



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
– PPGEC

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS – TARH

Gitana Vieira da Nóbrega

PRODUÇÃO DE EFLUENTE ADEQUADO AO REÚSO URBANO E
INDUSTRIAL NÃO POTÁVEL VISANDO A APLICAÇÃO EM
INSTALAÇÃO SANITÁRIA

Dissertação de Mestrado

**Recife
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Gitana Vieira da Nóbrega

**PRODUÇÃO DE EFLUENTE ADEQUADO AO REÚSO URBANO E
INDUSTRIAL NÃO POTÁVEL VISANDO A APLICAÇÃO EM
INSTALAÇÃO SANITÁRIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito à obtenção do grau de Mestre.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof. Dr^a. Sávia Gavazza

**Recife
2009**

N754p Nóbrega, Gitana Vieira da.

Produção de efluente adequado ao reúso urbano e industrial não potável visando a aplicação em instalação sanitária / Gitana Vieira da Nóbrega. – Recife: O Autor, 2009.

93 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Filtro Rápido. 3. Esgoto Doméstico. 4. Reúso Urbano Não Potável. 5. Tratamento Terciário. I. Título.

UFPE

624

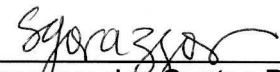
CDD (22. ed.)

BCTG/2009-224

**PRODUÇÃO DE EFLUENTE ADEQUADO AO REUSO URBANO E INDUSTRIAL
NÃO POTÁVEL VISANDO A APLICAÇÃO EM INSTALAÇÃO SANITÁRIA**

Gitana Vieira da Nóbrega

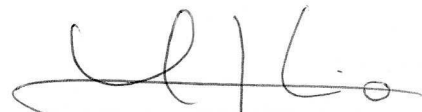
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL



Sália Gavazza dos Santos Pessoa
Orientador, D. Sc.



Erika Pinto Marinho
Examinador Externo, D. Sc.



Maria de Lourdes Florencio dos Santos
Examinador Interno, Ph. D.

Recife, PE
Setembro de 2009

AGRADECIMENTO

Ao CT-HIDRO, que, por meio do Edital MCT / CNPq / CT-HIDRO nº. 04/2006 concedeu a Bolsa de Mestrado para a autora do projeto.

RESUMO

Na região Nordeste, dadas as características marcantes da má distribuição sazonal e regional dos recursos hídricos, a prática de reúso deve ser incentivada. Muitas atividades não requerem água potável e dessa forma, centros urbanos destinariam água de melhor qualidade para fins mais nobres. Entretanto, a utilização de água proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs para descargas em vasos sanitários demanda um sistema duplo de distribuição, o que ainda está em fase de estudo, mas que já se mostrou viável.

Com o objetivo de se avaliar a adequabilidade do uso de efluente de reator UASB (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo) seguido por filtração terciária - Filtro rápido + FILAs (Filtro Intermitente em Leito de Areia), este sistema foi instalado, em escala piloto, na ETE Mangueira (Recife), tratando esgoto doméstico. O filtro rápido ascendente remove, principalmente, sólidos e turbidez, enquanto que os FILAs, além de removerem tais parâmetros são eficientes, também, na degradação da matéria orgânica, remoção de patógenos e nitrificação. O FR foi idealizado com camada suporte de seixo e leito de areia. Os FILAs foram construídos com camada suporte em brita e leito filtrante em areia. Foram construídos três FILAs variando-se o diâmetro efetivo: "0,5", "0,7" e 1,2" mm. O experimento foi dividido em duas fases, de acordo com a frequência de aplicação dos FILAs: 8 e 16 vezes por dia.

Os padrões de adequação para reúso urbano não-potável foram alcançados em grande parte do tempo. Houve nitrificação satisfatória nos FILAs, foram encontradas médias de turbidez no efluente dos FILAs (1, 2 e 3) de 14,44; 11,80; 11,18 NTU na FASE1 e 5,52; 3,88; 6,59 NTU na FASE2. A maior média de DBO₅ no efluente foi de 21,94 mgO₂/L. Os coliformes fecais no final do tratamento não se adequaram aos padrões de reúso, tendo apresentado menor valor médio no FILA 1 igual a $1,85 \cdot 10^4$ NMP/100mL.

Palavras-chave: Filtro rápido, FILA, Tratamento terciário, Esgoto doméstico, Reúso urbano não potável

ABSTRACT

The Brazilian Northeast is a region where hydric resources are badly seasonal and regional distributed, so the reuse practice must be incentivated. Many activities don't request potable water and this way, urban centers would be able to destinate high-quality water to nobles purposes. However, the use of water proceeding from Sewage Treatment Plants (reclaimed water) for flushing toilets request a parallel distribution system, wich is still being matter of researches.

Attempting to evaluate the suitability of effluent of UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) with tertiary filtration – Rapid Filter plus ISFs (Intermittent Sand Filters), a system has been installed in pilot scale, at Mangueira Treatment Plant (Recife) to treat domestic sewage. The up-flow rapid filter removes mainly solids and turbidity, while the ISFs remove these parameters and are also efficient in organic matters degradation, in pathogenic removal and nitrification. The RF was idealized with pebble support set and sand filter bed. The ISFs were built with gravel support set and sand filter bed. Three ISFs were built, varying their effective diameters: 0,5; 0,7 and 1,2mm. The experiment was divided in two fases according to the frequency of applications in FILAs: 8 and 16 times per day. In great part of the time the standards to meet the urban reuse were reached. There was satisfactory nitrification in ISFs, the filters showed averages of effluent turbidity (ISFs 1, 2 e 3) equal to 14,44; 11,80; 11,18 NTU (Fase1) and 5,52; 3,88; 6,59 NTU (Fase2). The maximum BOD₅ average in the effluent was 21,94 mgO₂/L. Fecal coliforms in the end of treatment didn't suit the reuse standards, the lowest average value was found in ISF 1: $1,55 \cdot 10^4$ MNP/100 mL.

Key-words: Rapid Filter – ISF – Tertiary treatment – Domestic sewage-reclaimed water

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fecho hídrico posterior	23
Figura 2 – Tipos usuais de descarga	23
Figura 3 – Árvore hierárquica das áreas selecionadas	30
Figura 4 – Classificação hierárquica de acordo com o AHP	31
Figura 5 – Fluxograma de sistema separado de água	32
Figura 6 – Esquema velocidades dos filtros	39
Figura 7 – Oscilações em sistema de vasos comunicantes	40
Figura 8 – Esquema de filtro ascendente com piezômetros	40
Figura 9 – Filtração com taxa constante	42
Figura 10 – Desenho esquemático do sistema UASB+FILAs	46
Figura 11 – Localização do Bairro da Mangueira	49
Figura 12 – Sistema de tratamento sugerido	50
Figura 13 – Fotografia do reator UASB e leito de secagem ETE Mangueira (março/2009)	51
Figura 14 – Detalhes da caixa de distribuição	53
Figura 15 – Caixa de distribuição instalada na ETE Mangueira Março/2009	53
Figura 16 – Esquemas ilustrativos dos filtros rápido (FR) e intermitente de leito de areia (FILA)	55
Figura 17 – Fotografia do filtro rápido e reservatório de lavagem (enterrado)	55
Figura 18 – Fotografia do reservatório de distribuição e FILAs instalados na Estação Experimental Mangueira Julho/2009.	56
Figura 19 – Vista interna dos FILAs – distribuição do afluente	57
Figura 20 – Reservatório enterrado de água para lavagem do FR instalado na Estação Experimental Mangueira (Janeiro de 2009)	58
Figura 21 – Eficiência na remoção de DQO bruta no reator UASB	60
Figura 22 – Duração da carreira de filtração no FR em função da turbidez	64
Figura 23 – Turbidez por equipamento no período de monitoramento	65
Figura 24 – Demanda química de oxigênio – FILA1	66
Figura 25 – SST (mg/L) Afluente, UASB e FR	71
Figura 26 – SST (mg/L) FILA1, FILA2 e FILA3	71
Figura 27 – SDT (mg/L) Afluente, UASB e FR	71

Figura 28 – SDT (mg/L) FILA1, FILA2 e FILA3	71
Figura 29 – Unidades logarítmicas de coliformes fecais removidas em cada unidade do sistema ao longo do período experimental	72
Figura 30 – Ovos no efluente de cada ponto de coleta	74
Figura 31 – Remoção de cor por equipamento	78
Figura 32 – Cor aparente – Fase 2	79
Figura 33 – Nitrogênio amoniacal/nitrito	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média das características do esgoto afluente à ETE Mangueira – Jun/04 a Fev/05	21
Tabela 2 – Doenças associadas à água	22
Tabela 3 – Características necessárias da água de reúso	26
Tabela 4 – Característica do filtro rápido de areia – FR	52
Tabela 5 – Distribuição dos volumes nos FILAs	57
Tabela 6 – Descrição dos pontos amostrais de avaliação do desempenho do sistema de tratamento	59
Tabela 7 – Métodos utilizados nas análises de laboratório	59
Tabela 8 – Resultados pontuais de nitrogênio amoniacal observados ao longo do período operacional	61
Tabela 9 – Nitrogênio amoniacal nas fases 1 e 2 para os diferentes diâmetros (mg NH ₄ ⁺ /L)	62
Tabela 10 – Distribuição do pH ao longo dos dias por equipamento	63
Tabela 11 – TMP por diâmetro efetivo e freqüência de aplicação	66
Tabela 12 – DQO bruta (mg O ₂ /L) nos pontos coletados	67
Tabela 13 – Resumo estatístico DQO bruta (mg O ₂ /L)	67
Tabela 14 – População atendida x área dos filtros	68
Tabela 15 – Resultados obtidos para turbidez ao longo do sistema, nas fases 1 e 2 (NTU)	69
Tabela 16 – Resumo dos resultados obtidos para turbidez nas fases 1 e 2 (NTU)	69
Tabela 17 – Resumo estatístico (uLog/100 mL) de coliformes encontrados em cada equipamento	73
Tabela 18 – Resumo uLog removidas por 100 mL	73
Tabela 19 – Resumo do pH das amostras coletadas	76
Tabela 20 – Valores médios obtidos para Sólidos Suspensos Totais (mg/L) nas unidades do sistema	77
Tabela 21 – uLog/100 mL de coliformes fecais	79
Tabela 22 – Atendimento aos padrões de reúso	81
Tabela 23 – Resumo dos Padrões de Reúso	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Água
APHA	American Public Health Association
AQRM	Análise Quantitativa de Risco Microbiológico
BAP	Produto Associado à Biomassa
BOD	Biological Oxygen Demand
CBR	Contactador Biológico Rotativo
CD	Coeficiente de Desuniformidade
CHD	Carga Hidráulica Disponível
CIRRA	Centro de Referência em Reúso da Água
COHAB	Companhia Habitacional de Pernambuco
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CRT	Cloro Residual Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Deqi	Diâmetro equivalente
DFI	Descargas de Fundo Intermediárias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FDAA	Filtração Direta com Escoamento Ascendente em Areia
FAP	Filtração Ascendente em Pedregulho
FILA	Filtro Intermitente de Leito de Areia
FR	Filtro Rápido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISF	Intermittent Sand Filter
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NMP	Número Mais Provável
pH	Potencial Hidrogenônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

PVC	Poli(Cloreto de Vinila)
RF	Rapid Filter
RMR	Região Metropolitana do Recife
RTF	Resistência Total à Filtração
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SINDUSCON-SP	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SMP	Produtos Microbianos Solúveis
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
TE ou de	Diâmetro Efetivo
TF	Taxa de Filtração
TMP	Tempo Médio de Passagem
UAP	Produto Associado à Utilização do Substrato
UASB	Reator Anaeróbico de Manta de Lodo
URB	Empresa de Urbanização do Recife
USEPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INTRODUÇÃO	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVOS GERAIS	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 REÚSO	17
2.1.1 Constituintes das águas residuárias	20
2.1.2 Características das águas adequadas para reúso em bacias sanitárias	23
2.1.3 Panorama do sistema de rede de água e de esgoto na RMR (Região Metropolitana do Recife)	28
2.1.4 Sistemas de reúso doméstico x sistema de reúso de ETE	29
2.2 REATOR UASB	33
2.2.1 Reator anaeróbio de manta de lodo UASB	33
2.2.1.1 <i>DQO residual</i>	34
2.2.2 Filtração rápida	35
2.2.2.1 <i>Indicações</i>	35
2.2.2.2 <i>Parâmetros de projeto</i>	37
2.2.3 Filtro intermitente em leito de areia – FILA	43
2.2.3.1 <i>Características</i>	43
2.2.3.2 <i>Indicações</i>	45
2.2.3.3 <i>Crítérios e parâmetros de projeto</i>	45
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 LOCALIZAÇÃO	49
3.2 APARATO EXPERIMENTAL	49
3.3 ANÁLISES E EXAMES LABORATORIAIS	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS	60
4.2 REMOÇÃO DA TURBIDEZ E SST	68

4.3 REMOÇÃO DE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS	72
4.4 ADEQUAÇÃO DO EFLUENTE PARA REÚSO URBANO NÃO POTÁVEL	74
4.4.1 Demanda bioquímica de oxigênio	75
4.4.2 pH	75
4.4.3 Sólidos dissolvidos e suspensos totais	76
4.4.4 Turbidez	77
4.4.5 Cor	77
4.4.6 Coliformes fecais	79
4.4.7 Nitrogênio	80
5 CONCLUSÕES	83
6 SUGESTÕES PARA O DESDOBRAMENTO DO TRABALHO	85
BIBLIOGRAFIA	86

INTRODUÇÃO

A falta de fontes de água despolidas próximas a centros urbanos, a escassez de fontes em regiões áridas, o custo de tratamento para atingir potabilidade e desperdícios na rede de distribuição e nas residências fizeram com que o reúso direto de águas residuárias, principalmente de esgoto doméstico, se mostrasse alternativa viável.

O reúso consiste no aproveitamento de água residuária após tratamento, mesmo que com menor qualidade, desde que atenda a determinado fim (SEMURA *et al.*,2007). Com esta técnica conservam-se os recursos hídricos ao mesmo tempo em que se reduz a poluição (USEPA,2004).

Este trabalho aborda o tratamento de esgotos domésticos em estação piloto para produção de efluente adequado ao reúso urbano não potável visando sua aplicabilidade em vasos sanitários. A configuração reator UASB seguido de filtro rápido tem se mostrado adequada para a remoção de matéria orgânica e uma parcela considerável dos ovos de helmintos. A esse sistema foi adicionada a filtração através de FILAs, a fim de produzir efluentes isentos de ampla gama de patógenos. Tchobanoglous (1991) afirma que para águas de descarga são fundamentais a clarificação e desinfecção.

O estudo foi implantado na Estação de Tratamento de Esgotos ETE Mangueira, que recebe os esgotos provenientes de três bairros de baixa renda da cidade do Recife – PE: Mangueira, San Martin e Mustardinha. A temperatura ambiente é adequada para o tratamento anaeróbio (em torno de 28°). O Recife apresenta um déficit de coleta e tratamento de esgotos domésticos muito alto. Segundo Censo IBGE (2000), 2,5% dos domicílios ainda não possuem sanitários. E nem 50% do esgoto produzido na cidade é coletado e tratado.

O reúso em bacias sanitárias implicaria em projeto de instalação hidráulica nas edificações com abastecimento separado (águas de reúso e potável). O custo da ampliação da rede de distribuição em relação ao benefício do reúso das águas (solução para escassez, redução do custo de tratamento) deve ser estudado em qualquer localidade que deseje adotar tal tecnologia (USEPA, 2004; GENERAL WATERS).

Quanto à qualidade da água, Tchobanoglous (2007) mostra que no esgoto doméstico atenta-se para a remoção de sólidos, matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos. A água de reúso deve ser livre de cor e odor, evitar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias. Além disso, é importante o controle da corrosão e incrustação (dureza, alcalinidade, pH, etc.) para proteger o sistema de distribuição, metais e louças dos sanitários.

O efluente do reator UASB apresenta sólidos suspensos de pequenas dimensões, turbidez e parte solúvel de DQO, que podem ser tratados por filtração (CAMPOS *et al.*, 1999). O filtro rápido é normalmente usado em Estações de Tratamento de Água, após coagulação e decantação e trabalha com taxas consideradas elevadas. Vem sendo estudado no tratamento de esgotos, após secundário, na remoção de turbidez e sólidos (AISSE *et al.*, 2006). Ele não tem atividade biológica relevante e sua operação não é simples quando altos valores de turbidez e sólidos são aplicados.

Os FILAs são utilizados em larga escala como pós-tratamento para fossas sépticas. As baixas taxas de aplicação utilizadas e os intervalos entre aplicações do afluente garantem remoção de matéria orgânica, patógenos, além da nitrificação eficiente (COHIM, 2006), consistindo num tratamento terciário. Produzem um efluente de alta qualidade, com concentrações de DBO₅ e SST iguais a 10 mg/L ou menos e nitrificação de 80% ou mais da amônia (ANDERSON *et al.*, 1985).

