.D.	14,2
01/08/07	18	21	15,6
13/08/07	50	142	2,5
10/09/07	50	0	N.D.
17/09/07	50	N.D.	N.D.
01/10/07	50	1	0,1
15/10/07	50	0	0,0
05/11/07	50	N.D.	1,8
19/11/07	50	0	1,7

* Vazão total introduzida no banhado = 18 m³/d de lixiviado mais 18 m³/d de água

5.2.3.6. Registro fotográfico complementar

A Figura 5.15 apresenta algumas vistas dos banhados de fluxo superficial e de fluxo subsuperficial. Em primeiro plano, podem ser vistas as condições do banhado de fluxo superficial (que não foi operado), em agosto de 2007. Em segundo plano, é possível verificar-se a reação das macrófitas do banhado de fluxo subsuperficial às baixas temperaturas do inverno no Rio Grande do Sul. O aparente prejuízo das macrófitas refletiu-se parcialmente no desempenho do banhado de fluxo subsuperficial, pois a unidade apresentou queda de eficiências apenas quando do aumento da vazão para 50 m³/d de lixiviado aplicado. A Figura 5.16 mostra uma vista do aspecto das macrófitas do banhado de fluxo subsuperficial durante o mês de agosto.



Figura 5.15 Vistas dos banhados, em agosto de 2007.



Figura 5.16 Vista das macrófitas do banhado de fluxo subsuperficial durante o inverno.

As Figuras 5.17 e 5.18 apresentam algumas amostras do lixiviado da CRR coletadas em diferentes pontos do sistema de tratamento.



Figura 5.17 Quatro amostras de lixiviado analisadas no Laboratório de Saneamento da EESC, em julho de 2007.



Figura 5.18 Amostra de lixiviado coletada na saída do banhado de fluxo subsuperficial.

A Figura 5.19 apresenta a característica visual do lixiviado coletado em três pontos amostrais diferentes do banhado, em agosto de 2007. A interpretação da referida figura ratifica a capacidade de clarificação do lixiviado por parte do sistema.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.19 (a) Lixiviado coletado na parte inicial do banhado; (b) Lixiviado coletado na parte central do banhado; (c) Lixiviado coletado na saída do banhado.

5.3. INVESTIMENTO E CUSTO OPERACIONAL DA CRR NO TRATAMENTO

O sistema de tratamento de lixiviado avaliado ao longo desta pesquisa exigiu o investimento por parte da Central de Resíduos do Recreio, em valores atuais, de aproximadamente R\$ 1.400.000,00. Na execução de cada um dos filtros anaeróbios foram aplicados R\$ 400.000,00. Na construção dos banhados, por sua vez, foram gastos R\$ 300.000,00, em cada uma das unidades.

Com relação aos filtros anaeróbios, consequência da sua característica de passividade energética (nenhuma demanda externa de energia, com fluxo da massa líquida sendo regulado hidráulicamente), poucas são as atividades que poderiam incrementar o custo da operação. Basicamente podem ser previstas as seguintes interferências durante o funcionamento das unidades: lavagem do leito filtrante, a cada quatro meses (por exemplo), e desentupimento das tubulações de introdução e de retirada do lixiviado de cada um dos filtros.

Relativamente ao banhado, embora houvesse decorrido uma variação sazonal completa, não houve, até o final da pesquisa, a efetivação de corte, poda e demais providências de manutenção. Entretanto, as seguintes atividades podem ser demandadas durante a operação da unidade: varrição das bordas e reparos de maciços; regularização da brita de superfície; retirada de elementos vegetais daninhos; substituição eventual de

macrófitas; manutenção de tubulações, vertedores, caixas de entrada e saída de líquido, entre outros.

Frente ao exposto e dada a simplicidade de manutenção do sistema de tratamento da CRR, é possível a estimativa de alguns valores. Prevendo-se que dois serventes, durante um ano, fiquem responsáveis pela execução das tarefas anteriormente referidas (tanto nos filtros quanto no banhado) e que cada um deles seja remunerado mensalmente com R\$ 1.200,00 (incluídos encargos sociais), obter-se-ia o total de R\$ 28.800,00. Assim, se a vazão média de projeto da ETL (355 m³/d ou 129.575 m³/ano) fosse a vazão efetivamente tratada, o custo/m³ de operação do tratamento de lixiviado, no horizonte de um ano, seria de aproximadamente R\$ 0,22. Admitindo-se, ainda, que sejam necessárias as compras de novos materiais ou equipamentos para realização das tarefas, compra de mudas de macrófitas, interferências imprevistas, entre outros, é admissível a previsão de que o custo/m³ do tratamento de lixiviado, em um ano, não deva ultrapassar os R\$ 0,50. No que diz respeito ao investimento na construção e implantação do sistema de tratamento, dividindo-se o montante de R\$ 1.400.000,00 por 355 m³/d, obter-se-ia o valor aproximado de R\$ 3.945,00 por m³ de lixiviado, de modo a ser atendida a capacidade de tratamento projetada. Cumpre lembrar: as estimativas apresentadas não incluem os valores relativos à compra de área e gastos decorrentes do provimento para a estação elevatória de lixiviado.

