

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

UTILIZAÇÃO DE FILTROS GROSSEIROS PARA REMOÇÃO
DE ALGAS PRESENTES EM EFLUENTES DE LAGOAS DE
POLIMENTO

Juliana Gonçalves Barroso de Andrada

Belo Horizonte
2005

**UTILIZAÇÃO DE FILTROS GROSSEIROS PARA REMOÇÃO DE
ALGAS PRESENTES EM EFLUENTES DE LAGOAS DE POLIMENTO**

Juliana Gonçalves Barroso de Andrada

Juliana Gonçalves Barroso de Andrada

**UTILIZAÇÃO DE FILTROS GROSSEIROS PARA
REMOÇÃO DE ALGAS PRESENTES EM EFLUENTES
DE LAGOAS DE POLIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Digestão anaeróbia e técnicas de tratamento e pós-tratamento de esgotos

Orientador: Marcos von Sperling

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

Aos meus pais Turiano e Louisita,
ao meu marido Fabio e à minha
irmã Viviane.

AGRADECIMENTOS

- À minha família, pelo apoio e incentivo;
- Ao meu orientador, Prof. Marcos von Sperling, pela dedicação e exemplo de profissionalismo;
- Aos colegas que me auxiliaram de diversas formas nesta caminhada;
- Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos e do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

RESUMO

Avaliou-se, na presente pesquisa, a eficiência da remoção de algas por meio de filtros grosseiros. O sistema investigado é composto por um reator UASB, duas lagoas de polimento em série e duas lagoas de polimento em paralelo. No final de cada uma das lagoas em paralelo foram acrescentados filtros de pedra. O material utilizado nos filtros 1 e 2 foi brita 3 e pedras de mão, respectivamente. Os filtros de pedra promoveram uma importante remoção adicional de matéria orgânica, completando a remoção efetuada pelo reator UASB e pelas lagoas de polimento. As concentrações médias de DBO e DQO total foram de 27 e 97 mg/L no Filtro 1 e de 32 e 107 mg/L no Filtro 2, respectivamente. As eficiências médias de remoção em relação a DBO e DQO total foram de 37 e 46% no Filtro 1 e 16 e 38% no Filtro 2, respectivamente. Foram obtidos resultados amplamente satisfatórios em relação à remoção de SST no sistema como um todo. As concentrações médias de SST nos filtros 1 e 2 foram de 26 e 50 mg/L e as eficiências de remoção de 73 e 48%, respectivamente. Quanto à remoção de *E. coli*, a eficiência global no sistema com o Filtro 1 foi de 5,68 unidades logarítmicas removidas e no sistema com o Filtro 2 foi de 5,82 unidades logarítmicas removidas, equivalente a eficiências médias de 99,99979% e 99,99985%, respectivamente.

ABSTRACT

The research investigates the efficiency of the removal of algae in rock filters for polishing ponds effluent. The system is composed of a UASB reactor followed by two polishing ponds in series and two polishing ponds in parallel. In the end of each one (polishing ponds in parallel) were included rock filters (Filter 1 with grain sizes predominantly in the range of 25 – 38 mm and the Filter 2 with rocks greater than 76 mm). The rock filters promoted an important additional removal of organic matter completing the removal made by UASB reactor and the polishing ponds. The average concentrations of BOD and COD were 27 and 97 mg/L in Filter 1 and 32 and 107 mg/L in Filter 2, respectively. The average efficiencies of removal of BOD and COD were 37 and 46% in the Filter 1 and 16 and 38% in Filter 2, respectively. The experimental data show that the system can promote a significant removal of SS. The average concentrations of SS in Filter 1 and Filter 2 were 26 and 50 mg/L and the average removal efficiencies were 73 and 48%, respectively. The global efficiencies of removal of *E. coli* in the system were 5,68 log-units in Filter 1 and 5,82 log-units in Filter 2, corresponding to 99,99979% and 99,99985%, respectively.

SUMÁRIO

UTILIZAÇÃO DE FILTROS GROSSEIROS PARA REMOÇÃO DE ALGAS PRESENTES EM EFLUENTES DE LAGOAS DE POLIMENTO	1
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 GERAL	19
2.2 ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	20
3.1.1 Lançamentos de efluentes nas coleções de águas	21
3.1.2 Padrões de qualidade em relação a coliformes termotolerantes	23
3.2 REATOR UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET).....	23
3.3 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	25
3.3.1 Tipos de lagoas de estabilização	25
3.3.2 Mecanismos de remoção de poluentes em lagoas de estabilização	26
3.4 PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REATORES ANAERÓBIOS UTILIZANDO LAGOAS DE POLIMENTO	29
3.5 SISTEMAS DE POLIMENTO DE EFLUENTES DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	31
3.5.1 Filtros de areia	32
3.5.2 Flotação.....	33
3.5.3 Lagoas com macrófitas flutuantes.....	33
3.5.4 Coagulação – Sedimentação	35
3.5.5 Aplicação no solo	35
3.5.6 Terras alagadas construídas de fluxo subsuperficial.....	36
3.5.7 Micropeneiras.....	37
3.5.8 Filtros de pedra	37
4 METODOLOGIA.....	44
4.1 ETE ARRUDAS	44
4.2 ETE EXPERIMENTAL UFMG / COPASA	44
4.3 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DO APARATO EXPERIMENTAL	44
4.4 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO SISTEMA	51
4.5 MONITORAMENTO DO SISTEMA	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1 AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO.....	56
5.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	57
5.1.2 Relação DBO filtrada/DBO total	66
5.1.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	67
5.1.4 Relação DQO/DBO	75
5.1.5 Sólidos em suspensão	76
5.1.6 Relação DBO particulada/SST e DQO particulada/SST	82
5.1.7 Relação SSV/SST	83

5.1.8	<i>Correlação entre SST/Turbidez</i>	83
5.2	AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE COLIFORMES	84
5.3	AVALIAÇÃO AO ATENDIMENTO À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	90
5.4	COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE OS DESEMPENHOS DOS FILTROS 1 E 2	93
5.5	AVALIAÇÃO DA PERDA DE CARGA E COLMATAÇÃO DOS FILTROS.....	94
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
6.1	CONCLUSÕES	97
6.2	RECOMENDAÇÕES	98
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
8	ANEXO.....	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

SSF – Sólidos Suspensos Fixos

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Esquemas de reatores UASB	24
Figura 3.2 - Distribuição de sólidos nos esgotos sanitários.....	31
Figura 4.1 - Aparato experimental: Reator UASB, Lagoas 1, 2, 3 e 4 e Filtros 1 e 2.	46
Figura 4.2 - Esquema do aparato: reator UASB, lagoas 1 e 2 em série, lagoas 3 e 4 em paralelo e filtros 1 e 2.....	46
Figura 4.3 – Planta baixa do aparato experimental	47
Figura 4.4 – Cortes AA e BB de acordo com a Figura 4.3.....	48
Figura 4.5 - Detalhe dos tubos perfurados (Filtro 1) para proporcionar a medição da perda de carga e a coleta de amostras.....	49
Figura 4.6 - Caixa de distribuição de vazão situada na lagoa 3.....	49
Figura 4.7 - Colocação do tubo perfurado para a saída do efluente do Filtro 2.....	50
Figura 4.8 - Saída do efluente final do sistema por meio de uma caixa de alvenaria	51
Figura 4.9 - Reator UASB.....	52
Figura 4.10 - Saída do efluente do reator UASB - local de medição da vazão no sistema.....	52
Figura 4.11 – Esquema de pontos de coleta do aparato experimental	53
Figura 5.1 - Variação das concentrações de DBO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	59
Figura 5.2 - Variação das eficiências de DBO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	61
Figura 5.3 - Série temporal de DBO total – afluente e efluente do Filtro 1	62
Figura 5.4 - Série temporal de DBO total – afluente e efluente do Filtro 2	62
Figura 5.5 - Variação das concentrações de DBO particulada nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	66
Figura 5.6 - Variação das eficiências globais de remoção de DBO particulada no sistema.....	66
Figura 5.7 - Variação das concentrações de DQO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	69
Figura 5.8 - Variação das eficiências de DQO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	70
Figura 5.9 - Série temporal de DQO total – afluente e efluente ao Filtro 1.....	71
Figura 5.10 - Série temporal de DQO total – afluente e efluente ao Filtro 2.....	71

Figura 5.11 - Variação das concentrações de DQO particulada nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	75
Figura 5.12 - Variação das eficiências globais de DQO particulada no sistema.....	75
Figura 5.13 - Variação das concentrações de SST nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	78
Figura 5.14 - Variação das eficiências de SST nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	79
Figura 5.15 - Série temporal de SST – afluente e efluente ao Filtro 1.....	79
Figura 5.16 - Série temporal de SST – afluente e efluente ao Filtro 2.....	80
Figura 5.17 e Figura 5.18 - Relações SST/Turbidez afluente e efluente do Filtro 1. .	83
Figura 5.19 e Figura 5.20 - Relações SST/Turbidez afluente e efluente do Filtro 2. .	84
Figura 5.21 - Variação das concentrações de <i>E. coli</i> no sistema.....	86
Figura 5.22 - Variação das eficiências de <i>E. coli</i> no sistema	86
Figura 5.23 - Série temporal de <i>E. coli</i> – afluente e efluente ao Filtro 1	87
Figura 5.24 - Série temporal de <i>E. coli</i> – afluente e efluente ao Filtro 2.....	87
Figura 5.25 - Variação das concentrações de coliforme total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2	89
Figura 5.26 - Variação das eficiências de coliforme total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2.....	90
Figura 5.27 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação à DBO total	90
Figura 5.28 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação à DQO total.....	91
Figura 5.29 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação ao SST.....	91
Figura 5.30 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação a <i>E. coli</i>	91
Figura 5.31 - Porcentagem de atendimento aos padrões ambientais em relação à DBO total, à DQO total, aos SST e à <i>E. coli</i>	93
Figura 5.32 - Distribuição dos pontos para cálculo da perda de carga nos Filtros 1 e 2	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Tabela-resumo Deliberação Normativa COPAM nº10 – 16/03/1996.....	21
Tabela 3.2 - Tabela-resumo Resolução CONAMA nº357 – 2005	22
Tabela 3.3 - Tabela-resumo Deliberação Normativa COPAM nº46 –09/08/2001.....	22
Tabela 3.4 - Diferenças entre lagoas de estabilização e lagoas de polimento	25
Tabela 3.5 - Composição dos esgotos em etapas do tratamento por reatores anaeróbios e lagoas de polimento	30
Tabela 3.6 - Desempenho do filtro de pedra na Califórnia, Missouri	38
Tabela 3.7 - Tabela-resumo de desempenho médios dos filtros de pedras no Reino Unido.....	41
Tabela 3.8 – Tabela-resumo de desempenho de processos de polimento encontrados na literatura	42
Tabela 3.9 - Tabela-resumo de desempenho de filtros de pedras encontrados na literatura.....	43
Tabela 4.1 – Monitoramento do sistema: análises físico-químicas e microbiológicas	54
Tabela 5.1 - Tabela-resumo de concentrações médias de DBO, DQO e SS no sistema.....	56
Tabela 5.2 - Tabela-resumo de eficiências médias de DBO, DQO e SS no sistema.	57
Tabela 5.3 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO total (mg/L)	57
Tabela 5.4 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DBO total em % de remoção	58
Tabela 5.5 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO filtrada em mg/L.....	63
Tabela 5.6 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DBO filtrada em % de remoção	64
Tabela 5.7 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO particulada em mg/L	65
Tabela 5.8 - Relação entre as concentrações médias de DBO filtrada e as concentrações médias de DBO total no sistema (mg/L)	67
Tabela 5.9 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO total em mg/L	67
Tabela 5.10 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DQO total (% de remoção)	69

Tabela 5.11 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO filtrada em mg/L.....	72
Tabela 5.12 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DQO filtrada em % de remoção.....	73
Tabela 5.13 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO particulada em mg/L.....	74
Tabela 5.14 - Relação entre as concentrações médias de DQO total e as concentrações médias de DBO total no sistema (mg/L).....	76
Tabela 5.15 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SST em mg/L.....	77
Tabela 5.16 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação ao SST em % de remoção.....	78
Tabela 5.17 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SSF em mg/L.....	81
Tabela 5.18 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SSV em mg/L.....	81
Tabela 5.19 - Relação entre as concentrações médias de DBO particulada e as concentrações médias de SST no sistema (mg/L).....	82
Tabela 5.20 - Relação entre as concentrações médias de DQO particulada e as concentrações médias de SST no sistema (mg/L).....	82
Tabela 5.21 - Relação entre as concentrações médias de SSV e as concentrações médias de SST no sistema (mg/L).....	83
Tabela 5.22 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação a <i>E. coli</i> (nºorg/100 mL).....	84
Tabela 5.23 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à <i>E. coli</i> (unidades log removida).....	85
Tabela 5.24 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à coliforme total (CF/100 mL).....	88
Tabela 5.25 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à coliforme total (unidade log removida).....	89
Tabela 5.26 - Valores da probabilidade p do teste t de Student, para amostras pareadas, comparando os Filtros 1 e 2.....	94
Tabela 5.27 – Alturas, em centímetro, das lâminas d'água.....	95

1 INTRODUÇÃO

As lagoas de estabilização são um dos processos de tratamento de esgotos mais difundidos no mundo por apresentarem inúmeras vantagens, principalmente em regiões onde a disponibilidade de área não é um fator limitante. Entretanto, com a crescente exigência pelos órgãos ambientais de uma melhoria na qualidade dos efluentes das estações de tratamento, as lagoas de estabilização passaram a ter seu uso limitado, pois geram efluentes com elevados teores de sólidos em suspensão (SS), as algas, podendo provocar conseqüências indesejáveis ao corpo receptor, como o aumento da demanda de oxigênio, surgimento de cor, sabor e odor na água.

Torna-se desejável o desenvolvimento de processos de tratamento do efluente das lagoas de estabilização, considerando as significativas vantagens desse processo natural, de elevada simplicidade operacional, baixo grau de mecanização e com custo relativamente baixo.

Esta realidade faz com que seja conveniente o desenvolvimento de um processo que mantenha as mesmas vantagens das lagoas de estabilização, que permita a remoção de grande parte dos sólidos em suspensão e que atenda às exigências dos órgãos ambientais quanto à qualidade do efluente.

Foram encontradas na literatura, algumas técnicas passíveis de utilização para a melhoria da qualidade do efluente de lagoas, tais como filtros de areia, filtros de pedra, micropeneiras, lagoas com macrófitas flutuantes, aplicação em solos com gramíneas, processos de coagulação e clarificação, entre outras, com resultados variados.

Dentre as possíveis técnicas apresentadas acima, os filtros grosseiros, ou seja, filtros de pedra apresentaram resultados satisfatórios, principalmente em relação à remoção de SS. Entretanto, um conhecimento a respeito de sua aplicabilidade, com uma maior variação da taxa de aplicação hidráulica e a utilização de diferentes granulometrias do tipo de material ainda não foram consolidados.

Desta forma, será avaliada, na presente pesquisa, a eficiência da remoção de algas por meio de filtros grosseiros, uma técnica com custo relativamente baixo, que está de acordo com as características do país, que podem ser traduzidas por uma grande demanda imediata e baixa capacidade de investimentos, conduzindo, portanto, a uma boa relação custo / benefício.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado um sistema de tratamento em escala de demonstração de 250 habitantes, composto por um reator UASB seguido de quatro lagoas de polimento construídos para o Edital 3 – Tema 2 (2001 – 2003) do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB na Estação de Tratamento de Esgotos - ETE Experimental UFMG/COPASA.

Estas lagoas foram projetadas para trabalhar com total flexibilidade, todas em série, em paralelo ou qualquer outra combinação, em seção trapezoidal. Para a realização desta pesquisa, as lagoas 1 e 2 trabalharam em série e as lagoas 3 e 4 trabalharam em paralelo.

No final das lagoas 3 e 4, foram inseridos filtros de pedra, com granulometrias diferentes e coeficientes de uniformidade diferentes, sendo uma com material de menor dimensão (brita 3 comercial) e a outra com material de maior dimensão (pedras de mão comercial), objetivando a retenção das algas. Os dois materiais foram selecionados tendo em vista sua fácil disponibilidade no território nacional e baixo custo de aquisição, conforme idéia inicial do projeto.

2 OBJETIVOS

2.1 *Geral*

Avaliar o desempenho de filtros grosseiros para remoção de algas presentes em efluentes de lagoas de polimento.

2.2 *Específicos*

- Avaliar a eficiência da remoção de sólidos suspensos e DQO/DBO particulada nos filtros grosseiros.
- Avaliar as condições operacionais dos filtros, tais como colmatação e perda de carga.
- Avaliar a influência de diferentes granulometrias de filtros grosseiros na eficiência de remoção dos sólidos em suspensão.
- Avaliar a eficiência do sistema UASB – lagoas – filtros na remoção de matéria orgânica, coliformes totais e *E. coli*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será apresentada uma breve revisão em relação à legislação ambiental com um resumo das normas ambientais brasileiras e seus principais parâmetros de lançamento de efluentes, reatores anaeróbios, lagoas de estabilização e lagoas de polimento. Temas já bem discutidos em inúmeros trabalhos publicados e extensa bibliografia.

Em relação aos sistemas de polimento de efluentes de lagoas, será apresentada uma revisão mais detalhada, principalmente em relação aos sistemas de polimento utilizando filtros de pedras, tema desta pesquisa.

3.1 *Legislação ambiental*

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) não estabelece padrão de lançamento para SS pela Resolução CONAMA nº 20 de 1986 (CONAMA, 1986), devendo – se sempre consultar a legislação estadual pertinente, neste caso, o COPAM, em Minas Gerais.

A nova Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (CONAMA, 2005) estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Nesta Resolução, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

O Conselho de Política Ambiental - COPAM, criado em 1977 como Comissão de Política Ambiental, tem sido o órgão responsável pela formulação e execução da política ambiental em Minas Gerais.

As legislações federal e estaduais classificaram os seus corpos de água, em função de seus usos preponderantes, tendo sido estabelecidos, para cada classe de água, os padrões de qualidade a serem obedecidos. A maioria dos corpos de água receptores, no Brasil, se enquadra na classe 2.

A Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986 (COPAM, 1986), estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de água.

A Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001 (COPAM, 2001), estabelece alteração no limite de eficiência de remoção em termos de DBO e DQO para os sistemas de tratamento de esgotos domésticos.

Neste texto, sempre que se referir à DBO está-se implicitamente referindo a DBO padrão, ou seja, DBO₅ dias a 20°C.

3.1.1 Lançamentos de efluentes nas coleções de águas

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986, nas águas de Classe especial não serão tolerados lançamentos de águas residuárias, domésticas e industriais, lixo e outros resíduos sólidos, substâncias potencialmente tóxicas, defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e outros poluentes, mesmo tratados. Nas águas das Classes 1 a 4 serão tolerados lançamentos de despejos desde que, atendam limites estabelecidos pela Deliberação. Estão relacionados abaixo, alguns limites estabelecidos, de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986 de maior interesse para a pesquisa (Tabela 3.1):

Tabela 3.1 - Tabela-resumo Deliberação Normativa COPAM nº10 – 16/03/1996

Parâmetro	Unidade	Valor limite	Observação
pH		6,5 - 8,5	(+/- 0,5)
Temperatura	°C	40	Sendo que a elevação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C.
Materiais flutuantes		ausente	
DBO ₅ dias a 20°C	mg/L	60	Este limite só poderá ser ultrapassado no caso do sistema de tratamento de águas residuárias reduzir a carga poluidora de efluente, em termos de DBO ₅ dias a 20°C do despejo, em, no mínimo de 85%.
DQO	mg/L	90	Ou eficiência mínima 90%.
Sólidos em suspensão	mg/L	100	Concentração máxima diária
	mg/L	60	Concentração média aritmética mensal
Nitrato	mg/L N	10	
Nitrogênio amoniacal	mg/L N	1	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	
Regime de lançamento			Com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor.

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005, estabelece novos padrões de lançamento de efluentes para os seguintes parâmetros de interesse (Tabela 3.2):

Tabela 3.2 - Tabela-resumo Resolução CONAMA nº357 – 2005

Parâmetro	Unidade	Valor limite	Observação
pH		5 - 9	
Temperatura	°C	40	Sendo a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura.
Materiais flutuantes		ausente	
Materiais sedimentáveis	mL/L	1	Em teste de 1 hora em cone imhoff. Para o lançamento em lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes.
Óleos e graxas	mg/L	20	Óleos minerais.
	mg/L	50	Óleos vegetais e gorduras animais.
Nitrogênio amoniacal	mg/L N	20	
Regime de lançamento			Com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001, quanto aos lançamentos realizados direta ou indiretamente, nos corpos de água pelos sistemas de tratamento de esgotos domésticos, os parâmetros DBO₅ dias a 20°C e DQO terão como limites máximos os valores (Tabela 3.3):

Tabela 3.3 - Tabela-resumo Deliberação Normativa COPAM nº46 –09/08/2001

Parâmetro	Unidade	Valor limite	Observação
DBO	mg/L	60	Os limites a que se referem só poderão ser ultrapassados quando o estudo de autodepuração comprovar que o sistema de tratamento reduz a carga poluidora dos efluentes, em termos de DBO ₅ dias a 20°C, no mínimo, 60%.
DQO	mg/L	90	Os limites a que se referem só poderão ser ultrapassados quando o estudo de autodepuração comprovar que o sistema de tratamento reduz a carga poluidora dos efluentes, em termos de DQO em, no mínimo, 60%.

Todos esses limites evidenciam a necessidade do desenvolvimento de sistemas de tratamento que possam garantir a qualidade das águas e do meio ambiente alcançando um nível melhor de atendimento à população sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.

3.1.2 Padrões de qualidade em relação a coliformes termotolerantes

Não existe padrão de lançamento de efluentes quanto a coliformes termotolerantes, porém há o padrão de qualidade do corpo d'água, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 de 1×10^3 NMP/100 mL para os corpos receptores classe 2 (que corresponde à maioria dos rios de Minas Gerais). Adicionalmente, segundo as diretrizes da OMS, um efluente com menos de 1×10^3 NMP/100 mL pode ser usado na irrigação irrestrita de vegetais ingeridos crus.

3.2 Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

O reator de manta de lodo foi inicialmente desenvolvido e aplicado largamente na Holanda. Essencialmente, o processo consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade. O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo) (CHERNICHARO, 1997).

A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação. A mistura do sistema é promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás. O esgoto entra pelo fundo e o efluente deixa o reator através de um decantador interno localizado na parte superior do reator. Um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado abaixo do decantador, garante as condições ótimas a sedimentação das partículas que se desgarram da manta de lodo, permitindo que estas retornem à câmara de digestão, ao invés de serem arrastados para fora do sistema. Um dos princípios fundamentais do processo é sua habilidade em desenvolver biomassa de elevada atividade, de acordo com Chernicharo (1997).

A Figura 3.1 mostra esquematicamente as mais freqüentes formas de reatores UASB (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

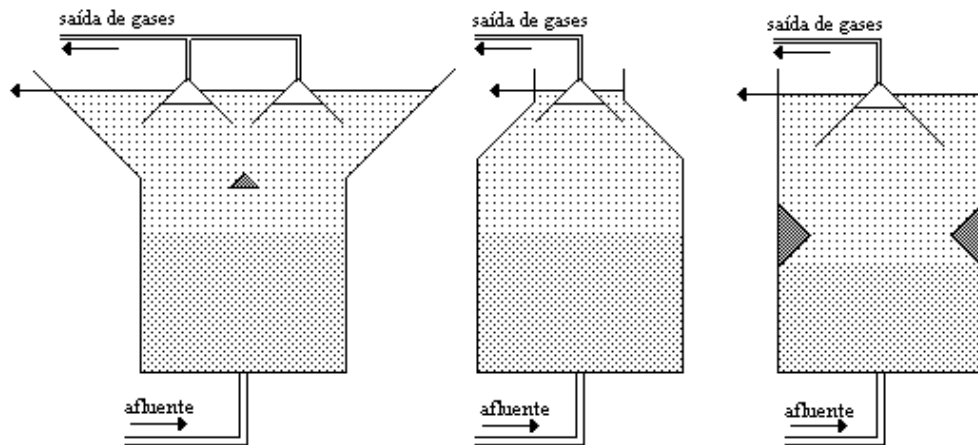


Figura 3.1 - Esquemas de reatores UASB

Hoje em dia, pode-se afirmar que a tecnologia anaeróbia, aplicada ao tratamento de esgotos domésticos, encontra-se consolidada em nosso país, sendo que praticamente todas as análises de alternativas de tratamento incluem os reatores anaeróbios como uma das principais opções.

Nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), que é removido da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa. Apenas uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), vindo a se constituir no lodo excedente do sistema. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se, via de regra, mais convertido em biogás, ou em biomassa, deixa o reator com material não degradado (10 a 30%) (CHERNICHARO, 2001).

Entretanto, os reatores anaeróbios dificilmente produzem efluente que atende aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. Torna-se necessário o pós-tratamento dos efluentes dos reatores anaeróbios, como uma forma de adequar o efluente tratado aos requisitos da legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos de água receptores dos lançamentos dos esgotos.

De acordo com Chernicharo (2001), o principal papel do pós-tratamento é o de completar a remoção da matéria orgânica, bem como o de proporcionar a remoção de contribuintes pouco afetados no tratamento anaeróbio, como os nutrientes e os organismos patogênicos.

3.3 Lagoas de estabilização

3.3.1 Tipos de lagoas de estabilização

Segundo Mara (2004), Lagoas de estabilização são grandes bacias rasas com diques de terra as quais o esgoto bruto é tratado por processos completamente naturais que envolvem algas e bactérias. Existem três tipos principais de lagoas de estabilização: anaeróbia, facultativa e lagoas de maturação. As lagoas anaeróbias e as facultativas são designadas para remoção de DBO e as lagoas de maturação são designadas para remoção de bactérias.

As **lagoas facultativas** são unidades especialmente construídas com a finalidade de tratar os esgotos (VON SPERLING, 1996). De acordo com Nuvolari (2003), as bactérias aeróbias irão degradar a matéria orgânica solúvel, presente no esgoto consumindo o oxigênio livre disponível na água e resultando como subprodutos: água, gás carbônico e nutrientes. Por sua vez, as algas consumirão os nutrientes e o gás carbônico utilizar-se-ão da luz solar como fonte de energia para realizar a fotossíntese e irão liberar como subproduto o oxigênio (necessário às bactérias).

Segundo Nuvolari (2003), as **lagoas anaeróbias** caracterizam-se por receber uma carga de aplicação de DBO muito mais alta que aquelas fixadas para as lagoas facultativas, o que resulta numa menor área de implantação. O resultado disso é que, em toda a lagoa, a matéria orgânica vai ser decomposta em condições anaeróbias. As **lagoas de maturação** possibilitam um pós-tratamento considerado adequado a quaisquer efluentes de lagoas de estabilização ou mesmo de outros sistemas de tratamento de esgotos. Neste tipo de lagoa, o objetivo principal é remover organismos patogênicos. A lagoa de maturação constitui-se, assim, numa opção de desinfecção, bastante eficiente e econômica, quando comparada a outros métodos convencionais, como a cloração, por exemplo.

Existem também as **lagoas de polimento** que são lagoas não mecanizadas e que recebem o efluente de reatores anaeróbios. Elas têm sido designadas de lagoas de polimento para diferenciar dos outros tipos de lagoas (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Diferenças entre lagoas de estabilização e lagoas de polimento

Parâmetro	Lagoas de estabilização	Lagoas de polimento
Afluente	Esgoto bruto	Efluente anaeróbio (UASB)
Objetivo	Remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão.	Remoção de organismos patogênicos e/ou nutrientes.

Fonte: Adaptado de Cavalcanti *et al* (2001).

De maneira geral, as lagoas de estabilização são bastante indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento, devido aos seguintes aspectos:

- Suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades;
- Clima favorável (temperatura e insolação elevadas);
- Operação simples;
- Necessidade de pouco ou nenhum equipamento.

De acordo com Mara (1997), as vantagens das lagoas de estabilização podem ser resumidas como simplicidade, baixo custo e alta eficiência, como a seguir:

- São fáceis de construir;
- São de fácil operação e manutenção e não requerem mão de obra qualificada;
- Possuem baixo custo pela simplicidade operacional;
- Não há alto consumo de energia anual;
- Possuem alta eficiência: remoção de DBO acima de 90% são obtidas em lagoas em série bem planejadas;
- A remoção de nitrogênio total de 70 a 90%;
- A remoção de fósforo total de 30 a 45%;
- Têm uma eficiência particular na remoção de coliformes.

A remoção de sólidos em suspensão é baixa devido à presença de algas no final do efluente, segundo Mara (1997).

3.3.2 Mecanismos de remoção de poluentes em lagoas de estabilização

3.3.2.1 Remoção de DBO

A DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio é a quantidade de oxigênio dissolvido, necessária aos microorganismos, na estabilização da matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbias. Num efluente: quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável maior é a DBO (NUVOLARI, 2003).

Como diz o próprio nome, o objetivo principal de lagoas de estabilização é estabilizar, ou seja, transformar em produtos mineralizados o material orgânico presente na água residuária a ser tratada. Para atingir este objetivo, utilizam-se processos de tratamento que se baseiam na atividade metabólica de microorganismos, particularmente bactérias e algas. As algas produzem oxigênio através da fotossíntese e este oxigênio pode ser usado por bactérias para oxidar o material orgânico biodegradável. Alternativamente, na ausência de oxigênio, bactérias anaeróbias podem transformar o material orgânico em biogás, por meio do processo de digestão anaeróbia. O resultado do tratamento biológico, anaeróbio e aeróbio, é que a concentração de material orgânico se reduz drasticamente no decorrer do processo de tratamento, obtendo-se um efluente final com baixo valor de DBO (CAVALCANTI, 2001).