O efluente de cada etapa do tratamento foi submetido a análises físico-químicas e exames biológicos em laboratório. Com o objetivo de comprovar adequação visando descargas em vasos sanitários, foram consultadas as seguintes publicações: “Guidelines for water reuse” – USEPA (2004), “Conservação e reúso da água em edificações” – (SINDUSCON-SP) e estudo do PROSAB: “Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil”, que adaptou os limites estabelecidos pela USEPA em diversos parâmetros. Foi realizada comparação dos dados obtidos em laboratório com tais limites. Pois, no caso do reúso urbano, ainda não existe regulamentação no Brasil quanto aos limites exigidos para atendimento da qualidade.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o desempenho de um sistema de filtração terciária, composto por filtração rápida ascendente seguida por filtros intermitentes em leito de areia (FILA) de forma a obter efluente com qualidade compatível ao reúso urbano e industrial não potável.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência de remoção de turbidez e sólidos suspensos;
- Avaliar a eficiência de remoção de DBO_5 e microrganismos patogênicos (ovos de helmintos, coliformes termotolerantes);
- Estabelecer as condições operacionais ótimas para a operação do sistema tais como diâmetro efetivo, taxa de aplicação, descargas de fundo (FR) e frequência de aplicação (FILA);
- Observar a formação de biofilme no efluente dos FILAs. Verificar a adequação do efluente para descargas em vasos sanitários através da comparação dos resultados de análises laboratoriais (físico-químicas) e exames bacteriológicos a padrões para reúso urbano não potável.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REÚSO

O crescimento contínuo da população, contaminação tanto das águas superficiais quanto das subterrâneas, distribuição desigual dos recursos hídricos e secas periódicas forçaram as agências distribuidoras a procurar fontes inovadoras de suprimento de água. O uso de efluentes de esgotos tratados, que são descarregados no meio ambiente pelas estações de tratamento, tem recebido mais atenção como fonte de água. O reúso de águas residuárias é uma opção viável, mas a conservação das fontes de água e o uso eficiente dos suprimentos de água existentes constituem ainda o suporte do uso racional. Hoje, existem processos com tecnologia para tornar a água residuária em quase qualquer qualidade desejada. Assim, o reúso direto desempenha um importante papel para a conservação dos recursos hídricos. (TCHOBANOGLIOUS, 1991).

Segundo Cohim (2006), o sistema de tratamento de esgoto convencional, no qual os efluentes são afastados das fontes geradoras, devolvendo somente a água tratada ao ecossistema é questionado por ainda gerar resíduos, colocar o meio ambiente e a população em risco e não aproveitar todos os recursos. Isso porque foi pensado em meados do século XIX, quando a intenção prioritária era afastar os esgotos da cidade e pouco se sabia sobre os processos químicos e biológicos.

O mesmo autor afirma que atualmente se encontra em discussão a mudança para um novo paradigma. Considera-se que os resíduos do tratamento não existem, devem ser gerenciados e considerados como recursos. Além disso, busca-se, com o ecosaneamento, fechar o ciclo dos esgotos com a agricultura. Os nutrientes presentes no efluente de tratamentos secundários como nitrogênio e fósforo são os principais responsáveis pela eutrofização dos cursos d'água. Mas também são essenciais para o desenvolvimento de plantas. Assim, a utilização destes efluentes para irrigação é indicada quando não há um contato direto das águas residuárias com as plantas, mas sim um contato pelas raízes, que absorvem os nutrientes.

As tecnologias limpas vêm ganhando cada vez mais espaço na indústria, com a aplicação dos conceitos de prevenção da poluição e reúso da água.

Assim, a tendência atual é evitar ao máximo possível poluir o meio ambiente e aproveitar os resíduos de cada etapa no tratamento. Numa ETE pode-se aproveitar o lodo e devolver ao solo os nutrientes antes retirados. Também o metano, gás gerado no tratamento anaeróbico, que é um dos agravantes do aquecimento global, mas que pode ser aproveitado como fonte de energia (COHIM,2006) e na produção de hidrogênio para combustíveis, entre outras aplicações (SANTOS et al., 2005). A água, como produto final do tratamento, pode ser utilizada para os mais diversos fins, dependendo do grau de remoção de poluentes ao qual foi submetida.

O reúso planejado faz parte da estratégia global proposta para o meio ambiente, já que permite o alcance de três objetivos: manutenção da integridade dos ecossistemas, uso sustentável da água e universalização dos serviços de saneamento, promovendo qualidade de vida da população (SEMURA *et al.*, 2007) .

Os diversos tipos de reúso são classificados da seguinte maneira: (VITTORATO e SILVA, 2004):

- Reúso indireto não planejado: a água é devolvida a um curso d'água após o uso e dissolvida, sendo utilizada a jusante do lançamento.
- Reúso indireto planejado: a água tratada é devolvida a curso d'água ou manancial subterrâneo para ser utilizada a jusante para determinado fim de modo controlado e planejado.
- Reúso planejado ou intencional: o efluente, depois de tratado intencionalmente para determinado uso é aproveitado, diretamente ou indiretamente. Nesse caso ele deve atender aos padrões de qualidade requeridos.
- Reciclagem da água: O efluente é tratado e utilizado no mesmo local, ao invés de ser descarregado em curso d'água.

Ele também pode ser dividido em (CIRRA, 2007):

- Reúso agrícola: irrigação, piscicultura e dessedentação de animais. O uso consuntivo na agricultura brasileira corresponde a 70% do total, o que a torna setor prioritário nesta prática. O reúso é uma forma de devolver o nitrogênio e fósforo, de forma assimilável, ao solo e às plantas, de forma mais simples e economicamente viável.

- Reúso urbano: na área urbana o reúso pode ser considerado em irrigações de campos e quadras esportivas, descarga de toaletes, jardinagem, torres de resfriamento, parques, lavagem de veículos, reserva de incêndio, recreação, construção civil, limpeza de tubulações, etc.
- Reúso industrial: na indústria a água pode ser utilizada para processos, refrigeração, alimentação de caldeiras ou em lavagem de gases. Muitas indústrias captam água diretamente dos cursos d'água e devolvem sem tratamento ou com qualidade inadequada. Com a proposta da ANA (Lei 9433 de Janeiro de 1997) de cobrança pelo uso da água e penalização no lançamento indiscriminado de efluentes, o reúso aparece como alternativa para garantir a sustentabilidade industrial.
- No meio ambiente: devolução de água em estado adequado para garantir a paisagem, o lazer, e habitats de seres aquáticos.
- Recarga de aquíferos: a recarga natural pode ser prejudicada por diversos fatores, como a impermeabilização do solo; a introdução de água tratada pode atuar compensando essa falta.
- Reúso doméstico: O setor urbano é responsável por 26% (CIRRA,2007) do consumo de água bruta no Brasil. O consumo da água em residências é dividido em potável e não-potável, e também em externo e interno. O consumo externo corresponde a lavagem de pátios, carros e jardinagem, enquanto que os demais são classificados como internos. Embora nem todos os usos demandem água potável, o Ministério da Saúde determina grau de potabilidade nos sistemas de distribuição de água para consumo humano, que da captação passa por uma estação de tratamento, o que a torna mais cara.

O reúso da água vinda de estações de tratamento de esgotos se mostra difícil quando o assunto é água potável, pois as águas residuárias ainda apresentam patógenos e substâncias não degradadas, que aumentam o custo do pós-tratamento, inviabilizando a técnica, embora em alguns países ela seja utilizada. Para uso não potável, entretanto, ela se mostra favorável e é largamente utilizada (USEPA, 2004).

No Brasil as pesquisas ainda estão sendo desenvolvidas e as águas só são reaproveitadas se existe proximidade da estação de tratamento de esgoto por causa

do custo de transporte e reservação. O reúso é aplicado nas áreas externas e na descarga em toaletes, o que exige um sistema de distribuição, medição e reservação secundário ao de água potável. Guia da Agência de Proteção Ambiental Americana USEPA (2004) afirma que descargas em vasos sanitários podem consumir mais de 45% da demanda de água interna residencial.

Segundo estudo da ANA (CONSERVAÇÃO...2005) existem perdas por vazamentos no sistema de distribuição da água tratada, além de perdas desconhecidas nas residências por vazamentos ou uso inadequado. Existem também formas de monitorar as perdas invisíveis, testes simples aplicados em reservatórios e vasos sanitários, por exemplo, porém que não são conhecidos da população em geral.

No referido estudo, foram abordados também sistemas de reservação alternativa para água de reúso, além de sistemas de medição individual e coletiva do consumo dessa água. Verificou-se que é possível a construção de novas edificações com estrutura para água de reúso e adequação das antigas, salvo sob condições restritivas construtivas. Existe um custo considerável na duplicação das redes de abastecimento, operação dos sistemas e risco de cruzamento entre as redes, que deve ser pensado junto com a economia da água e prevenção da escassez. Guia da USEPA (2004) não considera uma duplicação da rede de abastecimento de água, mas uma complementação.

O resultado desse estudo foi o Manual de Conservação de Reúso de Água em Edificações, para Engenheiros e Arquitetos, com a finalidade de auxiliar projetos que visem a conservação da água lançado pelo SINDUSCON- SP.

2.1.1 Constituintes das águas residuárias

Os esgotos domésticos são caracterizados por apresentarem sólidos (constituintes físicos), matéria orgânica e nutrientes (químicos) e algas e microrganismos (biológicos).

Pimenta (2005) monitorou o esgoto afluente à ETE Mangueira, entre Junho de 2004 e fevereiro de 2005. Os resultados das médias das amostras coletadas na

caixa divisora do reator UASB estão mostrados na Tabela 1, caracterizando o esgoto doméstico a ser tratado neste trabalho.

Tabela 1 – Média das características do esgoto afluente à ETE Mangueira – Jun/04-Fev/05

	Coliformes Totais (NMP/100mL)	DBO ₅ Bruta (mg/L)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)
Esgoto Afluente	4·10 ⁶	416	366,33	7,13	27,6	598	58

Fonte: PIMENTA, 2005

Florêncio *et al.* (2006), afirmam que em qualquer modalidade de reúso da água, uma elevada remoção de patógenos é, em geral, necessária. Neste sentido, a apreciação da capacidade de remoção de cada processo de tratamento deve ser realizada a partir do seguinte entendimento: bactérias e vírus são, preponderantemente, removidos por inativação, pela ação de desinfetantes físicos (ex.: radiação ultravioleta artificial ou natural). Em ordem crescente à ação desinfetante encontram-se: bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Por sua vez, protozoários e helmintos são removidos, preponderantemente, por processos físicos de separação, por exemplo, decantação e filtração.

As doenças associadas à água podem ser transmitidas por ingestão, contato com água contaminada, transmissão por insetos que procriam na água ou durante o estágio que ela entra no ciclo, no caso de algumas verminoses (SPERLING, 1996a). Em reúso doméstico não potável, as duas primeiras possibilidades (ingestão acidental ou contato) são as causas de preocupação.

A Tabela 2 apresenta as principais doenças nas quais a via de contaminação é a água, seus agentes e sintomas.

Tabela 2 - Doenças associadas à água

DOENÇA	AGENTE CAUSAL	SINTOMAS
INGESTÃO DE ÁGUA CONTAMINADA		
Disenteria bacilar	Bac. (<i>Shigella dysenteriae</i>)	Forte diarreia, desidratação, morte
Cólera	Bac. (<i>Vibrio cholerae</i>)	Forte diarreia, desidratação, morte
Leptospirose	Bac. (<i>Leptospira</i>)	Icterícia, febre
Salmonelose	Bac. (<i>Salmonella</i>)	Febre, náusea, diarreia
Febre tifóide	Bac. (<i>Salmonella typhi</i>)	Febre elevada, diarreia, úlcera do intestino delgado
Disenteria amebiana	Prot. (<i>Entamoeba histolytica</i>)	Diarreia prolongada com sangue, abscessos no fígado e intestino delgado
Giardíase	Prot. (<i>Giardia lamblia</i>)	Diarreia leve a forte, náusea, flatulência
Hepatite inf.	Vírus (hepatite A)	Icterícia, febre
Gastroenterite	Vírus (enterovírus, parvovírus, rotavírus)	Diarreia leve a forte
Paralisia infantil	Vírus (<i>Poliomelites vírus</i>)	Paralisia
VERMINOSE, TENDO A ÁGUA COMO UM ESTÁGIO NO CICLO		
Esquistossomose	Helminto (<i>Schistosoma</i>)	Diarreia, aumento do baço e do fígado, hemorragias
CONTATO COM ÁGUA CONTAMINADA		
Escabiose	<i>Sarcoptes scabiei</i>	Úlceras na pele
Tracoma	<i>Claydia tracomatis</i>	Inflamação dos olhos, cegueira completa ou parcial

Fonte: Benenson (1985), Tchobanoglous e Schroeder, (1985) apud von Sperling, (1996)

A detecção dos agentes patogênicos específicos em uma amostra de esgoto não é feita, em razão de suas baixas concentrações. O presente estudo utilizará bactérias (os coliformes fecais) como indicadoras de contaminação fecal. Tais organismos não são patogênicos no intestino humano, mas dão uma satisfatória indicação de contaminação da água por fezes de animais de sangue quente, e, por conseguinte, indicação da potencialidade da água transmitir alguma das doenças citadas acima. Ovos e larvas de helmintos são pesquisados e frequentemente incluídos no tratamento de esgotos, como indicadores de nematóides humanos

(oocistos de protozoários) embora maior atenção a estes organismos seja dada quando se pretende o reúso agrícola (SPERLING, 1995a; USEPA, 2004).

2.1.2 Características das águas adequadas para reúso em bacias sanitárias

Vasos sanitários são aparelhos dotados de fecho hídrico e que recebem dejetos humanos. Nos vasos auto-aspirantes ou auto-sifonados, o arrastamento de despejos é feito não só pelas descargas da água de lavagem, mas por uma aspiração ocasionada pela disposição dos canais internos aos vasos (MACINTYRE, 1990). As descargas podem ser do tipo caixa acoplada ou realizadas através de tubulação com válvula. Atualmente as instalações sanitárias são de PVC, entretanto as mais antigas foram construídas em ferro. Muitas peças também são de metal.

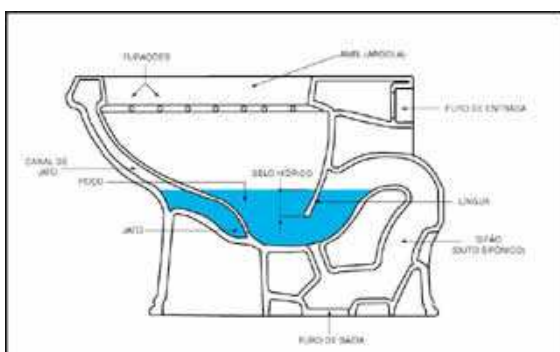


Figura 1 – Fecho hídrico posterior
Fonte: DECA, 2009



Figura 2 – Tipos usuais de descarga
Fonte: DECA, 2009

Assim, para se adequar ao uso em vasos sanitários, o efluente final do tratamento não deve apresentar mau cheiro nem manchar superfícies, não deve deteriorar os metais sanitários, não deve causar infecções ou contaminação por vírus e bactérias prejudiciais à saúde humana e tampouco formar biopelícula, enquanto fecho hídrico (CONSERVAÇÃO...2005).

A determinação dos coliformes é essencial para prevenir doenças em caso de contato humano. O controle da carga orgânica biodegradável (DBO_5) evita a proliferação de microrganismos e cheiro desagradável, em função do processo de

decomposição, que pode ocorrer em linhas e reservatórios. Além disso, o controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, etc. O controle de agentes tensoativos também é necessário para evitar a formação de espumas (CONSERVAÇÃO...2005).

No Brasil, o sistema de abastecimento de água público fornece aos consumidores água potável, a qual não deve apresentar concentração de coliformes totais nem termotolerantes (PORTARIA 518, 2004). Segundo o manual Conservação e reúso da água em Edificações do SINDUSCON – SP, os coliformes fecais devem estar ausentes para reúso de águas cinzas em bacias sanitárias. Entretanto, Cruz *et al.* (2006) em pesquisa realizada pelo PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), confirmaram a presença em bacias sanitárias de prédios públicos, de coliformes termotolerantes em todas as amostras de selo hídrico, tanto em sanitários masculinos, como femininos, na faixa de $1,55 \cdot 10^2$ a $1,20 \cdot 10^5$ em 50% dos vasos utilizando-se água potável. Assim, conclui-se que a aplicação de água de reúso não seria fator de aumento de risco para os usuários e que os padrões de normas estão muito restritos.

Kiperstock *et al.* (2006) avaliou a contribuição da água na qualidade dos aerossóis gerados no momento da descarga e o aumento do risco sanitário de uso de água de qualidade inferior pela inalação dos aerossóis. Num sanitário experimental, foram feitas medições de respingos gerados na descarga, nas alturas de 40 e 50 centímetros do piso. Os resultados indicaram uma clara superioridade de gotas na altura de 40 cm. Utilizando aparelho impactador, foram coletadas amostras de aerossóis gerados com descargas de efluente tratado (UASB+filtro anaeróbio), nas alturas 52 e 100 centímetros. Os resultados mostraram que a água de descarga contribui significativamente para aumento da presença de microrganismos indicadores nos aerossóis. Entretanto, a ausência de microrganismos na altura de 100 cm sugere baixo potencial de risco pela rota da inalação com o uso de água secundária.