5.4. INTERVENÇÕES ESTRUTURAIS JÁ EM EXECUÇÃO NO SISTEMA DE TRATAMENTO

Algumas intervenções no sistema de tratamento de lixiviado vêm sendo empreendidas por parte da Central de Resíduos do Recreio. Essas iniciativas são decorrentes de duas necessidades principais: aumento da capacidade de tratamento do líquido e melhoria da qualidade do efluente final tratado. As medidas (já executadas, ainda em execução ou de execução futura) adotadas podem ser assim listadas:

Aumento da capacidade de bombeamento do lixiviado até a ETL, consequência do ingresso de mais uma bomba no sistema de adução e execução de nova linha de recalque. Medida já executada;

Introdução de um “filtro biológico aerado submerso” no sistema de tratamento. A unidade será executada a jusante dos filtros anaeróbios e a montante dos banhados. O filtro foi projetado para operar sob a vazão de fim

de plano de 600 m³/d. A potência do sistema de aeração é de 100 cv e será distribuída por cinco aeradores de 20 cv cada um. A iniciativa resultará em transformação do N-amoniaco em nitratos, forma nitrogenada mais utilizável por parte das macrófitas. Além disso, a medida resultará em oxidação complementar da matéria orgânica solúvel efluente dos filtros anaeróbios e transformação do N-amoniaco em nitratos. A medida já está em execução;

Introdução de mais dois banhados construídos de fluxo subsuperficial no sistema de tratamento. O objetivo é capacitar ainda mais o sistema para promover a remoção de N-amoniaco e de nitratos. Medida já executada;

Introdução de mais dois filtros anaeróbios de fluxo ascendente no sistema de tratamento. O objetivo dessa iniciativa é o aumento dos TDHs das unidades, haja vista a condição de “sacrifício” sob a qual estão os filtros operando atualmente. Medida em fase de discussão.

No cenário apresentado, de reestruturação e de melhoria do sistema de tratamento do lixiviado da CRR, acontecerá a continuidade da pesquisa sobre o tema “tratamento de lixiviado de aterro sanitário”. Pretende-se que as medidas relacionadas anteriormente permitam a abordagem, em nível de doutorado, principalmente no que se refere às nitrificação/desnitrificação, com o estabelecimento de coeficientes cinéticos que conduzam a modelos matemáticos viabilizadores de dimensionamentos de unidades de tratamento de lixiviado em escala real.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação dos resultados obtidos na pesquisa permitiu as seguintes conclusões e recomendações:

- 1 Filtros anaeróbios de fluxo ascendente, quando bem projetados e operados, são alternativa muito interessante para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário. A eficiência obtida no tratamento na remoção de matéria orgânica pode superar facilmente 50%, em termos de $DBO_{5,20}$, DQO e COT. O principal parâmetro de projeto dos filtros deve ser o TDH, que no tratamento de lixiviado contendo $DBO_{5,20}$ variando entre 1.000 e 5.000 mgO_2/L e DQO a partir de 3.000 mgO_2/L , não deve ser inferior a 20 d. Sugere-se que o carregamento orgânico aplicado aos filtros não exceda 1,0 $kgDQO/(m^3.d)$;
- 2 Não se mostrou interessante a utilização de filtros anaeróbios de fluxo ascendente de mesmo TDH em série, quando o lixiviado bruto apresentar $DBO_{5,20}$ variando entre 1.000 e 5.000 mgO_2/L e DQO a partir de 3.000 mgO_2/L . As eficiências obtidas na remoção de matéria orgânica no segundo filtro são mínimas. Por essa razão, sugere-se a operação dos filtros em paralelo;
- 3 Banhados construídos de fluxo subsuperficial são interessantes instrumentos para o a remoção de N-amoniacal de lixiviado de aterro sanitário. Sugere-se que o líquido seja previamente submetido a um processo de tratamento anaeróbio seguido de um processo aeróbio (“nitrificador”). Assim, a remoção de N-amoniacal poderá alcançar 90%;
- 4 O cálculo da área de banhados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário deve acontecer com base na remoção de N-amoniacal. Banhados calculados estritamente para remoção de matéria orgânica resultarão em áreas pequenas, nas quais não se dará a remoção de nitrogênio;
- 5 As macrófitas aquáticas, sobretudo na sua fase de adaptação ao tratamento, não resistem às elevadas concentrações de nitrogênio usualmente verificadas no lixiviado. Por essa razão, sugere-se a

diluição do lixiviado em água, quando das primeiras aplicações do líquido no banhado. A aparência “amarelada” das macrófitas utilizadas não indicou necessariamente morte das plantas, possivelmente representando apenas a reação desses organismos às baixas temperaturas e ao regime chuvoso de determinada estação do ano;

- 6 A utilização de banhados de fluxo superficial exige cuidado adicional com o plantio das mudas de macrófitas. Sugere-se que, nos locais onde serão implantadas as mudas, haja colocação de quantidades suficientes de brita para amparar e suportar fisicamente o crescimento das raízes das plantas. Sem tal iniciativa, mesmo a utilização de mudas de macrófitas nativas não garante o estabelecimento pleno do banhado. Além disso, é recomendável a seleção de mudas jovens (menores), em detrimento de mudas adultas (maiores). Os indivíduos mais jovens não somente apresentarão decaimento mais tardio, como também sofrerão menor efeito do vento sobre sua superfície;
- 7 O plantio e a adaptação ao tratamento são provavelmente as etapas mais importantes para o ciclo de vida das macrófitas no banhado. Somente a partir do sucesso dessas duas fases, a manutenção da unidade (corte e poda das plantas), que completa o ciclo referido, poderá ser efetivada. Nesse sentido, é recomendável a preparação e a execução de um “Plano de operação do banhado”, de modo a garantir-se o controle de cada estágio do ciclo. O documento poderá estabelecer: prazos e metas para o desenvolvimento da comunidade de macrófitas; regime de aumento gradativo de vazões; previsão de eventuais medidas corretivas nas fases de plantio e adaptação; regime de manutenção (corte, poda e possíveis replantios) dos vegetais;
- 8 Os efeitos de evaporação e de evapotranspiração, no âmbito de um banhado construído, provavelmente determinam que a vazão efluente da unidade seja inferior a sua vazão afluente. Os largos TDHs normalmente empregados no tratamento e a pequena altura da lâmina líquida são certamente os aspectos que mais favorecem a efetivação desses fenômenos. Assim, sugere-se o controle da vazão na entrada e na saída da unidade, possibilitando a avaliação ou a estimativa dos efeitos referidos.