Entretanto, segundo MARA & PERSON, 1987; YANEZ, 1993 *apud* Cavalcanti, 2001, o tempo de detenção hidráulica (TDH) necessário para que se complete o tratamento é longo (necessita-se de um mínimo de 20 a 30 dias), mesmo no Brasil, onde se têm condições favoráveis do clima tropical.

O TDH é um fator decisivo que pode determinar a eficiência de remoção nas lagoas. Tempos de detenção curtos não permitem a ação sinérgica (função) das bactérias com as algas.

Para se obter um bom desempenho e ao mesmo tempo minimizar o TDH, o sistema de lagoas de estabilização deve ser formado por várias lagoas que devem ser operadas em série (CAVALCANTI, 2001).

3.3.2.2 Remoção de organismos patogênicos

Os microorganismos patogênicos aparecem no esgoto a partir dos excretas de indivíduos doentes.

Os principais mecanismos de remoção de organismos patogênicos em lagoas facultativas e lagoas de maturação, segundo Mara (1997) são:

- Tempo e temperatura;
- Alto pH (acima de 9);
- Alta intensidade de luz junto com a alta concentração de oxigênio dissolvido.

Vírus: Segundo Mara (2004), o mecanismo de remoção de vírus ainda não foi muito compreendido, mas acredita-se que eles são removidos por sedimentação seguida de adsorção (incorporação de uma substância à superfície de outra) de sólidos, incluindo algas (que decantam quando elas morrem). Poucos estudos têm sido feitos para remoção de vírus em lagoas de estabilização.

Bactéria: As bactérias do grupo coliforme, por estarem presentes, em grande número, no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminadas em grande número pelas fezes, constituem o indicador de contaminação fecal mais utilizado em todo o mundo, sendo empregadas como parâmetro bacteriológico básico, na definição de padrões para monitoramento da qualidade das águas destinadas ao consumo humano, bem como para a caracterização e avaliação da qualidade das águas em geral (NUVOLARI, 2003).

Segundo Cavalcanti (1999), *apud* Nuvolari (2003), 95% dos coliformes existentes nas fezes humanas e de outros animais são de *Escherichia coli*. Normalmente, esses microorganismos não existem em águas não poluídas.

A temperatura da lagoa, que é o resultado da intensidade solar na superfície da lagoa e o tempo de exposição solar são grandes fatores para a morte das bactérias fecais em lagoas de estabilização.

Em lagoas com valores de pH igual ou acima de 9,4 induz rapidamente na morte das bactérias fecais (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*), exceto as *Vibrio Cholerae*.

Ovos de Helmintos e cistos de protozoários: Os ovos e cistos são removidos em lagoas de estabilização por sedimentação, e, segundo Mara (2004), a remoção dos ovos e dos cistos ocorre significadamente na primeira lagoa da série. Os cistos são menores e decantam mais lentamente que os ovos de helmintos, e por isso, sua remoção requer um longo tempo de retenção.

3.3.2.3 Remoção de nutrientes

Nitrogênio total: Os principais mecanismos de remoção de nitrogênio em lagoas de estabilização são:

- Assimilação da amônia;

- Assimilação da amônia pelas algas;
- Nitrificação – desnitrificação;
- Sedimentação do nitrogênio orgânico particulado.

Destes mecanismos, o mais importante é o da volatilização da amônia. A amônia livre (NH_3) é passível de volatilização, ao passo que a amônia ionizada não pode ser removida por volatilização.

A amônia é principalmente removida em lagoas facultativas e lagoas de maturação por incorporação na biomassa algal, embora com pH elevado, é possível também ter uma perda por volatilização na atmosfera (MARA, 2004).

Fósforo: O fósforo presente nos esgotos é composto de fósforo orgânico e fosfato, sendo que os fosfatos representam a maioria.

Os principais mecanismos de remoção de fósforo em lagoas de estabilização são:

- Precipitação de fosfatos em condições de elevado pH;
- Retirada do fósforo orgânico contido nas algas e bactérias por meio da saída com o efluente final.

3.4 Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios utilizando lagoas de polimento

O pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios através de lagoas de polimento é uma forma muito usual no Brasil.

Devido à remoção de DBO que ocorre nos reatores anaeróbios, o efluente anaeróbio pode ser lançado diretamente em lagoas de polimento, sem problema de sobrecarga orgânica na primeira lagoa da série ou no compartimento inicial (lagoas com chicanas).

Na Tabela 3.5, observa-se a composição típica de esgoto bruto, do esgoto digerido num reator UASB, do efluente de uma lagoa de polimento.

Tabela 3.5 - Composição dos esgotos em etapas do tratamento por reatores anaeróbios e lagoas de polimento

Parâmetro	Unidade	Esgoto Bruto	Efluente UASB	Efluente Lagoas de Polimento
DQO	mg/L	500 a 800	150 a 200	60 a 120
DBO	mg/L	200 a 350	50 a 100	30 a 50
SST	mg/L	300 a 400	60 a 120	40 a 80
Coliforme Total	CF/100 mL	10^7 a 10^9	10^6 a 10^8	10^2 a 10^4

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2001).

A utilização de lagoas como unidade final do sistema de tratamento objetiva dar polimento a qualquer tipo de efluente, seja em termos de remoção de patógenos e de nutrientes, ou mesmo para DQO. Entretanto, geram efluentes com elevados teores de sólidos em suspensão, as algas, podendo provocar conseqüências indesejáveis ao corpo receptor, como o aumento da demanda de oxigênio, surgimento de cor, sabor e odor na água.

Diversos países já adotaram padrões mais rigorosos de lançamento, os quais requerem efluentes com demanda química de oxigênio - DQO inferior a 90 mg/L e sólidos em suspensão - SS inferiores a 30 mg/L (OLIVEIRA E GONÇALVES, 1999).

Sólidos: Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos (VON SPERLING, 1996). A presença de resíduos sólidos nas águas, principalmente aqueles resíduos presentes no esgoto sanitário, leva a um aumento da turbidez dessa água influenciando diretamente na entrada de luz e diminuindo o valor de saturação do oxigênio dissolvido.

A Figura 5.13 apresenta a distribuição de sólidos nos esgotos sanitários. Os sólidos fixos ou inertes representam uma estimativa da matéria inorgânica ou mineral nos sólidos. Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos.

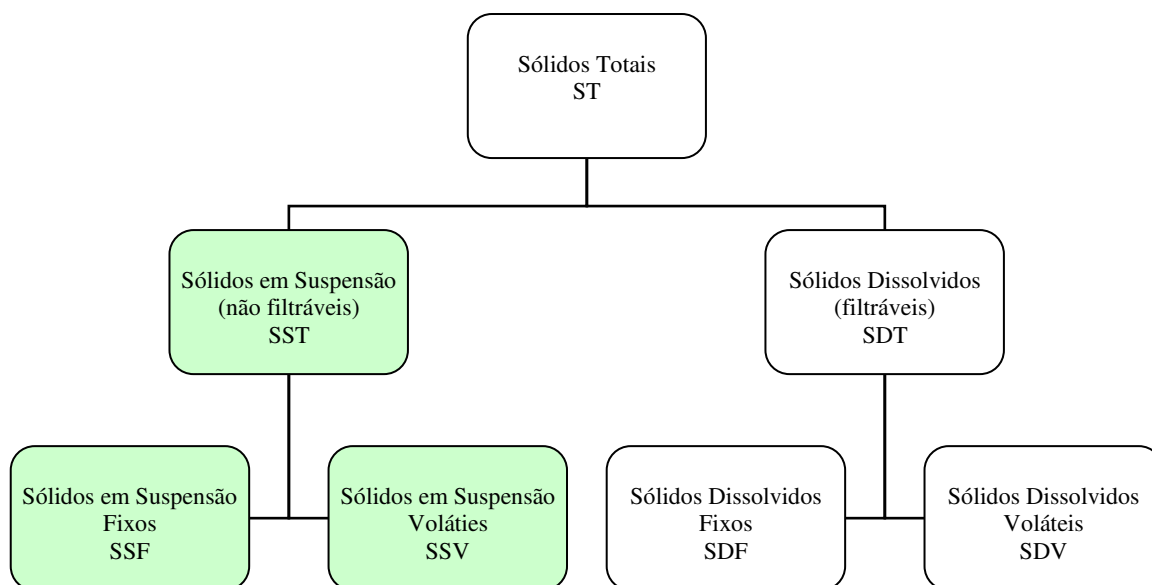


Figura 3.2 - Distribuição de sólidos nos efluentes sanitários

Tendo em vista a diferença de distribuição dos sólidos, serão apresentados os resultados obtidos durante a pesquisa em relação aos sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis.

3.5 Sistemas de polimento de efluentes de lagoas de estabilização

Para a remoção das algas das lagoas de polimento foi desenvolvido um estudo de processos, que atendessem às características de baixo custo, simplicidade de implantação e operação.

Foram encontradas na literatura algumas técnicas passíveis de utilização para a melhoria da qualidade do efluente de lagoas tais como filtros de areia, filtros de pedra, flotação, micropeneiras, lagoas com macrófitas flutuantes, aplicação em solos com gramíneas, processos de coagulação e clarificação, entre outras, com resultados variados.

Segundo Mara (1997), as algas em lagoas de estabilização contribuem para o aumento da concentração de SS e DBO. Com a crescente exigência pelos órgãos ambientais de uma melhoria na qualidade dos efluentes das estações de tratamento, torna-se desejável a utilização de um processo para polimento de efluente das lagoas de estabilização. A técnica mais apropriada é a utilização de filtros de pedra, embora esta remoção não é necessária se o efluente for usado para irrigação agrícola ou cultura de peixes.

3.5.1 Filtros de areia

Os filtros de areia intermitente são capazes de polir o efluente de lagoas com um custo relativamente baixo. A construção do filtro de areia para efluente de lagoas de polimento é similar à do filtro lento utilizado para o tratamento de água. Os sólidos suspensos e outros organismos patogênicos são removidos com a passagem do esgoto através do leito de areia. No leito, há uma combinação de filtração e degradação biológica, de acordo com Middlebrooks (1995).

Há acumulação de material particulado topo do filtro de areia, podendo colmatá-lo. Quando isso acontecer, o tratamento deve ser interrompido, em alguns casos, para a sua limpeza. A areia removida pode ser lavada e reusada ou descartada. A qualidade do efluente é totalmente em função da graduação da areia usada, segundo Middlebrooks (1995).

Segundo Middlebrooks (1995), a taxa de aplicação hidráulica típica num filtro de série única está numa faixa de 0,37 a 0,56 m³/m³d. Se os SS no afluente do filtro forem superiores a 50 mg/L, a taxa de aplicação hidráulica deve ser reduzida para 0,19 a 0,37 m³/m³d, visando aumentar a carreira do filtro.

Queiroz (2001) avaliou em escala piloto, o desempenho de cinco alternativas naturais de tratamento na remoção de SS de efluentes de lagoas de estabilização: filtro de intermitente de areia, filtro de pedra, escoamento superficial, terras alagadas e plantas aquáticas flutuantes. O filtro intermitente de areia era composto de dois tanques, cada um medindo 6 m de comprimento por 4,5 m de largura e 1,05 m de profundidade. O afluente era distribuído através de uma canaleta em meia cana, de tubo de PVC cortado, com diâmetro nominal de 100 mm, ao longo de toda a extensão dos tanques. A taxa de aplicação era de 0,10 m³/m²d. Durante a primeira etapa, entre 14/08/2000 e 13/10/2000, a eficiência média de remoção de SS, observada no filtro intermitente de areia foi de 45%. Esse baixo desempenho apresentado pode ser atribuído, em parte, pela dificuldade de se distribuir, uniformemente, o afluente em toda área do filtro. Outros resultados encontrados nesta pesquisa foram: eficiência na remoção de DBO₅ de 17,83%, eficiência na remoção de NTK de 27,81% com uma demanda de área de 1,20 m²/hab, segundo Neder *et al.* (2001).

Segundo Queiroz (2001), a concentração média mensal de OD na primeira etapa da pesquisa foi de 1,7 mg/L. A média de pH foi de 7,0 e a temperatura média foi de 23,3°C. A

concentração de alcalinidade efluente foi de 187,4 mgCaCO₃/L e a condutividade elétrica de 821,6 µs/cm. A eficiência na remoção de DQO foi de 22%.

3.5.2 Flotação

O processo de flotação envolve a formação de uma bolha de gás com a partícula, resultando num agregado cuja densidade é menor que a do líquido, causando então a flotação na superfície do tanque.

Existe uma variedade de técnicas para introduzir as bolhas de ar necessárias para a separação sólido-líquido por flotação e, exceto a flotação gravitacional natural, onde as partículas têm peso específico menor que o líquido que as contêm, os processos de flotação podem ser classificados de acordo com o método de produção de bolhas (CHERNICHARO, 2001).

A classificação dos processos, de acordo com Chernicharo (2001), é: eletroflotação, autoflotação das algas, flotação por ar disperso e flotação por ar dissolvido.

3.5.3 Lagoas com macrófitas flutuantes

Neste tipo de tratamento, as macrófitas flutuantes, por exemplo, as *Lemnas*, são utilizadas para diminuir a concentração de algas no efluente das lagoas através do seu sombreamento, dificultando a fotossíntese algal.

Experiências com macrófitas flutuantes durante o PROSAB, Edital 3, Tema 2, na ETE Experimental Arrudas, revelam que, no início do tratamento, as colheitas do excesso de material podem ser realizadas uma vez por semana, deixando o suficiente para cobrir a lagoa e minimizar o desenvolvimento das algas. Com o passar do tempo, devido à alta taxa de crescimento das macrófitas, ocorre a sobreposição das plantas e a colheita uma vez por semana torna-se insuficiente.

Segundo von Sperling (2003), durante a Fase 1 do projeto acima, estudou-se o comportamento de um sistema composto por um reator UASB seguido de quatro lagoas operando em série com profundidade de projeto de 0,40 m e TDH de 1,44 d (cada lagoa). Na última lagoa em série foi pesquisada a utilização de dois tipos diferentes de macrófitas (*Wolffiella* e *Lemna*), a fim de avaliar o seu potencial para diminuição da concentração de algas no efluente das lagoas. Durante esta fase, as lagoas promoveram uma importante

remoção adicional de DBO, complementando a remoção efetuada pelo reator UASB, produzindo um efluente final com concentração média de 44 mg/L, sendo que 88% dos resultados de DBO atenderam ao padrão estadual da DN 010/86 do COPAM, de 60 mg/L. A eficiência média de remoção de DBO foi de 70% no reator e de 87% no sistema.

Uma alternativa avaliada por Queiroz (2001) em escala piloto, foi uma unidade de tratamento com plantas aquáticas flutuantes. Essa unidade era formada por um tanque com comprimento e profundidade de 15 m e 0,8 m respectivamente com 3,5 m de largura. A unidade foi preenchida, mantendo-se uma lâmina d'água de 30 cm. Posteriormente, a superfície da unidade foi ocupada com aguapé (*Eichhornia crassipes*). A taxa de aplicação era de 0,024 m³/m²d.

Antes do início da primeira carreira de experimentos, a unidade de plantas aquáticas flutuantes recebeu uma limpeza geral. Essa limpeza consistiu na retirada das plantas, drenagem da unidade e remoção do lodo acumulado no fundo. Posteriormente, após o enchimento da unidade com o efluente da lagoa de alta taxa, as plantas foram devolvidas a ela. Essa operação de limpeza parece ter afetado o desempenho da unidade nas duas semanas subsequentes, após o início da carreira (QUEIROZ, 2001).

Considerando todas as análises efetuadas no período, essa unidade apresentou um efluente com concentrações de SS variando de 6 a 204 mg/L. as concentrações médias mensais, observadas no efluente, foram de 83 e 13 mg/L para o primeiro e segundo mês, respectivamente. Já a remoção média global de SS ficou em torno de 80% (QUEIROZ, 2001). Esses resultados são dos experimentos realizados entre 14/08/2000 e 13/10/2000.

Nesta célula com plantas aquáticas flutuantes, obtiveram também, os seguintes resultados: eficiência na remoção de DBO₅ de 53,10%, eficiência na remoção de NTK de 41% com uma demanda de área de 5,00 m²/hab, segundo Neder *et al.* (2001).

Segundo Queiroz (2001), a concentração média mensal de OD na primeira etapa da pesquisa foi de 3,0 mg/L. A média de pH foi de 7,0 e a temperatura média foi de 22,8°C. A concentração de alcalinidade efluente foi de 142,0 mgCaCO₃/L e a condutividade elétrica de 624,2 µs/cm. A eficiência na remoção de DQO foi de 62%.

No final da primeira etapa, Queiroz (2001) escolheu duas alternativas mais eficientes, dentre as cinco estudadas. A segunda alternativa foi a utilização de plantas aquáticas flutuantes.

Durante a segunda etapa (14/10/2000 a 13/12/2000), as concentrações de SS na entrada e saída das unidades foram 150,0 mg/L e 15,3 mg/L, respectivamente. Na terceira etapa (14/12/2000 a 13/02/2001), as concentrações de SS na entrada e saída das unidades foram 250,7 mg/L e 50,7 mg/L, respectivamente.

3.5.4 Coagulação – Sedimentação

Embora a sedimentação simples tenha sido usada para decantar vários tipos de esgotos, ela não pode ser utilizada sozinha para a remoção de algas. O processo de coagulação química deve ser usado primeiro para a desestabilização das algas. As partículas das algas coaguladas ficam em forma de flocos que são grandes o suficiente, permitindo sua sedimentação e remoção em um tanque de sedimentação. Assim, este processo envolve três estágios: coagulação química, floculação e sedimentação.

Utilizando os coagulantes W8044, W8049 e cloreto férrico (FeCl_3) em lagoas de estabilização, Gonçalves et al. (2000) obtiveram os seguintes resultados, em relação à remoção de sólidos suspensos: 24%, 48% e 73%, respectivamente.

3.5.5 Aplicação no solo

De acordo com Middlebrooks (1995), sistemas de escoamento de água sobre a terra não tem sido particularmente efetivo para remoção de algas; entretanto, projeto adequado para prevenção de formação de canais pode fazer o processo eficaz.

Queiroz (2001) avaliou em escala piloto, o desempenho de cinco alternativas naturais de tratamento na remoção de SS de efluentes de lagoas de estabilização. Uma alternativa foi a construção de uma unidade de tratamento com escoamento superficial no solo formada por um patamar, com declividade de 4%, totalmente ocupado por grama batatis, medindo 30 m de comprimento por 3 m de largura. A taxa de aplicação era de 0,016 m³/m²d.

O efluente da unidade de escoamento superficial apresentou concentrações médias mensais de SS, geralmente, acima de 76 a 236 mg/L, com eficiência de remoção de 67% e 13%, respectivamente. As remoções médias mensais ficaram na faixa de 30 a 35%, com uma eficiência média, ao longo de toda a carreira (entre 14/08/2000 e 13/10/2000) de apenas 32%, segundo Queiroz (2001).

Segundo Queiroz (2001), a concentração média mensal de OD na primeira etapa da pesquisa foi de 4,0 mg/L. A média de pH foi de 7,4 e a temperatura média foi de 25,5°C. A concentração de alcalinidade efluente foi de 169,6 mgCaCO₃/L e a condutividade elétrica de 770,9 µs/cm. A eficiência na remoção de DQO foi de 20%.

3.5.6 Terras alagadas construídas de fluxo subsuperficial

São denominados por wetlands na literatura inglesa, os terrenos onde a superfície da água é próxima à superfície do solo, ou seja, similar aos brejos no Brasil, com vegetação aquática emergente. Esta altura d'água é o suficiente para manter o sistema em condições saturadas.

De acordo com Middlebrooks (1995), existem dois tipos de construção mais comuns usados em wetlands (terras alagadas construídas, banhados artificiais, terras úmidas construídas). Um é o Free Water Surface Wetland (FWS), expondo a superfície da água à atmosfera, e o outro é o Subsurface Wetland (SF), mantendo a superfície da água abaixo da superfície média na Wetland.

Uma alternativa avaliada por Queiroz (2001) em escala piloto, foi uma unidade de tratamento com terras alagadas construídas de fluxo subsuperficial composta por um tanque, medindo 15 m de comprimento por 3,8 m de largura e 0,8 m de profundidade, com sentido de fluxo horizontal.

A unidade de terras alagadas construídas de fluxo subsuperficial apresentou um efluente com concentrações de SS, normalmente, abaixo de 40 mg/L, ficando as concentrações médias mensais abaixo de 30 mg/L. As remoções médias mensais de SS variaram de 89 a 93%, com um desvio padrão relativamente baixo (QUEIROZ, 2001). Esses resultados são dos experimentos realizados entre 14/08/2000 e 13/10/2000. A taxa de aplicação era de 0,024 m³/m²d.

Segundo Queiroz (2001), a concentração média mensal de OD na primeira etapa da pesquisa foi de 2,3 mg/L. A média de pH foi de 6,9 e a temperatura média foi de 24,1°C. A concentração de alcalinidade efluente foi de 448,2 mgCaCO₃/L e a condutividade elétrica de 1458,6 µs/cm. A eficiência na remoção de DQO foi de 51%.

Outros resultados encontrados nesta pesquisa foram: eficiência na remoção de DBO₅ de 85,95%, eficiência na remoção de NTK de 1,71% com uma demanda de área de 5,00 m²/hab, de acordo com Neder et al. (2001).

3.5.7 Micropeneiras

Segundo Middlebrooks (1995), experiências prévias com micropeneiras para remoção de algas de efluente de lagoas foram sem sucesso. Este fato foi atribuído ao tamanho pequeno das algas em relação ao tamanho da tela da micropeneira testada. Um tecido de poliéster com uma malha de 1µm de tamanho tem sido desenvolvido, e parece que as micropeneiras equipadas com a malha são capazes de produzir um efluente com concentrações de DBO e SS abaixo de 30 mg/L.

3.5.8 Filtros de pedra

Em 1974, de acordo com EPA (1983), foi construído um filtro de pedra ao longo de uma lagoa existente, na cidade de Califórnia, Missouri, para operar com uma taxa de aplicação hidráulica de 0,40 m³/m³d.

Em 1975, um filtro de pedra foi construído em Veneta, Oregon para atender uma vazão de 757 m³/d. As granulometrias das pedras eram de 75 a 200 mm, com percentual de porosidade de 42%. Em 1977 e 1978, foram conduzidos programas extensivos de monitoramento, administrados pela Universidade do Estado do Oregon, para determinar os mecanismos de remoção e eficiências deste filtro. Neste filtro, de fluxo vertical ascendente, o afluente entra por um tubo que está no fundo e passa pelo centro, sobe por 2,0 m de pedra e é coletado nas canaletas de efluente, localizado nas laterais. O filtro de Veneta pode ter constantemente um efluente máximo diário limitado a 20 mg/L em termos de DBO₅ e SS, a taxa de aplicação de 0,30 m³/m³d, de acordo com EPA (1983).

Em 1975, na Califórnia, Missouri, um filtro de pedra foi construído com uma taxa de aplicação hidráulica de 0,25 m³/m³d. O efluente do filtro apresentava uma concentração média de DBO de 21 mg/L e SS de 22 mg/L, para um afluente com 69 mg/L de SS, segundo EPA (1983). O desempenho do filtro de pedra na Califórnia, Missouri pode ser observado na Tabela 3.6, a seguir.

Tabela 3.6 - Desempenho do filtro de pedra na Califórnia, Missouri

	DBO ₅		SS		OD	
	mg/L		mg/L		mg/L	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
5/3/1975	15	8	35	24	19	6,6
13/3/1975	14	6	64	26	16,8	7,9
19/3/1975	19	7	80	24	-	12,9
26/3/1975	25	13	94	20	12,9	5,2
2/4/1975	30	15	74	16	13,3	4,6
Média	21	12	69	22	16	7,4

Fonte: EPA (1983)

Segundo EPA (1983), desde 1970, a remoção de algas tem sido estudada extensivamente em Eudora, Kansas. Dois filtros experimentais de pedra em Eudora usaram leito de pedra submerso com 1,5 m de profundidade, com diâmetros de 1,30 cm e o outro com 2,5 cm. A eficiência máxima dos filtros aconteceu no verão e no início do outono, quando podiam ser aumentadas as taxas de aplicação até 1,20 m³/m³d, sendo diminuídas para 0,40 m³/m³d no inverno e na primavera. O afluente dos filtros apresentava concentração de DBO₅ variando de 10 a 35 mg/L e SS de 40 a 70 mg/L. O efluente apresentava pouca redução de DBO₅, entretanto, a concentração final era abaixo de 30 mg/L e SS de 20 a 40 mg/L. Foi concluído que os filtros poderiam atender os requisitos de 30 mg/L para DBO₅.

De acordo com Middlebrooks (1995), no filtro de pedra, o efluente de lagoas passa pelo leito de pedra submerso, causando a sedimentação das algas na superfície das rochas à medida que líquido escoar através dos espaços vazios. As algas acumuladas são biologicamente degradadas.

As principais vantagens dos filtros de pedra são custos de construção relativamente baixos e simplicidade operacional. Problemas com odor podem ocorrer, e a projeção de vida para os filtros e seus processos de limpeza ainda não foram estabelecidos. Entretanto, diversas unidades têm sido operadas com sucesso por 10 a 19 anos, segundo Middlebrooks (1995). Os filtros de pedra podem ser de fluxo horizontal ou vertical.

Saidam et al. (1995) utilizaram, em escala piloto, filtros de pedras na saída de uma lagoa de estabilização e estudaram sua viabilidade durante um período de mais de onze meses. Além da eficiência na remoção de SS, os resultados mostram que os filtros podem reduzir o conteúdo dos efluentes das lagoas em 60% de DBO₅, coliformes termotolerantes em até 94%,

sendo que, para o nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrogênio total, as mudanças foram pouco representativas. E concluíram que a utilização de filtros de pedras é uma técnica promissora para efluentes de lagoas.

O filtro de pedra é um método barato de remoção algal, mas deve ser feita antes uma estimativa segura do desempenho que pode ser baseada em parâmetros de projeto. A alta concentração de nitrogênio amoniacal nos efluentes dos filtros pode limitar a aplicação deste processo. Outra desvantagem dos filtros de pedra é a produção de gás sulfídrico durante o verão e queda prematura quando os filtros tornam-se anaeróbios de acordo com Middlebrooks (1995).

Como foi dito, Queiroz (2001) avaliou em escala piloto, o desempenho de cinco alternativas naturais de tratamento na remoção de SS de efluentes de lagoas de estabilização. Uma alternativa foi a utilização destas lagoas de alta taxa seguido seguidas de um filtro de pedra constituído por um tanque, medindo 15 m de comprimento por 3,8 m de profundidade, com sentido de fluxo horizontal. A unidade foi preenchida com uma camada de brita nº1, 9,5 a 19 mm de diâmetro, com altura de 0,60 m. A taxa de aplicação hidráulica era de 0,04 m³/m³d (0,024 m³/m²d).

Este filtro de pedra, entre 14/08/2000 e 13/10/2000, ou seja, primeira etapa, de forma geral, apresentou um efluente com concentrações de SS abaixo de 20 mg/L, exceto uma vez, quando atingiu 32 mg/L. As concentrações médias mensais de SS no efluente deste filtro variaram de 10 a 14 mg/L, com remoções de 96% e 95%, respectivamente. A remoção média global, ao longo dessa primeira carreira, ficou em torno de 95%, com desvio padrão relativamente baixo, segundo Queiroz (2001). A remoção específica de algas foi avaliada pela concentração de clorofila-a nos afluentes e efluentes das unidades utilizando o método indireto de extração clorofórmio-metanol (2:1 v/v). As concentrações de clorofila-a na entrada e saída foram de 4387 e 36 µg/l, respectivamente, com eficiência de remoção de 99% (desvio padrão 0,6) no filtro de pedra.

As concentrações de DQO na entrada e saída foram de 716,4 e 251,0 mg/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 65% (desvio padrão 9,0) no filtro de pedra. As concentrações de DBO₅ nos afluentes e efluentes foram de 147,6 e 22,2 mg/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 84% (desvio padrão 7,5). As concentrações de NTK nos afluentes e

efluentes foram de 70 e 60 mgN/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 14% (desvio padrão 9,9), de acordo com Queiroz (2001).

Segundo Queiroz (2001), a concentração média mensal de OD na primeira etapa da pesquisa foi de 1,7 mg/L. A média de pH foi de 7,2 e a temperatura média foi de 25,7°C. A concentração de alcalinidade efluente foi de 389 mgCaCO₃/L e a condutividade elétrica de 1146 µs/cm.

No final da primeira etapa, Queiroz (2001) escolheu duas alternativas mais eficientes, dentre as cinco estudadas. Uma das alternativas foi filtro de pedra. Durante a segunda etapa (14/10/2000 a 13/12/2000), as concentrações de SS na entrada e saída das unidades foram 150 mg/L e 12 mg/L, respectivamente. Na terceira etapa (14/12/2000 a 13/02/2001), as concentrações de SS na entrada e saída das unidades foram 250 mg/L e 29 mg/L, respectivamente. Durante a segunda etapa, as concentrações de clorofila-a na entrada e saída das unidades foram 2613 µg/l e 15 µg/l, respectivamente.