No Brasil ainda não existe legislação específica em relação a parâmetros de qualidade e padrões a serem considerados como limites para águas de reúso. Em 2005 o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, lançou a resolução nº54, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso não

potável, porém não define os padrões a serem adotados, que devem ser propostos por normas complementares (BASTOS et al., 2008). Assim, pesquisadores do PROSAB fizeram adaptações aos padrões da USEPA visando o estabelecimento de diretrizes para a implantação de sistemas de água de reúso, com padrões mínimos de qualidade conforme coluna 1 da Tabela 3. Os valores são destinados a sistemas semi-abertos de resfriamento e usos não potáveis irrestritos. Eles são comparados com os parâmetros de águas cinzas para reúso em bacia sanitária resultado do manual do SINDUSCON – SP. A Agência de proteção ambiental americana (USEPA) apresenta diretrizes para reúsos urbanos restritos e irrestritos. A descarga em vasos sanitários é classificada como uso irrestrito e seus padrões também são explicitados na Tabela 3.

Tabela 3 – Características necessárias da água de reúso

PARÂMETROS	PROSAB	SINDUSCON - SP	USEPA*	
	VALOR MÁXIMO			
DBO ₅ (mg/L)	10	10	10-45	10,5,20,30
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	-	20		
pH	6,0 – 9,0	6,0-9,0		6-9
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	-	500		500-2000
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	-	5	5-30	5,30
Turbidez (NTU)	2	2	0,1-30	2-5
Cor (UH)	-	10		
Odor e aparência	-	Não desagradáveis		
Nitrato (mg/L)	-	10		
Nitrito (mg/L)	-	1		
Fósforo total (mg/L)	-	0,1		
Óleos e graxas (mg/L)	-	1		
Compostos orgânicos voláteis (mg/L)	-	Ausentes		
Coliformes Fecais (NMP/ 100 mL)	0/10 ³	Não detectáveis	1-10 ³	2,2, 20, 23, 75

* A primeira coluna se refere a padrões de reúso para países em desenvolvimento (Tabela 8.3 Guia USEPA) e a segunda, padrões em diferentes estados americanos.

FONTE: BASTOS et al., 2008; SINDUSCON – SP, 2005; USEPA, 2004

Semura et al. (2007) procuraram definir parâmetros e padrões de qualidade para uso urbano não-potável na Região Metropolitana de São Paulo de águas

residuárias provenientes de ETEs. Considerando-se usos urbanos mais restritivos, ou seja, atividades que mesmo não incluindo contato primário admitem a interação ocasional homem-meio, como lavagem de vias públicas, construção civil, lavagem e desobstrução de dutos, etc. Os resultados são padrões menos rígidos que os utilizados para usos irrestritos:

- CRT (Cloro residual total): 2 a 10 mg/L, com tempo de contato de 30 min. Existe a maior probabilidade de inativação de vírus em concentrações acima de 5 mg/L, sendo necessária descloração unicamente para irrigação.
- DBO₅<25 mg/L
- SST<35 mg/L: Maus odores resultantes da degradação anaeróbia de sólidos, bem como evitar substrato para desenvolvimento de microrganismos.
- Turbidez <20 UNT
- Coliformes Fecais<200 NMP/100 mL. A ausência de coliformes asseguraria a ausência de bactérias patogênicas, porém a inclusão da turbidez e de cloro residual presta-se ao papel complementar da indicação de protozoários por filtração e da inativação de vírus (USEPA,1998; BASTOS *et al*,2008).
- pH: 6,0 a 9,0
- Óleos e graxas: Visualmente ausentes.

No que concerne a padrões de qualidade exclusivamente microbiológicos, vários estudos são realizados baseados no risco de contaminação nas diferentes formas de reúso. São conhecidas atualmente três abordagens de riscos microbiológicos na utilização de esgotos tratados: (I) Ausência de organismos indicadores- ausência de riscos; (II) medida de risco atribuível dentro de uma população exposta e (III) estimativa do risco mediante o emprego de modelos probabilísticos. Utilizando esta última, Bastos et al., (2008), propuseram concentração limite de coliformes para reúso exposta na Tabela 3, com a aplicação da metodologia análise quantitativa de risco microbiológico (AQRM). Construído um cenário de exposição (concentração de organismos, estimada a ingestão a cada exposição e o número de exposições), podem ser aplicados modelos que estimam o risco de infecção. Estabelecido o risco tolerável, estima-se a concentração de organismos no efluente e pode-se, assim, determinar o grau de tratamento (WHO, 2006a).

Tais limites são justificados por vários fatores (BASTOS *et. al.*, 2008): 1000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes é o limite para recreação com contato primário e o uso em descargas oferece menor exposição que em águas de recreação. O número de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) encontrado em vasos sanitários usualmente é superior ao de legislações para reúso de vários países, assim, a água de reúso não apresentaria risco maior do que a população está exposta normalmente.

2.1.3 Panorama do sistema de rede de água e de esgoto na Região Metropolitana do Recife RMR

Segundo Censo demográfico de 2000 do IBGE, a cidade de Recife supera a média do Brasil nos percentuais de domicílios com abastecimento de água através da rede geral (87,96% contra 77,82%). Entretanto, a cidade passa por um racionamento permanente, o que faz a concessionária responsável (COMPESA_ Companhia Pernambucana de Saneamento) elaborar um calendário de distribuição de água. No caso dos bairros que alimentam a ETE Mangueira, o fornecimento de água potável é feito em dias alternados, de 12:00 às 8:00 hs do dia seguinte.

Dados do mesmo censo mostram as percentagens de domicílios com esgotamento sanitário ligados à rede (Brasil 47,24% e Recife 42,86%). Desse total, o tratamento atinge menos da metade do esgoto coletado no país. Segundo a Pesquisa Trata Brasil Saneamento e Saúde (PESQUISA...2007), do Instituto Trata Brasil, o esgoto não coletado tem como destino fossas (séptica e rudimentar), disposição em valas, em rios e no mar e 2,5% dos domicílios recifenses não têm sanitários.

O sistema de esgotamento sanitário da RMR é constituído dos subsistemas de Cabanga, Peixinhos e Mangueira. Cada sistema é composto de rede coletora, estações elevatórias e de tratamento. Parte dos sistemas está ociosa, pois muitas casas não realizam a ligação à rede, devido a falhas na estrutura de coleta e deficiências de operação e manutenção do sistema. Segundo publicação da Prefeitura do Recife, nas décadas de 70, 80 e 90, a ampliação da cobertura da área

saneada pela COMPESA não foi expressiva, dando origem a sistemas de menor porte:

- Sistemas isolados- não interligados aos subsistemas citados, servem a núcleos habitacionais localizados. Ex: Inez Andreazza, na Estância e conjuntos habitacionais nas URs. (COHAB, URB, COMPESA).
- Drenos - não contam com tratamento adequado ou nenhum tratamento.
- Sistemas condominiais - ligações coletivas, com tratamento simplificado. Ex: Jardim São Paulo, Rio Jiquiá.
- Sistemas espontâneos: escavações de valetas no terreno, a céu aberto, que encaminham o esgoto até o curso d'água mais próximo.

O sistema de fossas sépticas não é adequado para o esgotamento na cidade, embora seja o mais utilizado onde não existe rede coletora, devido à baixa adsorção do solo e ao nível relativamente elevado do lençol freático (Caderno do meio ambiente – PREFEITURA DO RECIFE).

2.1.4 Sistemas de reúso doméstico x sistemas de reúso de ETE

Através de um estudo de caso, na cidade de Curitiba, foram propostas 52 ações em dada área (10 km, abrangendo duas ETEs), das quais 9 foram selecionadas como mais importantes para implantação de reúso de água em meio urbano. Tais ações eram compostas de diferentes sistemas de tratamento, reservação e de distribuição, ou seja, rede e/ou caminhão, e usuários. Levou-se em consideração a viabilidade técnica preliminar, as vazões de oferta e demanda, as distâncias entre os pontos de oferta e os possíveis usuários. As alternativas consideraram o tratamento oferecido por cada ETE (UASB / Aeração prolongada tipo carrossel) mais pós-tratamento específico para o uso. Cada ação foi estudada através de análises quali-quantitativas, de custos, de benefícios, de impactos e por fim, de riscos. Utilizando então o método AHP (Analytic Hierarchy Process), essas ações foram hierarquizadas a fim de facilitar o planejamento de implantação da prática de reúso de água (MALINOWSKI *et al.*,2007). Entre as 9 ações selecionadas inclui-se o uso em indústrias, reúso doméstico de águas cinzas, limpeza pública, agricultura e tratamento e devolução ao curso d'água para reúso indireto. No reúso

de águas cinzas, considerou-se apenas a água do chuva. A Figura 3 apresenta a árvore hierárquica com as ações escolhidas e os critérios e sub-critérios que fizeram parte da análise:

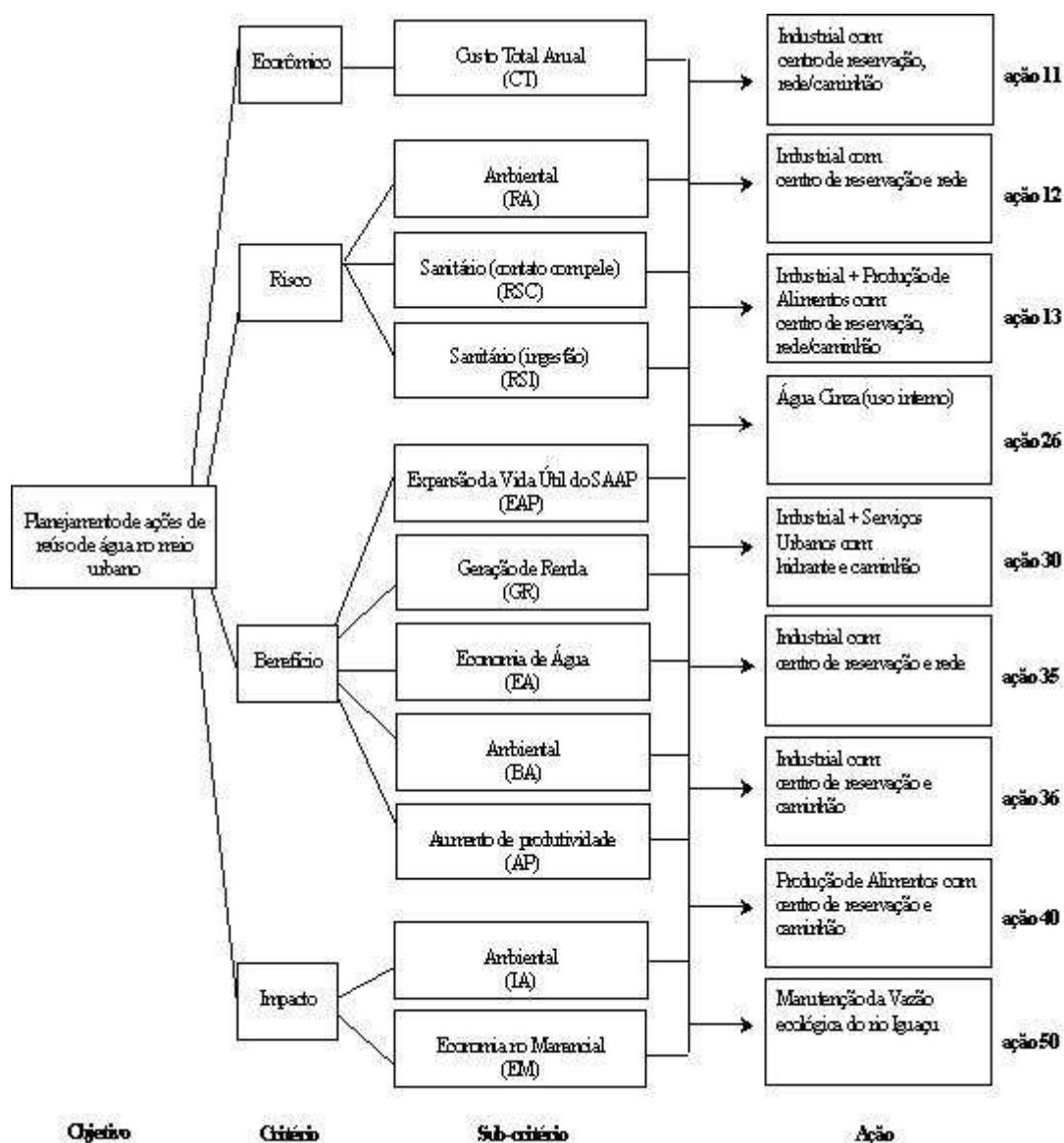


Figura 3 - Árvore hierárquica das ações selecionadas
Fonte: MALINOWSKI et al., 2007

Aplicando-se o método AHP, foram fornecidos pesos no processo de hierarquização, obtendo-se a classificação em ordem decrescente de importância. O critério de maior peso foi o risco, seguido do econômico. A Figura 4 apresenta o grau de prioridade obtido.

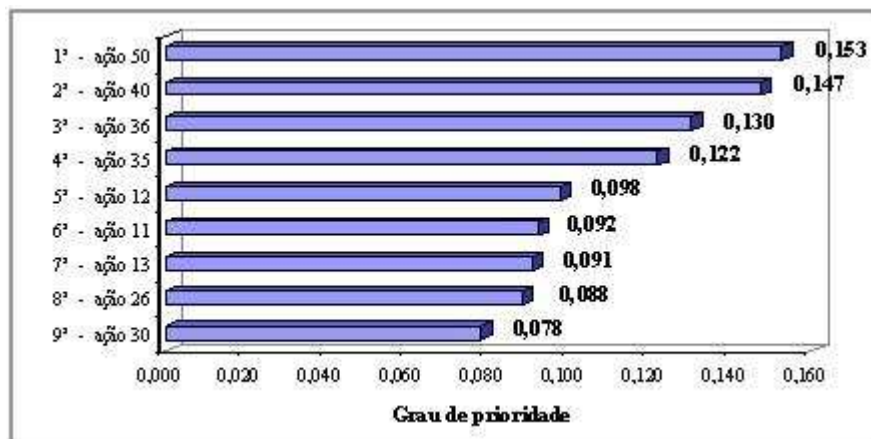


Figura 4 - Classificação hierárquica de acordo com o AHP

Fonte: MALINOWSKI et al.,2007

NOTA: ação 50 = manutenção da vazão ecológica no Rio Iguaçu (ETE Belém)

ação 40 = atendimento do setor agrícola em São José dos Pinhais e Curitiba, através de caminhão (ETE Belém)

ação 36 = atendimento do setor industrial através de caminhão (9 indústrias) (ETE Belém)

ação 35 = atendimento do setor industrial através de rede (9 indústrias) (ETE Belém)

ação 12 = atendimento do setor industrial através de rede (2 indústrias) (ETE Santa Quitéria)

ação 11 = atendimento do setor industrial através de rede (25 indústrias) (ETE Santa Quitéria)

ação 13 = atendimento dos setores industrial (25 indústrias) e agrícola através de rede e caminhão, respectivamente (ETE Santa Quitéria)

ação 26 = uso da água cinza em edificações (ETE Santa Quitéria)

ação 30 = atendimento dos setores industrial (4 indústrias) e de serviços urbanos, através de caminhão (ETE Santa Quitéria)

A conclusão apontou a manutenção à vazão ecológica do Rio Iguaçu como a mais viável, devido a seu baixo custo e grandes benefícios. Mostrando que o reúso indireto planejado é mais atraente. O uso de águas cinzas em edificações ocupou a oitava colocação, já que apresentou alto custo total anual e poucos benefícios, se comparados às demais ações. Quanto à comparação entre a distribuição da água de reúso através de caminhão e rede, o caminhão apresentou-se mais viável, isto por apresentar menor possibilidade de contaminação do solo e da possibilidade de cruzamento de redes água x esgoto.

O problema da manutenção da vazão ecológica nos rios é que nem sempre o curso d'água receptor é fornecedor de água a jusante e, em muitos locais ele já se encontra bastante deteriorado antes de receber o efluente tratado, o que leva a crer que essa água não recirculará no abastecimento da cidade. Assim, o reúso direto proporciona além da manutenção das condições de cursos d'água, a garantia do reaproveitamento pela população.

De acordo com EPA (2002), filtros de areia (os intermitentes e de recirculação) são projetados para casas unifamiliares, estabelecimentos comerciais e pequenas comunidades no tratamento de efluentes de fossas sépticas. Podem ser

da mesma forma utilizados na aquisição de grau de tratamento suficiente no lançamento em corpos d'água. Os filtros intermitentes são mais frequentemente usados em pequenas aplicações e lugares onde a remoção total de nitrogênio não é requerida.

Assim, a utilização de FILAs seria feita também em condomínios, acampamentos ou escolas, por exemplo. No Recife, como visto anteriormente, já são utilizados sistemas de esgotamento sanitário de menor porte quando comparados às ETEs convencionais. O pós-tratamento de efluentes de ETEs e posterior aplicação em banheiros públicos próximos às mesmas também é uma alternativa. A baixa área requerida para o filtro rápido pode compensar a área dos FILAs, e deste modo o sistema poderia atender, ainda com racionalidade de área, a uma população de 10.000 hab.