SUGESTÕES

As pesquisas relativas ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário apresentam ainda muitas lacunas. Nesse cenário, para a realização de trabalhos futuros sobre o tema, é sugerida a abordagem dos seguintes tópicos:

- 1) Avaliação bioquímica do processo de tratamento de lixiviado por macrófitas aquáticas: estudo da demanda e do suprimento da demanda nutricional das plantas;
- 2) Avaliação da produção de biomassa (macrófitas aquáticas) em banhados construídos tratando lixiviado de aterro sanitário;
- 3) Avaliação da importância do tamanho e da distribuição de tamanhos de partículas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário;
- 4) Tratamento de lixiviado de aterro sanitário em filtro biológico aerado submerso: contribuição para o estudo das cinéticas de nitrificação e desnitrificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1982). *NBR 7229 – Construção e Instalação de Fossas Sépticas e Disposição dos Efluentes Finais*. 37 p.
- ABNT (1992). *NBR 12209 – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário*. 12 p.
- APHA, AWWA, WPCF (1999). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 20ª Ed. Washington, DC.
- BASTIAN, R.K. & HAMMER, D.A. (1993). The Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Recycling In: MOSHIRI, A. (Ed) *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Boca Raton: Lewish Publishers. Cap.5, p. 59-68.
- BELTRÃO, K.G.Q.B. (2006). *Sistema de barreira bioquímica como alternativa para o tratamento de percolado*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. 168 p.
- BERTAZZOLI, R. & MORAES, P. B. (2006). Tratamento fotoeletroquímico de chorume. *Revista Limpeza Pública*. Nº 65. p. 28 a 31.
- BIDONE, F.R.A. (2004). Projeto Executivo da Estação de Tratamento de Lixiviado do Aterro Sanitário da Central de Resíduos do Recreio. Minas do Leão/RS.
- BIDONE, F.R.A. & POVINELLI, J. (1999). *Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos*. São Carlos: EESC-USP. Projeto REENGE.
- BOYLE, W.C. & HAM, R.K. (1974). Treatability of leachate from sanitary landfills. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 46, p.860-872.

- BRIX, H. (1993). Wastewater Treatment in Constructed Wetlands System: Design, Removal Processes and Treatment Performance. In: MOSHIRI, A. (Ed) *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Boca Raton: Lewish Publishers. Cap.2, p.9-22.
- CASTRO, M. C. A. A. (2001) *Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento de líquidos percolados gerados em aterro sanitário*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 248 p.
- CARDILLO, L. (2006). Os processos de tratamento de efluentes. *Revista Limpeza Pública*. Nº 62. p. 26 e 27.
- CHERNICHARO, C. A. L. (1997). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 246 p.
- CHIAN, E.S.K. & DeWALLE, F.B. (1977). Sanitary landfill leachates and their treatment. *Journal of the Environmental Engineering Division*, ASCE, 102, p.411-431.
- CUNHA, C.A.G. (2006). *Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 157 p.
- DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT – DoE (1995). Waste Management Paper 26B. *Landfill Design, Construction and Operational Practice*. London, HMSO.
- FLECK, E. (2003). *Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 176 p.

- GONÇALVES, M. C. (2006). Tipos de tratamento de chorume. *Revista Limpeza Pública*. Nº 62. p. 28 e 29.
- JORDÃO, E. P. & PESSÔA, C. A. (2005). Tratamento de esgotos domésticos. 4ª Ed. Rio de Janeiro. 932 p.
- JUCÁ, J. F. T. (2003). Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Anais do V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental*. Porto Alegre, RS.
- KADLEC, R. H; KNIGHT, R. L; VYMAZAL, J; BRIX, H; COOPER, P; HABERL, R. (2000). Constructed Wetlands for Pollution Control: process, performance, design and operation - Scientific and Technical Report, London: IWA Publishing, n. 8, 156p.
- LIEHR, S. K., KOZUB D. D., RASH J. K., SLOOP G. M., DOLL, B., RUBIN, A. R., HOUSE, C. H., HAWES, S., BURKS, D. (2000). Constructed Wetlands Treatment of High Nitrogen Landfill Leachate. *Water Environment Research Foundation*, Final Report.
- MÁXIMO, V. A. & CASTILHOS JR, A. B. de (2007). Estudo do tratamento por coagulação-floculação de lixiviados gerados em aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis. *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG.
- MCARDLE, J. L.; AROZARENA, M. M.; GALLAGHER, W. E. (1988). *Treatment of Hazardous Waste Leachate*. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey, USA.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2005). *Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e estabelecimento das condições e padrões de lançamento de efluentes*. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, CONAMA, Brasília, Brasil.

- METCALF & EDDY (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 3ª ed (Edição Internacional). Cingapura: McGraw-Hill.
- QASIM, S.R. & CHIANG, W. (1994). *Sanitary landfill leachate: Generation, Control and Treatment*. Lancaster, PA: Technomic Publishing Co., Inc.
- SCHNEIDER & TSUTIYA (2001). *Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso*. 1ª Ed. São Paulo: ABES. 234 p.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (2006). *Fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul*. Resolução N° 128, de 24 de novembro de 2006, CONSEMA, Porto alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- SILVA, S. M. C. P.; HOSSAKA, A. L.; FERNANDES, F.; SOBRINHO, P. A. (2007) Remoção prévia de nitrogênio amoniacal de lixiviado de aterro sanitário visando posterior tratamento biológico. *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG.
- YOUNG, J.C. (1991). Factors affecting the design and performance of upflow anaerobic filters. *Water Science and Technology*, 24, p.133-155.
- YOUNG, J.C. & McCARTY, P.L. (1969). The anaerobic filter for waste treatment. *Journal Water Pollution Control Federation*, 41, p.160-173.