Na segunda etapa, as concentrações de DQO na entrada e saída foram de 611,6 e 243,5 mg/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 57% (desvio padrão 16,5) no filtro de pedra. As concentrações de DBO₅ nos afluentes e efluentes foram de 115,7 e 12,0 mg/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 85% (desvio padrão 15,8). As concentrações de NTK nos afluentes e efluentes foram de 64 e 44 mgN/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 32% (desvio padrão 11,4). Na terceira etapa, as concentrações de DQO na entrada e saída foram de 642,6 e 286,8 mg/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 55% (desvio padrão 18,9) no filtro de pedra. As concentrações de DBO₅ nos afluentes e efluentes foram de 165,7 e 16,4 mg/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 90% (desvio padrão 4,3). As concentrações de NTK nos afluentes e efluentes foram de 60,0 e 49,4 mgN/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 18% (desvio padrão 9,2), segundo Queiroz (2001).

Queiroz (2001) também analisou a porosidade no filtro de pedra, no início e no final da segunda etapa, ao longo da extensão longitudinal do filtro de pedra. Os valores médios encontrados foram: Porosidade de 19% a 1,85 m da entrada, 28,5% a 7,00 m da entrada, 32% a 0,50 m da saída e 40% de porosidade na pedra limpa. E concluiu que, o filtro de pedra mostrou-se mais capaz de garantir um efluente com concentrações de SS e DBO abaixo de 30 mg/L.

Segundo EPA (2002), o Departamento de Proteção Ambiental do Estado de Illinois publicou uma coleção de diretrizes de um projeto de filtro de pedra de fluxo horizontal com desempenho variado devido a sua alta taxa de aplicação hidráulica (800 L/m³d, ou seja, 0,8 m³/m³d). As granulometrias das pedras eram de 75 a 150 mm. Com o estudo em Illinois foi possível descobrir que as características dos filtros eram muito importantes.

Os filtros de pedra são projetados basicamente pela taxa de aplicação hidráulica, expressa em m³ de efluente de lagoas por m³ de volume de filtro grosseiros de pedra por dia, segundo Mara (2004).

Johnson e Mara (2004) pesquisaram no Reino Unido, filtros de pedra aerados para remoção de nitrogênio e coliforme fecal de efluente de lagoa facultativa. Foram construídos três filtros de pedra em escala piloto, medindo cada 4,0 x 0,5 x 0,5 m. Dois tubos de amostragem verticais foram colocados com aproximadamente 1,5 e 3,0 m ao longo do comprimento de cada filtro. Em um filtro foi utilizado *Typha*, o outro era aerado usando um compressor de ar com um escoamento de ar de 20 l/min e o terceiro não tinha *Typha* nem era aerado e servia como controle. O efluente da lagoa facultativa era bombeado para cada filtro de pedra com uma taxa de 0,15 m³/m³d, dando um tempo de retenção de 2,5 dias. Os efluentes dos filtros drenavam por gravidade. Como o período de pesquisa foi no inverno de 2003/2004, as plantas (*Typha*) não cresceram. Desta forma, os resultados da pesquisa são apenas dos filtros de pedra restantes e podem ser vistos na tabela a seguir (Tabela 3.7). Nesta mesma pesquisa, a redução de amônia no filtro aerado foi < 2 mg/L, neste mesmo filtro houve uma vantagem em relação à remoção de coliforme fecal.

Tabela 3.7 - Tabela-resumo de desempenho médios dos filtros de pedras no Reino Unido

Filtro	DBO ₅ (media)		SS (media)	
	mg/L		mg/L	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Aerado	34	3	45	3
Controle	38	16	53	12

Fontes: Johnson e Mara (2004)

A seguir, serão apresentadas duas tabelas-resumo (Tabelas 3.8 e 3.9) contendo, a primeira, tipos de sistema de polimento encontrados na literatura e referenciados nesta pesquisa e a segunda, tipos de sistema de polimento utilizando filtros de pedras.

Tabela 3.8 – Tabela-resumo de desempenho de processos de polimento encontrados na literatura

Sistema	Pesquisa	Taxa Aplicação Hidráulica Volumétrica m ³ /m ³ d	Taxa Aplicação Hidráulica Superficial m ³ /m ² d	TDH dias	Dimensões m	Remoção de SS (Global) (%)	Remoção de DBO (Global) (%)	Remoção de DQO (Global) (%)	média pH	média temperatura (°C)	Remoção de NTK (Global) (%)	Fonte
Filtros de areia	Lagoas de alta taxa seguidas de 2 filtros intermitentes de areia	0,1			2 tanques de 6,0x4,5x1,05	45	17,83	22	7,0	23,3	28	Queiroz (2001) Neder <i>et al.</i> (2001)
Lagoas com macrófitas flutuantes	PROSAB, Edital 3, Tema 2 - Reator UASB seguido de quatro lagoas operando em série (na última lagoa com <i>Wolffiella e Lemna</i>)			1,44 em cada lagoa			87					Sperling (2003)
	Lagoas de alta taxa seguidas de 1 tanque de aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>)		0,024		1 tanque de 15,0x3,5x0,8	81	53,1	62	7	22,8	41	Queiroz (2001) Neder <i>et al.</i> (2001)
Coagulação - Sedimentação	Utilizando os coagulantes W8044, W8049 e cloreto férrico (FeCl ₃) em lagoas de estabilização						24% (W8044), 48% (W8049) e 73% (FeCl ₃)					Gonçalves et al. (2000)
Aplicação no solo	Lagoas de alta taxa seguidas de escoamento superficial no solo formada por um patamar, com declividade de 4%, totalmente ocupado por grama batatis		0,016		30x3	32	2	20	7,4	25,5	20	Queiroz (2001) Neder <i>et al.</i> (2001)
Terras alagadas construídas de fluxo subsuperficial	Lagoas de alta taxa com terras alagadas construídas de fluxo subsuperficial		0,024		1 tanque de 15,0x3,5x0,8	91	86	51	6,9	24,1	2	Queiroz (2001) Neder <i>et al.</i> (2001)
Filtros de pedra	Lagoas de alta taxa seguidas de filtro		0,04		1 tanque de 15,0x3,5x0,8	95	84	65	7,2	25,7	14	Queiroz (2001) Neder <i>et al.</i> (2001)

Tabela 3.9 - Tabela-resumo de desempenho de filtros de pedras encontrados na literatura

Local	Ano	Tipo de filtro de pedra	Taxa Aplicação Hidráulica Volumétrica m ³ /m ³ d	Vazão m ³ /d	Granulometria mm	Dimensões m	Conc. média de SS (afluente) mg/L	Conc. média de DBO (afluente) mg/L	Conc. média de SS (efluente) mg/L	Conc. média de DBO (efluente) mg/L	Remoção de SS (Global) (%)	Remoção de DBO (Global) (%)	Remoção de DQO (Global) (%)	Fonte
Califórnia, Missouri	1974		0,4											EPA (1983)
Veneta, Oregon	1975	Fluxo vertical ascendente	0,3	757	75 a 200	2,0 m de profund.								EPA (1983)
Califórnia, Missouri			0,25				69	69	22	21				EPA (1983)
Eudora, Kansas	1983	2 Leitos de pedra submerso	até 1,20 (0,40 inverno)		130 e 250	1,5m profund.	40 a 70	10 a 35	20 a 40	< 30				EPA (1983)
Brasília, Brasil	2001	Lagoa de alta taxa seguida de filtro	0,04			1 tanque de 15,0x3,5x0,8					95	84	65	Queiroz (2001) Neder <i>et al.</i> (2001)
Reino Unido	2004	Filtro de pedra aerado	0,15			4,0x0,5x0,5	45	34	3	3				Johnson e Mara (2004)
Reino Unido	2004	Filtro de pedra controle	0,15			4,0x0,5x0,5	53	38	12	16				Johnson e Mara (2004)

4 METODOLOGIA

4.1 *ETE Arrudas*

O esgoto utilizado no aparato experimental foi captado após o tratamento preliminar da ETE Arrudas. Desta forma, os sólidos grosseiros, os sólidos com dimensões superiores a 15 mm e os materiais inorgânicos (ex: areia) presentes nos esgotos já foram retirados.

A ETE Arrudas, localizada na região de Sabará, na grande Belo Horizonte, é uma das mais modernas do país. Ela ocupa uma área de 63,84 hectares, para atender uma população inicial de 1 milhão e final de 1,6 milhão de habitantes. As vazões previstas vão de 2,25 m³/s no início de plano e a 4,5 m³/s no final de plano. O processo de tratamento instalado permite a redução de 93% da carga de sólidos e da carga orgânica dos esgotos (COPASA, 2005). A ETE Arrudas promove a despoluição do Ribeirão Arrudas e, conseqüentemente, do Rio das Velhas.

Tratamento preliminar: grade grossa com espaçamento entre barras de 100 mm, grade fina mecanizada com espaçamento entre barras de 15 mm e desarenador com diâmetro de 12 m e altura 1,7 m.

4.2 *ETE Experimental UFMG / COPASA*

Localizada na ETE Arrudas, a ETE Experimental UFMG / COPASA possui um aparato experimental composto por um reator anaeróbio tipo UASB e quatro lagoas de polimento rasas que foram parte do Tema 2 - Edital 3 do PROSAB, além de diversas outras linhas diferentes e inovadoras de tratamento de esgotos, com potencial para geração de dados e conhecimentos.

4.3 *Descrição das unidades do aparato experimental*

O aparato experimental utilizado nesta pesquisa é constituído de um reator tipo UASB, quatro lagoas de polimento e dois filtros de pedras.

As lagoas foram projetadas para trabalhar com total flexibilidade, todas em série, em paralelo ou qualquer outra combinação, em seção trapezoidal. O material utilizado para impermeabilização dos taludes das quatro lagoas foi geomembrana e os materiais do fundo das lagoas 1 e 2 foram geomembrana e lagoas 3 e 4 foram argila.

As alturas da lâmina d'água das lagoas podem variar de 0,40; 0,60; 0,80 ou 1,00 m. Para a realização desta pesquisa, as lagoas 1 e 2 trabalharam em série, estratégia operacional que conduziu a bons resultados no Edital 3 – Tema 2 do PROSAB, com uma profundidade média de 0,80 m de altura, e as lagoas 3 e 4 trabalharam em paralelo, com uma profundidade média de 0,40 m.

O reator tipo UASB e as lagoas de polimento foram dimensionados para uma população de 250 habitantes. Suas principais características, após inserção dos Filtros 1 e 2, são:

Reator UASB

Volume: 14,2 m³

Altura: 4,5 m

Diâmetro: 2,0 m

TDH: 7,5 h

Vazão Média: 40 m³/d

Material: ferro-cimento

Lagoas de Polimento 1 e 2

Comprimento no fundo: 25,00 m

Largura no fundo: 5,25 m

Profundidade: 0,80 m

Inclinação dos taludes: 45°

V = 125 m³ (com 0,80 m de profundidade)

Vazão Média: 40 m³/d (cada lagoa)

TDH = 3,1 d (Cada lagoa)

Lagoas de Polimento 3 e 4

Comprimento no fundo: 16,56 m

Largura no fundo: 5,25 m

Profundidade: 0,40 m

Inclinação dos taludes: 45°

V = 42 m³ (com 0,40 m de profundidade)

Vazão Média: 10 m³/d (cada lagoa)

TDH = 4,2 d (Cada lagoa)

No final das lagoas 3 e 4, foram inseridos filtros de pedra, com granulometrias diferentes e coeficientes de uniformidade diferentes, sendo uma com material de menor dimensão (brita 3 comercial) e a outra com material de maior dimensão (pedras de mão comercial), objetivando a retenção das algas (Figuras 4.1 e 4.2). Os dois materiais foram selecionados tendo em vista sua fácil disponibilidade no território nacional e baixo custo de aquisição, conforme idéia inicial do projeto.



Figura 4.1 - Aparato experimental: Reator UASB, Lagoas 1, 2, 3 e 4 e Filtros 1 e 2

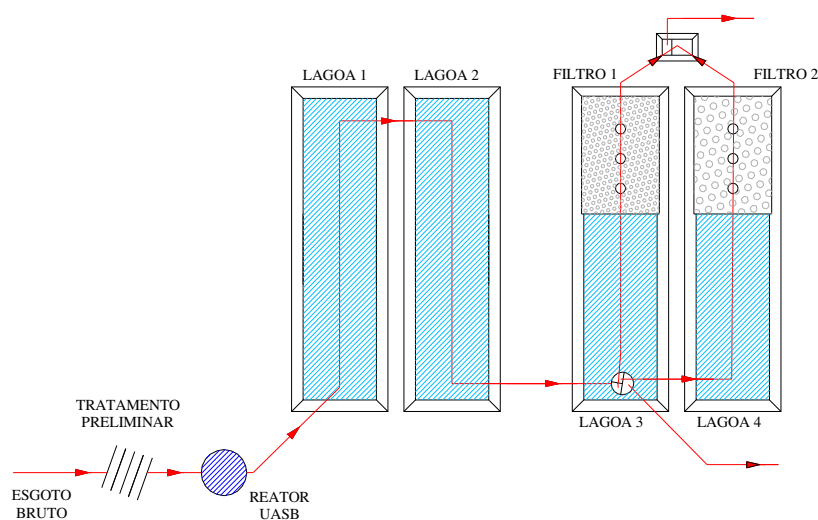


Figura 4.2 - Esquema do aparato: reator UASB, lagoas 1 e 2 em série, lagoas 3 e 4 em paralelo e filtros 1 e 2

As principais características dos filtros de pedra são:

Filtros de pedra 1 e 2

Comprimento a 0,40 m de altura: 8,44 m

Comprimento do fundo: 8,44 m

Largura a 0,40 m de altura: 6,05 m

Largura no fundo: 5,25 m

Altura da lâmina d'água: 0,40 m

Altura do filtro: 0,70 m

Inclinação dos taludes: 45°

Cada filtro possui 0,70 m de altura de brita / pedra. Entretanto, as alturas da lâmina d'água dos filtros podem variar de 0,40 ou 0,60 m. Se o filtros trabalharem com uma altura de lâmina d'água de 0,40 m, haverá uma borda livre de 0,30 m. Se o filtros trabalharem com uma altura de lâmina d'água de 0,60 m, haverá uma borda livre de 0,10 m. Nesta pesquisa, os filtros 1 e 2 são de fluxo horizontal e possuem altura da lâmina d'água de 0,40 m e borda livre de 0,30 m, conforme Figuras 4.3 e 4.4.

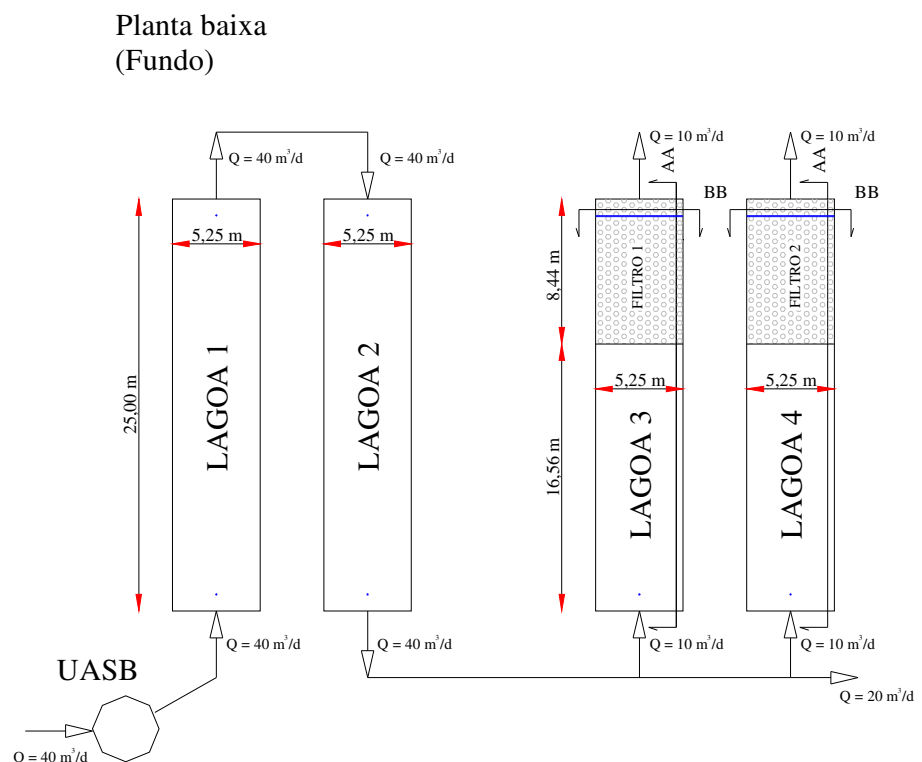
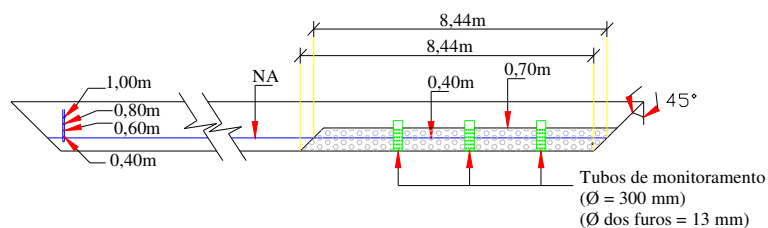


Figura 4.3 – Planta baixa do aparato experimental

Corte longitudinal - AA



Corte transversal - BB

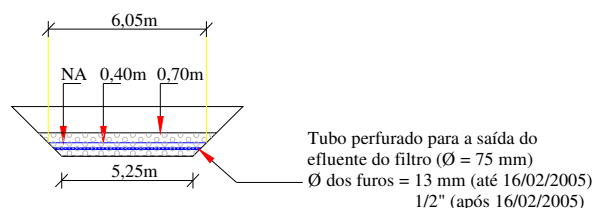


Figura 4.4 – Cortes AA e BB de acordo com a Figura 4.3

Foram inseridos três tubos de monitoramento de 300 mm de diâmetro e 90 cm de altura, todos alinhados e perfurados, ao longo do percurso de cada filtro para proporcionar a medição da perda de carga, as medições por sensores e coleta de amostras. Estes tubos estão localizados nos pontos médios (segundo a largura) de cada filtro (Figura 4.5). Eles são perfurados com furos de 13 mm, sendo 6 linhas de furos e 8 furos em cada linha. Para não ocorrer interferência externa (intempéries; luz solar; etc.), estes tubos de monitoramento foram tampados.

Para o controle e a distribuição da vazão nas lagoas 3 e 4 foi instalada uma caixa de distribuição no início da lagoa 3. Ela é dividida em 3 partes, sendo 25% ($10 \text{ m}^3/\text{d}$), 25% ($10 \text{ m}^3/\text{d}$) e 50% ($20 \text{ m}^3/\text{d}$) da vazão respectivamente para a lagoa 3, para a lagoa 4 e descarte. Esta caixa proporciona uma boa flexibilidade operacional, podendo alterar as vazões e as taxas de aplicação em diferentes fases (Figura 4.6).



Figura 4.5 - Detalhe dos tubos perfurados (Filtro 1) para proporcionar a medição da perda de carga e a coleta de amostras



Figura 4.6 - Caixa de distribuição de vazão situada na lagoa 3

Para a saída do efluente dos filtros, foi inserido um tubo de 75 mm ao longo da largura de cada filtro (Figura 4.7). Estes tubos são perfurados (furos de 13 mm de diâmetro até 16/02/2005 e, após esta data, furos de ½ polegada) e encontram-se enterrados nas pedras

numa altura de 30 cm do fundo deixando a extremidade superior do tubo abaixo da lâmina d'água. Desta forma é possível obter uma amostra representativa do efluente dos filtros.

O diâmetro dos furos sofreu esta pequena modificação para evitar uma possível colmatção. No período de alteração, foram coletadas amostras nos tubos de monitoramento próximos às saídas dos Filtros 1 e 2.



Figura 4.7 - Colocação do tubo perfurado para a saída do efluente do Filtro 2

A saída do efluente final é efetuada por meio de uma caixa de alvenaria. Nesta caixa encontram-se os efluentes dos Filtros 1 e 2, e com o auxílio de registros situados a montante, é possível coletar amostras de cada efluente, separadamente. Esta caixa possui uma tubulação com um dos eixos móvel, conforme Figura 4.8, permitindo a alteração da altura de saída do efluente e impondo a altura da lâmina d'água no sistema.



Figura 4.8 - Saída do efluente final do sistema por meio de uma caixa de alvenaria

4.4 Características operacionais do sistema

Os experimentos foram realizados ao longo de 8 meses (21/10/2004 a 30/06/2005) com uma taxa de aplicação hidráulica de $0,50 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$, operando com uma vazão de $40 \text{ m}^3/\text{d}$ nas lagoas 1 e 2 e $10 \text{ m}^3/\text{d}$ nas lagoas 3 e 4. A taxa de aplicação hidráulica foi estabelecida com base na revisão bibliográfica e nas características físicas das unidades da ETE Experimental Arrudas.

Durante estes meses, foram avaliadas as condições operacionais (colmatação e evolução da perda de carga) dos filtros grosseiros e a influência de diferentes granulometrias.

4.5 Monitoramento do sistema

O programa de monitoramento do sistema foi constituído de um conjunto de análises físico-químicas e microbiológicas realizadas uma vez por semana no esgoto tratado preliminarmente, no efluente do reator UASB, nas saídas de cada lagoa de polimento (lagoas 1, 2, 3 e 4) e no efluente dos Filtros 1 e 2.

A medição de vazão era feita semanalmente, na saída do reator UASB, medindo o volume em um vasilhame becker e marcação de tempo com cronômetro, conforme Figuras 4.9 e 4.10.



Figura 4.9 - Reator UASB



Figura 4.10 - Saída do efluente do reator UASB - local de medição da vazão no sistema

Semanalmente eram verificadas as condições operacionais dos filtros, tais como colmatação e perda de carga. O processo de colmatação dos filtros é progressivo, e por meio de régua graduada nos pontos inicial, intermediário e final de cada filtro foi possível verificar a progressão da perda de carga.

Para facilitar a coleta e análise de dados, os pontos de coleta foram identificados conforme Figura 4.11, a seguir.

Desta forma, P11 representa o esgoto bruto, P12 o efluente do reator UASB, P13 o efluente da lagoa 1, P14 o efluente da lagoa 2; P15 o efluente da lagoa 3 que está em paralelo com o efluente da lagoa 4 (P17) e seguindo a seqüência, os pontos efluentes do sistema (P16 e P18 em paralelo) representando os Filtros 1 e 2, respectivamente.

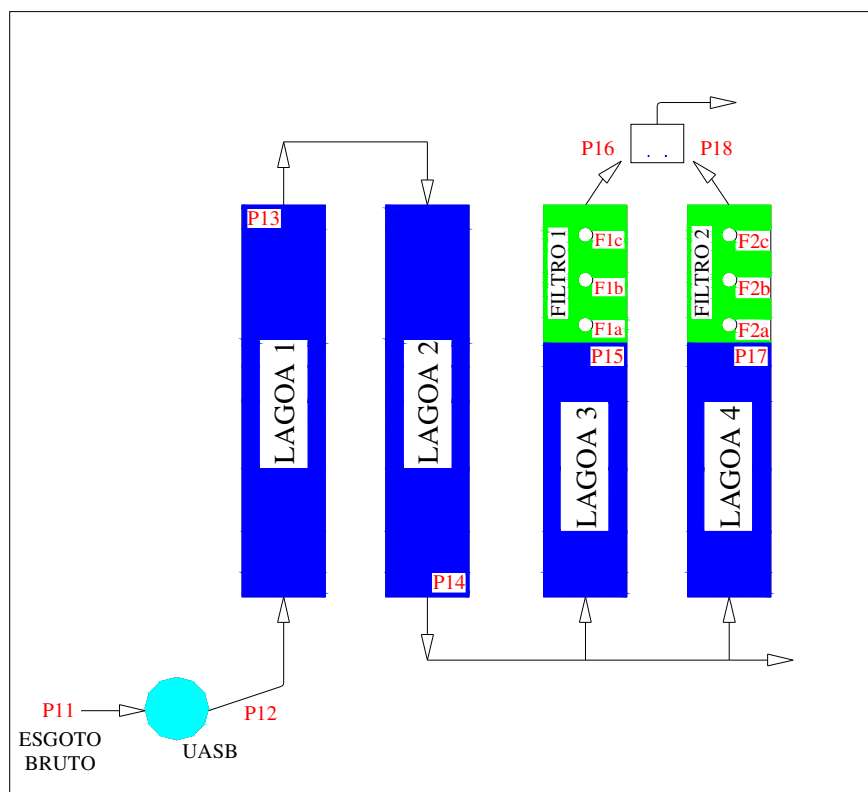


Figura 4.11 – Esquema de pontos de coleta do aparato experimental

Semanalmente, o esgoto bruto (P11) era coletado por meio de amostragem composta com o auxílio de um amostrador automático com um ciclo de 24 horas. Com a utilização de um amostrador é possível se obter uma amostra mais representativa em comparação a uma amostra simples.

Nos efluentes das lagoas e nos efluentes dos filtros (P16 e P18) as amostragens foram simples. Entretanto, mensalmente, nos pontos P16 e P18 eram realizadas amostras compostas fracionadas, ou seja, as amostras compostas de 24 horas eram divididas em 3 grupos de horários diferentes: de 6:00 às 12:00 horas, de 12:00 às 18:00 horas e de 18:00 às 6:00 horas. Após obtenção dos resultados das amostras foram feitas médias aritméticas dos valores. Os

resultados destas análises encontram-se no anexo e são os valores referentes à última semana de cada mês.

Foram realizadas análises físico-químicas de DBO e DQO (total, filtrada e particulada), SS (total (SST), fixo (SSF) e volátil (SSV)), turbidez, e microbiológicas de coliforme total e *E. coli*, conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Monitoramento do sistema: análises físico-químicas e microbiológicas

Pontos de amostragem	Análises	Frequência	Tipo de coleta
P11	DBO (total, filtrada e particulada) DQO (total, filtrada e particulada) SS (total, fixo e volátil) Turbidez Coliforme total <i>E. coli</i>	Semanal	Composta
P12, P13, P14, P15, P16, P17 e P18	DBO (total, filtrada e particulada) DQO (total, filtrada e particulada) SS (total, fixo e volátil) Turbidez Coliforme total <i>E. coli</i>	Semanal	Simples
P16 e P18	DBO (total, filtrada e particulada) DQO (total, filtrada e particulada) SS (total, fixo e volátil) Turbidez Coliforme total <i>E. coli</i>	Mensal	Composta (6 - 12h) (12 - 18 h) (18 - 6 h)

Os métodos de coleta e análise foram de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* APHA-AWWA-WPCF (1998).

Para as análises bacteriológicas de coliformes totais e *E. coli*, foi utilizado o método de substrato definido (QUANTITRAY COLILERT), de acordo com os procedimentos descritos no APHA-AWWA-WPCF (1998).

As amostras foram preservadas em gelo e transportadas para processamento nos Laboratórios Físico-Químico e de Microbiologia do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da

Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, sendo observados os tempos de coleta e preservação preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* APHA-AWWA-WPCF (1998).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram realizados ao longo de 8 meses (21/10/2004 a 30/06/2005). Os filtros de pedra foram operados com uma taxa de aplicação hidráulica de $0,50 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ e as lagoas 1 e 2 com uma vazão de $40 \text{ m}^3/\text{d}$ e nas lagoas 3 e 4 com uma vazão de $10 \text{ m}^3/\text{d}$.

Será apresentada uma avaliação sucinta do sistema como um todo, ou seja, desde a entrada do sistema (esgoto bruto), passando pelo reator UASB, lagoas 1 e 2 (série), lagoa 3 com Filtro 1 (paralelo) e lagoa 4 com Filtro 2 (paralelo).

Após tal, será apresentada uma avaliação detalhada do final do sistema, ou seja, do efluente da lagoa 3 ao efluente do Filtro 1 e do efluente da lagoa 4 ao efluente do Filtro 2.

A avaliação do comportamento do reator UASB não é parte integrante da presente pesquisa, entretanto serão apresentados os valores afluentes e efluentes do mesmo, pelo fato destes serem necessários para a avaliação do desempenho dos filtros e do sistema.

Os dados obtidos por meio do monitoramento são apresentados, em sua totalidade, no anexo.

5.1 Avaliação da remoção de matéria orgânica e de sólidos em suspensão

As Tabelas 5.1 e 5.2 apresentam os valores das concentrações médias e eficiências médias (médias aritméticas) de DBO total, DBO filtrada, DBO particulada, DQO total, DQO filtrada, DQO particulada, SST, SSF e SSV obtidos na pesquisa. Os resultados de sólidos foram incluídos neste capítulo devido à relação deste parâmetro com a matéria orgânica.