Sistema de distribuição no interior de edifícios com reservatório e tubulação independente para a alimentação dos vasos sanitários é mostrado na Figura 5.

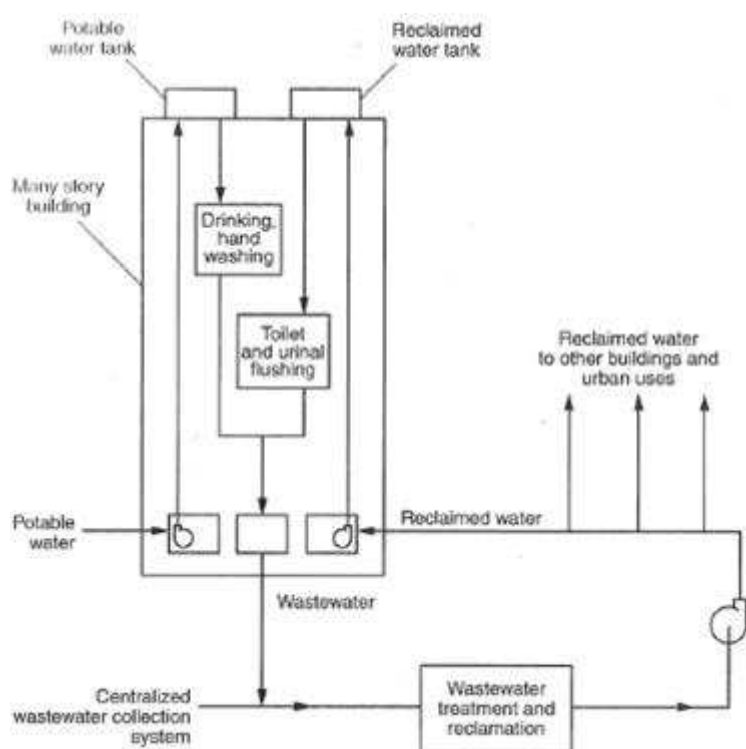


Figura 5 - Fluxograma de sistema separado de água
TCHOBANOGLIOUS,2007 apud GENERAL WATER, 2009

Estudo realizado pela General Water (2009) afirma que em cada caso deve ser feito estudo de viabilidade financeira e que é importante a distinção por cores da tubulação para que não ocorra cruzamento entre as ligações. A implantação em

novas residências e escritórios comerciais é mais fácil, embora reformas ainda sejam viáveis. Enquanto esses novos sistemas são estudados, a sociedade vem mudando hábitos e fabricantes de equipamentos e moradores encontraram formas de reduzir o consumo de água potável.

Já existem aparelhos separadores de descargas, com diferentes vazões para urina e fezes. Muitas pessoas armazenam água da máquina de lavar para lavar terraços, por exemplo.

Na Austrália, Adelaide é uma cidade que convive com restrições ao consumo de água desde 2002. Os moradores estão habituados a usar água de chuva nos jardins e a usar plantas nativas e gramados artificiais. Existem mangueiras para reaproveitamento de água servida sendo vendidas em armazéns de construção, além de temporizadores para chuveiros (NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL, 2009).

Segundo guia USEPA (2004) em cidades onde o abastecimento é feito com água tratada do mar, o reuso em descargas sanitárias de água de esgoto economizaria dinheiro com custos de operação e manutenção da rede.

Quando a área de armazenamento é pequena, pode-se desviar a água tratada para recarga de aquífero.

O mesmo guia apresenta exemplo do distrito de "Irvine Ranch". Em 1991 o distrito começou a utilizar água de reuso para descargas em aparelhos sanitários em prédios comerciais altos (recomenda-se acima de 6 andares). A demanda de água potável nesses edifícios caiu em mais de 75% a partir deste período.

2.2 REATOR UASB SEGUIDO DE SISTEMA DE FILTRAÇÃO

2.2.1 Reator anaeróbio de manta de lodo tipo UASB

O reator UASB desempenha simultaneamente várias funções que, em outras estações de tratamento tradicional, são usualmente efetuadas em tanques separados. No reator UASB ocorre a sedimentação dos sólidos suspensos do esgoto, que, pela sua densidade e devido ao fluxo hidráulico ascendente, ficam retidos no manto de lodo biológico espesso. No UASB ocorre a digestão da parte

sólida retida, seja o lodo dos esgotos, como de parte da própria biomassa presente, daí resultar um lodo já bem estabilizado, requerendo depois somente a secagem, quando do descarte do lodo de excesso. E, sendo reator, ocorre também as reações para o processamento da parte solúvel que vem com os esgotos. Portanto, a grosso modo, o UASB é ao mesmo tempo um decantador primário, um reator biológico propriamente dito, um decantador secundário e um digestor de lodo (CAMPOS, 1999) .

Ainda segundo o mesmo autor, é essencial que o UASB tenha uma distribuição bem uniforme e adequada do afluente no fundo, para proporcionar bom contato biomassa-esgoto e evitar o surgimento de zonas mortas, curtos-circuitos hidráulicos, caminhos preferenciais etc.

Descargas periódicas do lodo constituem parte importante da operação do reator, já que permitem o controle da idade do lodo, bem como mobiliza o conteúdo do fundo do reator e reorganiza a distribuição do fluxo (CAMPOS, 1999)

No interior dos reatores o tratamento é realizado através de operações físicas e processos químicos e biológicos. No reator UASB estão presentes as operações físicas de mistura, floculação, sedimentação e flotação de partículas (TCHOBANOGLOUS, 1991).

O efluente do reator UASB, apesar dos valores de DBO_5 total baixos, pode conter ainda quantidades razoáveis de sólidos em suspensão de pequenas dimensões, que lhe conferem certa turbidez. (CAMPOS, 1999)

2.2.1.1 DQO residual

O tratamento de esgotos em reatores biológicos, em geral, produz efluente que contém uma residualidade de DQO. A DQO residual é associada à lenta biodegradabilidade de determinadas substâncias. Mas também pode ser associada à falha do processo em reter a substância em questão (AQUINO, 2002). Assim, segundo o mesmo autor, a DQO residual consistiria na matéria disponível para oxidação no efluente, não removida durante o tratamento.

A DQO residual é classificada, segundo o tipo de material (particulada ou dissolvida), se estava presente no afluente bruto ou se foi produzida pelo sistema de tratamento, e ainda se é facilmente ou lentamente biodegradável.

A DQO particulada é facilmente removida por processos físicos de separação.

A DQO dissolvida pode ser constituída de substâncias de alto peso molecular ou de baixo peso molecular. Sua maior parte é devida a SMPs – produtos microbianos solúveis, produzidos pela biomassa durante o tratamento.

O controle de produção de SMPs é feito, em sistemas de tratamento biológico bem operados, pelo tempo de retenção celular (TRC). A faixa reportada como ideal em tempos de retenção é de aproximadamente 25 d (sistemas anaeróbios). Antes disso, a produção de SMPs é alta devido à formação de UAPs (produtos associados à utilização do substrato) e depois, a produção aumenta novamente porque foram produzidos BAPs (Produtos associados à biomassa), resultantes do decaimento endógeno e lise celular.

A remoção dessa DQO pode ser realizada por via aeróbia ou anaeróbia, em sistemas que utilizam carvão ativado, hidrólise, oxidação e membranas, por exemplo. (AQUINO, 2002).

2.2.2 Filtração rápida

2.2.2.1 Indicações

Segundo Di Bernardo (2003), a filtração é a remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes no fluido que escoam através de um meio poroso. Os filtros rápidos são largamente utilizados em Estações de Tratamento de Água (ETAs). A NBR 12216 (1992) os define como “unidades destinadas a remover partículas em suspensão, em caso de a água a tratar ser submetida a processo de coagulação, seguido ou não de decantação, ou quando fica comprovado que as partículas capazes de provocar turbidez possam ser removidas pelo filtro, sem necessidade de coagulação”.

Tal equipamento, o filtro rápido, vem sendo estudado também no tratamento de águas residuárias. A coagulação, que no tratamento de água se mostra de notável importância, não é mencionada quando do tratamento de esgotos. Estes possuem partículas maiores, que tendem a formar grânulos e sedimentar no reator UASB, além de formar camadas de microrganismos no suporte inerte dos filtros, fatores que facilitam a retenção de partículas.

O filtro rápido não possui atividade biológica relevante. Sua principal função é o clareamento, removendo a turbidez e grande parte dos sólidos suspensos totais. Volschan (2007) aplicou taxas de 40, 80 e 120 m³/m².d de afluente aos filtros provenientes de tratamento secundário, como UASB seguido de filtro biológico percolador, concluindo que os filtros se mostraram eficientes na remoção de SST, turbidez, cor, DQO e helmintos. E ineficientes quanto à remoção de amônia, fósforo, e coliformes.

De forma geral, o filtro rápido trabalha como um filtro anaeróbio, cujo efluente é bastante clarificado, mas que mantém quase que a mesma concentração de matéria orgânica anterior à filtração. Contém ainda grande quantidade de organismos patogênicos (CAMPOS, 1999).

Quando comparadas a filtração ascendente com a descendente, o filtro ascendente se mostra mais vantajoso, embora o descendente possa apresentar efluentes de melhor qualidade. Di Bernardo (2003) afirma que na filtração ascendente a operação é feita no sentido do maior para o menor grão, colocando todo o leito em funcionamento, o que se chama ação de profundidade. Existe, ainda, a redução da taxa de crescimento da perda de carga durante a filtração, pois quantidades significativas de impurezas são removidas na porção do reator de maior granulometria, o que alonga as carreiras de filtração. Outro fator que prolonga a duração das carreiras é a utilização das DFIs (descargas de fundo intermediárias), que também proporciona melhor qualidade do efluente.

A penetração de impurezas ao longo do meio filtrante está intimamente ligada ao coeficiente de desuniformidade. Quanto menor o valor do CD, mais uniforme será o material granular e, portanto, mais profunda resultará a penetração de impurezas (DI BERNARDO, 1993).

Braga *et al.* (2007) utilizando dupla filtração para remoção de algas em água bruta constataram um melhor desempenho de filtros com granulometria mais grossa

e meio filtrante praticamente uniforme que em um meio granular mais fino e de maior coeficiente de desuniformidade. Obteve, assim, carreiras de maior duração em filtros descendentes (30 horas para taxa de 350 m/d).

O filtro descendente tem como maior vantagem o fato de eliminar um grande inconveniente da filtração ascendente: a segurança sanitária incerta da água filtrada logo após a lavagem dos filtros. A filtração dupla ameniza tal desvantagem, assim como a implantação de tubulação de saída de água de lavagem paralela à de saída de água filtrada nos filtros ascendentes (DI BERNARDO, 2003).

2.2.2.2 Parâmetros de projeto

Aspectos que preocupam os projetistas de filtros são: a altura, ou espessura do leito filtrante, o tipo de material a ser usado para enchimento e sua área específica, a taxa a ser definida, a qualidade do afluente e o sentido do fluxo (CAMPOS, 1999).

Quanto ao diâmetro dos filtros em projetos em escala piloto, Di Bernardo (2003) afirma que nas unidades de filtração a simulação do processo não está associada às dimensões do recipiente que abriga o meio granular, e sim, às características do meio granular. Mesmo assim, existe a preocupação dos cientistas com o chamado “efeito parede”. Ele é resultado da porosidade do meio granular no contato com a parede da coluna ser maior que no interior do meio. Para garantir segurança contra esse efeito, busca-se no projeto uma relação $D/d > 50$, onde D é o diâmetro efetivo do filtro e d é o tamanho efetivo dos grãos.

A altura de projeto depende da taxa de carregamento orgânico aplicada, da quantidade de sólidos suspensos do afluente, do tipo de meio suporte utilizado e do sentido de escoamento (CAMPOS, 1999). Di Bernardo (2003) explica que a colmatação ou entupimento do meio suporte tem sido uma das principais preocupações dos projetistas e usuários de filtros. E sugere que para minimizar os efeitos de colmatação, devem ser previstos dispositivos de limpeza, que promovem a retirada do excesso de sólidos retidos no meio filtrante. Esses dispositivos têm a finalidade de promover descargas periódicas de lodo e a lavagem do material de enchimento. Nesta última, a água é introduzida no sentido ascensional, promovendo

a fluidificação parcial do meio granular. O consumo de água para lavagem é maior na filtração ascendente (grãos maiores).

O mesmo autor afirma que na filtração ascendente, as camadas com diâmetros efetivos distintos são posicionadas em ordem de tamanho decrescente no sentido do fluxo. Quando da associação de filtros, o filtro ascendente pode ter uma camada de areia com espessura menor e granulometria maior, pois seu efluente pode ter maior turbidez uma vez que haverá filtração descendente como tratamento complementar.

Volschan (2007) usando filtros rápidos descendentes para tratamento de efluentes secundários confirmou que quanto maior a taxa aplicada, mais rápido se alcança a perda de carga limite, estabelecida para lavagem. Embora a turbidez do esgoto tratado permaneça indiferente ao aumento. Além de variar as taxas (40-120 m³/m².d), o autor também variou a granulometria, verificando que o aumento desta implica em menores perdas de carga, mas que esse fator também não influencia a turbidez do efluente, ou seja, a qualidade do mesmo.

Os principais mecanismos que contribuem para a remoção de materiais suspensos nos filtros são (TCHOBANOGLIOUS, 1991):

-Gradeamento: Partículas maiores que o espaço dos poros do meio filtrante são interceptados, ou partículas menores são retidas por contato casual.

-Sedimentação: partículas sedimentam no meio filtrante.

-Impacto: Partículas pesadas não seguirão as linhas de fluxo.

-Interceptação: Muitas partículas que se movem com o fluxo de água são removidas quando entram em contato com a superfície do meio.

-Floculação: Partículas grandes atraem partículas menores, formando outras ainda maiores. Essas podem ser removidas por um dos mecanismos acima.

-Adesão: Flocos são aderidos à superfície do meio, à medida que passam. Com a força da água esses flocos podem ser quebrados e as partículas serem puxadas para o meio filtrante ou carreadas para o efluente.

-Adsorção química e física: Uma vez que uma partícula entrou em contato com a superfície do meio filtrante ou outras partículas, interações químicas ou forças eletrostáticas podem ser responsáveis por mantê-las fixas.

-Crescimento biológico: O crescimento biológico dentro do filtro irá diminuir o volume do poro, aumentando o número de sólidos retidos.

No filtro são consideradas duas velocidades: a taxa de filtração “v” (vazão afluyente dividida pela área em planta) e a velocidade intersticial “vf” (velocidade de escoamento nos poros, que aumenta à medida que as partículas são retidas). A Figura 6 mostra tais velocidades. Se a taxa de filtração, ou velocidade de aproximação, permanecer constante, quando as forças de cisalhamento resultantes do escoamento ao longo do meio filtrante superarem as forças de aderência, ocorrerá o arrastamento das partículas para as subcamadas superiores, no caso do filtro ascendente, podendo ocorrer o transpasse (DI BERNARDO, 2003). O transpasse é caracterizado por um aumento brusco na turbidez efluente e deve ser considerado como motivo de término de carreira.

A velocidade de aproximação, de percolação ou de descarga no leito de areia pode ser calculada com a Lei de Darcy (PINTO, 2006):

$$Q = K \cdot \frac{h}{L} \cdot A \quad (\text{eq.1})$$

onde Q é a vazão afluyente ao filtro (m³/s), K é o coeficiente de permeabilidade, constante para cada tipo de solo, h é a carga hidráulica disponível para o leito (m), L a espessura do leito e A a seção transversal do filtro.

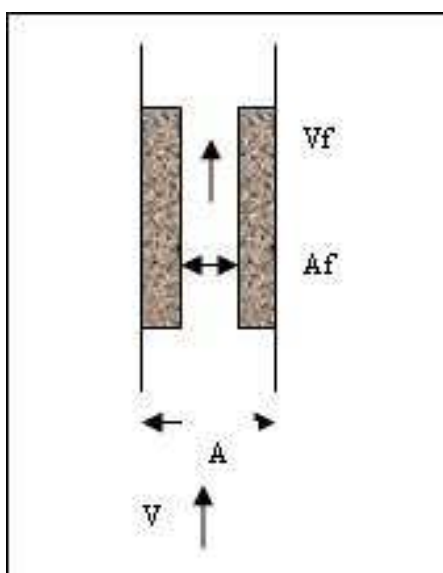


Figura 6 - Esquema velocidades dos filtros
Fonte: PINTO, 2006.

A força de percolação pode ser definida como ação de arraste por atrito da água que percola para cima. Atua da mesma forma que a força gravitacional. As duas se somam quando atuam no mesmo sentido e se subtraem quando em sentido contrário (PINTO, 2006).

A perda de carga total no leito é calculada pela soma da perda de carga com água limpa (característica do material filtrante) com a perda adicionada pelos sólidos retidos ao longo do período de filtração.