ANEXOS

Tabela A1 Variáveis e metodologia analítica utilizada

Ensaio	Metodologia Analítica
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	Potenciometria com eletrodo de membrana
DQO (mgO ₂ /L)	Dicromatometria com refluxo aberto
COT (mgC/L)	Titulometria - permanganimetria
Sólidos totais (mg/L)	Gravimetria
Sólidos totais fixos (mg/L)	Gravimetria
Sólidos totais voláteis (mg/L)	Gravimetria
Sólidos suspensos totais (mg/L)	Gravimetria
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Gravimetria
pH	Potenciometria direta
Temperatura (°C)	Termometria
Ácidos voláteis (mgÁc. acético/L)	Titulometria de neutralização
Alc. Total (mgCaCO ₃ /L)	Titulometria de neutralização
N-amoniaco (mgN/L)	Titulometria com destilação prévia
NTK (mgN/L)	Titulometria com destilação prévia
Nitrito (mgNO ₂ ⁻ /L)	Espectroscopia de absorção molecular
Nitrato (mgNO ₃ ⁻ /L)	Espectroscopia de absorção molecular
Sulfato (mgSO ₄ ²⁻ /L)	Espectroscopia de absorção molecular
Sulfeto (mgH ₂ S/L)	Espectroscopia de absorção molecular
Fosfato total (mgPO ₄ ³⁻ /L)	Espectroscopia de absorção molecular
Chumbo (mgPb/L)	Espectrofotometria de absorção atômica
Cádmio (mgCd/L)	Espectrofotometria de absorção atômica

Níquel (mgNi/L)	Espectrofotometria de absorção atômica
Mercúrio (mgHg/L)	Espectrofotometria de absorção atômica
Cromo (mgCr/L)	Espectrofotometria de absorção atômica
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	Tubos múltiplos
Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	Contagem em placas – Pour plate

Tabela A2 – Remoção de DBO na FASE 1 da pesquisa

DATA	Afluente (mg/L)	Efluente FAFA 01 (mg/L)	Efluente FAFA 02 (mg/L)	Eficiência FAFA 01 (%)	Eficiência FAFA 02 (%)
30/08/04	3.505	1.025	1.780	71	0
08/09/04	2.680	1.200	1.990	55	0
15/09/04	3.815	1.435	1.915	62	0
21/09/04	3.065	935	2.085	69	0
27/09/04	3.330	1.610	2.155	52	0
04/10/04	3.725	840	2.670	77	0
11/10/04	3.945	1.630	1.495	59	8
18/10/04	3.700	1.480	1.380	60	7
29/10/04	3.400	700	840	79	0
08/11/04	3.350	1.365	1.300	59	5
22/11/04	2.670	1.195	1.310	55	0
29/11/04	4.075	535	800	87	0
06/12/04	4.005	1.620	1.025	60	37
13/12/04		960	1.395		0
03/01/05	3.070	1.430	955	53	33
11/01/05	2.430	1.665	1.675	31	0
17/01/05	2.960	1.540	1.780	48	0
25/01/05	2.210		1.415		
31/01/05	7.080		1.465		
14/02/05	1.910	1.375	1.125	28	18
21/02/05	2.120		1.965		
28/02/05	1.930		1.370		

07/03/05	2.710		1.155		
14/03/05	1.965		1.690		
22/03/05	2.285	1.425	1.170	38	18
28/03/05	3.570		1.625		
04/04/05	2.525		1.225		
11/04/05	1.750		1.180		
18/04/05	2.740	1.465	1.290	47	12
25/04/05	2.205		1.215		
02/05/05	3.050		915		
09/05/05	1.660		2.050		
16/05/05	3.995	1.525	1.480	62	3
23/05/05	3.235		2.555		
30/05/05	5.030		1.475		
13/06/05	6.110	1.240	1.695	80	0
27/06/05	4.920		1.810		
18/07/05	4.510	1.250	850	72	32
25/07/05	4.950		1.560		

Continua na próxima página

Continuação da Tabela A2 Remoção de DBO na FASE 1 da pesquisa

DATA	Afluente (mg/L)	Efluente FAFA 01 (mg/L)	Efluente FAFA 02 (mg/L)	Eficiência FAFA 01 (%)	Eficiência FAFA 02 (%)
08/08/05	5.680	1.450	1.470	74	0
22/08/05	6.830		1.345		
05/09/05	6.020	3.115	1.820	48	42
26/09/05	5.010		2.845		
03/10/05	7.680	2.530	1.620	67	36
17/10/05	3.465		1.600		
31/10/05	3.295		1.660		
07/11/05	2.620	1.940	2.250	26	0
21/11/05	3.430		2.450		
05/12/05	3.005	2.750	2.070	8	25
19/12/05	3.960		1.570		
02/01/06	3.620	1.615	1.290	55	20
20/02/06	6.300	2.400	1.250	62	48
06/03/06	3.050	1.710	1.230	44	28
20/03/06	5.120		1.350		
03/04/06	5.000	1.320	1.110	74	16
20/04/06	4.840		975		
08/05/06	3.700	1.400	1.570	62	0
15/05/06	3.815		2.050		
05/06/06	4.050	2.620	1.710	35	35
19/06/06	8.520		1.580		
03/07/06	6.970	7.900	2.730		65
24/07/06	6.330		4.400		
07/08/06	5.500	2.170	865	61	60
21/08/06	4.640		830		
06/09/06	4.460	1.800	2.820	60	0
Médias	3.955	1.734	1.620	57	15