Tabela 5.1 - Tabela-resumo de concentrações médias de DBO, DQO e SS no sistema

Parâmetro	Concentrações médias (mg/L)							
	Esgoto Bruto	Efluente UASB	Efluente Lagoa 1	Efluente Lagoa 2	Efluente Lagoa 3	Efluente Filtro 1	Efluente Lagoa 4	Efluente Filtro 2
DBO Total	235	46	38	36	40	27	37	32
DBO Filtrada	79	24	15	14	14	17	15	17
DBO Particulada	155	22	25	22	28	13	23	17
DQO Total	377	132	160	154	203	97	189	107
DQO Filtrada	158	76	66	67	68	61	81	65
DQO Particulada	227	58	103	88	139	42	106	42
SST	187	60	84	72	108	26	107	50
SSF	30	18	9	10	16	10	16	12
SSV	136	44	73	60	92	17	91	40

Tabela 5.2 - Tabela-resumo de eficiências médias de DBO, DQO e SS no sistema

Parâmetro	Eficiências médias (% remoção)								
	Efic. UASB	Efic. Lagoa 1	Efic. Lagoa 2	Efic. Lagoa 3	Efic. Filtro 1	Efic. Lagoa 4	Efic. Filtro 2	Efic. Global c/ Filtro 1	Efic. Global c/ Filtro 2
DBO Total	78	6	1	-10	37	-6	16	88	84
DBO Filtrada	88	68	61	64	63	64	60	93	93
DQO Total	63	-39	1	-29	46	-29	38	74	70
DQO Filtrada	79	52	56	56	68	48	60	84	83
SST	68	-77	10	-73	73	-77	48	85	72

As eficiências médias foram calculadas com base nas concentrações médias afluentes e efluentes de cada unidade.

5.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

5.1.1.1 DBO Total

A redução de carga orgânica efetuada pelo reator UASB, embora substancial, foi complementada com a utilização de filtros no final das lagoas 3 e 4. Foram obtidos resultados amplamente satisfatórios em relação à remoção de DBO no sistema como um todo. A Tabela 5.3 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO total.

Tabela 5.3 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO total (mg/L)

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	21	20	23	24	24	21	24	21
Média	235	46	38	36	40	27	37	32
Mínimo	92	14	12	11	6	5	8	9
Máximo	479	108	105	105	115	106	107	101
Coef. Var	0,47	0,60	0,56	0,59	0,70	0,88	0,69	0,74
Médias								
Média	235	46	38	36	40	27	37	32
Mediana	213	41	33	30	29	18	30	25
Média geométrica	213	40	34	32	32	21	30	26
Variação								
Desvio padrão	110	27	21	21	28	24	26	24
Méd - 1 desvpad	125	19	17	15	12	3	12	8
Méd + 1 desvpad	346	73	59	58	68	51	63	56
Percentis								
10%	119	21	20	18	18	13	13	11
25%	174	26	26	25	20	14	22	16
50%	213	41	33	30	29	18	30	25
75%	272	50	43	38	53	28	44	36
90%	427	89	56	59	71	46	70	60

Comparando os resultados obtidos com a composição típica do esgoto bruto, do esgoto digerido num reator UASB, do efluente de uma lagoa de polimento, encontrada na literatura (Tabela 3.5), o sistema estudado encontra-se dentro desta faixa típica. Por exemplo, para esgoto bruto, a faixa típica encontrada na literatura é de 200 a 350 mg/L; no sistema estudado foi de 235 mg/L, para efluente de reator UASB a faixa típica é de 50 a 100 mg/L; no sistema estudado foi de 46 mg/L e para efluente de uma lagoa de polimento, a faixa típica é de 30 a 50 mg/L; utilizando a concentração média efluente da Lagoa 1, no sistema estudado foi de 38 mg/L.

As concentrações médias dos efluentes dos Filtros 1 e 2 atenderam aos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água da Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001, ou seja, valor limite de 60 mg/L em termos de DBO, ou quando o estudo de autodepuração comprovar que o sistema de tratamento reduz a carga poluidora dos efluentes, eficiência de remoção de no mínimo de 60%.

A Tabela 5.4 apresenta a estatística descritiva das eficiências de remoção no sistema em relação à DBO total.

Tabela 5.4 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DBO total em % de remoção

	Efic. UASB	Efic. L1	Efic. L2	Efic. L3	Efic. F1	Efic. L4	Efic. F2	Efic. Global c/ F1	Efic. Global c/ F2
Estatística									
Nº de dados	18	19	22	23	20	24	20	18	19
Média	78	6	1	-10	37	-6	16	88	84
Mínimo	37	-110	-116	-157	-1	-134	-116	69	59
Máximo	96	65	44	49	77	65	58	97	97
Coef. Var	0,18	6,34	48,05	-5,00	0,59	-8,40	2,31	0,09	0,13
Médias									
Média	78	6	1	-10	37	-6	16	88	84
Mediana	80	14	6	13	34	-3	23	91	88
Variação									
Desvio padrão	14	41	38	52	22	49	38	8	11
Méd - 1 desvpad	63	-34	-37	-63	15	-55	-21	80	73
Méd + 1 desvpad	92	47	39	42	58	43	54	96	96
Percentis									
10%	63	-28	-27	-82	11	-55	-12	77	65
25%	74	-7	-5	-39	22	-24	8	85	81
50%	80	14	6	13	34	-3	23	91	88
75%	87	30	24	23	49	27	39	94	91
90%	92	44	33	35	66	48	53	96	95

Alguns valores de eficiências negativas ao longo do sistema (efluentes das lagoas 3 e 4) podem ter sido provocadas pela alteração do sistema para a construção do aparato, ou seja, alterando as lagoas 3 e 4 para um sistema em paralelo. Esta medida ocasionou uma redução no tempo de detenção hidráulica (TDH). Conforme literatura (CAVALCANTI, 2001), o TDH necessário para que se complete o tratamento é longo. Para se obter um bom desempenho e ao mesmo tempo minimizar o TDH, o sistema de lagoas de estabilização deve ser formado por várias lagoas que devem ser operadas em série. Além disso, foram alteradas as alturas das lagoas 1 e 2 para 0,90m. O aumento da profundidade da lagoa torna os mecanismos de remoção menos efetivos.

Um outro fator é a geração de efluentes com elevados teores de sólidos em suspensão, as algas, que conseqüentemente, aumentam a DBO particulada.

Entretanto, a utilização de lagoas como unidade de um sistema de tratamento objetiva dar polimento a qualquer tipo de efluente, seja em termos de remoção de patogênicos e de nutrientes, ou mesmo para DQO, constituindo-se numa opção de desinfecção. Assim, as lagoas de polimento foram projetadas de maneira a otimizar os principais mecanismos de remoção dos patogênicos.

Observa-se que as eficiências médias nos Filtros 1 e 2 foram de 37% e 16%, respectivamente. A eficiência média global no sistema com o Filtro 1 (88%) e com o Filtro 2 (84%) foram satisfatórias. A Figura 5.1 apresenta a variação das concentrações de DBO total nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

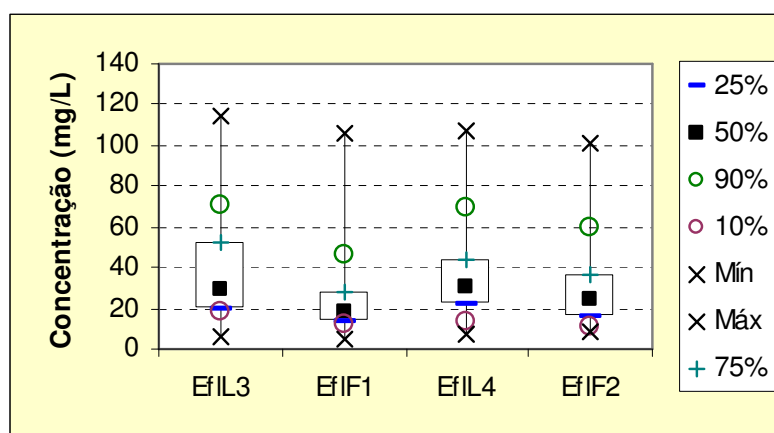


Figura 5.1 - Variação das concentrações de DBO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

As concentrações medianas dos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 ficaram abaixo de 60 mg/L, atendendo aos padrões estabelecidos pelos órgãos ambientais. Nos Filtros 1 e 2, em relação às concentrações dos efluentes, 90% destes valores ficaram abaixo ou igual a 60 mg/L, caracterizando um excelente desempenho do sistema.

O Filtro 1 (brita 3), após a Lagoa 3, reduziu a concentração média de DBO total de 40 mg/L para 27 mg/L, produzindo um efluente com excelente qualidade em termos de DBO total. O Filtro 2 (pedra de mão), após a Lagoa 4, apresentou desempenho um pouco inferior, como se poderia esperar em virtude da maior granulometria, mas ainda assim foi bom, com concentrações médias afluentes e efluentes de 37 mg/L e 32 mg/L, respectivamente.

Segundo EPA (1983), o efluente final do tratamento biológico realizado em Eudora, Kansas, utilizando uma taxa de aplicação hidráulica de até 1,20 m³/m³d (0,40 m³/m³d inverno), foi de até 30 mg/L. No sistema estudado, os resultados encontrados foram de 27 mg/L e de 32 mg/L, nos Filtros 1 e 2, respectivamente, utilizando uma taxa de aplicação hidráulica de 0,50 m³/m³d.

De acordo com Queiroz (2001), as eficiências médias de remoção de DBO total encontradas em sua pesquisa com filtros de pedra, ao longo da segunda carreira, sempre estiveram acima de 80%. As eficiências de remoção de DBO mínima e máxima verificadas foram de 44% e 99,6%, respectivamente. Ao longo da terceira carreira, as concentrações efluentes de DBO sempre estiveram abaixo de 30 mg/L. As eficiências médias de remoção de DBO total encontradas também estiveram acima de 80%.

De acordo com a Tabela 5.4, as eficiências médias globais de remoção de DBO total dos sistemas com os Filtros 1 e 2 foram de 88% e 84%, respectivamente. Comparando os resultados obtidos por Queiroz (2001) com os resultados encontrados na pesquisa, é possível verificar um excelente desempenho do sistema investigado. Os valores mínimo e máximo de eficiência global encontrados foram de 69% e 97% para o Filtro 1 e 59% e 97% para o Filtro 2.

A Figura 5.2 apresenta a variação das eficiências de remoção de DBO total nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

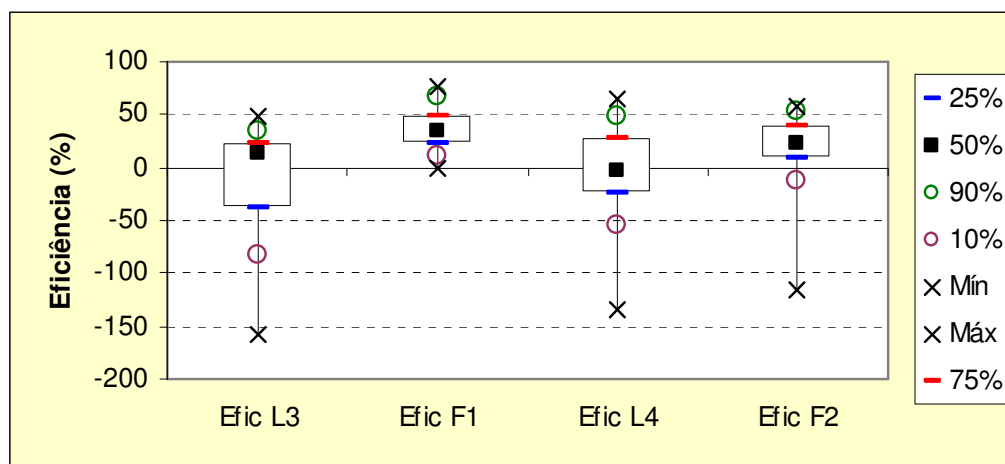


Figura 5.2 - Variação das eficiências de DBO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

Observa-se que as eficiências médias nos Filtros 1 e 2 foram inferior a 50%. Comparando os resultados obtidos em relação à eficiência de remoção de DBO total nos Filtros 1 e 2, observa-se uma melhor eficiência no Filtro 1 (eficiências máximas de 77% e 58% nos Filtros 1 e 2, respectivamente). Entretanto, conforme mencionado, as eficiências globais do sistema indicam uma excelente desempenho do sistema como um todo.

As Figuras 5.3 e 5.4 mostram as séries temporais das concentrações de DBO total afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2, respectivamente. Foram inseridas linhas de tendências com médias móveis de 4 termos nos afluentes e efluente dos Filtros 1 e 2 para facilitar a análise do gráfico.

Observando as linhas de tendências dos Filtros 1 e 2 é possível se verificar uma relação entre o afluente e o efluente de cada filtro, entretanto, entre os dias 100 e 125 para o Filtro 1 e entre os dias 100 e 150 para o Filtro 2, este comportamento foi alterado. Neste período de tempo, dias 100 a 125/150, ou seja, entre fevereiro de 2005 e março de 2005, houve uma interrupção no sistema para reformas das saídas dos filtros, conforme mencionado no Item 4.7.

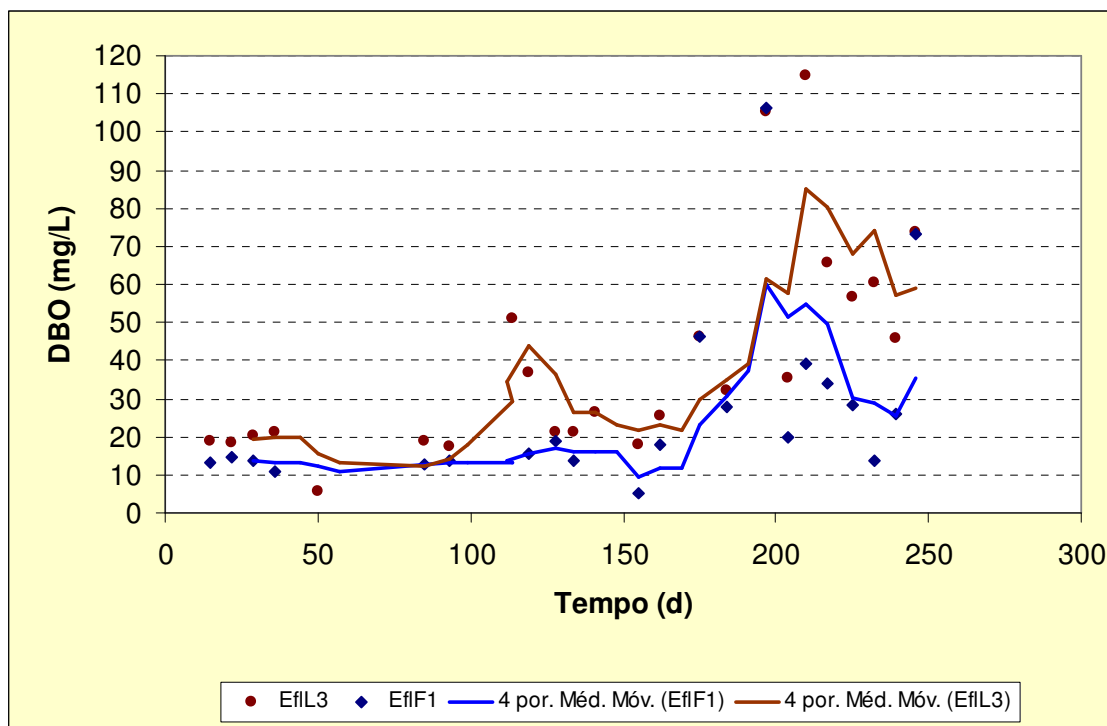


Figura 5.3 - Série temporal de DBO total – afluente e efluente do Filtro 1

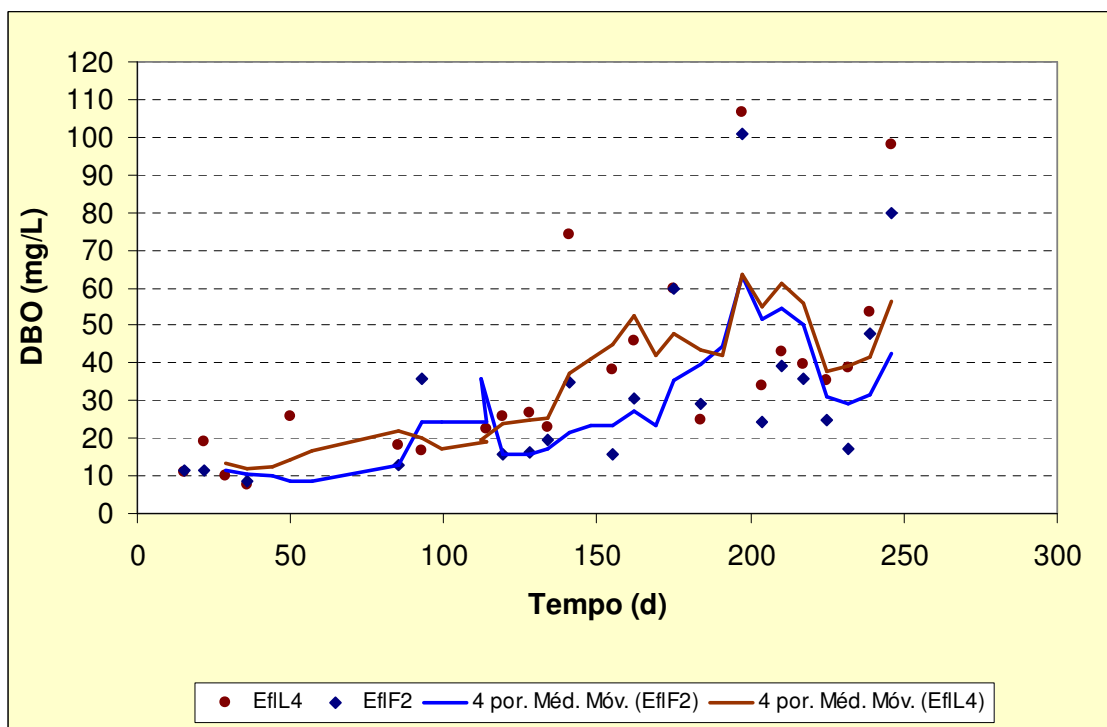


Figura 5.4 - Série temporal de DBO total – afluente e efluente do Filtro 2

5.1.1.2 DBO Filtrada

A DBO filtrada está relacionada principalmente com a matéria orgânica remanescente do esgoto bruto, já a DBO particulada, próximo item descrito, está relacionada com a matéria orgânica em suspensão (bactérias e algas) gerada nas lagoas. A nossa legislação não faz

distinção entre as formas de DBO, considerando como padrão de lançamento os valores de DBO total.

Foram obtidos resultados amplamente satisfatórios em relação à remoção de DBO filtrada no sistema como um todo. A redução da concentração média de DBO filtrada efetuada pelo reator UASB foi fundamental (de 79 mg/L - esgoto bruto - para 24 mg/L - efluente UASB).

Ao longo do sistema de lagoas, observa-se que as concentrações médias de DBO filtrada também foram decrescendo, entretanto, houve um pequeno acréscimo (de 14 mg/L para 17 mg/L, no Filtro 1 e de 15 mg/L para 17 mg/L, no Filtro 2) nas concentrações médias dos Filtros 1 e 2.

A Tabela 5.5 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO filtrada.

As concentrações mínima e máxima de DBO filtrada em ambos os filtros foram de 3 e 73 mg/L, respectivamente. Esta faixa de variação pode ser considerada alta e pode ser observada por meio do coeficiente de variação.

Tabela 5.5 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO filtrada em mg/L

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	17	16	20	22	22	18	22	17
Média	79	24	15	14	14	17	15	17
Mínimo	47	10	2	2	2	3	2	3
Máximo	154	64	73	72	71	73	72	73
Coef. Var	0,34	0,54	0,98	1,09	1,02	1,03	1,08	0,96
Médias								
Média	79	24	15	14	14	17	15	17
Mediana	71	24	10	9	12	11	10	12
Média geométrica	76	22	12	10	10	12	10	13
Variação								
Desvio padrão	27	13	15	16	14	17	16	16
Méd - 1 desvpad	52	11	0	-1	0	-1	-1	1
Méd + 1 desvpad	106	37	30	30	28	34	32	33
Percentis								
10%	56	12	6	4	4	5	4	7
25%	62	15	8	6	6	7	5	9
50%	71	24	10	9	12	11	10	12
75%	89	28	18	17	14	20	21	18
90%	109	34	23	22	25	33	28	29

A Tabela 5.6 apresenta a estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DBO filtrada. A relação entre (DBO total afluente subtraída da DBO filtrada efluente) e DBO total afluente foi utilizada para o cálculo das eficiências em relação à DBO filtrada. A redução de DBO filtrada efetuada pelo reator UASB, embora substancial, foi complementada com a utilização dos filtros no final das lagoas 3 e 4. Foram obtidos resultados amplamente satisfatórios em relação à remoção de DBO filtrada no sistema como um todo.

Tabela 5.6 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DBO filtrada em % de remoção

	Efic. UASB	Efic. L1	Efic. L2	Efic. L3	Efic. F1	Efic. L4	Efic. F2	Efic. Global c/ F1	Efic. Global c/ F2
Estatística									
Nº de dados	14	17	22	22	18	22	17	15	15
Média	88	68	61	64	63	64	58	93	93
Mínimo	70	19	-44	32	13	14	3	83	80
Máximo	98	84	93	88	87	87	84	99	99
Coef. Var	0,09	0,30	0,55	0,25	0,36	0,33	0,42	0,05	0,06
Médias									
Média	88	68	61	64	63	64	58	93	93
Mediana	90	77	75	64	73	72	66	95	95
Variação									
Desvio padrão	8	20	33	16	23	21	24	5	5
Méd - 1 desvpad	80	48	28	48	40	42	33	89	87
Méd + 1 desvpad	96	87	94	80	86	85	82	98	98
Percentis									
10%	76	34	27	48	30	32	21	87	84
25%	85	65	51	53	49	62	57	90	92
50%	90	77	75	64	73	72	66	95	95
75%	94	80	81	77	81	78	71	96	95
90%	97	83	85	85	85	81	80	98	97

Nota: eficiências calculadas com base na DBO total afluente e DBO filtrada efluente

As eficiências de remoção biológica global nos sistema com os Filtros 1 e 2 foram de 93%. As eficiências médias ao longo do sistema não foram inferiores a 50%. A eficiência global mínima no sistema foi de 83 e 80% com os Filtros 1 e 2, respectivamente.

5.1.1.3 DBO Particulada

Os sólidos em suspensão no efluente de lagoas de polimento são predominantemente algas (DBO particulada). A Tabela 5.7 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO particulada.

Tabela 5.7 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DBO particulada em mg/L

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	17	16	20	22	22	18	22	17
Média	155	22	25	22	28	13	23	17
Mínimo	24	1	13	9	3	2	1	1
Máximo	396	60	52	79	89	48	74	64
Coef. Var	0,60	0,74	0,39	0,70	0,79	0,93	0,71	0,94
Médias								
Média	155	22	25	22	28	13	23	17
Mediana	140	19	22	19	19	9	21	11
Média geométrica	131	16	24	19	20	9	17	11
Variação								
Desvio padrão	93	16	10	15	22	12	16	16
Méd - 1 desvpad	61	6	16	7	6	1	7	1
Méd + 1 desvpad	248	38	35	37	49	25	39	33
Percentis								
10%	67	5	14	11	8	4	6	3
25%	122	10	18	12	12	6	13	8
50%	140	19	22	19	19	9	21	11
75%	151	31	32	25	42	13	28	22
90%	273	42	34	33	52	28	42	34

Foram obtidos resultados amplamente satisfatórios em relação à remoção de DBO particulada no sistema como um todo. O Filtro 1 (brita 3), após a Lagoa 3, reduziu a concentração média de DBO particulada de 28 mg/L para 13 mg/L, produzindo um efluente com excelente qualidade em termos de DBO particulada. O Filtro 2 (pedra de mão), após a Lagoa 4, apresentou desempenho inferior, como se poderia esperar em virtude da maior granulometria, mas ainda assim satisfatório, com concentrações médias afluentes e efluentes de 23 mg/L e 17 mg/L, respectivamente.

A Figura 5.5 apresenta a variação das concentrações de DBO particulada nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2. No sistema proposto, mais de 90% dos dados obtidos das concentrações médias de DBO particulada afluente e efluente aos filtros foram inferiores a 60 mg/L e as medianas das concentrações de DBO particulada afluente e efluente foram inferiores a 20 mg/L.

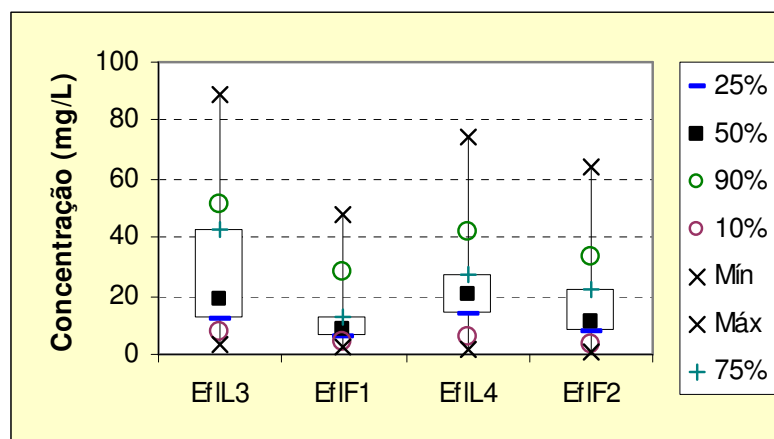


Figura 5.5 - Variação das concentrações de DBO particulada nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

A Figura 5.6 apresenta a variação das eficiências globais de DBO particulada no sistema. Observa-se que as eficiências médias globais nos Filtros 1 e 2 foram superior a 80%, com médias de 94 e 92% nos Filtros 1 e 2, respectivamente, indicando um excelente desempenho do sistema como um todo.

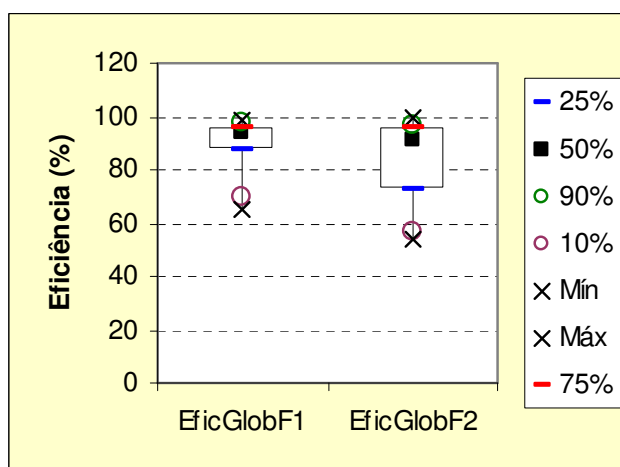


Figura 5.6 - Variação das eficiências globais de remoção de DBO particulada no sistema

5.1.2 Relação DBO filtrada/DBO total

Quanto à relação DBO filtrada/ DBO total, as médias podem ser vistas na Tabela 5.8.

Observa-se que a relação (DBO filtrada / DBO total) efluente tendeu a se elevar em comparação à relação (DBO filtrada / DBO total) afluente, mostrando que a participação da

matéria dissolvida em relação à particulada foi se elevando à medida que o esgoto foi sendo tratado no sistema.

Tabela 5.8 - Relação entre as concentrações médias de DBO filtrada e as concentrações médias de DBO total no sistema (mg/L)

	Esg Bruto	Efi UASB	Efi L1	Efi L2	Efi L3	Efi F1	Efi L4	Efi F2
Média DBO Total	235	46	38	36	40	27	37	32
Média DBO Filtrada	79	24	15	14	14	17	15	17
Relação DBO Filtrada / DBO Total	0,34	0,53	0,41	0,40	0,35	0,62	0,41	0,53

5.1.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

5.1.3.1 DQO Total

O teste de DQO visa medir o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química de compostos orgânicos (biodegradáveis e não biodegradáveis) presentes. Os valores obtidos são uma medida indireta do teor de matéria orgânica presente.

A Tabela 5.9 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO total.

Tabela 5.9 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO total em mg/L

	Esg Bruto	Efi UASB	Efi L1	Efi L2	Efi L3	Efi F1	Efi L4	Efi F2
Estatística								
Nº de dados	26	25	26	26	25	23	26	23
Média	377	132	160	154	203	97	189	107
Mínimo	157	36	50	63	44	41	51	21
Máximo	545	197	274	227	451	154	368	199
Coef. Var	0,25	0,30	0,29	0,32	0,47	0,30	0,46	0,43
Médias								
Média	377	132	160	154	203	97	189	107
Mediana	382	146	166	158	175	94	180	102
Média geométrica	364	125	153	145	181	92	168	96
Variação								
Desvio padrão	96	40	47	49	95	29	87	45
Méd - 1 desvpad	281	92	113	105	108	68	102	61
Méd + 1 desvpad	473	172	207	203	298	125	276	152
Percentis								
10%	241	83	103	93	103	66	86	55
25%	332	102	135	110	149	82	130	73
50%	382	146	166	158	175	94	180	102
75%	437	154	190	190	266	119	251	134
90%	488	176	205	217	323	133	300	164

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001, quanto aos lançamentos realizados direta ou indiretamente nos corpos de água pelos sistemas de tratamento de esgotos domésticos, o parâmetro DQO terá como limite máximo o valor (Tabela 3.3) de 90 mg/L ou o limite a que se referem só poderá ser ultrapassado quando o estudo de autodepuração comprovar que o sistema de tratamento reduz a carga poluidora dos efluentes, em termos de DQO em, no mínimo, 60%.

Os filtros de pedras promoveram uma importante remoção adicional de matéria orgânica completando a remoção efetuada pelo reator UASB, principalmente em relação ao Filtro 1.

O Filtro 1 (brita 3), após a Lagoa 3, reduziu a concentração média de DQO total de 203 mg/L para 97 mg/L, produzindo um efluente com boa qualidade em termos de DQO total. O Filtro 2 (pedra de mão), após a Lagoa 4, apresentou desempenho inferior, como se poderia esperar em virtude da maior granulometria, mas ainda assim satisfatório, com concentrações médias afluentes e efluentes de 189 mg/L e 107 mg/L, respectivamente.