A determinação da perda de carga durante o processo de filtração é baseada na quantidade de sólidos removida, taxa de filtração e características do meio (TCHOBANOGLOUS, 1991). A perda de carga na instalação piloto pode ser observada através de piezômetros nas várias camadas que formam o filtro, consistindo na diferença entre duas camadas sucessivas.

Para o cálculo da carga a ser disponibilizada, o sistema ascendente funciona segundo o conceito de vasos comunicantes.

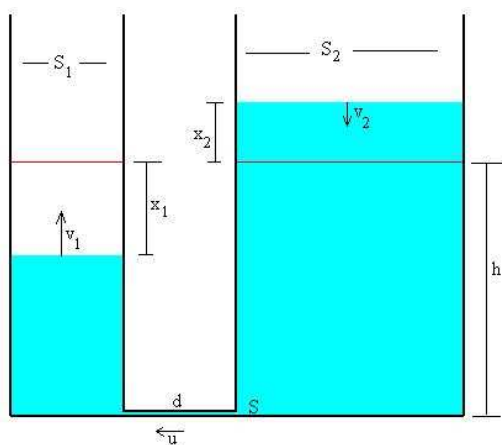


Figura 7 – Oscilações em sistema de vasos comunicantes

Fonte: SANTANA, 2006

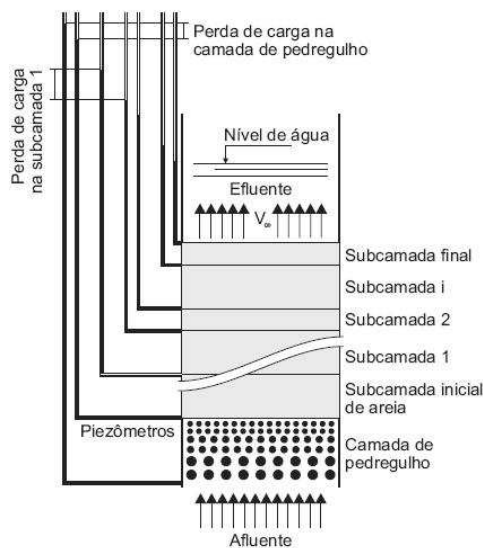


Figura 8 - Esquema de filtro ascendente com piezômetros

Fonte: DI BERNARDO,

Considerando-se o filtro com área S_1 e o reservatório de alimentação com área S_2 , são três as equações utilizadas no dimensionamento (equação de oscilações em um sistema formado por dois vasos comunicantes):

- $x_1 S_1 = x_2 S_2$ (eq. 2) $a = h + \frac{d \cdot S_1}{1 + \frac{S_1}{S_2}}$ (eq. 5)
- $x_1 v_1 = x_2 v_2$ (eq. 3) $b = \frac{S_1}{S_2} - 1$ (eq. 6)
- $\frac{d^2 x_1}{dt^2} + \frac{g}{a + b x_1} x_1 = 0$ (eq. 4)

Onde:

x_1 é o deslocamento do fluido no primeiro recipiente da posição de equilíbrio
 x_2 é o deslocamento do fluido no segundo recipiente da posição de equilíbrio
 S_1 e S_2 suas seções respectivas
 S é seção do tubo de comunicação
 h é a altura de equilíbrio
 v_1 e v_2 suas velocidades respectivas
 U é a velocidade do fluido no tubo que os comunica
 g é a aceleração da gravidade

A segunda equação é a equação da continuidade. A terceira equação é resultado do balanço energético e é resolvida pelo método de Runge-kutta, com as condições iniciais $v_1=0$ quando $x_1=h-h_{10}$, sendo h a altura de equilíbrio e h_{10} a altura inicial no primeiro recipiente (SANTANA, 2006).

A operação dos filtros deve ser feita de forma que a resistência total do filtro à passagem da água seja no mínimo igual à carga disponível. Sendo RTF a Resistência Total à Filtração a soma da perda de carga laminar (meio filtrante) com a perda de carga turbulenta (sistema de drenagem, tubulações e acessórios). Os filtros podem operar, então com CHD (Carga Hidráulica Disponível) constante ou variável e RTF constante ou variável (DI BERNARDO, 2003).

A fluidificação do leito ocorre durante a carreira (parcial), antes e depois do transpasse e durante a lavagem do meio granular. Pode ser explicada a partir do conceito de gradiente crítico. O aumento da carga hidráulica “h”, no fluxo ascendente, faz com que a tensão efetiva ao longo de toda a espessura do leito diminua até que se torne nula. Como a resistência das areias é proporcional à tensão efetiva, quando esta se anula, a areia perde sua resistência. O gradiente crítico tem valor da ordem de 1 e é representado por: $i_{crit} = \text{peso específico submerso} / \text{peso específico da água}$ (eq. 7). Ou ainda, $i_{crit} = h/L = 1$ (eq. 8), onde h é a

carga hidráulica disponível e L a espessura da camada de areia (PINTO, 2006). Fluidificação não é necessária para que ocorra transpasse. O transpasse é comum quando a taxa de filtração é constante, pois com o aumento da velocidade intersticial e da força de cisalhamento, as partículas retidas podem ser carregadas e surgir no efluente (DI BERNARDO, 2003).

Azevedo Netto (1982) recomenda para se evitar o transpasse o uso da equação $h < 0,75L$ (eq. 9) onde h é a carga hidráulica máxima e L a espessura do leito. As várias camadas de areia devem ser consideradas, pois com leitos de granulometria diferenciada, ocorrem diversas velocidades e parte fluidifica, enquanto que parte permanece fixa. (DI BERNARDO, 2003). A perda de carga igualando a carga assim disponível e o pico repentino na turbidez constitui razão para lavagem dos filtros.

É importante salientar que essas fórmulas nos fornecem apenas uma idéia da carga hidráulica limite. O melhor a ser feito é o estudo na prática da evolução da perda de carga x turbidez afluente e efluente. A tendência é que com o aumento da perda de carga, o filtro deixe de tratar a turbidez e posteriormente apresente turbidez maior que a afluente. Antes do término de uma carreira, podem ser feitas descargas de fundo intermediárias, já que parte considerável de sólidos fica retida na camada suporte (DI BERNARDO, 2003). A água de lavagem geralmente é água tratada reaproveitada.

A Figura 9 mostra o comportamento de filtro operando com taxa constante referente a turbidez e perda de carga:

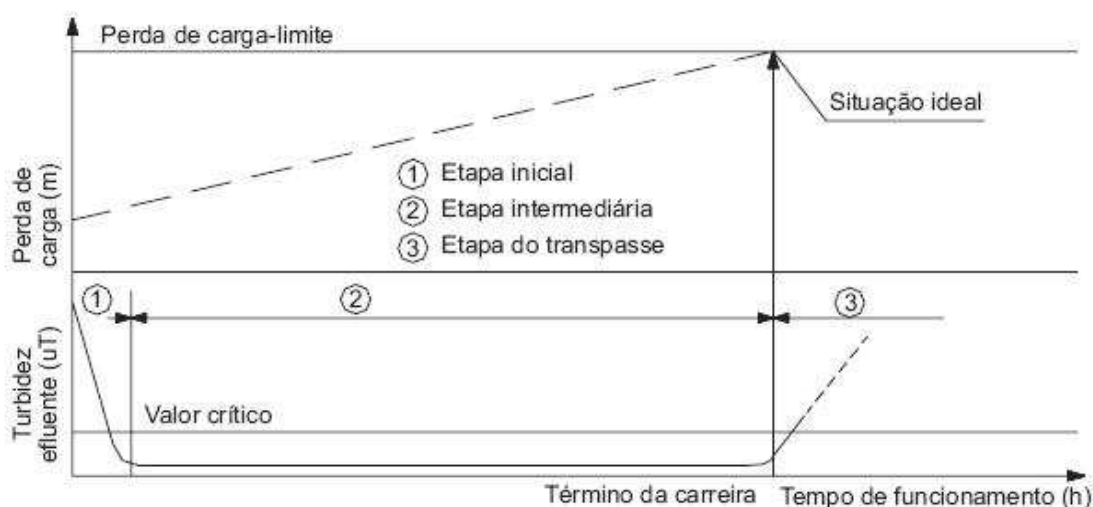


Figura 9 - Filtração com taxa constante
Fonte: DI BERNARDO, 2003

Segundo Di Bernardo (2003), a carreira de filtração na etapa inicial pode apresentar qualidade insatisfatória (1). A etapa intermediária (2) é a mais longa e produz água com qualidade desejável e o ideal seria uma terceira etapa onde o fim da carreira fizesse coincidir a perda de carga limite com o aumento brusco da turbidez (etapa do transpasse).

Na etapa inicial podem ocorrer três picos de turbidez na água filtrada. Nos filtros ascendentes eles decorrem de (DI BERNARDO, 2003)

- a) água de lavagem remanescente em estado limpo, situada acima do meio filtrante e em tubulações de saída;
- b) Água de lavagem remanescente no interior do meio filtrante e em camada suporte; dependendo da eficiência da lavagem, esse segundo pico pode não ocorrer;
- c) Água de lavagem remanescente situada abaixo do meio filtrante.

A filtração rápida foi estudada como pós-tratamento por Aisse *et al.* (2006) com filtro de areia, variando o sentido do fluxo ascendente e descendente, e taxas de aplicação.

O filtro foi construído em PVC flangeado. Para o fluxo ascendente, camada suporte de seixos de 0,40 m e leito filtrante de areia de 0,80 m (AISSE *et al.*, 2006).

Foi utilizada taxa de 100 m³/m².dia, resultando em vazão de 3,14 m³/dia. A necessidade de lavagem era determinada por efluente com turbidez maior ou igual a 20 UTs (unidades de turbidez). Na filtração ascendente o efluente apresentou qualidade inferior a da filtração descendente, bem com ultrapassou a turbidez pré-fixada (20 UT). Foram obtidas eficiências de 57,9 %, 83,2 % e 84,3 % respectivamente para a DQO, Turbidez e SST, quando aplicada a Taxa de 100 m³/m².dia na filtração descendente; na ascendente as eficiências de 36,8%, 68,1% e 71,4% respectivamente para a DQO, Turbidez e SST.

2.2.3 Filtro Intermitente em Leito de Areia - FILA

2.2.3.1 Características

Os filtros de areia são bioreatores aeróbios de filme fixo (U.S. EPA, 1977). Caracterizados por fluxo não contínuo, pela sua taxa de aplicação, vazão, intervalo e número de aplicações, além do tipo de material de enchimento (U. S. EPA,1977). A agência ambiental americana também sugere que o desempenho de operação dos FILAs está diretamente relacionado com o pré-tratamento do esgoto aplicado.

Dultra (2007) relata que os FILAs produzem efluentes de boa qualidade praticamente sem gerar lodo de excesso, mesmo quando recebem efluentes de unidades com baixa eficiência de remoção. Não geram odores e nem aerossóis, têm baixo custo operacional, não requerem mão de obra especializada, com manutenção simples e econômica.

Um pré-tratamento não adequado e a escolha da granulometria de diâmetro pequeno podem diminuir o tempo de colmatação do leito, quando a carreira de filtração é encerrada. Cohim. (2006) esclarece que granulometria muito elevada pode causar diminuição da retenção de sólidos. Acrescenta que a colmatação é responsável pela deficiência na aeração do leito, impossibilitando o funcionamento adequado e que ela está relacionada com a eficiente distribuição do afluente.

A eficiência de um material granular na filtração é influenciada pelo tamanho, pela uniformidade e composição dos grãos. O tamanho dos grãos se relaciona com a área específica, que, por sua vez, representa a disponibilidade de meio suporte para aderência dos microrganismos (SOLOMON et al.,1998). Tamanhos efetivos típicos sugeridos pelo autor varia de 0,25 a 0,75 mm (adaptados de USEPA,1980; Crites e Tchobanoglous, 1998). Dultra (2007) utilizou areias com diâmetro efetivo de 0,4 a 1,3 mm.

Existe no filtro uma correlação entre a vazão e a qualidade do efluente, ou seja, à medida que a vazão aumenta, a concentração de sólidos suspensos no efluente final é maior (DULTRA, 2007). Outra característica dos FILAS verificada pelo autor é que quanto maior o período entre aplicações menos substrato é tratado. Assim, busca-se aumentar a frequência de aplicação a fim de obter melhor qualidade do efluente.

Tonetti *et al.* (2005) avaliaram o funcionamento de instalação piloto de filtros anaeróbios seguidos de FILAs, com profundidades de leito variando de 0,25 a 1,00 m e as cargas afluentes de 20 a 100 Lm⁻². O estudo destacou que os leitos que possuíam 0,75 e 1,00 m de areia suportaram o aumento de cargas de DBO₅

afluentes sem levar a um acréscimo significativo na DBO_5 dos efluentes, realizando também uma completa nitrificação. O filtro de maior profundidade, em todas as faixas de cargas aplicadas, apresentou isoladamente as menores densidades de coliformes totais nos efluentes, enquanto que nas cargas até 80 Lm^{-2} os filtros com profundidades de 0,25 e 0,50 m se mostraram com iguais eficiências.

2.2.3.2 Indicações

Filtração terciária para a remoção de patógenos, sólidos e DBO remanescentes de tratamento secundário e nitrificação. Podem produzir efluentes de boa qualidade mesmo quando operados com altas taxas de aplicação. São utilizados após fossas sépticas ou como polimento de efluentes para reúso (COHIM, 2006, TONETTI et al., 2005). O tipo que utiliza recirculação do efluente é utilizado quando a remoção total de nitrogênio é necessária (U.S.EPA, 1977).

2.2.3.3 Critérios e parâmetros de projeto

A taxa de aplicação é importante porque afeta o tamanho real dos filtros. Uma diminuição da taxa resulta num aumento de área e de custo de instalação. Valores de taxas na literatura variam de 3.1 a 20.4 cm/d. Aplicam-se maiores taxas em filtros com meios mais grossos ou com afluente de melhor qualidade. Eles produzem efluente de menor qualidade à medida que a taxa aumenta (ANDERSON et al., 1985).

Dultra (2007) utilizou filtros de areia e escória, como pós-tratamento de CBR – contactor biológico rotativo, analisando os resultados de DBO, SS e coliformes. O leito se constituía de areia com diâmetros efetivos de 0,4; 0,75 e 1,3 mm e escória com 1,2 mm, com profundidade de 50 cm, em cima de camada de brita (diâmetro de 1,8 a $\frac{3}{4}$). As taxas aplicadas foram de 0,4; 1,1 e 1,4 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Uma das freqüências foi 48 vezes/dia, com intervalos de 30 min. Foi verificado que quanto maior a freqüência de aplicação, melhor a qualidade do efluente e menores os picos de

vazão. Isso devido ao TMP – Tempo médio de passagem e ao fracionamento da carga (muitas e menores doses).

Como conclusão, afirmou-se que o efluente final dos filtros intermitentes apresentou SS abaixo de 10 mg/l, em 75% das amostras analisadas, e DBO₅ menor que 10 mg/L. Eficiências de remoção de duas a quatro casas logarítmicas foram conseguidas de coliformes termotolerantes.

O TMP é o intervalo de tempo em que a água permanece em contato com o substrato granular (DOURADO et al., 2007). Ele é o centro de gravidade da área sob o hidrograma do filtro (COHIM, 2006). Cohim *et al.* (2008) estabeleceu a seguinte fórmula empírica:

$$\text{TMP (min)} = 15,9 + 0,0379 \cdot H(\text{cm}) + 0,146 \cdot F(d-1) - 3,97 \cdot de(\text{mm}) - 1,30 \cdot CH(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

(eq.10)

Onde

H é a espessura do leito de areia

F é a frequência de aplicação

de é o diâmetro efetivo da areia

CH é a taxa de aplicação

O TMP, portanto, aumenta com a profundidade e com a frequência e diminui com o diâmetro efetivo e a carga (COHIM et al., 2008)

COHIM, (2006) utilizou filtros intermitentes no tratamento de esgotos de prédio público. A Figura 10 mostra esquema do sistema, com diâmetro efetivo da areia e frequência de doses.