Tabela A3

Remoção de DQO na FASE 1 da pesquisa

DATA	Afluente (mg/L)	Efluente FAFA 01 (mg/L)	Efluente FAFA 02 (mg/L)	Eficiência FAFA 01 (%)	Eficiência FAFA 02 (%)
30/08/04	5.920	2.440	3.450	59	0
08/09/04	4.700	2.055	3.580	56	0
15/09/04	7.400	2.300	3.200	69	0
21/09/04	6.025	1.605	2.935	73	0
27/09/04	6.310	1.905	2.980	70	0
04/10/04	8.440	1.880	3.145	78	0
11/10/04	8.680	2.370	2.480	73	0
18/10/04	7.365	2.540	2.110	66	17
29/10/04	9.765	2.350	2.065	76	12
08/11/04	10.440	2.620	2.085	75	20
22/11/04	8.405	2.085	2.195	75	0
29/11/04	7.174	2.145	2.030	70	5
06/12/04	5.855	3.195	2.170	45	32
13/12/04		2.760	2.400		13
03/01/05	4.625	2.015	2.570	56	0
11/01/05	3.960	2.960	2.680	25	9
17/01/05	4.185	2.710	2.630	35	3
25/01/05	4.860		2.830		
31/01/05	14.200		2.720		
14/02/05	4.835	3.255	2.965	33	9
21/02/05	4.065		2.395		
28/02/05	4.075		3.295		

07/03/05	4.090		3.000		
14/03/05	3.530		2.765		
22/03/05	4.190	3.130	3.235	25	0
28/03/05	4.405		3.085		
04/04/05	3.990		2.885		
11/04/05	3.920		2.570		
18/04/05	3.710	2.580	2.670	30	0
25/04/05	5.045		2.520		
02/05/05	4.650		2.555		
09/05/05	3.025		3.070		
16/05/05	6.435	3.155	2.875	51	9
23/05/05	7.765		3.490		
30/05/05	9.270		3.795		
13/06/05	9.000	3.120	3.595	65	0
27/06/05	8.305		2.150		
18/07/05	8.300	3.615	2.980	56	18
25/07/05	7.525		3.450		

Continua na próxima página

Continuação da Tabela A3 Remoção de DQO na FASE 1 da pesquisa

DATA	Afluente (mg/L)	Efluente FAFA 01 (mg/L)	Efluente FAFA 02 (mg/L)	Eficiência FAFA 01 (%)	Eficiência FAFA 02 (%)
08/08/05	8.695	3.790	3.295	56	13
22/08/05	8.555		3.685		
05/09/05	9.895	4.665	4.310	53	8
26/09/05	8.710		4.960		
03/10/05	8.165	4.160	4.350	49	0
17/10/05	6.190		3.100		
31/10/05	7.210		3.190		
07/11/05	6.005	4.015	3.125	33	22
21/11/05	7.385		3.965		
05/12/05	6.965	5.025	3.875	28	23
19/12/05	8.045		4.260		
02/01/06	17.500	4.515	5.080	74	
20/02/06	15.745	6.105	3.130	61	49
06/03/06	6.115	4.320	3.850	29	11
20/03/06	15.715		3.630		
03/04/06	8.330	5.365	4.280	36	20
20/04/06	9.030		4.650		
08/05/06	8.745	5.125	5.045	41	2
15/05/06	8.365		5.595		
05/06/06	8.270	5.335	3.590	35	33
19/06/06	20.070		4.325		
03/07/06	12.435	14.130	5.140	0	64
24/07/06	13.080		10.695		
07/08/06	11.760	8.330	5.640	29	32
21/08/06	9.020		4.810		
06/09/06	10.115	5.000	6.925	51	0
Médias	7.790	3.748	3.509	51	12

Tabela A4

Remoção de COT na FASE 1 da pesquisa

DATA	Afluente (mg/L)	Efluente FAFA 01 (mg/L)	Efluente FAFA 02 (mg/L)	Eficiência FAFA 01 (%)	Eficiência FAFA 02 (%)
30/08/04	2.520	1.060	1.480	58	0
08/09/04	1.925	815	1.450	58	0
15/09/04	3.110	965	1.345	69	0
21/09/04	2.350	675	1.235	71	0
27/09/04	3.295	785	1.235	76	0
04/10/04	3.545	690	1.320	81	0
11/10/04	3.645	980	1.030	73	0
18/10/04	3.075	1.145	870	63	24
29/10/04	4.070	970	850	76	12
08/11/04	4.385	1.100	875	75	20
22/11/04	3.580	905	940	75	0
29/11/04	3.030	915	870	70	5
06/12/04	2.585	1.385	925	46	33
13/12/04		1.260	1.100		13
03/01/05	2.225	1.050	1.300	53	0
11/01/05	1.495	1.495	1.370	0	8
17/01/05	1.955	1.210	1.255	38	0
25/01/05	2.205		1.290		
31/01/05	6.130		1.225		
14/02/05		1.530			
21/02/05	2.115		1.415		
28/02/05	1.420		1.455		

07/03/05	1.820		1.360		
14/03/05	1.605		1.280		
22/03/05		1.385			
28/03/05	1.885		1.330		
04/04/05	1.720		1.145		
11/04/05	1.660		1.100		
18/04/05	1.630	1.160	1.200	29	0
25/04/05	2.180		1.125		
02/05/05	2.035		1.155		
09/05/05	1.310		1.330		
16/05/05		1.390			
23/05/05	3.300		1.515		
30/05/05	3.975		1.675		
13/06/05		1.395			
27/06/05	3.565		945		
18/07/05		1.580			
25/07/05	3.275		1.505		