Apesar de esses valores estarem superiores aos valores estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001 (90 mg/L), as eficiências globais nos sistemas com os Filtros 1 e 2 atenderam ao mínimo de eficiência estabelecido pela Deliberação (60%), tratando os esgotos com uma eficiência média de 74% (sistema com Filtro 1) e 70% (sistema com Filtro 2), conforme Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DQO total (% de remoção)

	Efic. UASB	Efic. L1	Efic. L2	Efic. L3	Efic. F1	Efic. L4	Efic. F2	Efic. Global c/ F1	Efic. Global c/ F2
Estatística									
Nº de dados	25	25	26	25	22	26	23	23	23
Média	63	-39	1	-29	46	-29	38	74	70
Mínimo	42	-433	-77	-114	-25	-292	-9	44	42
Máximo	93	56	50	58	70	43	72	88	94
Coef. Var	0,22	-2,42	31,34	-1,49	0,57	-2,44	0,60	0,13	0,21
Médias									
Média	63	-39	1	-29	46	-29	38	74	70
Mediana	61	-21	2	-18	55	-8	40	75	69
Variação									
Desvio padrão	14	93	28	43	26	72	23	10	14
Méd - 1 desvpad	49	-132	-27	-72	20	-101	15	65	55
Méd + 1 desvpad	77	55	29	14	72	42	62	84	84
Percentis									
10%	45	-82	-24	-95	21	-105	1	64	53
25%	52	-51	-11	-56	43	-62	26	72	61
50%	61	-21	2	-18	55	-8	40	75	69
75%	72	4	12	-2	62	15	59	81	81
90%	81	25	34	3	66	28	64	84	87

A Figura 5.7 apresenta a variação das concentrações de DQO total nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

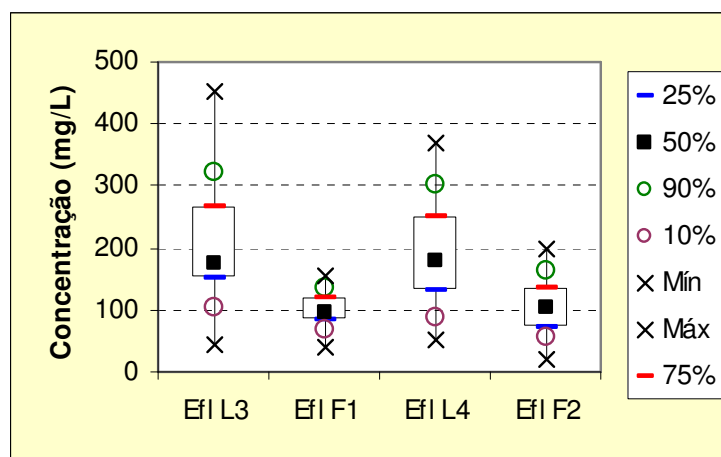


Figura 5.7 - Variação das concentrações de DQO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

De acordo com Queiroz (2001), as eficiências médias de remoção de DQO total encontradas em sua pesquisa, ao longo da segunda carreira, foram de 57%. Ao longo da terceira carreira,

as eficiências médias de remoção de DQO total foram de 55%. As taxas de aplicação na segunda e terceira carreiras foram de $0,08 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ e $0,16 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$, respectivamente.

De acordo com a Tabela 5.10, as eficiências médias globais de remoção de DQO total dos sistemas com os Filtros 1 e 2 foram de 74% e 70%, respectivamente. Comparando os resultados obtidos por Queiroz (2001) com os resultados encontrados na pesquisa, é possível verificar um excelente desempenho do sistema investigado. Os valores mínimo e máximo de eficiência global encontrados foram de 44% e 88% para o Filtro 1 e 42% e 94% para o Filtro 2.

A Figura 5.8 apresenta a variação das eficiências de DQO total nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

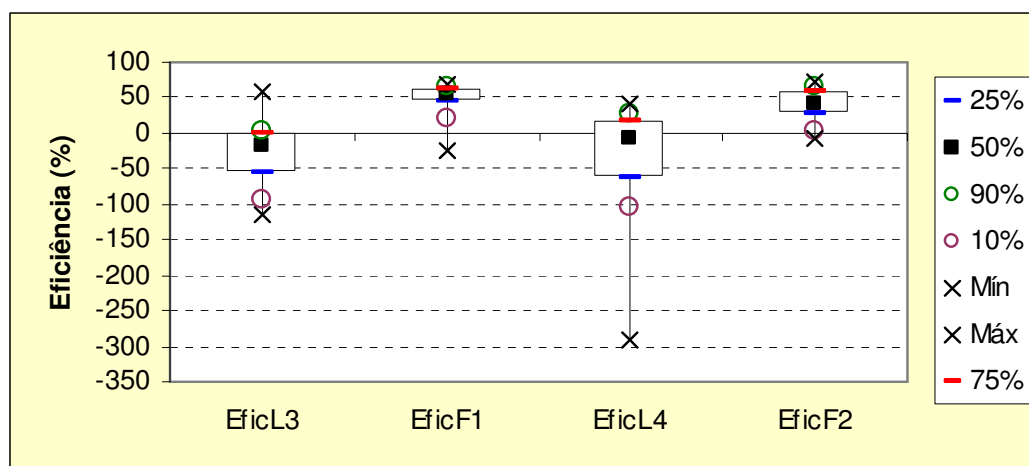


Figura 5.8 - Variação das eficiências de DQO total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

As eficiências negativas nas lagoas comprovam que as lagoas de polimento não são projetadas com o objetivo de remover a matéria orgânica. De maneira geral, as lagoas não promoveram uma importante remoção complementar. Dentre os fatores que influenciam a remoção de DQO nas lagoas de polimento destacam-se a TAH e o TDH.

Embora os Filtros 1 e 2 tenham sido projetados indiretamente para a remoção de matéria orgânica (ao remover SS, indiretamente, há remoção de matéria orgânica), promoveram uma importante remoção complementar no sistema.

As Figuras 5.9 e 5.10 mostram as séries temporais das concentrações de DQO total afluentes e efluentes nos Filtros 1 e 2, respectivamente. Foram inseridas linhas de tendências com médias móveis de 4 termos nos afluentes e efluente dos Filtros 1 e 2 para facilitar a análise do gráfico.

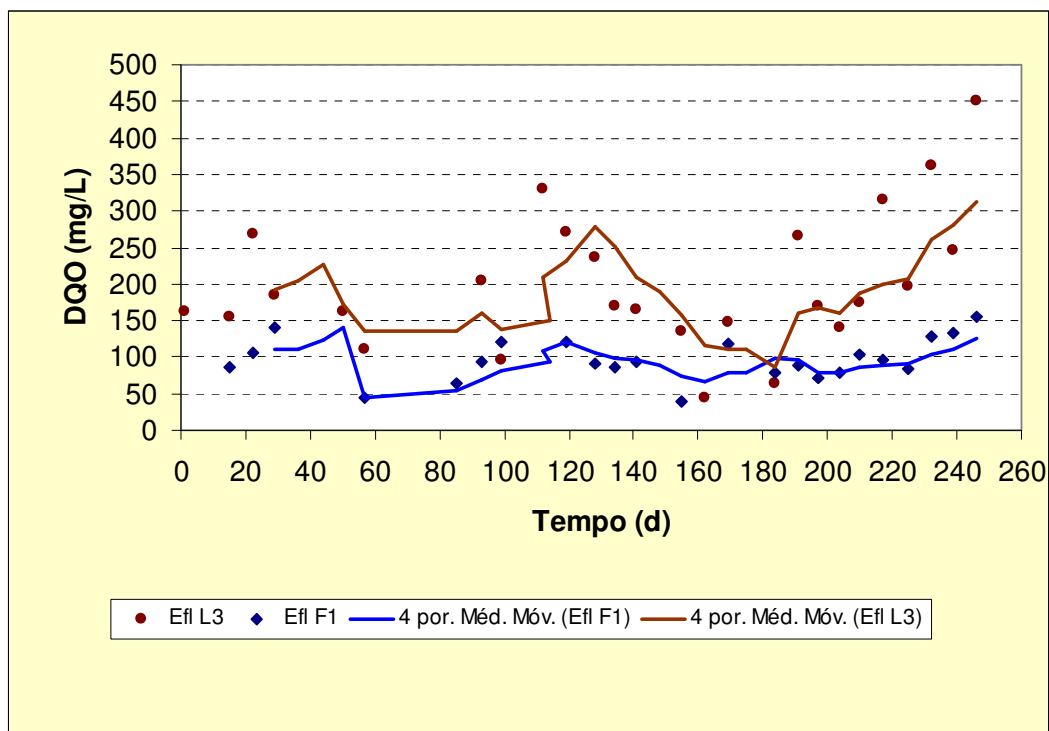


Figura 5.9 - Série temporal de DQO total – afluente e efluente ao Filtro 1

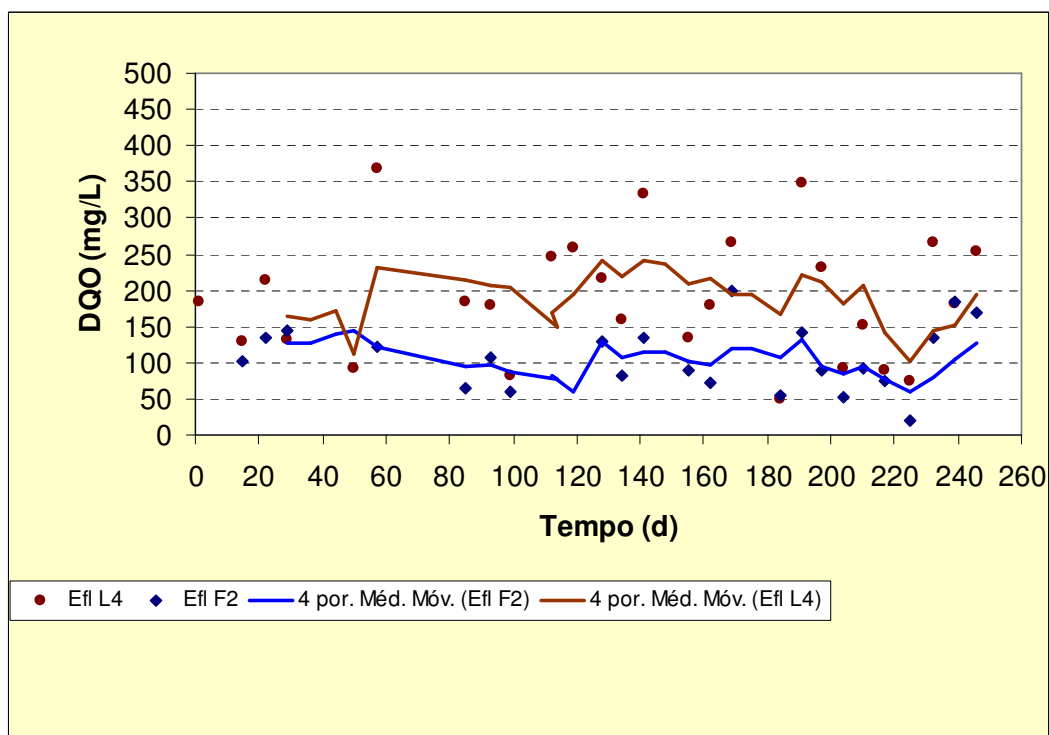


Figura 5.10 - Série temporal de DQO total – afluente e efluente ao Filtro 2

Observando a linha de tendência do Filtro 1 é possível se verificar uma relação entre o afluente (efluente da lagoa 3) e o efluente do filtro. Entretanto, entre os dias 120 e 140, este comportamento foi alterado. Conforme mencionado, neste período de tempo houve uma

interrupção no sistema para reformas das saídas dos filtros. Outra alteração na relação pode ser observada entre os dias 180 e 200.

Observando a linha de tendência do Filtro 2 é possível verificar uma relação entre o afluente (efluente da lagoa 4) e o efluente do filtro. Este comportamento foi alterado entre os dias 40 e 60.

5.1.3.2 DQO Filtrada

O estudo da DQO filtrada e da DQO particulada é de suma importância em tratamento de esgotos por meio de lagoas. A DQO total efluente das lagoas inclui a DQO filtrada remanescente do tratamento e a DQO particulada, sendo que a DQO particulada é proveniente principalmente de algas, que podem se desenvolver em abundância nas lagoas de polimento.

A Tabela 5.11 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO filtrada.

Tabela 5.11 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO filtrada em mg/L

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	24	25	23	24	24	22	25	21
Média	158	76	66	67	68	61	81	65
Mínimo	51	9	13	9	9	5	16	8
Máximo	428	129	149	139	132	119	242	141
Coef. Var	0,45	0,39	0,49	0,49	0,44	0,48	0,60	0,49
Médias								
Média	158	76	66	67	68	61	81	65
Mediana	140	79	66	67	65	62	67	64
Média geométrica	146	68	57	57	60	50	69	55
Variação								
Desvio padrão	71	29	32	33	30	29	48	32
Méd - 1 desvpad	87	47	33	34	38	32	33	33
Méd + 1 desvpad	229	105	98	100	97	90	130	97
Percentis								
10%	105	45	25	33	31	23	40	35
25%	120	56	42	43	52	45	45	40
50%	140	79	66	67	65	62	67	64
75%	176	97	89	91	82	76	103	78
90%	213	111	99	105	106	92	122	110

Os filtros contribuíram na remoção complementar de DQO filtrada, aumentando a eficiência global no sistema. Observa-se que houve um aumento não substancial das concentrações

médias nas lagoas. Os valores médios de DQO filtrada efluentes do sistema foram de 61 mg/L no Filtro 1 e de 65 mg/L no Filtro 2, com eficiências médias de 68% e 60%, respectivamente.

A relação entre (DQO total afluente subtraída da DQO filtrada efluente) e DQO total afluente foi utilizada para o cálculo das eficiências em relação à DBO filtrada. A Tabela 5.12 apresenta a estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DQO filtrada. As eficiências globais no sistema foram de 84% e 83% nos sistemas com os Filtros 1 e 2, respectivamente.

Tabela 5.12 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à DQO filtrada em % de remoção

	Efic. UASB	Efic. L1	Efic. L2	Efic. L3	Efic. F1	Efic. L4	Efic. F2	Efic. Global c/ F1	Efic. Global c/ F2
Estatística									
Nº de dados	25	22	24	24	21	25	21	22	21
Média	79	52	56	56	68	48	60	84	83
Mínimo	59	24	1	22	30	-42	12	68	68
Máximo	95	84	93	90	97	90	95	98	98
Coef. Var	0,13	0,40	0,42	0,27	0,24	0,54	0,36	0,10	0,11
Médias									
Média	79	52	56	56	68	48	60	84	83
Mediana	80	48	59	53	70	52	58	85	84
Variação									
Desvio padrão	10	21	23	15	17	26	22	8	9
Méd - 1 desvpad	69	31	32	40	51	22	39	76	74
Méd + 1 desvpad	89	73	79	71	84	73	82	92	92
Percentis									
10%	66	26	24	38	48	22	27	73	69
25%	74	36	42	50	57	41	50	79	77
50%	80	48	59	53	70	52	58	85	84
75%	86	68	72	64	80	61	78	89	89
90%	89	81	79	77	83	67	85	93	92

Nota: eficiências calculadas com base na DBO total afluente e DBO filtrada efluente

5.1.3.3 DQO Particulada

Com relação à DQO particulada, pode-se verificar uma melhor qualidade no efluente do Filtro 1 em comparação ao efluente do Filtro 2. Observa-se que as lagoas apresentaram concentrações médias de DQO particulada superiores às concentrações de DQO particulada do efluente do reator UASB.

Uma possível razão para o aumento é que a DQO particulada é proveniente principalmente de algas, que podem desenvolver-se em abundância em lagoas de polimento pelo aumento da radiação solar que cria condições para a realização da fotossíntese pelas algas.

A Tabela 5.13 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO particulada.

Tabela 5.13 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à DQO particulada em mg/L

	Esg Bruto	Ef UASB	Ef L1	Ef L2	Ef L3	Ef F1	Ef L4	Ef F2
Estatística								
Nº de dados	25	24	22	24	22	18	24	17
Média	227	58	103	88	146	42	113	51
Mínimo	102	9	22	8	32	12	13	11
Máximo	382	133	225	148	343	79	322	108
Coef. Var	0,36	0,56	0,42	0,50	0,60	0,53	0,73	0,65
Médias								
Média	227	58	103	88	146	42	113	51
Mediana	233	47	108	90	122	44	93	57
Média geométrica	212	49	93	72	120	36	83	40
Varição								
Desvio padrão	81	33	43	44	87	22	82	33
Méd - 1 desvpad	146	25	60	44	59	20	31	18
Méd + 1 desvpad	308	91	146	131	233	64	195	84
Percentis								
10%	113	22	55	29	47	14	20	16
25%	165	36	78	46	83	25	61	21
50%	233	47	108	90	122	44	93	57
75%	266	82	118	125	198	59	162	66
90%	342	99	144	137	260	74	184	97

As concentrações médias de DQO particulada dos Filtros 1 e 2 foram de 42 e 51 mg/L, respectivamente. Comparando estas concentrações com as concentrações médias de DQO particulada do esgoto bruto (227 mg/L), é possível perceber-se o excelente desempenho do sistema, com eficiências globais de remoção de DQO particulada acima de 80% nos sistemas com os filtros.

Apesar da proliferação das algas nas lagoas (aumento de DQO particulada), os filtros de pedra realizaram uma excelente remoção de DQO particulada no sistema. O Filtro 1 reduziu a concentração média de DQO particulada de 146 mg/L para 42 mg/L. No Filtro 2, esta redução foi de 113 mg/L para 51 mg/L. A Figura 5.11 apresenta a variação das concentrações de DQO particulada nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

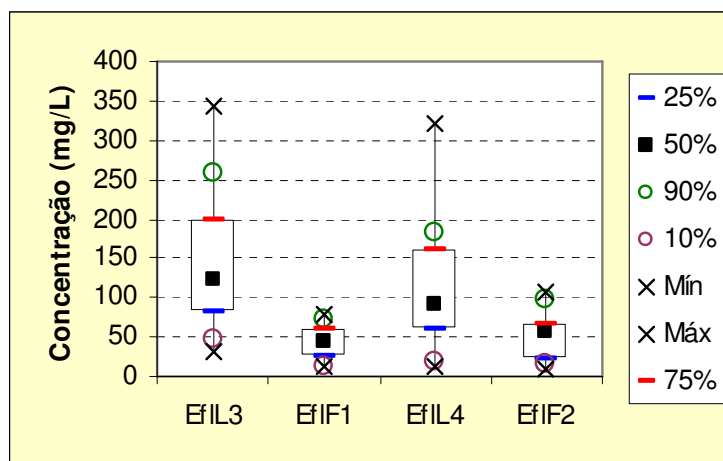


Figura 5.11 - Variação das concentrações de DQO particulada nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

A Figura 5.12 apresenta a variação das eficiências globais de DQO particulada no sistema.

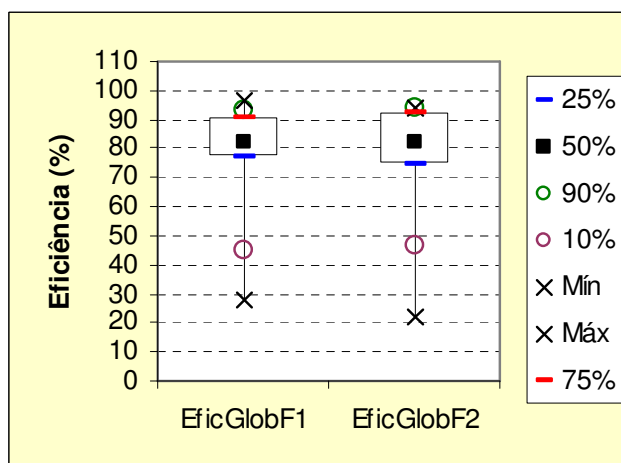


Figura 5.12 - Variação das eficiências globais de DQO particulada no sistema

Conforme Figura 5.12, as eficiências máximas no sistema foram superiores a 90%. Estes resultados comprovam o bom desempenho do sistema, principalmente em relação aos filtros de pedra, que exerceram uma função importante no sistema.

5.1.4 Relação DQO/DBO

Para esgotos domésticos brutos, a relação DQO/DBO varia em torno de 1,7 a 2,4 (VON SPERLING, 1996). Quando a relação é baixa, a fração biodegradável é elevada, provável

indicação para tratamento biológico. Quando a relação DQO/DBO é elevada, a fração inerte é elevada.

A Tabela 5.14 apresenta a relação entre as concentrações médias de DQO total e as concentrações médias de DBO total no sistema.

Tabela 5.14 - Relação entre as concentrações médias de DQO total e as concentrações médias de DBO total no sistema (mg/L)

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Média DBO Total	235	46	38	36	40	27	37	32
Média DQO Total	377	132	160	154	203	97	189	107
Relação DQO Total / DBO Total	1,60	2,88	4,22	4,25	5,08	3,60	5,05	3,33

A relação DQO/DBO variou à medida que o esgoto passou pelas diversas unidades de tratamento. Esta relação aumentou devido à redução da fração biodegradável, ao passo que a fração inerte permaneceu aproximadamente inalterada. Assim, o efluente final do tratamento biológico possuiu valores de DQO/DBO acima de 3,0.

Comparando as relações DQO/DBO encontradas na pesquisa com a relação DQO/DBO de 1,50 utilizando os limites impostos pela legislação ambiental (60 mg/L para DBO e 90 mg/L para DQO) é possível verificar a incoerência do valor adotado pela legislação ambiental ao utilizar como parâmetro limite DQO de 90 mg/L.

5.1.5 Sólidos em suspensão

5.1.5.1 Sólidos em suspensão totais (SST)

Foram obtidos resultados amplamente satisfatórios em relação à remoção de SST no sistema como um todo. Entretanto, uma melhor qualidade do efluente final foi observada no Filtro 1.

Houve uma redução da concentração de SS total de 108 mg/L para 26 mg/L, em relação ao afluente e efluente do Filtro 1 (brita 3), produzindo um efluente com excelente qualidade em termos de SS total. O Filtro 2 (pedra de mão), após a Lagoa 4, apresentou desempenho inferior, com concentrações médias afluentes e efluentes de 107 mg/L e 50 mg/L, respectivamente.

Com estas concentrações médias dos efluentes dos Filtros 1 e 2 é possível se atender aos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água da Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986, ou seja, valor limite de 60 mg/L em termos de sólidos em suspensão. Esta mesma Deliberação estabelece a concentração máxima diária de sólidos em suspensão de 100 mg/L. A concentração máxima diária no Filtro 1 foi de 60 mg/L, indicando um excelente desempenho em relação a remoção de SST.

A Tabela 5.15 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SST.

Tabela 5.15 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SST em mg/L

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	27	28	28	29	29	26	29	25
Média	187	60	84	72	108	26	107	50
Mínimo	111	22	30	19	41	10	24	16
Máximo	220	134	138	124	190	60	289	146
Coef. Var	0,14	0,50	0,29	0,37	0,34	0,51	0,56	0,67
Médias								
Média	187	60	84	72	108	26	107	50
Mediana	190	62	83	74	103	23	107	38
Média geométrica	185	53	81	66	101	23	92	42
Variação								
Desvio padrão	26	30	24	26	37	13	60	34
Méd - 1 desvpad	161	30	60	45	71	13	47	17
Méd + 1 desvpad	213	90	109	98	145	40	166	84
Percentis								
10%	167	27	59	37	55	12	37	21
25%	175	38	68	58	94	16	68	28
50%	190	62	83	74	103	23	107	38
75%	206	73	98	84	135	35	123	62
90%	213	96	117	104	153	45	163	79

As lagoas apresentaram concentrações médias de SST superiores às concentrações médias de SST do efluente do reator UASB. Este aumento deve ser proveniente principalmente de algas, que podem, conforme já mencionado, desenvolver-se em abundância em lagoas de polimento. A Tabela 5.16 apresenta a estatística descritiva das eficiências no sistema em relação ao SST.

Tabela 5.16 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação ao SST em % de remoção

	Efic. UASB	Efic. L1	Efic. L2	Efic. L3	Efic. F1	Efic. L4	Efic. F2	Efic. Global c/ F1	Efic. Global c/ F2
Estatística									
Nº de dados	25	25	27	28	26	28	25	23	22
Média	68	-80	10	-73	73	-77	48	85	72
Mínimo	28	-322	-107	-259	2	-557	-24	64	27
Máximo	89	71	77	66	92	67	82	94	92
Coef. Var	0,25	-1,26	3,95	-1,03	0,23	-1,79	0,66	0,09	0,25
Médias									
Média	68	-80	10	-73	73	-77	48	85	72
Mediana	69	-60	4	-61	76	-45	61	87	77
Variação									
Desvio padrão	17	101	41	75	17	139	32	8	18
Méd - 1 desvpad	51	-182	-30	-148	56	-216	16	78	54
Méd + 1 desvpad	85	21	51	2	90	61	80	93	90
Percentis									
10%	45	-214	-32	-150	61	-264	-10	76	55
25%	63	-128	-7	-136	71	-108	44	82	66
50%	69	-60	4	-61	76	-45	61	87	77
75%	82	-9	44	-21	82	6	68	91	85
90%	84	44	60	12	88	38	75	93	90

Apesar da proliferação das algas nas lagoas (aumento de SST), os filtros de pedra realizaram uma excelente remoção de SST. A eficiência média de remoção de SST no Filtro 1 foi de 73% com uma eficiência média global de remoção de SST no sistema de 85% e no Filtro 2, estes valores foram de 48% e 72%, respectivamente. A Figura 5.13 apresenta a variação das concentrações de SST nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2, ao passo que a Figura 5.14 apresenta a variação das eficiências de remoção de SST nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

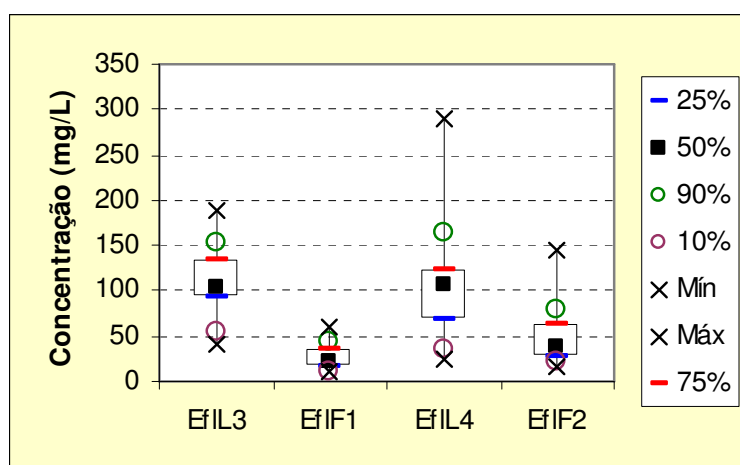


Figura 5.13 - Variação das concentrações de SST nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

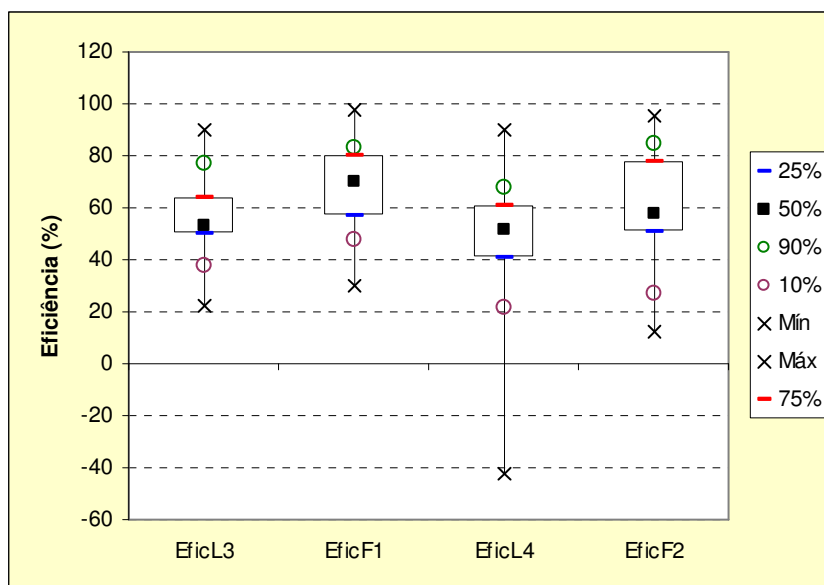


Figura 5.14 - Variação das eficiências de SST nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

As Figuras 5.15 e 5.16 mostram as séries temporais das concentrações de SST afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2, respectivamente. Foram inseridas linhas de tendências com médias móveis de 4 termos nos afluentes e efluente dos Filtros 1 e 2 para facilitar análise do gráfico.