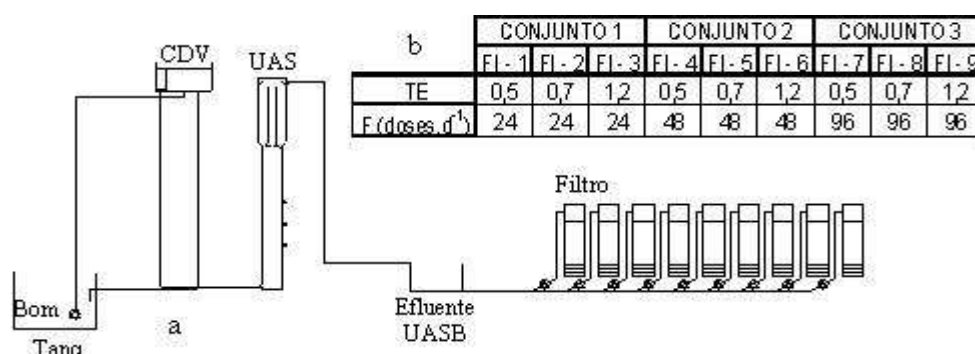


Figura 10 - Desenho esquemático do sistema UASB+FILAs
Fonte: COHIM,2006

Legenda:

a: conjunto do aparato experimental

b: protocolo experimental

Bom: bomba de recalque

CDV: caixa de divisão de vazão
F: frequência de aplicação
FL: FILA

Tanq: poço de decantação primária
TE: diâmetro efetivo
UAS: reator UASB

O diâmetro dos filtros é de 30 cm e a espessura do leito de 60 cm. A carga hidráulica aplicada foi de 0,60 m/dia. Foram analisados dados referentes a DBO, SS, coliformes e nitrogênio. O estudo concluiu que FILAs removem microrganismos, tendo como indicador coliformes termotolerantes em até 4 uLog nas faixas de tamanho efetivo e frequências de aplicação utilizadas (TE de 0,5 a 1,2 mm e F de 24 a 96 d⁻¹). O aumento da frequência de aplicação melhorou de forma significativa o desempenho para o maior tamanho efetivo estudado. O aumento da frequência de aplicação nos tamanhos efetivos menores reduziu a carreira de filtração. São eficientes na remoção de matéria particulada na forma de sólidos suspensos, independentemente da granulometria e da frequência de aplicação, atingindo uma qualidade consistentemente abaixo de 20,0 mg/l. O autor concluiu que os FILAs removem de forma consistente a matéria orgânica na forma de DBO₅, sendo o processo de remoção beneficiado pelo aumento da frequência de aplicação, principalmente quando se utilizam tamanhos efetivos maiores. O efeito do aumento da frequência de aplicação é menos notável nos diâmetros menores. Para as maiores taxas, o diâmetro do meio não influenciou no resultado de DBO. Por fim, sugere que a estratégia de associar leitos de granulometria mais grosseira com altas frequências de aplicação parece ser promissora por permitir a utilização de cargas hidráulicas diárias mais altas sem perda de eficiência.

A remoção de microrganismos em FILAs é feita com a adesão de bactérias no meio filtrante e posterior degradação (STEVICK et al., 2004). Protozoários são maiores que bactérias e se alimentam das mesmas (SPERLING, 1996b). A retenção mecânica é feita por gradeamento, interceptação e adsorção química e física (TCHOBANOGLIOUS, 1991). De acordo com von Sperling (1996a) as condições ambientais que influem na remoção de patogênicos são: temperatura, pH, falta de alimento e competição com outras espécies. Stevick et al. (2004) estudando a eficiência no tratamento biológico de FILAs concluiu que a predação por protozoários de bactérias é mais significativa que a adsorção em material filtrante, embora seja necessário período de maturação.

Segundo Anderson et al. (1985), a temperatura e a reaeração são condições ambientais que mais influenciam em FILAs. A temperatura afeta a taxa de crescimento microbiano, reações químicas e a adsorção.

Cohim (2006) relacionou o TMP à eficiência na remoção de microrganismos. Um aumento no tempo médio de passagem acarretou em aumento de uLog removidas de coliformes. Emerick et al. (1997) constatou um decaimento da remoção de uLog de coliformes fecais com um aumento da carga aplicada. E que a redução é mais expressiva com a diminuição das freqüências de aplicação (para uma mesma carga), pois a qualidade do efluente piora com o aumento das forças de cisalhamento.

A distribuição uniforme do esgoto afluente mantém fluxo não-saturado, resultando em tempo de detenção do líquido no reator suficiente para o tratamento, além de proporcionar a aeração (USEPA, 1977; SOLOMON et al., 1998).

Aumentando-se a profundidade do leito e diminuindo a carga aplicada, é possível a obtenção de uma boa eficiência, porém essas medidas aumentam o custo de execução (ANDERSON et al., 1985). O ideal seria garantir a distribuição uniforme no leito e aumentar a freqüência de aplicação, com cargas de aplicação menores (COHIM,2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO

A presente pesquisa foi desenvolvida na Estação de Tratamento de Esgotos ETE Mangueira, localizada no bairro da Mangueira, na periferia da cidade do Recife-PE. A Figura 11 traz divisão dos bairros do Recife, indicando o bairro da Mangueira. É uma região de baixa renda, situada nas proximidades dos rios Jiquiá e Tejiipió. Os esgotos sanitários tratados pela ETE em escala real são correspondentes a uma população de 18.000 habitantes. É na ETE Mangueira onde estão as unidades experimentais utilizadas em pesquisas do Grupo de Saneamento Ambiental da UFPE. A área onde estão localizados os projetos experimentais tem dimensões de 10 x15 m.

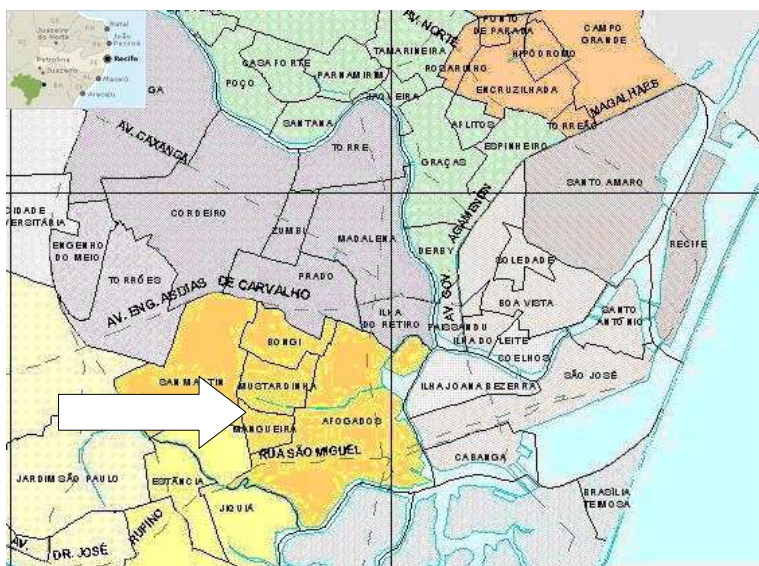


Figura 11 - Localização do bairro da Mangueira
Fonte: PREFEITURA DO RECIFE, 2009; VIAGEM UOL, 2009

3.2 APARATO EXPERIMENTAL

Neste projeto está sendo utilizado tratamento preliminar (grade + caixa de areia), um reator UASB seguido de filtro rápido de areia e filtros intermitentes de areia (FILAs), todos em escala piloto. A Figura 12 apresenta esquema do aparato experimental que foi implantado:

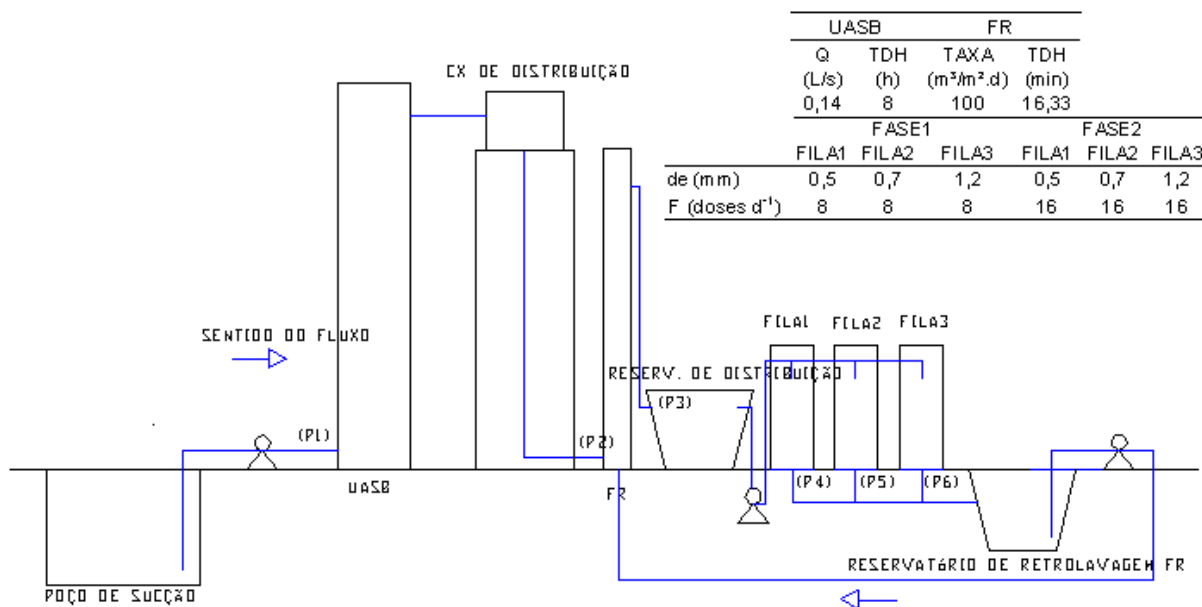


Figura 12 - Sistema de tratamento sugerido

O reator UASB tem o diâmetro de 1,0 m, altura útil total de 5,0 m, totalizando um volume de 4,9 m³. Aproximadamente 1,5 m correspondem à câmara de digestão, enquanto que 3,5 m, à de decantação. A vazão efluente medida *in loco* foi de 0,14 L/s e o tempo de detenção hidráulica de 8 h. O afluente é bombeado até a caixa de distribuição do reator. Há ainda um leito de secagem de lodo com área de 1,75 m². Durante a operação, foram efetuadas descargas de fundo uma vez por mês, com até 10% do volume útil do reator.



Figura 13 – Fotografia do reator UASB e leito de secagem ETE Mangueira (Março/2009)

Foi confeccionado um filtro rápido de fluxo ascendente, em PVC flangeado revestido de fibra de vidro, com diâmetro de 20 cm. Tal unidade de tratamento trabalha no polimento do efluente do reator, principalmente na remoção de sólidos e turbidez, embora ainda remova DQO com baixa eficiência (AISSE *et al.*, 2006). Seguindo experiência anterior do citado autor, o filtro do presente trabalho é preenchido com camada suporte em seixo, com 40 cm de espessura e areia, com 80 cm de espessura.

A *NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público* (1992) estabelece para filtros rápidos ascendentes:

- Espessura da camada filtrante simples: $\geq 2,0$ m
- $D_e = 0,7$ a $0,8$ mm
- Coeficiente de desuniformidade ≤ 2
- Outras combinações podem ser utilizadas, desde que demonstrada a eficiência.
- Camada suporte de seixos rolados
- Espessura da camada suporte $\geq 0,40$ m
- Granulometria decrescente no sentido ascendente
- Espessura de cada estrato da camada suporte $\geq 2,5 \cdot \phi_{\text{maior}} \geq 7,5$ cm

Encontra-se na literatura vários estudos com camada filtrante simples (areia) variando o diâmetro efetivo de 0,6 a 1,6 mm e espessuras de leito filtrante simples entre 0,60 e 0,80 m, sem perda da qualidade do efluente (VOLSCHAN JUNIOR, 2007; AISSE et al., 2006).

Os diâmetros utilizados no FR variaram de 2,83 a 38,1 mm para o seixo e de 0,59 a 2,83 mm para a areia ($d_e = 0,75$ mm). A escolha da granulometria foi feita tomando como base a dupla filtração, utilizada em ETAs. Como o efluente foi submetido aos FILAs, de granulometria mais fina, o diâmetro dos grãos utilizados no FR pôde aumentar sem comprometer a qualidade do efluente. Os parâmetros necessários nos cálculos de lavagem e perda de carga como porosidade e coeficiente de desuniformidade foram estimados. A Tabela 4 mostra a distribuição das várias camadas, onde o diâmetro equivalente (D_{eqi}) representa a média geométrica e x_i , a espessura de cada camada:

Tabela 4 – Características do filtro rápido de areia - FR

Areia				
	Di	Di	Deqi	x_i
	/10³m	/10³m	/10³m	m
Camada 1	0,59	1	0,77	0,15
Camada 2	1	2	1,41	0,6
Camada 3	2	2,83	2,38	0,25
Seixo				
	Di	Di	Deqi	x_i
	/10³m	/10³m	/10³m	m
Estrato 1	2,83	4,76	3,67	0,19
Estrato 2	4,76	9,52	6,73	0,19
Estrato 3	9,52	19,1	13,48	0,38
Estrato 4	19,1	38,1	26,98	0,25

O filtro rápido operou com taxa constante (100 m³/m².d), tempo de detenção hidráulica de 16,33 min. A fim de garantir a vazão constante na entrada do filtro, foi construída uma caixa de distribuição constituída de três compartimentos: o de chegada, o de saída e o dos orifícios (Figura 14). Para permitir o aumento da taxa posteriormente, foram feitos três orifícios, tendo dois deles sido mantidos vedados. Cada orifício tem o diâmetro de 6 mm. Assim, é possível utilizar a caixa com taxas de aplicação para o filtro de 100, 200 ou 300 m³/m².d. A coluna de água acima do eixo do orifício tem 20 cm de altura, sendo controlada por um vertedor, de onde o excedente passa ao compartimento de saída e segue para o dreno. Depois de

filtração, foram feitas descargas de fundo intermediárias (3 na maioria das carreiras). No final de cada carreira o filtro foi esvaziado e lavado.

O cálculo da perda de carga no início da filtração (com água limpa) foi feito por meio do uso da Equação de Fair-Hatch, para taxas menores que $500 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ (DI BERNARDO, 2003). Foram instaladas mangueiras transparentes como piezômetros em três níveis do FR (Figura16) e fita métrica para a medição dos níveis da água em cada momento. Na ponta destes piezômetros foi colocada tela para proteção do material granular. Ao longo do experimento foi verificado o crescimento de algas nos piezômetros.

Uma carreira padrão foi estudada anotando-se os níveis da água nos piezômetros e medindo-se a turbidez afluente e efluente. A lavagem foi feita quando a perda de carga chegou a níveis da etapa do transpasse, quando a turbidez efluente se igualava à afluente ou excedia tal valor, sinal de que o filtro havia atingido a capacidade limite.

Na estação piloto adotou-se a velocidade de lavagem de $168 \text{ cm}/\text{min}$ no FR, com uma vazão de lavagem de $8,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. O cálculo da perda de carga durante a lavagem, bem como da expansão das diversas camadas do leito filtrante foi feito segundo Di Bernardo (2003). Segundo a NBR 12216 (1992), a lavagem do filtro deve ser de no mínimo 15 min, com uma velocidade mínima de $80 \text{ cm}/\text{min}$. Não ocorre expansão da camada suporte e a expansão da camada simples é de 20 a 30%.

O efluente do filtro rápido era encaminhado para um reservatório de 1000 L, que alimentou 3 filtros intermitentes de areia.

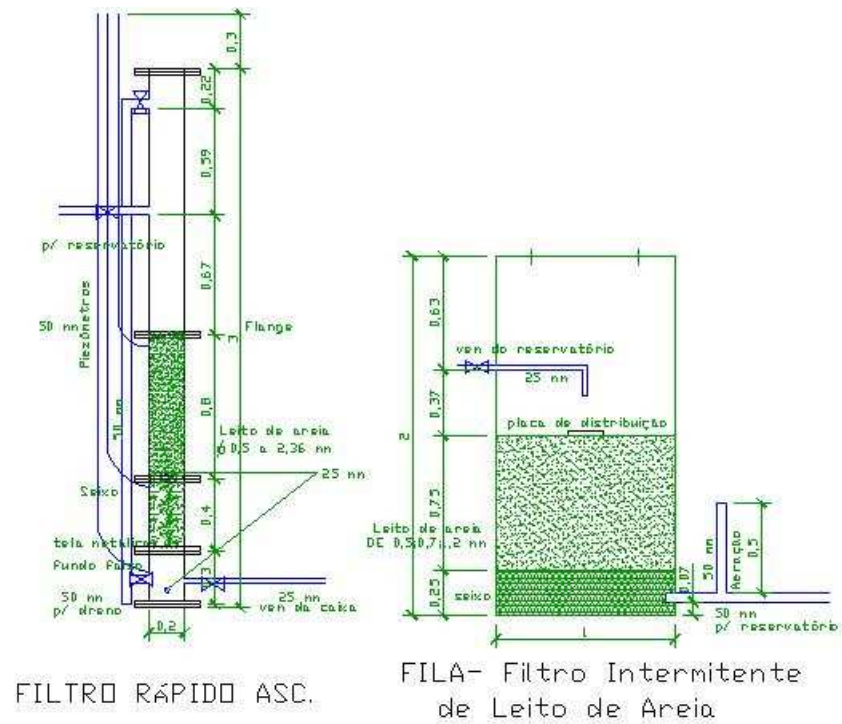


Figura 16 – Esquemas ilustrativos dos filtros rápido (FR) e intermitente de leito de areia (FILA)



Figura 17 – Fotografia do filtro rápido e reservatório de lavagem (enterrado).