Continua na próxima página

Continuação da Tabela A4
pesquisa

Remoção de COT na FASE 1 da

DATA	Afluente (mg/L)	Efluente FAFA 01 (mg/L)	Efluente FAFA 02 (mg/L)	Eficiência FAFA 01 (%)	Eficiência FAFA 02 (%)
08/08/05		1.640			
22/08/05	3.570		1.540		
05/09/05		2.025			
26/09/05	3.760		2.135		
03/10/05	3.470	1.770	1.850	49	0
17/10/05	2.685		1.345		
31/10/05	3.060		1.355		
07/11/05		1.755			
21/11/05	31.301		1.680		
05/12/05	3.150	2.225	1.740	29	22
19/12/05	3.575		1.885		
02/01/06	7.470	1.925	2.165	74	0
20/02/06	810	2.800	1.550	0	45
06/03/06	2.670	1.915	1.715	28	10
20/03/06	6.935		1.575		
03/04/06	3.480	2.525	1.935	27	23
20/04/06	4.035		2.195		
08/05/06	3.660	2.145	2.105	41	2
15/05/06	3.700		2.535		
05/06/06	3.535	2.305	1.520	35	34
19/06/06	9.425		1.915		
03/07/06	5.240	6.025	2.175	0	64
24/07/06	5.500		4.500		
07/08/06	4.805	3.365	2.235	30	34
21/08/06	3.885		2.115		
06/09/06	4.365	2.185	2.995	50	0
Médias	3.798	1.634	1.548	49	12

Tabela A5 pH na FASE 1 da pesquisa

DATA	Leitura (mg/L)	DATA	Leitura (mg/L)
17/01/05	8,5	26/09/05	8,2
14/02/05	8,2	03/10/05	8,3
21/02/05	8,2	17/10/05	8,1
28/02/05	8,4	31/10/05	8,1
07/03/05	8,2	07/11/05	8,2
14/03/05	8,3	21/11/05	8,1
22/03/05	8,2	05/12/05	8,2
28/03/05	8,2	19/12/05	8,1
04/04/05	8,2	02/01/06	8,2
11/04/05	8,1	20/02/06	8,1
18/04/05	8,2	06/03/06	8,2
25/04/05	8,1	20/03/06	8,2
02/05/05	8,2	03/04/06	8,3
09/05/05	8,1	20/04/06	8,4
16/05/05	7,8	08/05/06	8,0
23/05/05	7,7	15/05/06	8,2
30/05/05	8,0	05/06/06	7,8
13/06/05	8,1	19/06/06	7,8
27/06/05	8,0	03/07/06	8,6
18/07/05	8,2	24/07/06	8,0
25/07/05	8,2	07/08/06	8,4
08/08/05	8,2	21/08/06	8,2
22/08/05	8,7	06/09/06	8,1
05/09/05	8,0	Média	8,0

Tabela A6

Nitrogênio amoniacal na FASE 1 da pesquisa

DATA	Leitura (mg/L)	DATA	Leitura (mg/L)
30/08/04	1.010	23/05/205	1.106
08/09/04	700	30/05/205	980
15/09/04	809	13/06/205	1.498
21/09/04	661	27/06/205	1.313
27/09/04	696	18/07/05	1.705
04/10/04	1.130	25/07/05	1.687
11/10/04	1.360	08/08/05	1.674
18/10/04	860	22/08/05	1.212
29/10/04	1.165	05/09/05	1.404
08/11/04	1.240	26/09/05	1.862
22/11/04	1.400	03/10/05	1.922
29/11/04	1.115	17/10/05	1.412
06/12/04	1.152	31/10/05	1.817
03/01/05	1.244	07/11/05	1.694
11/01/05	1.066	21/11/05	1.557
17/01/05	1.242	05/12/05	1.666
25/01/05	1.310	19/12/05	1.820
31/01/05	1.670	02/01/06	1.449
14/02/05	1.491	20/02/06	1.388
21/02/05	1.603	06/03/06	1.757
28/02/05	1.380	20/03/06	2.040
07/03/05	1.536	03/04/06	2.263
14/03/05	1.140	08/05/06	1.175
22/03/05	1.347	15/05/06	1.930

28/03/05	1.634	05/06/06	1.515
04/04/05	1.334	19/06/06	1.904
11/04/05	1.538	03/07/06	2.025
18/04/05	1.282	24/07/06	2.470
25/04/05	1.523	07/08/06	1.471
02/05/05	1.515	21/08/06	1.950
09/05/05	773	06/09/06	2293,0
16/05/05	780	Média	1.439

Tabela A7

Sólidos totais na FASE 1 da pesquisa

DATA	Leitura (mg/L)
02/01/06	15.284
20/02/06	16.959
06/03/06	15.022
20/03/06	16.466
03/04/06	17.440
20/04/06	17.244
08/05/06	17.015
15/05/06	17.038
05/06/06	14.377
19/06/06	18.131
03/07/06	18.503
24/07/06	18.438
07/08/06	17.542
21/08/06	16.135
Média	16.828

Tabela A8

Remoção de DBO no FAFA 01 na Fase 2 da pesquisa

Data	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
22/02/07	3.175		
12/03/07	5.420		
28/03/07	4.575	1.895	59
02/04/07	5.260	4.680	11
16/04/07	2.280	3.680	0
02/05/07	2.040	1.540	25
14/05/07	3.420	2.880	16
04/06/07	5.355	2.310	57
18/06/07	2.135	2.740	0
02/07/07	3.200	3.100	3
16/07/07	2.360	2.080	12
07/08/07	1.830	1.520	17
13/08/07	3.900	3.320	15
10/09/07	3.960	3.740	6
17/09/07	3.175	3.060	4
01/10/07	3.190	2.910	9
15/10/07	3.040	3.860	0
05/11/07	3.140	2.720	13
19/11/07	3.090	2.870	7
Médias	3.397	2.877	15

Tabela A9

Remoção de DBO no FAFA 02 na Fase 2 da pesquisa

Data	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
22/02/07	3.175	1.495	53
12/03/07	5.420		
28/03/07	4.575	1.540	66
02/04/07	5.260	3.160	40
16/04/07	2.280	1.910	16
02/05/07	2.040	960	53
14/05/07	3.420	3.200	6
04/06/07	5.355	3.300	38
18/06/07	2.135	2.960	0
02/07/07	3.200	3.000	6
16/07/07	2.360	3.200	0
07/08/07	1.830	1.085	41
13/08/07	3.900	3.420	12
10/09/07	3.960	2.425	39
17/09/07	3.175	2.020	36
01/10/07	3.190	2.960	7
15/10/07	3.040	3.130	0
05/11/07	3.140	2.460	22
19/11/07	3.090	3.010	3
Médias	3.397	2.513	24