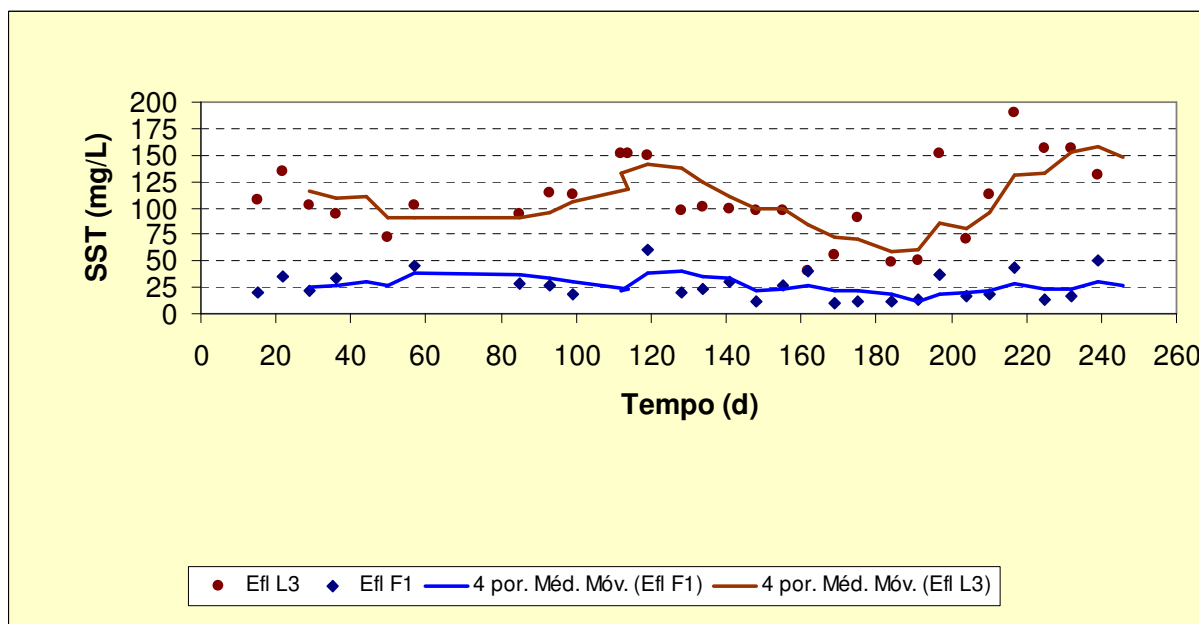


Figura 5.15 - Série temporal de SST – afluente e efluente ao Filtro 1

Observando as linhas de tendências do Filtro 1 é possível verificar alguma relação entre o afluente e o efluente do filtro em relação ao SST.

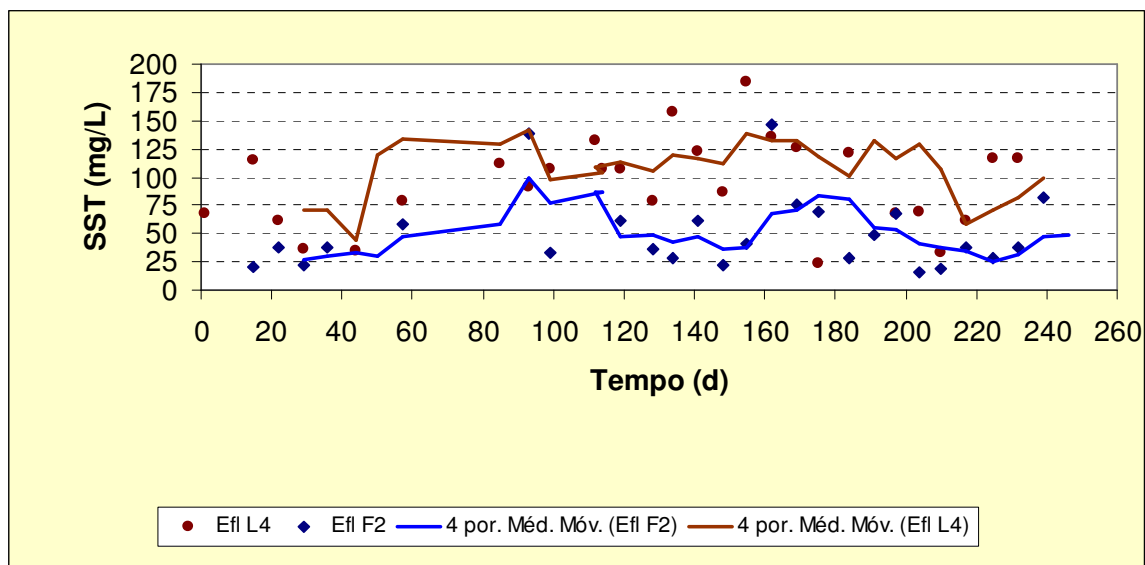


Figura 5.16 - Série temporal de SST – afluente e efluente ao Filtro 2

No Filtro 2 é possível verificar uma certa independência com relação às concentrações afluentes e efluentes, ou seja, não há uma relação entre o afluente e o efluente do filtro em relação ao SST.

5.1.5.2 Sólidos em suspensão fixos (SSF)

Os sólidos não voláteis, ou seja, fixos ou inertes, representam uma estimativa da matéria inorgânica ou mineral nos sólidos. De acordo com a Tabela 5.17, as concentrações médias de SSF nas lagoas 3 e 4, que estão em paralelo, aumentaram. As eficiências médias globais nos Filtros 1 e 2 foram baixas.

A Tabela 5.17 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SSF.

Tabela 5.17 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SSF em mg/L

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	24	26	26	27	28	23	27	22
Média	30	18	9	10	16	10	16	12
Mínimo	11	2	2	2	2	3	2	2
Máximo	70	48	28	24	52	24	85	72
Coef. Var	0,42	0,52	0,72	0,52	0,70	0,57	0,96	1,25
Médias								
Média	30	18	9	10	16	10	16	12
Mediana	30	17	6	10	13	9	12	6
Média geométrica	28	15	7	9	13	9	12	8
Variação								
Desvio padrão	13	9	7	5	11	6	15	15
Méd - 1 desvpad	18	8	3	5	5	4	1	-3
Méd + 1 desvpad	43	27	16	16	26	16	31	27
Percentis								
10%	17	10	4	5	5	4	7	3
25%	20	12	4	7	9	6	9	4
50%	30	17	6	10	13	9	12	6
75%	38	21	14	15	18	14	17	16
90%	41	26	19	17	31	19	24	22

5.1.5.3 Sólidos em suspensão voláteis (SSV)

Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos. A Tabela 5.18 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SSV.

Tabela 5.18 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação ao SSV em mg/L

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	25	27	27	27	28	23	28	23
Média	136	44	73	60	92	17	91	40
Mínimo	40	8	20	15	25	4	12	8
Máximo	194	108	108	104	175	45	238	118
Coef. Var	0,33	0,60	0,28	0,42	0,42	0,68	0,57	0,65
Médias								
Média	136	44	73	60	92	17	91	40
Mediana	154	43	78	56	90	14	92	35
Média geométrica	126	36	70	54	83	14	76	33
Variação								
Desvio padrão	44	26	21	25	38	12	52	26
Méd - 1 desvpad	92	17	53	35	53	6	39	14
Méd + 1 desvpad	180	70	94	85	130	29	144	67
Percentis								
10%	61	12	47	26	45	5	34	15
25%	129	26	60	44	66	8	51	22
50%	154	43	78	56	90	14	92	35
75%	164	56	89	77	122	25	111	56
90%	176	75	95	95	140	33	152	69

As concentrações médias afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 comprovam o excelente desempenho do sistema em relação à remoção de SSV. As eficiências médias globais nestes filtros foram de 82% e 65%, respectivamente.

5.1.6 Relação DBO particulada/SST e DQO particulada/SST

A Tabela 5.19 apresenta a relação entre as concentrações médias de DBO particulada e as concentrações médias de SST.

Tabela 5.19 - Relação entre as concentrações médias de DBO particulada e as concentrações médias de SST no sistema (mg/L)

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Média DBO Particulada	155	22	25	22	28	13	23	17
Média SST	187	60	84	72	108	26	107	50
Relação DBO Particulada / SST	0,83	0,36	0,30	0,31	0,25	0,48	0,21	0,34

Segundo Mara (1995) *apud* von Sperling (2002), os sólidos em suspensão em lagoas facultativas são em torno de 60 a 90% algas. Cada 1mg de algas gera uma DBO em torno de 0,45 mg. Desta forma, 1 mg/L de sólidos em suspensão no efluente é capaz de gerar uma DBO na faixa de 0,3 a 0,4 mgDBO/L.

A Tabela 5.20 apresenta a relação entre as concentrações médias de DQO particulada e as concentrações médias de SST.

Tabela 5.20 - Relação entre as concentrações médias de DQO particulada e as concentrações médias de SST no sistema (mg/L)

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Média DQO Particulada	227	58	103	88	146	42	113	51
Média SST	187	60	84	72	108	26	107	50
Relação DQO Particulada / SST	1,21	0,97	1,22	1,22	1,35	1,60	1,05	1,02

Segundo von Sperling (2002), alguns dados de monitoramento na região sudeste do Brasil conduziram aos seguintes valores, expressos em termos de DQO: 1 mgSS/L = 1,0 a 1,5 mgDQO/L.

5.1.7 Relação SSV/SST

A Tabela 5.21 apresenta a relação entre as concentrações médias de SSV e as concentrações médias de SST.

A análise destas relações indica elevada presença de sólidos de natureza orgânica nas unidades de tratamento. Os menores valores da relação SSV/SST no efluente do Filtro 2 indicam mineralização parcial da fração orgânica componente dos sólidos.

Tabela 5.21 - Relação entre as concentrações médias de SSV e as concentrações médias de SST no sistema (mg/L)

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Média SSV	136	44	73	60	92	17	91	40
Média SST	187	60	84	72	108	26	107	50
Relação SSV / SST	0,73	0,73	0,87	0,83	0,85	0,65	0,85	0,81

5.1.8 Correlação entre SST/Turbidez

Visando analisar a possibilidade de se monitorar o sistema por meio de um teste simples, como a turbidez, foram feitas medições simultâneas de turbidez e SST, e buscou-se estabelecer uma relação entre ambos. O presente item analisa os resultados a montante e jusante dos filtros.

È possível se observar alguma relação nos pontos a montante dos filtros (Figuras 5.17 e 5.19), nos quais os SST são compostos principalmente por algas. Para os pontos a jusante dos filtros (Figuras 5.18 e 5.20), não há relação aparente, talvez pela alteração da natureza dos sólidos.

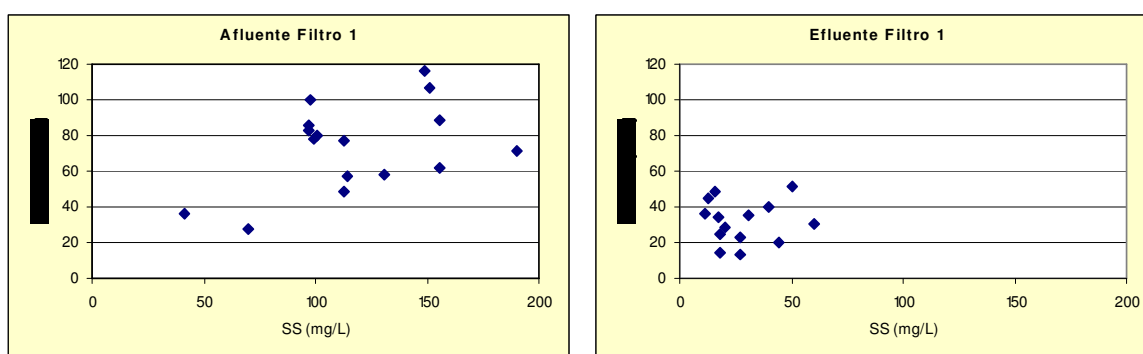


Figura 5.17 e Figura 5.18 - Relações SST/Turbidez afluente e efluente do Filtro 1.

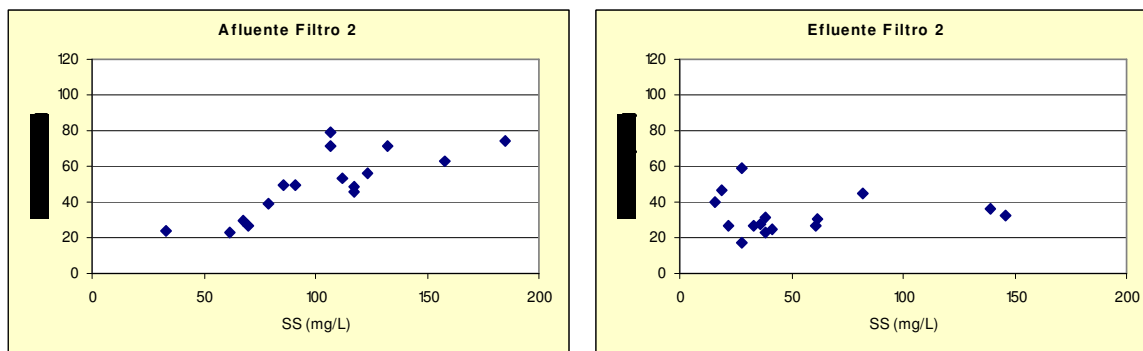


Figura 5.19 e Figura 5.20 - Relações SST/Turbidez afluente e efluente do Filtro 2.

5.2 Avaliação da remoção de coliformes

A Tabela 5.22 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação a *Escherichia coli*.

A concentração média de *E. coli* do esgoto bruto esteve próxima do limite superior da faixa citada na literatura (10^5 a 10^9 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes), no que se refere a esgotos domésticos.

Tabela 5.22 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação a *E. coli* (nºorg/100 mL)

	Esg Bruto	Efl UASB	Efl L1	Efl L2	Efl L3	Efl F1	Efl L4	Efl F2
Estatística								
Nº de dados	25	26	27	27	27	25	27	24
Média geométrica	2,03E+08	4,24E+07	2,29E+05	3,34E+04	1,00E+03	4,50E+02	6,31E+02	3,70E+02
Mínimo	3,80E+07	1,00E+06	7,40E+03	2,80E+03	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
Máximo	7,70E+08	1,60E+08	1,10E+06	3,90E+05	2,40E+04	4,30E+04	2,40E+04	3,00E+04
Coef. Var	0,64	0,74	0,83	1,29	1,57	2,21	1,83	1,99
Médias								
Média	2,54E+08	6,81E+07	4,03E+05	7,90E+04	4,53E+03	4,54E+03	3,46E+03	3,70E+03
Mediana	2,20E+08	7,60E+07	3,40E+05	2,50E+04	1,40E+03	6,20E+02	1,20E+03	1,05E+03
Média geométrica	2,03E+08	4,24E+07	2,29E+05	3,34E+04	1,00E+03	4,50E+02	6,31E+02	3,70E+02
Variação								
Desvio padrão	1,63E+08	5,01E+07	3,34E+05	1,02E+05	7,10E+03	1,00E+04	6,32E+03	7,35E+03
Méd - 1 desvpad	9,10E+07	1,80E+07	6,84E+04	-2,33E+04	-2,57E+03	-5,48E+03	-2,86E+03	-3,65E+03
Méd + 1 desvpad	4,16E+08	1,18E+08	7,37E+05	1,81E+05	1,16E+04	1,46E+04	9,78E+03	1,10E+04
Percentis								
10%	7,40E+07	1,20E+07	3,18E+04	5,86E+03	9,26E+01	2,00E+01	8,24E+01	8,20E+00
25%	1,40E+08	1,78E+07	1,17E+05	1,03E+04	2,65E+02	6,30E+01	1,55E+02	4,75E+01
50%	2,20E+08	7,60E+07	3,40E+05	2,50E+04	1,40E+03	6,20E+02	1,20E+03	1,05E+03
75%	3,70E+08	8,75E+07	5,65E+05	9,90E+04	3,35E+03	2,60E+03	2,40E+03	2,73E+03
90%	4,10E+08	1,55E+08	9,88E+05	2,18E+05	1,64E+04	1,46E+04	1,07E+04	1,14E+04

Não existe padrão de lançamento de efluentes quanto a coliformes termotolerantes, porém há o padrão de qualidade do corpo receptor, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 de 1×10^3 NMP/100 mL para os corpos receptores classe 2 (que corresponde à maioria dos rios de Minas Gerais). Adicionalmente, segundo as diretrizes da OMS, um efluente com menos de 1×10^3 NMP/100 mL pode ser usado na irrigação irrestrita de vegetais ingeridos crus.

A Tabela 5.23 apresenta a estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à *Escherichia coli*.

Quanto à remoção de *E. coli* foram obtidos resultados excelentes no sistema. A eficiência global no sistema com o Filtro 1 foi de 5,68 unidades logarítmicas removidas e no sistema com o Filtro 2 foi de 5,82 unidades logarítmicas removidas, equivalente a eficiências médias de 99,99979% e 99,99985%, respectivamente.

O reator UASB foi responsável, em média, pela remoção de 0,71 unidade log removida. Como já era esperado, evidencia-se a grande necessidade de pós-tratamento de seu efluente, quanto à remoção de organismos patogênicos.

Tabela 5.23 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à *E. coli* (unidades log removida)

	Efic. UASB	Efic. L1	Efic. L2	Efic. L3	Efic. F1	Efic. L4	Efic. F2	Efic. Global c/ F1	Efic. Global c/ F2
Estatística									
Nº de dados	24	26	27	27	25	27	24	23	22
Média	0,71	2,21	0,84	1,52	0,44	1,72	0,41	5,68	5,82
Mínimo	-0,02	0,97	0,00	0,58	-2,63	0,71	-3,38	3,24	4,04
Máximo	2,15	3,44	1,77	3,45	2,30	3,98	3,08	8,61	8,49
Coef. Var	0,73	0,28	0,58	0,47	2,50	0,44	3,11	0,23	0,22
Médias									
Média	0,71	2,21	0,84	1,52	0,44	1,72	0,41	5,68	5,82
Mediana	0,57	2,32	0,72	1,48	0,43	1,66	0,26	5,72	5,52
Variação									
Desvio padrão	0,51	0,63	0,49	0,72	1,10	0,76	1,26	1,29	1,26
Méd - 1 desvpad	0,19	1,58	0,35	0,81	-0,66	0,96	-0,86	4,39	4,56
Méd + 1 desvpad	1,22	2,84	1,32	2,24	1,54	2,49	1,67	6,97	7,07
Percentis									
10%	0,18	1,47	0,29	0,76	-1,16	0,96	-0,45	4,11	4,58
25%	0,40	1,75	0,53	1,00	0,20	1,26	-0,18	4,92	4,97
50%	0,57	2,32	0,72	1,48	0,43	1,66	0,26	5,72	5,52
75%	1,06	2,61	1,11	1,80	1,00	1,84	0,79	6,49	6,49
90%	1,28	2,82	1,59	2,46	1,64	2,72	1,95	7,25	7,93

O desempenho das lagoas de polimento foi excelente. Nas lagoas 1 e 2, as remoções foram de 2,21, e 0,84 unidades log removidas, respectivamente. Nas lagoas 3 e 4, em paralelo, as remoções foram de 1,52 e 1,72 unidades log removidas, respectivamente.

A eficiência média de remoção de *E. coli* no Filtro 1 foi de 0,44 unidades log removidas e no Filtro 2 de 0,41 unidades log removidas. Estes valores encontrados correspondem a 61,10% e 63,69% de remoção, respectivamente e encontram-se dentro de uma faixa esperada, já que os filtros não foram inseridos com a função de remover organismos patogênicos.

As Figuras 5.21 e 5.22 apresentam a variação das concentrações e a variação das eficiências de *E. coli* no sistema.

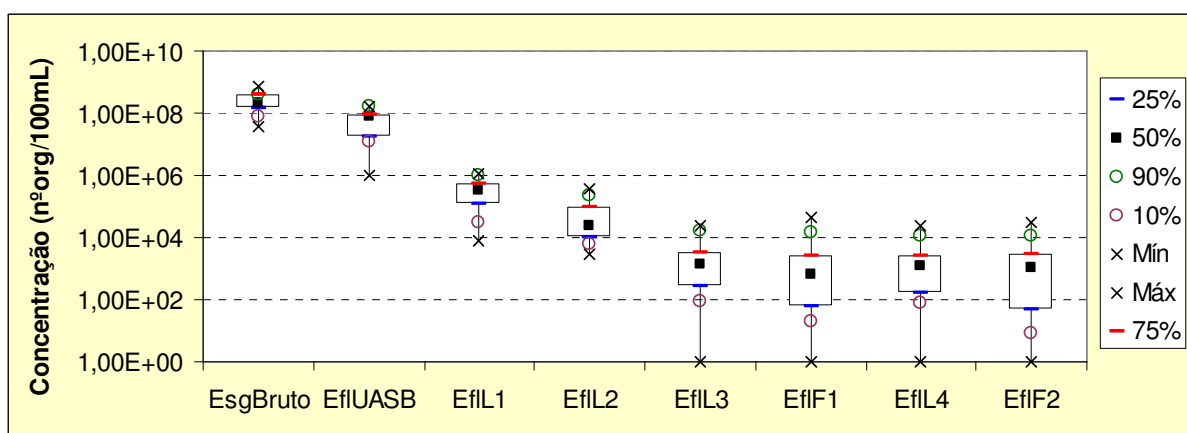


Figura 5.21 - Variação das concentrações de *E. coli* no sistema

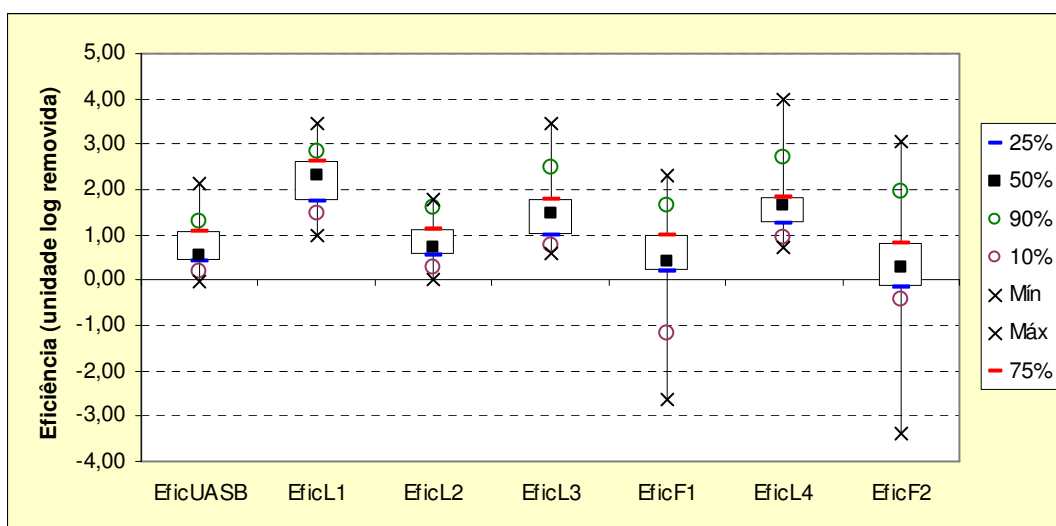


Figura 5.22 - Variação das eficiências de *E. coli* no sistema

As Figuras 5.23 e 5.24 mostram as séries temporais das concentrações de *E. coli* afluentes e efluentes nos Filtros 1 e 2, respectivamente. Foram inseridas linhas de tendências com médias móveis de 4 termos nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 para facilitar a análise do gráfico.

Observando as linhas de tendências dos Filtros 1 e 2 é possível verificar uma boa relação entre o afluente e o efluente de cada filtro em relação à concentração de *E. coli*, bem como a esperada baixa remoção nos filtros.

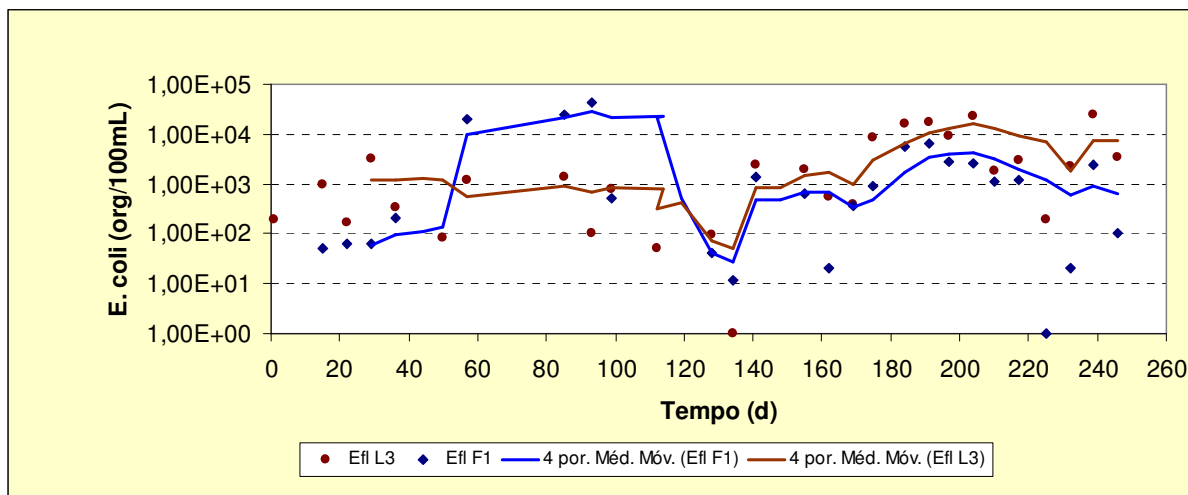


Figura 5.23 - Série temporal de *E. coli* – afluente e efluente ao Filtro 1

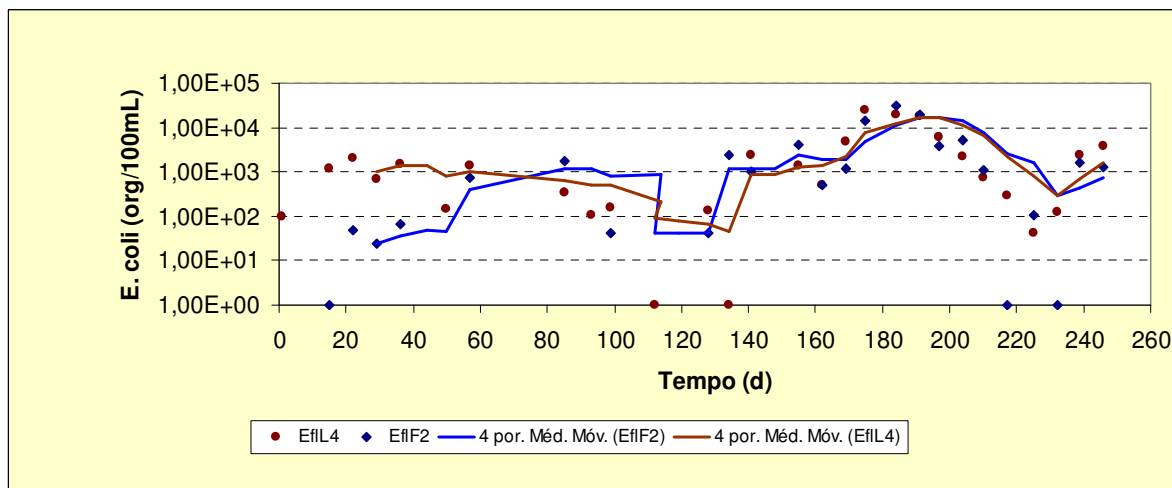


Figura 5.24 - Série temporal de *E. coli* – afluente e efluente ao Filtro 2

A Tabela 5.24 apresenta a estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à coliforme total.

Tabela 5.24 - Estatística descritiva das concentrações no sistema em relação à coliforme total (CF/100 mL)

	Esg Bruto	Efñ UASB	Efñ L1	Efñ L2	Efñ L3	Efñ F1	Efñ L4	Efñ F2
Estatística								
Nº de dados	27	28	29	29	29	26	29	24
Média	9,09E+08	1,84E+08	8,06E+05	2,01E+05	2,10E+04	1,80E+04	1,97E+04	1,37E+04
Mínimo	1,30E+08	1,80E+07	5,00E+04	1,20E+04	1,40E+03	1,20E+03	5,60E+02	4,40E+02
Máximo	2,40E+09	1,00E+09	2,40E+06	2,40E+06	2,40E+05	2,40E+05	2,40E+05	2,40E+05
Coef. Var	0,58	0,85	0,69	1,42	1,52	1,51	1,49	1,39
Médias								
Média	1,12E+09	2,98E+08	1,19E+06	4,43E+05	5,31E+04	5,05E+04	5,91E+04	7,46E+04
Mediana	9,80E+08	2,60E+08	1,00E+06	1,70E+05	2,40E+04	2,40E+04	2,40E+04	1,69E+04
Média geométrica	9,09E+08	1,84E+08	8,06E+05	2,01E+05	2,10E+04	1,80E+04	1,97E+04	1,37E+04
Variação								
Desvio padrão	6,50E+08	2,54E+08	8,21E+05	6,27E+05	8,08E+04	7,61E+04	8,80E+04	1,03E+05
Méd - 1 desvpad	4,72E+08	4,35E+07	3,68E+05	-1,84E+05	-2,76E+04	-2,57E+04	-2,89E+04	-2,88E+04
Méd + 1 desvpad	1,77E+09	5,52E+08	2,01E+06	1,07E+06	1,34E+05	1,27E+05	1,47E+05	1,78E+05
Percentis								
10%	2,94E+08	3,69E+07	1,48E+05	4,88E+04	4,84E+03	2,15E+03	2,40E+03	1,28E+03
25%	7,70E+08	8,68E+07	4,60E+05	1,10E+05	1,00E+04	8,08E+03	8,20E+03	2,35E+03
50%	9,80E+08	2,60E+08	1,00E+06	1,70E+05	2,40E+04	2,40E+04	2,40E+04	1,69E+04
75%	1,35E+09	4,90E+08	1,80E+06	3,30E+05	2,40E+04	3,38E+04	2,40E+04	1,88E+05
90%	2,00E+09	6,22E+08	2,40E+06	1,44E+06	2,08E+05	1,90E+05	2,40E+05	2,40E+05

Foram obtidos bons resultados quanto à remoção de coliforme total no sistema. A eficiência global no Filtro 1 foi de 4,79 unidades logarítmicas e no Filtro 2 foi de 4,95 unidades logarítmicas, equivalente a eficiência média de 99,9984% e 99,9989%, respectivamente.