Figura 18 – Fotografia do reservatório de distribuição e FILAs instalados na Estação Experimental Mangueira Julho/2009

Cada FILA tem o diâmetro de 1,0 m, com 2,0 m de altura e espessura do leito de areia de 0,75 m, e de camada suporte de 0,25 m. O diâmetro efetivo de areia para cada filtro é de 0,5 mm no FILA 1, 0,7 mm, no FILA 2 e 1,2 mm no FILA 3 (Figura 19). Foram realizadas curvas granulométricas, em laboratório, para diversas amostras de material. A NBR 6502 (1995 apud COHIM, 2006) classifica as areias em finas (diâmetro menor que a peneira de malha 0,2 mm); médias (diâmetro entre 0,2 a 0,6 mm) e grossas (diâmetro entre as peneiras 0,6 a 2,0 mm). A camada suporte dos três filtros foi feita com cascalhinho com diâmetro efetivo de 2,0 mm. Como o filtro é aeróbio, a porosidade do meio influencia na aeração e uma tubulação de aeração foi instalada em cada filtro, como mostra a Figura 16.

Os filtros trabalharam em duas fases, de acordo com a frequência de aplicação adotada (8x/d e 16x/d). A fase 1 do dia 30/03/09 até 31/05/09 (68 dias) e a fase 2 do dia 01/06/09 a 27/07/09 (completando 124 dias de experimento). As vazões foram calculadas com as frequências 24 e 48 doses/dia, para uma carga de 0,60 m/dia. Entretanto, adaptações na operação, fizeram com que os FILAs trabalhassem por 8 horas diárias, o que resultou numa carga de 0,2 m/dia. Durante 2 meses os filtros foram alimentados com cada frequência. A fim de garantir a dosagem, foi instalada uma bomba da marca Invensys (modelo BAV 101-05U), controlada através de programador horário analógico da marca DIGIMEC modelo YTHC-1. O aparelho não

necessita de software, permite a programação simples, no local, com intervalo mínimo de 15 min entre um acionamento e desligamento.

A vazão de alimentação em cada filtro foi de aproximadamente 0,7 L/min. A distribuição de vazões foi feita segundo a Tabela 5:

Tabela 5 - Distribuição dos volumes nos FILAs

Doses	FASE 1	FASE 2
Volume diário (L)	157	157
Vol/Dose (L)	19,625	9,8125
Tempo/dose (min)	30	15
Q (L/min)	0,654	0,654

O nível do reservatório de distribuição foi mantido sempre cheio, com extravasor, tendo sido fixada tal coluna de água no fechamento dos registros e regulação das vazões.

Tais filtros funcionaram como tratamento terciário, removendo ovos de helmintos, coliformes, gases, diminuindo a turbidez e ainda atuando na remoção de matéria orgânica. A nitrificação também pode ser observada em FILAs. Os efluentes dos FILAs foram analisados em diversos parâmetros a fim da constatação de qualidade adequada à aplicação em vasos sanitários, inclusive quanto à formação de biopelícula ao longo do tempo de armazenamento em reservatório.

Antes do início da operação do sistema como um todo, foram aplicadas doses nos FILAs do efluente do UASB, bem como a aplicação de um volume (20 L/d) de efluente proveniente de lagoa aeróbia, para partida do sistema.



Figura 19 - Vista interna dos FILAs- distribuição do afluente.

Da esquerda para a direita: de 0,5, 0,7 e 1,2 mm

Março/2009

O efluente final de cada filtro foi analisado em separado, entretanto seguiu em

conjunto para reservatório enterrado, onde foi acumulado e utilizado para lavagem do filtro rápido e descargas de fundo intermediárias.

Na literatura não é mencionada a lavagem dos FILAs. Quando ocorre a colmatação, recomenda-se a retirada de camada superficial de areia, seguida de reposição.

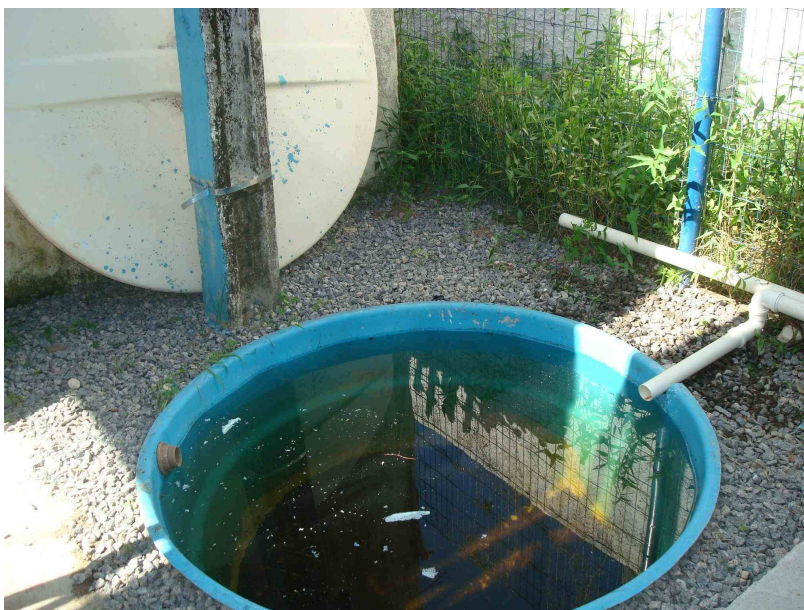


Figura 20: Reservatório enterrado de água para lavagem do FR instalado na Estação Experimental Mangueira (Janeiro/2009)

3.3 ANÁLISES E EXAMES LABORATORIAIS

Para avaliação do desempenho do sistema implantado, semanalmente foram coletadas amostras nos pontos indicados na Tabela 6 e levadas ao LSA – Laboratório de Saneamento Ambiental para análises físico-químicas e exames laboratoriais.

Tabela 6: Descrição dos pontos amostrais de avaliação do desempenho do sistema de tratamento

Ponto de coleta	Descrição do Efluente
Afluente (P1)	Corresponde ao esgoto do poço de sucção da ETE e afluente da caixa de areia + UASB
UASB (P2)	Corresponde ao esgoto efluente do UASB + caixa de distribuição e afluente ao FR
FR (P3)	Corresponde ao esgoto efluente do FR e afluente ao reservatório
FILA 1 (P4)	Corresponde ao efluente FILA1
FILA 2 (P5)	Corresponde ao efluente FILA2
FILA 3 (P6)	Corresponde ao efluente do FILA3

Todas as análises foram feitas de acordo com metodologias do LSA ou dos equipamentos baseadas no Standard Methods for Water and Wastewater (1999). A Tabela 7 descreve as análises e os métodos utilizados. A apresentação dos dados foi feita de duas formas: com tabelas e gráficos representando resultados pontuais, nos dias coletados (coluna dias de experimento) e com tabelas-resumo, mostrando média aritmética, máximo, mínimo e desvio padrão de tais amostras semanais.

Tabela 7 – Métodos utilizados nas análises de laboratório

Análise	Método
Coliformes totais	Substrato cromogênico / Tubos múltiplos
pH	Potenciométrico
Cor	Disco / APHA Platinum-cobalt standard method
Turbidez	Nefelométrico
Nitrogênio amoniacal	Titulométrico
Sólidos	Gravimétrico
Nitrato	Diazotização
DQO total	Titulométrica
Ovos de helmintos	Contagem

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS

Quanto ao reator UASB do sistema piloto ETE Mangueira, o TDH de 8 h se mostrou adequado ao tratamento da DQO afluente. Van Haandel et al. (2000) afirmam que descargas periódicas de lodo geralmente não afetam a eficiência do reator UASB, pois sua capacidade de tratamento é maior que a carga orgânica aplicada (esgotos domésticos). Em estudo realizado por tais pesquisadores, concluiu-se que usando TDH de 4 e 8 h, descargas abaixo de 50 a 60% da massa de lodo não prejudicaram o desempenho do reator. As descargas de lodo foram realizadas no início de cada mês, com volume aproximado de 10% do volume do reator e de menos de 50% do volume de lodo. O dia 62 mostra a maior queda na eficiência, que não afetou a média de 71%.

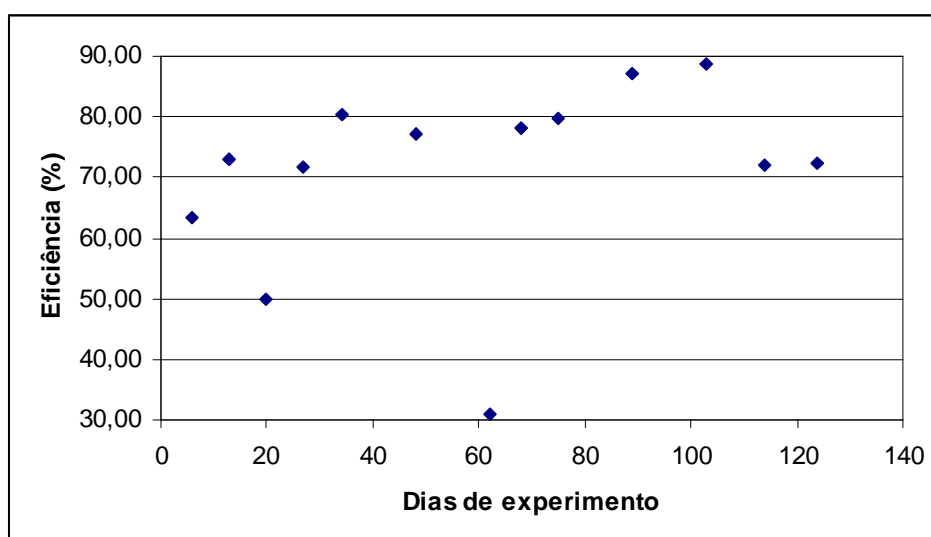


Figura 21 – Eficiência na remoção de DQO bruta no reator UASB

A nitrificação foi estudada a partir de análises de nitrogênio amoniacal (Fase 1 e 2) e nitrito (Fase 2). A amonificação acontece em ambientes anaeróbios e aeróbios, predominando no reator UASB e produz alcalinidade. A nitrificação ocorre

apenas em ambientes aeróbios. Consiste na produção de formas oxidadas do nitrogênio: nitrito e nitrato, consumindo alcalinidade do meio e, portanto, diminuindo o pH. Uma alta relação C/N inibe a nitrificação (von SPERLING, 1996b; MADIGAN, 2003).

A amonificação no reator UASB foi avaliada em conjunto com a caixa de distribuição do FR. Na fase 1 (até o dia 62) do experimento, o lodo acumulado na caixa de distribuição contribuía na amonificação do nitrogênio orgânico. À medida que foram dadas descargas semanais na caixa de distribuição (Fase 2), a renovação do lodo e conseqüente oxigenação permitiram início da nitrificação na caixa. Esse resultado é mostrado na Tabela 8 com a diminuição do nitrogênio amoniacal no ponto (P2) a partir do dia 62.

Tabela 8 – Resultados pontuais de nitrogênio amoniacal observados ao longo do período operacional

DIAS DE EXPERIM.	AFLUENTE (mg NH ₄ ⁺ /L)	UASB (mgNH ₄ ⁺ /L)	FR (mgNH ₄ ⁺ /L)	FILA1 (mgNH ₄ ⁺ /L)	FILA2 (mgNH ₄ ⁺ /L)	FILA3 (mgNH ₄ ⁺ /L)	
6	13,69	16,74	17,70	6,58	8,32	4,54	FASE 1
27	11,51	18,31	18,20	6,33	13,44	6,47	
55	12,68	19,07	19,77	6,52	8,93	4,82	
62	11,26	13,75	14,14	2,49	6,75	2,21	
68	21,84	12,68	13,24	0,00	0,00	0,00	FASE 2
82	20,97	19,43	19,60	1,74	3,89	0,73	
89	17,78	11,82	16,30	7,00	1,09	1,40	
103	24,36	13,69	17,16	2,52	4,87	2,97	
110	18,65	21,90	22,40	2,58	2,27	0,87	
124	30,30	23,80	23,02	6,27	4,06	6,80	

A tabela 9 apresenta resumo estatístico dos resultados das análises de nitrogênio amoniacal nos FILAs, onde n é o número de análises. Quanto aos diferentes diâmetros e frequência de aplicação dos FILAs, pode-se observar que o filtro de maior diâmetro efetivo, e na maior frequência de aplicação foi o mais eficiente na conversão do nitrogênio amoniacal. A profundidade do leito e a melhor oxigenação entre os grãos maiores são fatores que podem ter favorecido o processo de nitrificação (COHIM, 2006).

Tabela 9 – Nitrogênio amoniacal nas fases 1 e 2 para os diferentes diâmetros (mg NH₄⁺/L)

	FASE 1			FASE 2		
	FILA1	FILA2	FILA3	FILA1	FILA2	FILA3
n	4	4	4	6	6	6
média	5,48	9,36	4,51	3,35	2,70	2,13
máx	6,58	13,44	6,47	7,00	4,87	6,80
mín	2,49	6,75	2,21	0,00	0,00	0,00
desv. Padrão	2,00	2,87	1,75	2,72	1,90	2,50

Os resultados obtidos para pH das amostras estão na Tabela 10, confirmando a produção de alcalinidade nos três primeiros equipamentos (UASB, FR, CAIXA), à medida que a amonificação do nitrogênio orgânico acontece. Os valores da segunda coluna são, em grande parte do tempo, maiores que os da primeira.

No UASB, a manutenção do pH em torno de 7 é usualmente obtida com esgotos domésticos, pois existem macronutrientes suficientes para que a produção de ácidos por bactérias responsáveis pela degradação de matéria orgânica seja equilibrada por bactérias responsáveis pela amonificação e consequente tamponamento do sistema (CAMPOS, 1999).

No que concerne aos FILAs, em poucos pontos prevaleceu o consumo do pH, com a nitrificação e a degradação da DQO residual. Foi o caso dos dias 62, 68 e 124 (FILA2, neste último). Nos outros dias, o pH dos FILAs foi sempre superior ao do esgoto afluente, indicando produção de alcalinidade. Uma causa provável é a ocorrência de amonificação (bactérias redutoras de nitrogênio gasoso N₂ no leito dos FILAs e DQO utilizada no reservatório de distribuição) e de degradação de surfactantes (sabão), com produção de sódio. A nitrificação não foi afetada, dados os baixos valores de nitrogênio amoniacal no efluente dos FILAs (médias abaixo de 5,0 na fase 2).

Tabela 10 – Distribuição do pH ao longo dos dias por equipamento

TEMPO DE EXPERIMENTO (DIAS)	P1 AFLUENTE	P2 UASB	P3 FR	P4 FILA1	P5 FILA2	P6 FILA3
6	6,86	6,87	6,87	6,84	6,83	6,84
13	7,2	7,16	7,08	7,2	7,58	7,45
20	6,4	6,92	6,73	6,3	7,11	7,46
27	7,26	7,03	7,08	7,25	7,59	7,45
34	6,98	7,34	7,26	7,53	7,8	7,52
48	6,44	7,2	7,25	7,02	7,54	7,25
62	7,69	7,94	7,81	7,04	7,67	7,52
68	6,96	7,14	7,19	7,09	7,09	7,13
75	7,08	7,31	7,3	7,33	7,57	-
82	7,05	7,28	7,17	7,21	7,58	7,38
89	7,03	7,22	7,25	7,25	7,31	7,75
110	7,43	7,4	7,48	7,67	7,78	7,62
124	7,33	7,43	7,45	7,68	7,38	7,57

Quanto ao FR, a duração média da carreira com a taxa de aplicação de aproximadamente 100 m³/m².d (110 m³/m².d) utilizada ao longo do experimento, foi de 6 horas, sem a realização de DFIs. Ela é ilustrada na Figura 22. O encerramento da carreira de filtração foi estabelecido em função da turbidez no efluente. Foi encerrada quando a turbidez efluente ultrapassou a afluyente. No início da carreira houve dois picos de turbidez (Figura 22), já esperados, com o arraste de material remanescente da lavagem (DI BERNARDO, 2003).

Quando a turbidez efluente ultrapassa a afluyente, particulados começam a sair no efluente e o tratamento da DQO e dos sólidos também ficam comprometidos (DI BERNARDO, 2003). A utilização de taxas maiores e o aumento da turbidez afluyente acarretariam em carreiras mais curtas enquanto que lavagem mais eficiente aumentaria a duração.