Tabela A10

Remoção de DQO no FAFA 01 na Fase 2 da pesquisa

Data	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
22/02/07	6.725		
12/03/07	10.740		
28/03/07	9.035	6.125	32
02/04/07	9.050	6.720	26
16/04/07	6.790	5.590	18
02/05/07	6.710	6.330	6
14/05/07	6.047	5.735	5
04/06/07	6.430	5.555	14
18/06/07	5.040	4.880	3
02/07/07	5.720	4.880	15
16/07/07	5.840	4.340	26
07/08/07	6.430	4.930	23
13/08/07	7.455	5.440	27
10/09/07	7.995	6.430	20
17/09/07	8.220	5.935	28
01/10/07	7.465	6.065	19
15/10/07	6.005	6.480	0
05/11/07	5.580	5.000	10
19/11/07	5.660	4.650	18
Médias	6.997	5.593	17

Tabela A11

Remoção de DQO no FAFA 02 na Fase 2 da pesquisa

Data	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
22/02/07	6.725	5.760	14
12/03/07	10.740		
28/03/07	9.035	5.770	36
02/04/07	9.050	6.350	30
16/04/07	6.790	3.970	42
02/05/07	6.710	5.710	15
14/05/07	6.047	5.115	15
04/06/07	6.430	5.080	21
18/06/07	5.040	4.645	8
02/07/07	5.720	4.640	19
16/07/07	5.840	4.615	21
07/08/07	6.430	4.895	24
13/08/07	7.455	5.630	24
10/09/07	7.995	5.255	34
17/09/07	8.220	4.945	40
01/10/07	7.465	5.365	28
15/10/07	6.005	4.900	18
05/11/07	5.580	4.515	19
19/11/07	5.660	4.265	25
Médias	6.997	5.079	24

Tabela A12

Remoção de COT no FAFA 01 na Fase 2 da pesquisa

Data	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
22/02/07	2.955		
12/03/07	4.705		
28/03/07	3.980	2.755	31
02/04/07	4.165	3.025	27
16/04/07	3.090	2.620	15
02/05/07	3.295	3.025	8
14/05/07	2.670	2.280	15
04/06/07	2.800	2.440	13
18/06/07	2.150	2.080	3
02/07/07	2.520	2.085	17
16/07/07	2.570	1.940	25
07/08/07	2.730	2.100	23
13/08/07	3.425	2.395	30
10/09/07	3.525	2.870	19
17/09/07	1.800	1.320	27
01/10/07	3.340	2.750	18
15/10/07	2.555	2.755	0
05/11/07	2.375	2.000	16
19/11/07	2.635	2.215	16
Médias	3.015	2.391	18

Tabela A13

Remoção de COT no FAFA 02 na Fase 2 da pesquisa

Data	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Ef. (%)
22/02/07	2.955	2.555	14
12/03/07	4.705		
28/03/07	3.980	2.620	34
02/04/07	4.165	2.890	31
16/04/07	3.090	1.950	37
02/05/07	3.295	2.775	16
14/05/07	2.670	2.015	25
04/06/07	2.800	2.240	20
18/06/07	2.150	1.985	8
02/07/07	2.520	1.980	21
16/07/07	2.570	2.070	19
07/08/07	2.730	2.085	24
13/08/07	3.425	2.430	29
10/09/07	3.525	2.375	33
17/09/07	1.800	1.120	38
01/10/07	3.340	2.455	26
15/10/07	2.555	2.095	18
05/11/07	2.375	1.795	24
19/11/07	2.635	2.050	22
Médias	3.015	2.194	24

Tabela A14 Concentração de N-amoniaco nos FAFAs na Fase 2 da pesquisa

Data	Bruto	Saída do FAFA 01 (mg/L)	Saída do FAFA 02 (mg/L)
22/02/07	2.220		1.840
12/03/07	2.055	1.270	1.270
28/03/07	1.675	1.695	1.325
02/04/07	2.210	1.945	1.580
16/04/07	2.050	1.920	1.690
02/05/07	2.380	2.225	1.870
14/05/07	2.620	2.470	1.935
04/06/07	1.230	2.060	1.675
18/06/07	1.610	1.545	1.670
02/07/07	2.035	1.885	1.735
16/07/07	1.735	1.560	1.775
01/08/07	2.200	2.035	2.000
13/08/07	1.920	1.775	1.845
10/09/07	1.750	2.000	1.870
17/09/07	2.200	2.300	2.305
01/10/07	1.980	1.760	1.790
15/10/07	2.180	2.270	2.200
05/11/07	1.970	1.580	1.690
19/11/07	1.730	1.955	1.770
Médias	1.987	1.903	1.781

Tabela A15 Ácidos voláteis nos FAFAs na Fase 2 da pesquisa

Data	Bruto	Saída do FAFA 01 (mg/L)	Saída do FAFA 02 (mg/L)
12/03/07			
28/03/07	2.795	1.290	1.126
02/04/07	2.669	1.644	1.809
16/04/07	1.202	784	481
02/05/07	1.012	759	569
14/05/07	1.011	759	506
04/06/07	1.075	696	575
18/06/07	885	759	696
02/07/07	853	569	600
16/07/07	1.137	916	853
01/08/07	1.611	1.232	1.042
13/08/07	2.275	1.295	1.327
10/09/07	1.769	1.011	567
17/09/07	505	758	885
01/10/07	884	884	758
15/10/07	554	499	444
05/11/07	2.772	610	499
19/11/07	776	665	832
Médias	1.399	890	798