A eficiência média de remoção de coliforme no Filtro 1 foi de 0,14 unidade log removida e no Filtro 2 de 0,32 unidade log removida. Estes valores encontrados correspondem a 27,56 e 52,14% de remoção, respectivamente e representam bons resultados já que os filtros não foram inseridos com a função de remover organismos patogênicos.

A Tabela 5.25 apresenta a estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à coliforme total.

Tabela 5.25 - Estatística descritiva das eficiências no sistema em relação à coliforme total (unidade log removida)

	Efic. UASB	Efic. L1	Efic. L2	Efic. L3	Efic. F1	Efic. L4	Efic. F2	Efic. Global F1	Efic. Global F2
Estatística									
Nº de dados	25	28	28	27	21	26	12	24	22
Média	0,76	2,32	0,59	0,98	0,14	1,01	0,32	4,79	4,95
Mínimo	0,14	1,11	-0,45	-0,68	-1,13	-0,68	-1,00	3,36	3,36
Máximo	1,86	3,34	1,86	3,00	1,72	2,90	1,34	6,00	6,36
Coef. Var	0,62	0,22	0,97	0,83	5,81	0,82	2,34	0,16	0,18
Médias									
Média	0,76	2,32	0,59	0,98	0,14	1,01	0,32	4,79	4,95
Mediana	0,65	2,44	0,65	0,92	-0,02	0,92	0,25	4,83	5,03
Variação									
Desvio padrão	0,47	0,51	0,57	0,82	0,79	0,83	0,75	0,76	0,91
Méd - 1 desvpad	0,29	1,81	0,01	0,16	-0,65	0,18	-0,43	4,03	4,04
Méd + 1 desvpad	1,22	2,82	1,16	1,80	0,92	1,84	1,08	5,56	5,85
Percentis									
10%	0,25	1,60	-0,12	-0,09	-1,00	0,06	-0,55	3,93	3,77
25%	0,33	2,02	0,20	0,48	-0,23	0,63	-0,15	4,37	4,09
50%	0,65	2,44	0,65	0,92	-0,02	0,92	0,25	4,83	5,03
75%	1,23	2,68	0,99	1,49	0,77	1,25	1,05	5,19	5,60
90%	1,40	2,76	1,27	1,89	1,00	1,98	1,15	5,87	5,99

A Figura 5.25 apresenta a variação das concentrações de coliforme total nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

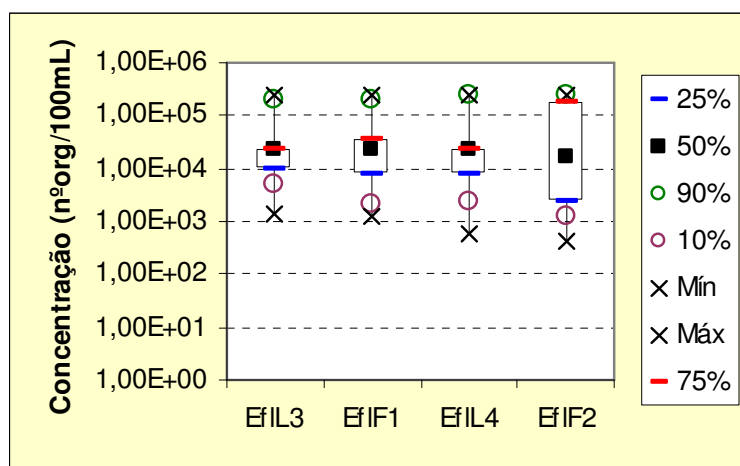


Figura 5.25 - Variação das concentrações de coliforme total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

A Figura 5.26 apresenta a variação das eficiências de coliforme total nas lagoas 3 e 4 e Filtros 1 e 2.

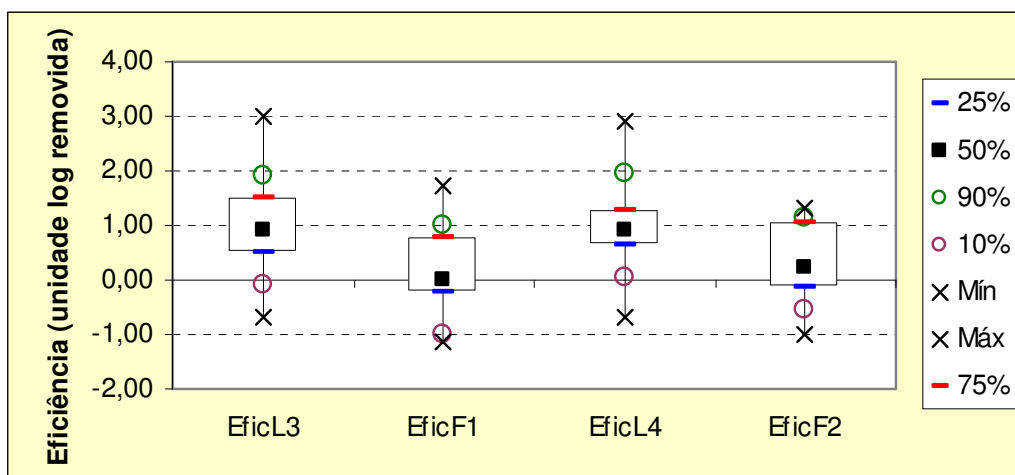


Figura 5.26 - Variação das eficiências de coliforme total nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2

5.3 Avaliação ao atendimento à legislação ambiental

As Figuras 5.27 a 5.30 apresentam as distribuições de freqüências acumuladas de concentrações dos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação a DBO total, DQO total, sólidos em suspensão e *E. coli*.

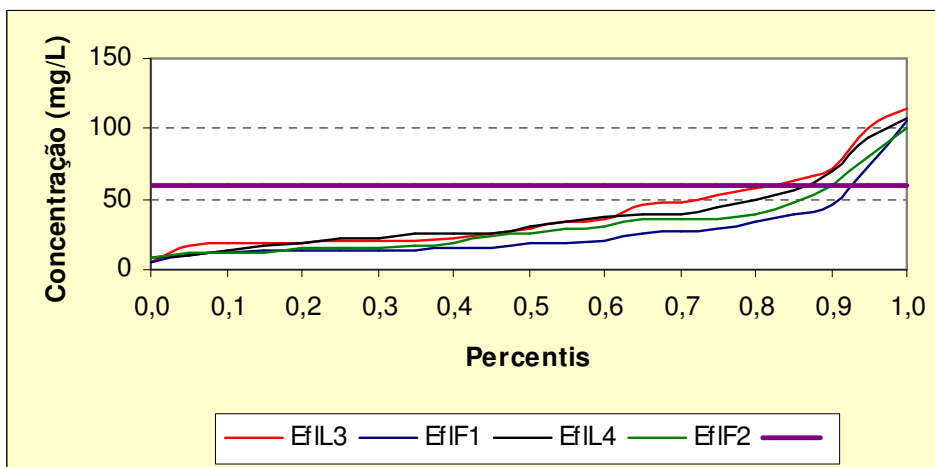


Figura 5.27 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação à DBO total

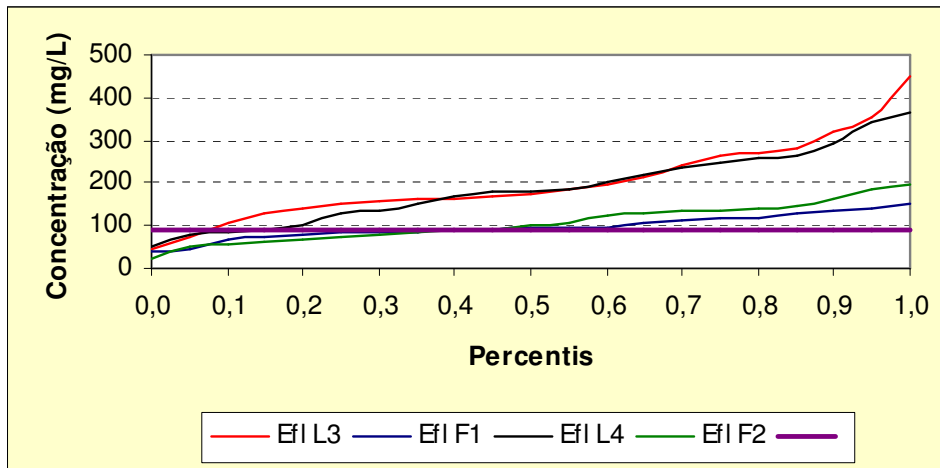


Figura 5.28 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação à DQO total

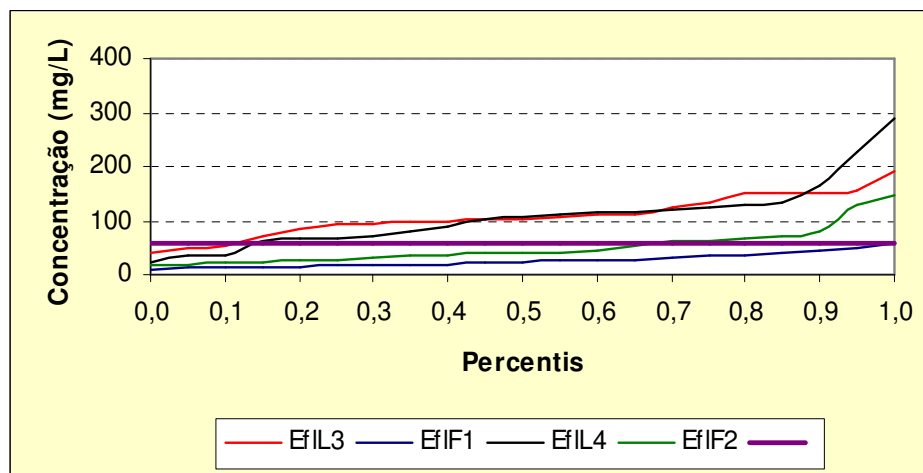


Figura 5.29 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação ao SST

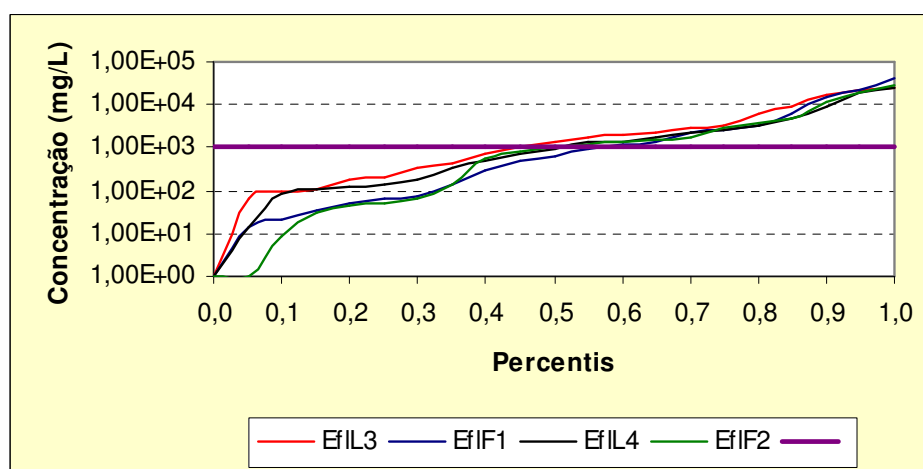


Figura 5.30 - Distribuição de freqüências acumuladas de concentrações nos afluentes e efluentes dos Filtros 1 e 2 em relação a *E. coli*

As concentrações médias dos efluentes dos Filtros 1 e 2 atenderam aos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água da Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001, ou seja, valor limite de 60 mg/L em termos de DBO, ou quando o estudo de autodepuração comprovar que o sistema de tratamento reduz a carga poluidora dos efluentes, eficiência de remoção de no mínimo de 60%.

Os filtros de pedras promoveram uma importante remoção adicional de matéria orgânica completando a remoção efetuada pelo reator UASB, principalmente em relação ao Filtro 1. De acordo com a Figura 5.27, os filtros obtiveram um excelente desempenho em relação a DBO total, ou seja, mais de 80% dos resultados obtidos ficaram abaixo de 50 mg/L.

Em termos de DQO, o limite máximo é de 90 mg/L ou o limite a que se referem só poderá ser ultrapassado quando o estudo de autodepuração comprovar que o sistema de tratamento reduz a carga poluidora dos efluentes, em termos de DQO em, no mínimo, 60%, os filtros 1 e 2 também obtiveram excelentes resultados, desempenhando um papel importante na remoção de matéria orgânica (Figura 5.28).

Em relação a concentração de SST nos filtros, é possível atender aos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água da Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986, ou seja, valor limite de 60 mg/L em termos de sólidos em suspensão. Esta mesma Deliberação estabelece a concentração máxima diária de sólidos em suspensão de 100 mg/L. A concentração máxima diária no Filtro 1 foi de 60 mg/L, indicando um excelente desempenho em relação a remoção de SST. O Filtro 1 exerceu uma excelente remoção de SST, ou seja, 100% dos valores estiveram abaixo de 100 mg/L. No Filtro 2, mais de 90% dos resultados obtidos ficaram abaixo de 100 mg/L.

Conforme mencionado, não existe padrão de lançamento de efluentes quanto a coliformes termotolerantes, porém há o padrão de qualidade do corpo receptor, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 de 1×10^3 NMP/100 mL para os corpos receptores classe 2 (que corresponde à maioria dos rios de Minas Gerais). Quanto à remoção de *E. coli* foram obtidos excelentes resultados. A eficiência global no sistema com o Filtro 1 foi de 5,68 unidades logarítmicas removidas e no sistema com o Filtro 2 foi de 5,82 unidades logarítmicas removidas, equivalente a eficiências médias de 99,99979% e 99,99985%, respectivamente.

A Figura 5.31 apresenta as porcentagens de atendimento aos padrões ambientais do sistema, como um todo, em relação à DBO total, à DQO total, aos SST e a *E. coli*.

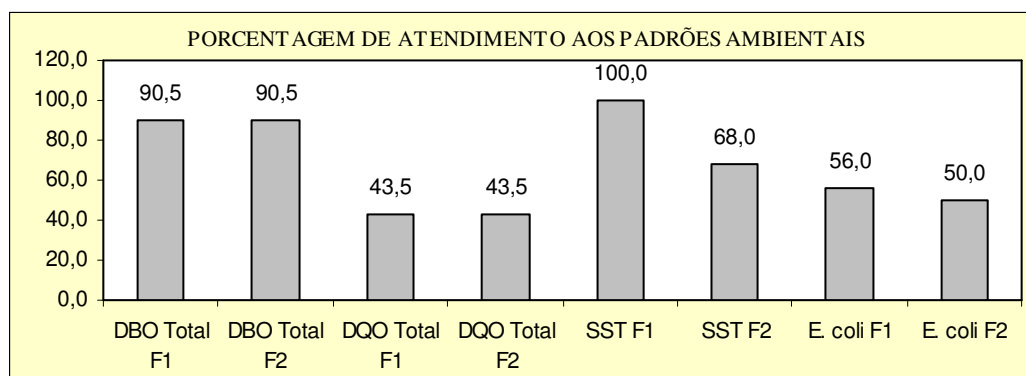


Figura 5.31 - Porcentagem de atendimento aos padrões ambientais em relação à DBO total, à DQO total, aos SST e à *E. coli*

Os filtros obtiveram um excelente desempenho em relação à DBO total. Mais de 90% dos resultados obtidos atenderam aos padrões estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001.

Apesar do padrão estabelecido pela Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001 em relação a DQO (90 mg/L) ser muito alto, os Filtros 1 e 2 atenderam ao mínimo de eficiência estabelecido pela Deliberação (60%), tratando os esgotos com uma eficiência média de 74% (sistema com Filtro 1) e 70% (sistema com Filtro 2). De acordo com a Figura 5.32, 43,5% dos valores atendem aos padrões ambientais.

Os filtros de pedra permitiram uma remoção de grande parte dos sólidos em suspensão e 100% (Filtro 1) e 68% (Filtro 2) atenderam às exigências dos órgãos ambientais quanto à qualidade do efluente. Destaca-se aqui o excelente desempenho do Filtro 1.

Em relação a *E. coli*, os filtros de pedra atenderam a 56% (Filtro 1) e 50% (Filtro 2) aos padrões ambientais. Estes resultados podem ser considerados bons resultados.

5.4 Comparação estatística entre os desempenhos dos Filtros 1 e 2

De forma a se comparar o desempenho dos Filtros 1 e 2, foi efetuada uma análise estatística para as concentrações efluentes e eficiências de remoção de ambos os filtros. O teste empregado foi o da comparação de médias pelo teste t, de Student, para amostras pareadas. Empregou-se o teste pareado pelo fato das amostras nos Filtros 1 e 2 terem sido coletadas simultaneamente. O número de dados em cada amostra era freqüentemente superior a 20, o

que minimiza eventuais desvios ao pressuposto da normalidade das distribuições (nestas condições, o teste t é razoavelmente robusto com relação a este critério).

A Tabela 5.26 apresenta os valores da probabilidade p do teste t. Valores inferiores a 0,05 indicam que, a um nível de significância de 5%, pode-se rejeitar a hipótese de que as médias das amostras sejam iguais, ou seja, as amostras podem ser consideradas significativamente diferentes.

Tabela 5.26 - Valores da probabilidade p do teste t de Student, para amostras pareadas, comparando os Filtros 1 e 2

Parâmetro	Valor de p para as concentrações efluentes dos Filtros 1 e 2	Valor de p para as eficiências de remoção dos Filtros 1 e 2
DBO total	0,028 (*)	0,016 (*)
DBO filtrada	0,702	0,715
DBO particulada	0,231	0,189
DQO total	0,144	0,105
DQO filtrada	0,828	0,127
DQO particulada	0,942	0,320
SS	0,0007 (*)	0,0008 (*)
SS fixo	0,496	0,693
SS voláteis	0,0004 (*)	0,001 (*)
<i>E. coli</i>	0,681	0,514

(*) $p < 0,05$: Médias das amostras significativamente diferentes.

De acordo com os resultados obtidos, os valores em relação a DBO, SS e SSV podem ser considerados significativamente diferentes. Desta forma pode-se rejeitar a hipótese de que as médias das amostras sejam iguais.

5.5 Avaliação da perda de carga e colmatação dos filtros

A perda de carga foi monitorada ao longo dos 8 meses. A distribuição dos pontos para o cálculo da perda de carga está relacionada na Figura 5.32 a seguir.

O processo de colmatação dos filtros é progressivo, e por meio de régua graduada nos pontos inicial, intermediário e final de cada filtro foi possível verificar a progressão da perda de carga.

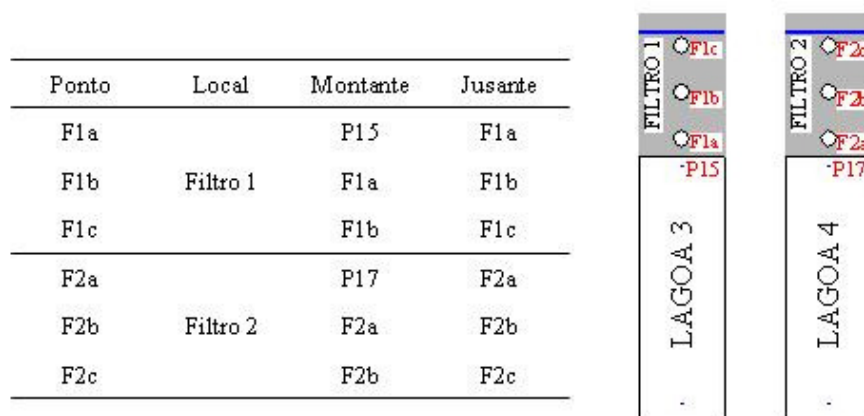


Figura 5.32 - Distribuição dos pontos para cálculo da perda de carga nos Filtros 1 e 2

Na Tabela 5.27, estão apresentadas as alturas das lâminas d'água medidas com auxílio de uma régua graduada.

Tabela 5.27 – Alturas, em centímetro, das lâminas d'água

Semana	P15	F1a	F1b	F1c	P17	F2a	F2b	F2c
1		43,5	43,3	43		43	41,5	43
2	43	43,6	43,5	43,4	42	43,3	41,5	43,2
3	43,6				43			
5	54,8	57,3	57,2	57	57	55,3	55	55,3
6	43,5	43,1	43	42,7	42,6	42,6	42,3	42,4
10	42,7	42,6	42,6	42,4	42	42	41,5	41,7
11	43,7	44	43,5	43,3	42,6	42,8	42,6	42,7
12	43,4	43,3	43,3	43	42,5	42,6	42,6	42,5
15	36,6	36,6	36,5	36	36,4	37,4	37,2	37,2
17	38,5	38,5	38,3	38,1	38	38,5	38,3	38,2
18	42,4	42,1	42,5	42	41,5	41,6	41,5	41,4
20	38,5	40,9	38,5	38,1	38,3	38,3	38	38,2
22	40	39,7	39,7	39,4	39,5	39,4	39,4	39,4
23	39,7	39,7	39,7	39,4	39,9	40,1	39,8	39,8
24	40,1	39,9	39,9	39,5	40	40,5	40	40
25	40,3	40	39,9	39,6	40	40,1	40,1	40,2
26	40,5	40	40	39,5	39,7	40	39,5	39,5
27	41	39,7	40,1	39,5	39,5	39,4	39,3	39,4
31	38,5	38	37,6	37,2	37	37,2	37	37
32	40,2	38,9	39	38,6	38,3	38,3	38,3	38,5
33	39,7	38,2	38,2	37,1	37,3	37,5	37,1	37,2

A perda de carga corresponde à diferença entre o nível d'água de montante (pontos P15 e P17) e nos pontos ao longo dos filtros (F1a a F1c, e F2a a F2c).

Entretanto, a variação da perda de carga não ultrapassou 3,0 cm no Filtro 1 e 1,5 cm no Filtro 2. Devido a esta imprecisão, os valores numéricos em si podem não ser totalmente confiáveis. Pode-se considerar os valores da perda de carga desprezíveis em ambos os filtros. Desta forma, os resultados não serão apresentados.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

A proposta desta pesquisa é produzir conhecimentos sobre a aplicabilidade de filtros grosseiros para a melhoria da qualidade do efluente de lagoas, bem como geração de parâmetros de projeto e operação de filtros grosseiros.

Conforme os resultados obtidos, o filtro grosseiro mostrou-se um excelente processo de tratamento do efluente das lagoas de estabilização, considerando as significativas vantagens desse processo natural, de elevada simplicidade operacional, ausência de mecanização e com custo relativamente baixo.

O bom desempenho do sistema ressalta a boa aplicabilidade dos filtros situados diretamente após as lagoas de polimento.

Os resultados obtidos nesta pesquisa representam uma importante contribuição para o estudo do funcionamento dos filtros de pedra, ao fornecer parâmetros e critérios de projeto.

Faz-se a seguir uma conclusão mais específica dos resultados obtidos durante o período experimental.

Matéria Orgânica e Sólidos em Suspensão

Os filtros de pedra promoveram uma importante remoção adicional de matéria orgânica, completando a remoção efetuada pelo reator UASB e pelas lagoas de polimento.

As concentrações médias dos efluentes dos Filtros 1 e 2 atenderam aos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água da Deliberação Normativa COPAM nº 46, de 09 de agosto de 2001, ou seja, valor limite de 60 mg/L em termos de DBO.

Em termos de DQO, o limite máximo é de 90 mg/L ou o limite a que se referem só poderá ser ultrapassado quando o estudo de autodepuração comprovar que o sistema de tratamento reduz a carga poluidora dos efluentes, em termos de DQO em, no mínimo, 60%. Os filtros 1 e 2 também obtiveram excelentes resultados, desempenhando um papel importante na remoção de matéria orgânica.

No Filtro 1, com material de menor dimensão (brita 3 comercial), 100% dos resultados em relação a SST atenderam ao padrão COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986. No Filtro 2, com material de maior dimensão (pedras de mão comercial), obteve-se um atendimento de 68% dos resultados. Os dois materiais foram selecionados tendo em vista sua fácil disponibilidade no território nacional e baixo custo de aquisição.

Coliformes Termotolerantes

Não existe padrão de lançamento de efluentes quanto a coliformes termotolerantes, porém há o padrão de qualidade do corpo receptor, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 de 1×10^3 NMP/100 mL para os corpos receptores classe 2 (que corresponde à maioria dos rios de Minas Gerais). Quanto à remoção de *E. coli* foram obtidos excelentes resultados. A eficiência global no sistema com o Filtro 1 foi de 5,68 unidades logarítmicas removidas e no sistema com o Filtro 2 foi de 5,82 unidades logarítmicas removidas, equivalente a eficiências médias de 99,99979% e 99,99985%, respectivamente.

Em relação a *E. coli*, os efluentes dos sistemas atenderam a 56% (Filtro 1) e 50% (Filtro 2) às diretrizes da Organização Mundial de Saúde para irrigação irrestrita. Estes resultados podem ser considerados bons resultados.

Perda de Carga

A perda de carga foi monitorada frequentemente. A variação da perda de carga, ao longo de 8 meses de monitoramento, não ultrapassou 3 cm no Filtro 1 e 1,5 cm no Filtro 2, valores considerados desprezíveis em ambos os filtros.

6.2 Recomendações

A fim de se ampliar as informações em futuras pesquisas sobre o tema para a produção de um produto tecnológico pronto para escala real, recomenda-se considerar as medidas a seguir:

- Realizar análises que permitam a verificação da quantidade e qualidade das algas no sistema;
- Estudar os mecanismos de tratamento envolvidos na remoção de sólidos em suspensão, matéria orgânica e nutrientes;
- Utilizar diferentes materiais, granulometrias e taxas de aplicação hidráulica;

- Avaliar a remoção de nutrientes;
- Investigar a influência do clima;
- Operar o sistema durante um longo período, de forma a se avaliar a evolução da perda de carga.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AWWA-WPCF - Standard methods for the examination of water and wastewater. Washinngton, 1998.
- CAVALCANTI, T. B. G. *Técnicas para o controle bacteriológico da água*. São Paulo, FATEC-SP, monografia para o Curso de Especialização em Tecnologias Ambientais, da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 1999, 41p.
- CAVALCANTI, P. F. F., VAN HAANDEL, A., KATO, M. T., VON SPERLING, M., LUDUVICE, M. L, MONTEGGIA, L. O. In CHERNICHARO, C. A. L. (coordenador). *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Projeto PROSAB. Belo Horizonte, 2001. 544 p.
- CHERNICHARO, C. A L. *Reatores anaeróbios*. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 5. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte, 1997. 246 p.
- CONAMA (2005). Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Diário Oficial da União – Seção 1, nº 53, ISSN 1677-7042 em 18/03/2005.
- CONAMA (1986). Resolução CONAMA n. 20, de 18 de junho de 1986. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Diário Oficial da União em 30/07/1986.
- COPAM (2001). Deliberação Normativa n. 46, de 09 de agosto de 2001. Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, Diário do Executivo – Minas Gerais – 10/08/2001.
- COPAM (1996). Deliberação Normativa n. 10, de 16 de dezembro de 1986. Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, Diário do Executivo – Minas Gerais – 10/01/1987.
- COPASA (2005). Folder descritivo: Estação de Tratamento de Esgoto do Arrudas. *Trazendo a vida de volta aos rios*. Minas Gerais, 2005.
- EPA. *Wastater technology fact sheet. Rock media polishing filter for lagoons*. U. S. Environmental Protection Agency. Setembro, 2002. Disponível em <http://www.epa.gov/OW-OWM.html/mtb/polfilla.pdf>. Acesso em 18/10/2004
- EPA. *Design manual - municipal wastewater stabilization ponds*. U. S. Environmental Protection Agency. EPA-625/1-83-015. October, 1983. 327 p.
- GONÇALVES, R. F., SILVA, V.V., TAVEIRA, E. J. A. e FAFÁ DE OLIVEIRA, F. *Algae and nutrient removal in anaerobic – facultative pond sistem with a compact physical-chemical process*. I Conferencia Latinoamericana en lagunas de estabilizacion y reuso. Santiago de Cali, Colombia, 2000.
- INMETRO *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial*. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br>. Acesso em 27/10/2004.

- JOHNSON, M. MARA D. D. *Aerated rock filters for enhanced nitrogen and faecal coliform removal from facultative waste stabilization pond effluents*. 6th International Conference on Waste Stabilisation Ponds and 9th International Conference on Wetland Systems. Avignon, França, 2004.
- MARA, D. DUNCAN. *Domestic wastewater. treatment in developing countries*. Ed. Earthscan. Londres, 2004. 293 p.
- MARA, D. DUNCAN. *Waste stabilization ponds: effluent quality requirements and implications for process design*. In: 3th IAWQ International Specialist Conference. Waste stabilization ponds: technology and applications. João Pessoa, PA, 27-31 Março, 1995.
- MARA, D. DUNCAN. *Design manual for waste stabilization ponds in India*. Ed. Lagoon Technology International Ltd. Inglaterra, 1997. 125p.
- MARA, D. D., PERSON, H. W. *Waste Stabilization Ponds – Design Manual for Mediterranean Europe*. World Health Organization, Copenhagen, 1987.
- MASCARENHAS, L. C. A. M. *Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB*. 2002. 123 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- MIDDLEBROOKS, E. J. *Upgrading pond effluents: an overview*. Water Science & Technology. Vol. 31, n 12. pp 353-368. Ed. IWA Publishing, 1995.
- NEDER, Klaus Dieter; QUEIROZ, Tarcísio dos Reis; SOUZA, Marco Antônio Almeida de. *Utilização de processos naturais para polimento de efluentes de lagoas de estabilização*. Trabalho II-091. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalho I-091, 2000, Porto Alegre. Anais. AIDIS – Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. v. 1, p. 1-7.
- NUVOLARI, ARIIVALDO (Coordenador). *Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola*. FATEC-SP, CEETEPS, FAT. Ed. Edigard Blucher Ltda. São Paulo, 2003.
- OLIVEIRA, F. F. e GONÇALVES, R. F. *Principais tecnologias empregadas no polimento do efluente de lagoas de estabilização*. Anais (meio magnético CD-ROM) do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil 1999.
- QUEIROZ, T. R. *Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais*. 2001. 229 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2001.
- SAIDAM, M. Y., RAMADAN, S. A. e BUTLER, D. *Upgrading waste stabilization pond effluent by rock filters*. Water Science & Technology. Vol. 31, n 12. pp 369-378. Ed. IWA Publishing, 1995.
- VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. *Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um manual para regiões de clima quente*. Epigraf, Campina Grande, 1994. 240p.

VON SPERLING, M. *Relatório de Atividades UFMG – Desinfecção de efluentes de reatores anaeróbios em lagos de polimento e fotorreatores*. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB – Edital 3 – Tema 2. Belo Horizonte, 2003.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte, 1996. 243 p.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Lagoas de estabilização. 2. ed ampliada e atualizada. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte, 2002. 196 p.

YANEZ, F. *Lagunas de estabilización*. Ed. CEPIS, Lima, Peru. 1993.

8 ANEXO

Dados de Monitoramento:

- DBO Total
- DBO Filtrada
- DBO Particulada
- DQO Total
- DQO Filtrada
- DQO Particulada
- SS Total
- SS Fixo
- SS Volátil
- *E. coli*
- Coliformes
- Turbidez

Data	Dia	Semana	Dados de Monitoramento - DBO Total (mg/L)							
			EsgBruto	EfUASB	EfL1	EfL2	EfL3	EfF1	EfL4	EfF2
27/10/2004	1	1								
10/11/2004	15	3	213	25	41	32	19	13	11	11
17/11/2004	22	4	181	34	12	26	18	15	19	11
24/11/2004	29	5		20	22	25	20	14	10	
1/12/2004	36	6	241	44	25	17	21	11	8	9
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8	213		20	11	6		26	
22/12/2004	57	9								
19/1/2005	85	13	472	23	28	16	19	13	18	13
27/1/2005	93	14	289	27	21	26	17	14	17	36
2/2/2005	99	15								
17/2/2005	114	17	479	22	45	30	51		22	
15/2/2005	112	17								
22/2/2005	119	18	182	40	28	23	37	15	26	16
3/3/2005	128	19	95	34	29	25	21	19	27	16
9/3/2005	134	20	208	42	40	28	21	14	23	20
16/3/2005	141	21	92		33	34	27		74	35
23/3/2005	148	22								
30/3/2005	155	23	124	14	15	28	18	5	38	16
6/4/2005	162	24	174	28	31	30	26	18	46	31
13/4/2005	169	25								
19/4/2005	175	26	298	108	55	53	46	46	60	60
28/4/2005	184	27			34	35	32	28	25	29
5/5/2005	191	28								
11/5/2005	197	29	427	105	105	105	105	106	107	101
18/5/2005	204	30	252			40	35	20	34	24
24/5/2005	210	31		45	49	62	115	39	43	39
31/5/2005	217	32	272	48	33	25	65	34	40	36
8/6/2005	225	33	212	54	41	38	57	28	36	25
15/6/2005	232	34	161	43	30	31	61	14	39	17
22/6/2005	239	35	119	75	56	42	46	26	53	48
29/6/2005	246	36	235	87	82	85	73	73	98	80

Data	Dia	Semana	Dados de Monitoramento - DBO Filtrada (mg/L)							
			EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1								
10/11/2004	15	3	91	18	20	21	14			
17/11/2004	22	4	53			17	9	6	8	6
24/11/2004	29	5		16	7	7	6	5	5	
1/12/2004	36	6	89	11	8	6	11	4	4	8
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8	72		2	2	2		2	
22/12/2004	57	9								
19/1/2005	85	13	126	13	5	4	3	3	3	3
27/1/2005	93	14	65	26	8	5	3	11	3	
2/2/2005	99	15								
17/2/2005	114	17	83	12	14	9	8		6	
15/2/2005	112	17								
22/2/2005	119	18	58	10	6	7	5	7	5	11
3/3/2005	128	19	71	24	8	4	7	11	5	9
9/3/2005	134	20	68	24	10	13	13	11	10	10
16/3/2005	141	21			15	12	16		28	18
23/3/2005	148	22								
30/3/2005	155	23	62			15			10	
6/4/2005	162	24								
13/4/2005	169	25								
19/4/2005	175	26	154	64	22	41	25	40	46	22
28/4/2005	184	27			20	21	17	23	23	18
5/5/2005	191	28								
11/5/2005	197	29			73	72	71	73	72	73
18/5/2005	204	30	81				14	10	13	12
24/5/2005	210	31		33	18	22	25	30	24	38
31/5/2005	217	32		21	9	6	13	8	14	13
8/6/2005	225	33	70	30	9	10	13	11	11	10
15/6/2005	232	34	58	23	8	6	15	9	8	8
22/6/2005	239	35	47	35	16	10	6	12	11	17
29/6/2005	246	36	97	28	30	6	11	25	24	16

Dados de Monitoramento - DBO Particulada (mg/L)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1								
10/11/2004	15	3	122	7	21	12	5			
17/11/2004	22	4	129			9	9	8	12	6
24/11/2004	29	5		4	14	18	14	8	5	
1/12/2004	36	6	151	32	17	11	11	7	4	1
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8	141		17	9	3		23	
22/12/2004	57	9								
19/1/2005	85	13	345	11	23	12	16	10	15	9
27/1/2005	93	14	225	1	13	21	14	2	13	
2/2/2005	99	15								
17/2/2005	114	17	396	10	32	21	43		16	
15/2/2005	112	17								
22/2/2005	119	18	124	30	22	16	31	9	21	5
3/3/2005	128	19	24	10	21	21	15	8	22	8
9/3/2005	134	20	140	18	30	15	8	3	13	10
16/3/2005	141	21			18	23	11		46	17
23/3/2005	148	22								
30/3/2005	155	23	62			13			28	
6/4/2005	162	24								
13/4/2005	169	25								
19/4/2005	175	26	143	44	33	12	21	6	13	37
28/4/2005	184	27			14	14	15	5	1	11
5/5/2005	191	28								
11/5/2005	197	29			33	33	34	34	35	28
18/5/2005	204	30	171				21	10	21	12
24/5/2005	210	31		12	31	39	89	9	19	1
31/5/2005	217	32		27	23	20	52	26	25	22
8/6/2005	225	33	142	24	32	28	44	18	25	15
15/6/2005	232	34	103	19	22	26	46	5	31	10
22/6/2005	239	35	71	40	40	32	40	14	43	31
29/6/2005	246	36	138	60	52	79	63	48	74	64

Dados de Monitoramento - DQO Total (mg/L)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1	294	220	230	162	163		184	
10/11/2004	15	3	545	128	135	151	156	87	130	102
17/11/2004	22	4	374	179	217	212	268	105	214	133
24/11/2004	29	5	249	140	211	186	186	140	132	143
1/12/2004	36	6								
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8	231		167	161	161		93	
22/12/2004	57	9	389	72	186	94	111	45	368	122
19/1/2005	85	13	472	81	50	89		65	183	65
27/1/2005	93	14	496	36	189	191	205	94	179	106
2/2/2005	99	15	453	197	87	94	97	121	82	60
17/2/2005	114	17								
15/2/2005	112	17	479	148	199	187	329		245	
22/2/2005	119	18	530	148	274	142	270	120	258	
3/3/2005	128	19	278	158	136	208	237	90	217	131
9/3/2005	134	20	401	94	165	121	170	85	159	81
16/3/2005	141	21	366	154	148	170	165	94	334	134
23/3/2005	148	22								
30/3/2005	155	23	233	119	108	112	136	41	135	89
6/4/2005	162	24	157	91	115	104	44		180	71
13/4/2005	169	25	436	146	175	222	149	118	267	199
19/4/2005	175	26								
28/4/2005	184	27	302	102	98	63	64	78	51	54
5/5/2005	191	28	364	153	190	170	266	89	349	143
11/5/2005	197	29	363	196	134	109	170	71	231	89
18/5/2005	204	30	430	87	141	126	141	79	93	52
24/5/2005	210	31	406	112	182	180	175	104	152	92
31/5/2005	217	32	395	165	153	155	315	96	89	75
8/6/2005	225	33	331	128	137	92	197	84	75	21
15/6/2005	232	34	357	171	192	223	361	129	265	134
22/6/2005	239	35	335	152	192	209	247	134	181	185
29/6/2005	246	36	438	153	188	227	451	154	253	169

Dados de Monitoramento - DQO Filtrada (mg/L)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1	203	75	54	57	70		78	
10/11/2004	15	3	178	74	69	72	76	76	67	63
17/11/2004	22	4	136	97	109	102	107	119	112	115
24/11/2004	29	5	137	103	91	89	69	66	62	56
1/12/2004	36	6								
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8	87		60	44	34		16	
22/12/2004	57	9	133	45	47	53	63	58	45	58
19/1/2005	85	13	213	92	13	44	49	81	59	8
27/1/2005	93	14	114	26				43	165	40
2/2/2005	99	15	154	84	149	86	62	68	40	40
17/2/2005	114	17								
15/2/2005	112	17	225	48	87	56	38		73	
22/2/2005	119	18	428	69	49	106	69	46	97	81
3/3/2005	128	19		112	50	70	103	75	123	70
9/3/2005	134	20	211	79	70	96	64	74	103	
16/3/2005	141	21	200	110		101	132		242	
23/3/2005	148	22								
30/3/2005	155	23	118	73	54	67	53		58	67
6/4/2005	162	24	51	9				5		
13/4/2005	169	25	170	91	100	139	102	92	105	141
19/4/2005	175	26								
28/4/2005	184	27	107	56	35	37	29	21	25	37
5/5/2005	191	28	104	81	76	40	67	54	99	61
11/5/2005	197	29	175	56	36	35	30	45	40	35
18/5/2005	204	30		63	66	49	59	44	42	68
24/5/2005	210	31	143	55	23	14	58	50	58	64
31/5/2005	217	32	162	82	37	32	75	53	76	78
8/6/2005	225	33	167	44	21	9	9	5	62	10
15/6/2005	232	34	136	129	82	89	99	108	92	110
22/6/2005	239	35	120	103	92	68	66	73	44	77
29/6/2005	246	36	128	116	93	108	108	91	121	80

Dados de Monitoramento - DQO Particulada (mg/L)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1	91	145	176	104	93		105	
10/11/2004	15	3	367	54	66	79	81	12	63	40
17/11/2004	22	4	238	82	109	110	161		102	18
24/11/2004	29	5	112	37	120	96	116	74	69	88
1/12/2004	36	6								
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8	144		107	118	127		76	
22/12/2004	57	9	256	27	139	41	48		322	64
19/1/2005	85	13	259		37	46			125	57
27/1/2005	93	14	382	9				51	14	66
2/2/2005	99	15	299	113		8	35	53	42	19
17/2/2005	114	17								
15/2/2005	112	17	254	100	112	130	291		172	
22/2/2005	119	18	102	79	225	35	201	74	162	
3/3/2005	128	19		46	86	138	134	15	94	61
9/3/2005	134	20	189	14	95	26	106	12	56	
16/3/2005	141	21	165	43		69	32		92	
23/3/2005	148	22								
30/3/2005	155	23	115	46	54	46	83		77	22
6/4/2005	162	24	106	82						
13/4/2005	169	25	266	55	75	83	47	26	162	58
19/4/2005	175	26								
28/4/2005	184	27	198	21	22	23	-3	24	-48	-7
5/5/2005	191	28	189	97	154	135	236	44	309	108
11/5/2005	197	29	363	133	68	60	111	27	189	21
18/5/2005	204	30	287	32	118	112	83	29	35	-12
24/5/2005	210	31	244	30	145	148	100	51	76	14
31/5/2005	217	32	233	83	116	123	240	43	13	-3
8/6/2005	225	33	164	84	116	83	188	79	13	11
15/6/2005	232	34	221	42	110	134	262	21	173	24
22/6/2005	239	35	215	49	100	141	181	61	137	108
29/6/2005	246	36	310	37	95	119	343	63	132	89

Dados de Monitoramento - SST (mg/L)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1								
10/11/2004	15	3	218	40	85	60	108	20	68	20
17/11/2004	22	4	175	45	138	83	135	35	115	38
24/11/2004	29	5	220	68	50	42	103	22	61	22
1/12/2004	36	6	205	63	63	59	94	33	37	38
9/12/2004	44	7	210	35		80				
15/12/2004	50	8	168		108	57	73		35	
22/12/2004	57	9	184	29	108	44	103	45	289	58
19/1/2005	85	13	172		87		94	28	78	
27/1/2005	93	14	201	66	60	61	114	27	112	139
2/2/2005	99	15	180	60	90	37	113	18	91	33
17/2/2005	114	17	186	134	60	74	151		107	
15/2/2005	112	17	186	134	60	74	151		107	
22/2/2005	119	18	168	104	30	62	149	60	132	62
3/3/2005	128	19	111	28	77	74	98	20	107	36
9/3/2005	134	20	206	38	80	84	101	24	79	28
16/3/2005	141	21	214	24	56	76	99	31	158	61
23/3/2005	148	22	126	22	70	27	97	11	123	22
30/3/2005	155	23	165	36	82	80	97	27	86	41
6/4/2005	162	24	199	82	116	120	41	40	185	146
13/4/2005	169	25	175	64		93	56	10	135	75
19/4/2005	175	26	206	92	100	37	90	12	126	69
28/4/2005	184	27		39	82	19	48	12	24	29
5/5/2005	191	28		80	83	58	51	14	121	49
11/5/2005	197	29	196	73	119	61	152	37	255	68
18/5/2005	204	30	201	23	97	79	70	17	68	16
24/5/2005	210	31	190	53	82	106	113	18	70	19
31/5/2005	217	32		69	96	99	190	44	33	38
8/6/2005	225	33	195	73	95	103	156	13	62	28
15/6/2005	232	34	213	45	72	101	156	16	117	38
22/6/2005	239	35	180	63	119	124	131	50	117	82
29/6/2005	246	36								

Data	Dia	Semana	Dados de Monitoramento - SSF (mg/L)						EflF1	EflL4	EflF2
			EsgBruto	EflUASB	EflL1	EflL2	EflL3	EflL4			
27/10/2004	1	1									
10/11/2004	15	3		10	5	15	18		23	3	
17/11/2004	22	4									
24/11/2004	29	5	18	25	5	5	35	14	8	14	
1/12/2004	36	6	13	19	3	17	14	9	7		
9/12/2004	44	7				5					
15/12/2004	50	8	33		15	7	14				
22/12/2004	57	9	11	19	18	5	32	13	85	22	
19/1/2005	85	13	29		28		52	20	30		
27/1/2005	93	14	29	29	16	5	12	5	25	72	
2/2/2005	99	15	25	16	4	15	21	3	8	16	
17/2/2005	114	17	30	26	6	7	17		11		
15/2/2005	112	17	30	26	6	7	17		11		
22/2/2005	119	18	39	26	10	8	11	23	16	7	
3/3/2005	128	19	39	20	2	17	31	14	11	13	
9/3/2005	134	20	20	2	2	6	11	10	4	3	
16/3/2005	141	21	36	10	9	11	11	6	13	4	
23/3/2005	148	22	16	13			6		13		
30/3/2005	155	23	22	14	4	24	8	14	6	6	
6/4/2005	162	24	70	21	20	17	16	24	18	28	
13/4/2005	169	25	19	12		11	4	6	11	5	
19/4/2005	175	26	42	19	6	9	7	12	12	17	
28/4/2005	184	27		12	4	4	2	8	2	4	
5/5/2005	191	28		18	19	2	19	6	16	2	
11/5/2005	197	29	43	14	11	12	20	4	17	3	
18/5/2005	204	30	37	4	12	10	8	12	17	6	
24/5/2005	210	31	36	9	4	7	9	8	9	4	
31/5/2005	217	32		18	4	14	15	15	21	17	
8/6/2005	225	33	40	48	11	10	4	4	11	6	
15/6/2005	232	34	19	16	5	13	10	6	9	4	
22/6/2005	239	35	30	11	17	20	12	5	15	10	
29/6/2005	246	36									

Dados de Monitoramento - SSV (mg/L)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1								
10/11/2004	15	3	40	30	80	45	90	20	45	18
17/11/2004	22	4								
24/11/2004	29	5	74	43	46	37	68	8	54	8
1/12/2004	36	6	48	44	60	43	80	24	30	38
9/12/2004	44	7		35		75				
15/12/2004	50	8	169		93	50	59		35	
22/12/2004	57	9	53	10	91	39	72	32	204	37
19/1/2005	85	13	143		59		42	8	48	
27/1/2005	93	14	172	37	44	56	102	21	87	67
2/2/2005	99	15	155	44	86	22	92	15	83	17
17/2/2005	114	17	156	108	54	67	134		96	
15/2/2005	112	17	156	108	54	67	134		96	
22/2/2005	119	18	129	78	20	54	138	37	116	55
3/3/2005	128	19	72	8	75	57	67	6	96	23
9/3/2005	134	20	186	36	78	78	90	14	75	25
16/3/2005	141	21	178	14	47	65	88	25	145	57
23/3/2005	148	22	110	9	70		91		110	
30/3/2005	155	23	143	22	78	56	89	13	80	35
6/4/2005	162	24	129	61	96	103	25	16	167	118
13/4/2005	169	25	156	52		82	52	4	124	70
19/4/2005	175	26	164	73	94	28	83		114	52
28/4/2005	184	27		27	78	15	46	4	22	25
5/5/2005	191	28		62	64	56	32	8	105	47
11/5/2005	197	29	153	59	108	49	132	33	238	65
18/5/2005	204	30	164	19	85	69	62	5	51	10
24/5/2005	210	31	154	44	78	99	104	10	61	15
31/5/2005	217	32		51	92	85	175	29	12	21
8/6/2005	225	33	155	25	84	93	152	9	51	22
15/6/2005	232	34	194	29	67	18	146	10	108	34
22/6/2005	239	35	150	52	102	104	119	45	102	72
29/6/2005	246	36								

Dados de Monitoramento - <i>E. coli</i> (n° org / 100 mL)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1	3,10E+08	3,40E+07	1,60E+05	7,70E+04	2,00E+02		1,00E+02	
10/11/2004	15	3	1,60E+08	1,20E+07	3,90E+05	2,40E+04	9,80E+02	5,20E+01	1,20E+03	1,00E+00
17/11/2004	22	4	2,40E+08	1,20E+07	4,10E+05	9,80E+04	1,70E+02	6,30E+01	2,10E+03	4,90E+01
24/11/2004	29	5	2,00E+08	1,20E+07	2,00E+05	3,10E+04	3,30E+03	6,30E+01	7,10E+02	2,50E+01
1/12/2004	36	6	1,10E+08	1,60E+07	5,20E+05	2,00E+04	3,30E+02	2,10E+02	1,50E+03	6,80E+01
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8	5,20E+07		7,40E+03	3,80E+03	8,60E+01		1,50E+02	
22/12/2004	57	9	3,80E+07	1,30E+07	3,40E+04	7,20E+03	1,20E+03	2,00E+04	1,40E+03	7,30E+02
19/1/2005	85	13	2,10E+08	2,90E+07	9,80E+05	4,60E+04	1,40E+03	2,40E+04	3,50E+02	1,70E+03
27/1/2005	93	14	7,40E+07	6,70E+07	3,00E+04	5,20E+03	1,00E+02	4,30E+04	1,10E+02	
2/2/2005	99	15	7,40E+07	7,80E+07	2,80E+04	8,40E+03	8,00E+02	5,20E+02	1,60E+02	4,30E+01
17/2/2005	114	17								
15/2/2005	112	17	2,80E+08	1,00E+08	3,40E+05	9,60E+03	5,20E+01		1,00E+00	
22/2/2005	119	18								
3/3/2005	128	19		2,30E+07	3,30E+04	6,30E+03	9,70E+01	4,10E+01	1,30E+02	4,10E+01
9/3/2005	134	20	2,20E+08	8,20E+07	1,40E+05	2,80E+03	1,00E+00	1,20E+01	1,00E+00	2,40E+03
16/3/2005	141	21	7,70E+08	9,60E+07	3,40E+05	1,70E+05	2,40E+03	1,40E+03	2,40E+03	9,90E+02
23/3/2005	148	22								
30/3/2005	155	23	4,10E+08	1,60E+08	6,10E+05	6,10E+04	2,00E+03	6,20E+02	1,40E+03	4,00E+03
6/4/2005	162	24	4,10E+08	7,50E+07	2,40E+05	2,50E+04	5,40E+02	2,00E+01	5,10E+02	5,20E+02
13/4/2005	169	25	3,90E+08	1,60E+08	3,90E+05	3,90E+05	3,80E+02	3,60E+02	4,80E+03	1,20E+03
19/4/2005	175	26	2,20E+08	4,10E+06	4,40E+05	2,30E+05	8,70E+03	8,80E+02	2,40E+04	1,40E+04
28/4/2005	184	27	3,30E+08	8,80E+07	4,60E+05	3,10E+05	1,60E+04	5,70E+03	1,90E+04	3,00E+04
5/5/2005	191	28		7,70E+07	1,00E+06	2,10E+05	1,70E+04	6,40E+03	1,80E+04	2,00E+04
11/5/2005	197	29	2,10E+08	1,60E+08	2,60E+05	5,00E+04	9,10E+03	2,80E+03	5,90E+03	3,70E+03
18/5/2005	204	30	1,90E+08	7,90E+07	3,40E+05	1,00E+05	2,30E+04	2,60E+03	2,20E+03	5,20E+03
24/5/2005	210	31	3,70E+08	6,00E+07	1,10E+06	2,50E+04	1,80E+03	1,10E+03	7,40E+02	1,10E+03
31/5/2005	217	32	1,10E+08	5,30E+07	9,30E+04	1,10E+04	2,90E+03	1,20E+03	3,00E+02	1,00E+00
8/6/2005	225	33	4,10E+08	1,50E+08	1,00E+06	1,70E+04	2,00E+02	1,00E+00	4,10E+01	1,10E+02
15/6/2005	232	34	3,10E+08	8,60E+07	8,20E+05	9,10E+04	2,30E+03	2,00E+01	1,20E+02	1,00E+00
22/6/2005	239	35	4,10E+08	7,70E+07	6,10E+05	1,60E+05	2,40E+04	2,40E+03	2,40E+03	1,60E+03
29/6/2005	246	36	1,40E+08	1,00E+06	5,60E+04	2,00E+04	3,40E+03	1,00E+02	3,80E+03	1,30E+03

Dados de Monitoramento - Coliformes Termotolerantes (n° org / 100 mL)										
Data	Dia	Semana	EsgBruto	EFUASB	EFIL1	EFIL2	EFIL3	EFIF1	EFIL4	EFIF2
27/10/2004	1	1								
10/11/2004	15	3	8,10E+08	3,20E+07	1,80E+06	1,00E+05	2,40E+04	9,20E+03	2,40E+04	9,80E+03
17/11/2004	22	4	9,60E+08	3,90E+07	8,70E+05	2,40E+05	1,20E+04	1,60E+04	2,40E+04	1,10E+03
24/11/2004	29	5	8,80E+08	4,70E+07	6,50E+05	3,30E+05	2,40E+04	1,90E+03	2,40E+04	2,40E+03
1/12/2004	36	6	8,30E+08	9,60E+07	1,00E+06	1,20E+05	3,40E+03	7,70E+03	9,60E+03	2,00E+03
9/12/2004	44	7	6,20E+08	1,40E+08	2,00E+05	1,10E+05	1,60E+04		6,10E+03	
15/12/2004	50	8	1,30E+08		5,00E+04	1,40E+05	5,20E+03		1,10E+04	
22/12/2004	57	9	2,10E+08	4,70E+07	1,40E+05	2,40E+05	2,40E+04	2,40E+04	1,40E+04	1,10E+03
19/1/2005	85	13	8,30E+08	1,70E+08	2,40E+06	2,00E+05	2,40E+04	2,40E+04	2,40E+04	2,40E+03
27/1/2005	93	14	2,40E+08	1,70E+08	3,60E+05	1,70E+05	7,30E+03	9,80E+04	1,90E+03	
2/2/2005	99	15	3,30E+08	3,30E+08	1,50E+05	2,40E+05	2,40E+04	2,50E+04	2,40E+04	2,40E+03
17/2/2005	114	17								
15/2/2005	112	17	8,20E+08	2,60E+08	1,00E+06	4,40E+04	7,70E+03		8,20E+03	
22/2/2005	119	18	2,00E+09	1,30E+08	2,50E+05	2,00E+04	2,40E+04	2,40E+04	2,40E+03	
3/3/2005	128	19	5,90E+07	1,20E+05	5,80E+04	2,40E+04	3,30E+04	2,40E+04	2,40E+04	2,40E+04
9/3/2005	134	20	9,80E+08	4,90E+08	8,70E+05	1,20E+04	1,10E+04	2,40E+03	6,50E+03	2,40E+04
16/3/2005	141	21	2,40E+09	3,40E+08	1,30E+06	2,40E+05	2,40E+03	2,40E+03	2,40E+03	2,40E+03
23/3/2005	148	22	1,40E+09	4,90E+08	1,70E+06	2,80E+05	1,40E+04	2,40E+04	2,40E+04	2,40E+05
30/3/2005	155	23								
6/4/2005	162	24	1,30E+09	3,10E+08	1,10E+06	1,10E+05	5,50E+03	4,54E+04	2,40E+04	5,50E+04
13/4/2005	169	25	1,30E+09	6,10E+08	1,20E+06	1,40E+06	1,40E+03	1,70E+04	2,40E+04	2,40E+04
19/4/2005	175	26	1,30E+09	1,80E+07	1,40E+06	8,70E+05	2,40E+04	1,70E+04	2,40E+04	2,40E+04
28/4/2005	184	27	2,00E+09	3,90E+08	2,00E+06	2,40E+06	2,40E+04	2,40E+05	2,40E+05	2,40E+05
5/5/2005	191	28		6,50E+08	2,40E+06	9,20E+05	2,40E+05	1,40E+05	2,00E+05	2,40E+05
11/5/2005	197	29	1,00E+09	6,10E+08	1,00E+06	1,40E+05	2,00E+05	3,40E+04	2,00E+05	1,70E+05
18/5/2005	204	30	5,50E+08	2,60E+08	1,70E+06	2,00E+06	2,40E+05	2,40E+05	2,40E+05	2,40E+05
24/5/2005	210	31	2,40E+09	2,60E+08	2,40E+06	1,60E+05	2,00E+05	2,40E+05	2,40E+05	2,40E+05
31/5/2005	217	32	1,30E+09	1,50E+08	4,60E+05	5,00E+04	2,40E+05	2,40E+04	2,40E+05	2,40E+05
8/6/2005	225	33	2,00E+09	1,00E+09	2,40E+06	1,20E+05	1,60E+04	1,80E+04	2,40E+04	1,70E+03
15/6/2005	232	34	1,00E+09	7,30E+08	2,40E+06	4,40E+05	1,00E+04	1,20E+03	5,60E+02	4,40E+02
22/6/2005	239	35	2,00E+09	4,90E+08	2,40E+06	1,60E+06	2,40E+04	2,40E+03	2,40E+03	2,40E+03
29/6/2005	246	36	7,30E+08	2,30E+07	7,70E+05	9,60E+04	6,90E+04	1,30E+03	2,40E+04	2,20E+03

Data	Dia	Semana	Dados de Monitoramento - Turbidez (mg/L)					EfF1	EfL4	EfF2
			EsgBruto	EFUASB	EfL1	EfL2	EfL3			
27/10/2004	1	1								
10/11/2004	15	3								
17/11/2004	22	4								
24/11/2004	29	5								
1/12/2004	36	6								
9/12/2004	44	7								
15/12/2004	50	8								
22/12/2004	57	9								
19/1/2005	85	13								
27/1/2005	93	14			18		57	14	53	36
2/2/2005	99	15		62	25	22	78	25	49	27
17/2/2005	114	17	147	42	32	34	107	37	71	34
15/2/2005	112	17								
22/2/2005	119	18	122	63	19	24	116	31	71	30
3/3/2005	128	19	104	45	32	34	100	29	79	28
9/3/2005	134	20	106	33	39	33	80	193	40	17
16/3/2005	141	21	101	46	29	33	78	35	63	26
23/3/2005	148	22	84	51	30	27	82	37	56	27
30/3/2005	155	23	104	31	32	34	86	23	49	25
6/4/2005	162	24	89	38	38	43	36	40	74	32
13/4/2005	169	25								
19/4/2005	175	26								
28/4/2005	184	27								
5/5/2005	191	28								
11/5/2005	197	29								
18/5/2005	204	30	110	16	37	29	27	34	30	40
24/5/2005	210	31		56	56	45	49	15	27	46
31/5/2005	217	32		67	36	34	71	20	24	23
8/6/2005	225	33	119	62	50	40	62	45	23	59
15/6/2005	232	34	63	71	47	42	89	49	46	32
22/6/2005	239	35	105	12	57	47	59	52	49	45
29/6/2005	246	36	131	79	53	46	56	57	43	45