Tabela A16

Alcalinidade total nos FAFAs na Fase 2 da pesquisa

Data	Bruto	Saída do FAFA 01 (mg/L)	Saída do FAFA 02 (mg/L)
12/03/07	9.310	10.470	10.660
28/03/07	10.103	10.584	7.812
02/04/07	11.939	11.362	7.176
16/04/07	12.589	12.012	10.417
02/05/07	11.676	11.340	10.330
14/05/07	10.186	10.811	9.369
04/06/07	12.253	11.772	10.235
18/06/07	9.322	8.745	9.129
02/07/07	12.617	12.726	12.726
16/07/07	9.575	9.757	10.878
01/08/07	11.696	11.514	10.605
13/08/07	11.575	9.454	10.514
10/09/07	11.652	10.358	10.063
17/09/07	11.005	11.358	11.240
01/10/07	9.298	9.946	9.534
15/10/07	9.593	11.535	10.122
05/11/07	10.924	10.196	10.196
19/11/07	9.759	10.730	8.545
Médias	10.837	10.815	9.975

Tabela A17 Bactérias heterotróficas nos FAFAs na Fase 2 da pesquisa

Data	Bruto (UFC/mL)	Saída dos FAFAs (UFC/mL)
12/03/07	100.000	30.000
02/04/07	2.000	80.000
02/05/07	34.000	35.000
04/06/07	34.000	19.000
02/07/07	65.000	25.200
01/08/07	160.000	200.000
10/09/07	39.900	29.000
01/10/07	300.000	260.000
05/11/07	30.000	28.000

Tabela A18

Série de sólidos na Fase 2 da pesquisa

Data	ST*	STF*	STV*	SST*	SDT*
22/02/07	17.398	12.310	5.088	605	
12/03/07	17.840				
28/03/07	17.852	11.940	5.912	620	17.232
02/04/07	18.164	12.468	5.696	775	17.389
16/04/07	17.162	12.528	4.634	376	16.786
02/05/07	16.396	11.904	4.492	330	16.066
14/05/07	16.538	12.066	4.472	320	16.218
04/06/07	16.476	13.328	3.148	397	16.079
18/06/07	12.652	8.714	3.938	392	12.260
02/07/07	14.608	11.178	3.430	400	14.208
16/07/07	13.885	9.996	3.889	185	13.700
01/08/07	15.450	11.136	4.314	720	14.730
13/08/07	15.068	10.680	4.388	480	14.588
10/09/07	16.974	11.614	5.360	470	16.504
17/09/07	17.866	12.390	5.476	750	17.116
01/10/07	15.946		5.676	420	15.526
15/10/07	16.340	10.784	5.556	615	15.725
05/11/07	13.924	9.800	4.124	140	13.784
19/11/07	13.220	9.165	4.055	380	12.840
Médias	15.987	11.294	4.647	465	15.338

*mg/L

Tabela A19

pH na Fase 2 da pesquisa

Data	Leitura
22/02/07	8,2
12/03/07	8,2
28/03/07	8,3
02/04/07	8,3
16/04/07	8,4
02/05/07	8,4
14/05/07	8,5
04/06/07	8,4
18/06/07	8,3
02/07/07	8,5
16/07/07	8,3
01/08/07	8,1
13/08/07	8,0
10/09/07	8,1
17/09/07	8,2
01/10/07	7,9
15/10/07	8,2
05/11/07	8,4
19/11/07	8,2
Média	8,3

Tabela A20

Temperatura do ar na Fase 2 da pesquisa

Data	Temperatura (°C)
28/03/07	28,0
02/04/07	28,0
16/04/07	30,0
02/05/07	19,0
14/05/07	19,0
04/06/07	15,0
18/06/07	16,0
02/07/07	17,0
16/07/07	12,0
01/08/07	17,0
13/08/07	16,0
10/09/07	26,0
01/10/07	24,0
15/10/07	18,0
05/11/07	17,3
19/11/07	21,0
Médias	20,2

Tabela A21

Fosfato total na Fase 2 da pesquisa

Data	Fosfato (mg/L)
22/02/07	47,1
12/03/07	77,1
28/03/07	64,8
02/04/07	50,5
16/04/07	59,8
02/05/07	62,0
14/05/07	33,2
04/06/07	57,1
18/06/07	65,3
02/07/07	8,6
16/07/07	47,6
01/08/07	41,7
13/08/07	58,0
10/09/07	70,7
17/09/07	47,7
01/10/07	46,6
15/10/07	246,0
05/11/07	63,9
19/11/07	54,0
Média	63,2

Tabela A22

Sulfato na Fase 2 da pesquisa

Data	Sulfato (mg/L)
12/03/07	49,4
02/04/07	46,4
02/05/07	191,0
04/06/07	361,0
02/07/07	33,5
01/08/07	77,6
01/10/07	21,9

Tabela A23

Metais pesados na Fase 2 da pesquisa

Data	Chumbo*	Cromo Total*	Cádmio*	Mercúrio*	Níquel*
12/03/07	N.D.	0,683	N.D.	N.D.	0,3090
02/04/07	0,028	0,706	N.D.	0,0009	0,3280
02/05/07	0,010	0,621	N.D.	0,0009	0,3000
04/06/07	0,025	0,579	N.D.	0,0012	0,2890
02/07/07	0,020	0,569	0,00	0,0012	0,2650
01/08/07	N.D.	0,559	0,00	0,0017	0,3070
10/09/07	N.D.	0,521	N.D.	0,0006	0,1630
01/10/07	0,029	0,410	0,0041	0,0011	0,2060
05/11/07	0,030	0,442	0,0021	0,0009	0,2140

* mg/L

Tabela A24

Coliformes fecais na Fase 2 da pesquisa

Data	Coliformes fecais (NMP/100 mL)
12/03/07	2
02/04/07	224
02/05/07	170
04/06/07	200
02/07/07	126
01/08/07	8.660
10/09/07	60
01/10/07	910
05/11/07	976