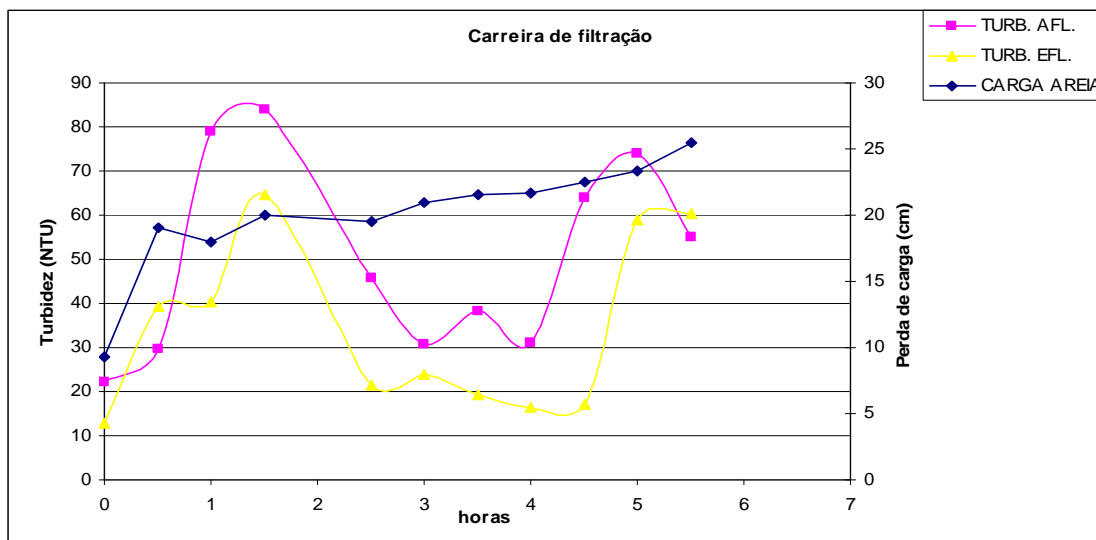


Figura 22 – Duração da carreira de filtração no FR em função da turbidez

Ao longo de todo o estudo, foram observadas 5 carreiras de filtração. Na fase 1, com o intuito de se aproveitar carga hidráulica disponível, o sistema trabalhou com cargas hidráulicas elevadas (acima de 50 cm). Nessa fase, ocorreu o transpasse, porém não a fluidificação total do leito. O comportamento de um meio granular não uniforme é caracterizado pela existência de várias velocidades, para as quais parte do meio granular permanece fixa, e parte, fluidificada. (VAID e GUPTA, 1978).

Em duas destas carreiras não foram realizadas descargas de fundo intermediárias, em três foram realizadas descargas. Uma carreira média como a mostrada na Figura 22 com descarga de fundo não foi analisada. As descargas tinham duração de 1 min, consumindo cerca de 20 L de água. Permitiram a redução da perda de carga em 5 a 10 cm. A intenção é dividir em até 3 descargas a mesma carreira e encerrar com a lavagem, pois os poros começam a entupir das camadas inferiores até as superiores.

O consumo da água por evento de lavagem era igual a 750 L, retirados de reservatório enterrado de 1000 L que era abastecido com efluente dos FILAs.

A Figura 23 apresenta os resultados obtidos para turbidez ao longo do sistema durante o período experimental.

Percebe-se que o efluente do FR apresentou turbidez abaixo de 50 NTU na maior parte do tempo, bem como foi capaz de absorver picos de turbidez afluente, sendo o máximo de 145 NTU (81,60 NTU no efluente) no dia 110 de operação.

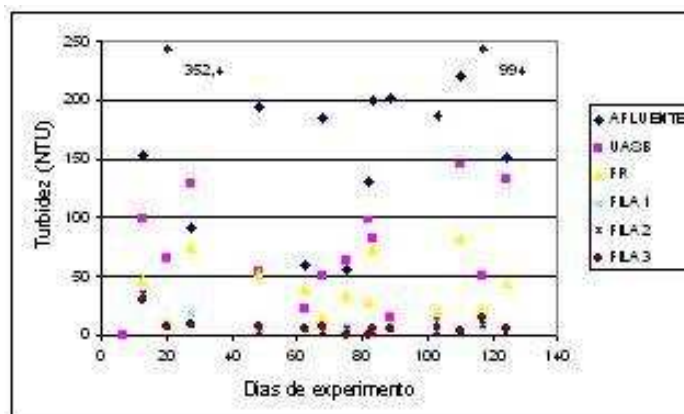


Figura 23 – Turbidez por equipamento no período de monitoramento

O efluente dos FILAs foi homogeneizado (coletado durante toda uma aplicação – 15 min na Fase 1 e 30 min na fase 2) antes de ser levado para análises (2 Litros), pois a concentração de sólidos tende a seguir o hidrograma dos filtros. (DULTRA 2007) O hidrograma dos FILAs foi realizado pelo mesmo autor, sendo em forma de sino, para as durações de alimentação estudadas. Assim, uma coleta pontual poderia fornecer concentrações de sólidos muito baixas ou muito altas, dependendo do instante que foi retirada dos filtros.

Os FILAS em nenhuma fase apresentaram colmatção do leito. O efluente do sistema não formou biopelícula no reservatório coberto enterrado. Porém observou-se a presença de um lodo granulado no fundo do reservatório de lavagem, mesmo com a renovação constante do afluente pelos FILAs e através do extravasor instalado no reservatório. Uma explicação poderia ser os finos do leito de areia sendo carreados no efluente dos FILAs.

O TMP em minutos de cada FILA foi calculado pela fórmula experimental (eq. 10) de Cohim *et al.* (2008) e é apresentado na Tabela abaixo:

Tabela 11 – TMP por diâmetro efetivo e frequência de aplicação

Fase / F (d ⁻¹)	TMP (min)		
	FILA 1	FILA2	FILA3
	De** = 0,5 mm	0,7	1,2
FASE 1 / F = 8	17,67	16,87	14,89
FASE 2 / F* = 16	18,83	18,04	16,05

* F: Frequência (doses/dia)

** De: diâmetro efetivo do leito de areia

Cohim (2006) afirma que os maiores TMPs (menores diâmetros, menores cargas) proporcionam melhor remoção de matéria orgânica (DBO₅) e de coliformes. De acordo com a Tabela 11 o melhor desempenho seria no FILA1, fase 2. A remoção de coliformes na fase 2 nos FILAs foi de 2,48; 1,48 e 1,81 uLog (Fase 1) e 3,76; 1,49 e 1,77 uLog (Fase 2), respectivamente para os FILAs 1, 2 e 3. A DQO permaneceu abaixo de 20 mg/L no FILA1, como pode ser observado na Figura 24.

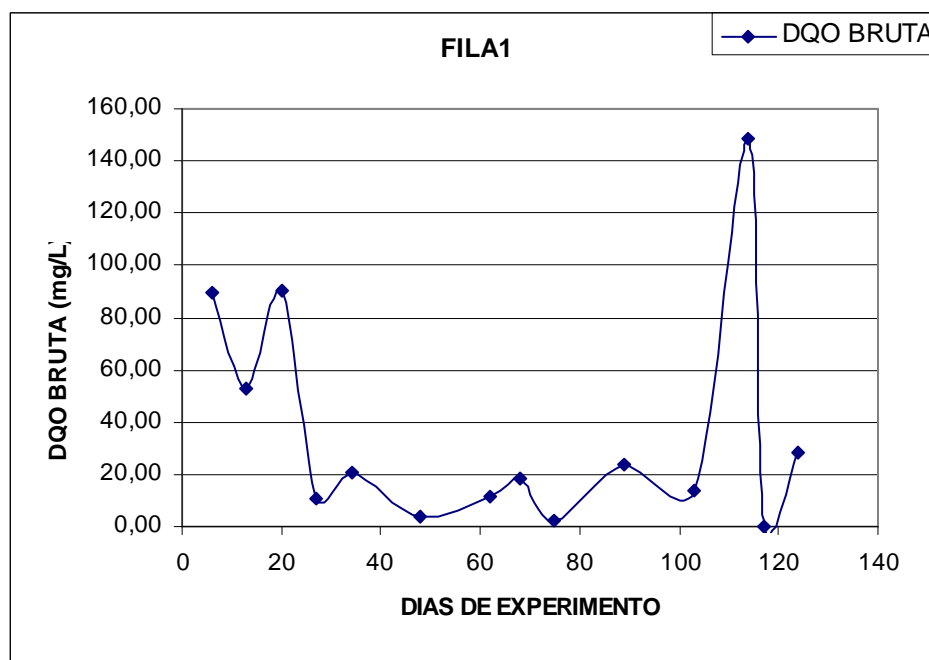


Figura 24 – Demanda química de oxigênio FILA 1

Tabela 12 – DQO bruta (mgO₂/L) nos pontos coletados

Dias de experimento	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
6	245,84	89,88	74,52	89,88	70,68	56,85	FASE 1
13	637,71	171,43	106,29	52,57	41,14	57,14	
20	232,15	116,27	103,43	89,95	98,51	106,03	
27	184,88	52,39	49,73	11,01	44,42	15,06	
34	531,06	105,04	77,40	20,49	17,56	17,07	
48	488,53	111,47	56,83	3,74	42,53	0,77	
62	168,96	116,73	58,99	11,25	36,49	42,74	
68	271,75	59,80	22,17	18,40	18,40	10,38	FASE 2
75	397,83	80,27	63,26	2,50	4,25	3,75	
89	348,29	45,09	38,06	23,37	37,64	10,55	
103	398,95	45,05	55,13	14,03	38,93	30,63	
114	873,31	244,70	210,53	148,16	330,67	139,48	
117	-	65,90	41,49	0,00	4,07	4,88	
124	387,32	107,68	63,48	28,13	26,79	23,57	

Tabela 13 – Resumo estatístico DQO bruta (mgO₂/L)

	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
n	13	14	14	7	7	7	FASE 1
média	397,43	100,83	72,95	39,84	50,19	42,24	
máx	873,31	244,70	210,53	89,95	98,51	106,03	
mín	168,96	45,05	22,17	3,74	17,56	0,77	
desv. Padrão	199,24	54,32	45,80	37,65	26,40	35,58	
		N		7	7	7	FASE 2
		Média		33,51	65,82	31,89	
		Max		148,16	330,67	139,48	
		Mín		0,00	4,07	3,75	
		desv. Padrão		51,59	117,64	48,45	

Nos FILAs os três primeiros pontos (dias 6, 13 e 20) foram coletados quando o reservatório de alimentação continha efluente do UASB, para crescimento mais rápido das bactérias, o que explica valores de DQO tão altos. Após essa fase, houve um único pico de DQO no efluente dos FILAS (dia 114), que acompanhou pico inesperado no afluente. Excluindo-se tais pontos, a DQO permaneceu abaixo de 50 mg/L nos três filtros. Na literatura para a carga de 0,6 m/d foram encontrados resultados de DBO₅ abaixo de 20 mg/L. (COHIM,2006).

O tratamento de esgotos utilizando filtros tem baixo custo de operação e instalação. A manutenção das bombas e o custo da energia e mão-de-obra representam o gasto com o sistema.

A operação do filtro rápido, ao contrário de outros sistemas de tratamento de esgoto, requer muita atenção. Deve ser feito estudo de carreira padrão e

determinação da perda de carga limite. Depois, o acompanhamento constante das leituras dos piezômetros, realização de DFIs e de lavagem. A manutenção dos piezômetros também deve ser feita periodicamente. Descargas de fundo na caixa de distribuição (semanais) e do UASB (mensais) contribuem na eficiência. O orifício da caixa de distribuição com o tempo pode entupir em decorrência do desenvolvimento de biopelícula.

A medição constante da vazão efluente (UASB, FR e afluente aos FILAs) é procedimento indicado. Como é um sistema em série (até a entrada dos FILAs), o comprometimento de um equipamento será refletido nos demais.

Quanto aos FILAs, o programador utilizado na presente pesquisa garantiu a alimentação adequada. Entretanto, as medições de vazões ainda se fazem necessárias, pois se deve voltar atenção ao nível do reservatório de alimentação. A oxigenação adequada do leito deve ser garantida. O melhor é que os filtros, desde que protegidos da chuva, possam ser operados abertos.

Os FILAs são unidades que realizam polimento, com baixo requerimento de área, quando comparados à lagoas. Para ilustrar a diferença de áreas requeridas no filtro rápido e nos FILAs e a população atendida pelo sistema, foi elaborada a Tabela 14.

Tabela 14 – População atendida x área dos filtros

POPULAÇÃO (hab)	ÁREA (m ²)	
	FR	FILA
80	0,08	13,33
100	0,10	16,67
200	0,20	33,33
300	0,30	50,00
500	0,50	83,33

O per capita utilizado foi o de 100 L/hab.d de esgoto produzido, o equivalente à população de classe baixa e hotéis (von SPERLING,1996). As taxas utilizadas foram de 100 m³/m².d para o FR e de 0,60 m³/m².d para o FILA. Assim, mesmo com a implantação do FR, o sistema não requer grandes áreas para implantação.

4.2 REMOÇÃO DA TURBIDEZ E SST

A Tabela 15 ilustra a turbidez por equipamento nas diversas coletas. Em seguida são apresentados os resultados obtidos para SST e SDT (Figuras 25 a 28).

Tabela 15 – Resultados obtidos para Turbidez ao longo do sistema, nas fases 1 e 2 (NTU)

	Dias de exper.	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
6/abr	13	153,6	98,9	45,5	36,4	35,1	28,7	FASE 1
13/abr	20	352,4	64,8	9,58	6,26	5,81	6,16	
20/abr	27	90,8	128,8	74,4	17,3	9,2	8,83	
11/mai	48	194	52,8	51,8	7,21	4,17	7,33	
25/mai	62	59	20,5	38,7	5,04	4,74	4,86	
1/jun	68	186	49,1	15,1	3,94	2,25	6,32	FASE 2
8/jun	75	55,8	63,6	33,24	7,39	5,22	-	
15/jun	82	131,1	97,8	27,48	2,68	1,68	-	
16/jun	83	200	81,3	71,2	4,26	3,7	5,28	
22/jun	89	203	15,4	7,5	7,26	4,34	5,54	
6/jul	103	187	14	19,7	10,1	3,35	7,02	
13/jul	110	222	145	81,6	3,37	1,95	2,02	
20/jul	117	994	51	20,8	7,61	8,45	14,5	
27/jul	124	152	132	42,7	3,04	3,97	5,47	

Tabela 16 – Resumo dos resultados obtidos para turbidez nas fases 1 e 2 (NTU)

	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
N	14	14	14	5	5	5	FASE 1
Média	227,19	72,50	38,52	14,44	11,80	11,18	
máx	994,00	145,00	81,60	36,40	35,10	28,70	
mín	55,80	14,00	7,50	5,04	4,17	4,86	
desv. Padrão	233,04	43,24	24,21	13,21	13,17	9,91	
		n		9	9	7	FASE 2
		média		5,52	3,88	6,59	
		máx		10,10	8,45	14,50	
		mín		2,68	1,68	2,02	
		desv. Padrão		2,62	2,07	3,82	

No UASB a remoção de sólidos é realizada com a adesão de flocos, sedimentação e digestão (CAMPOS, 1999). No FR e nos FILAs são removidos por sedimentação, interceptação, adsorção química e física (TCHOBANOGLIOUS, 1991). Como visto anteriormente, o crescimento biológico contribui na diminuição do volume dos poros. Nos FILAs a concentração de sólidos no pico de vazão aumenta no efluente.

A duração da carreira do FR com esgoto é mais curta que quando operado com água. Aisse (2006) utilizou esgoto afluyente com SST na faixa de 80 a 100 mg/L,

obtendo média de 20 mg/L no efluente (mín 1,0 e máx de 22 mg/L), porém recomenda SST aflu máx de 40 mg/L.

Os resultados de SST afluente ao FR apresentados ficaram na faixa de 100 mg/L (média de 109,08 mg/L). O filtro apresentou efluentes com média de 83,67 mg/L. Nos FILAs obteve-se valores na faixa de 20 a 60 mg/L em grande parte do tempo, exceto no FILA3 (maior “de”), abaixo de 80 mg/L.

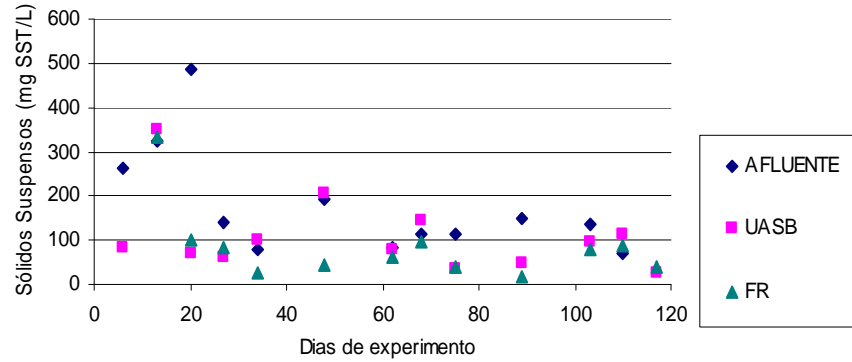


Figura 25- SST (mg/L) Afluente, UASB e FR

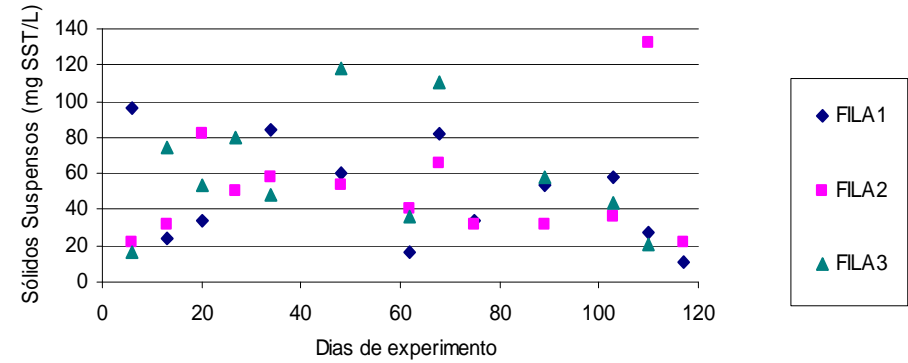


Figura 26 - SST (mg/L) FILA1, FILA2 E FILA3

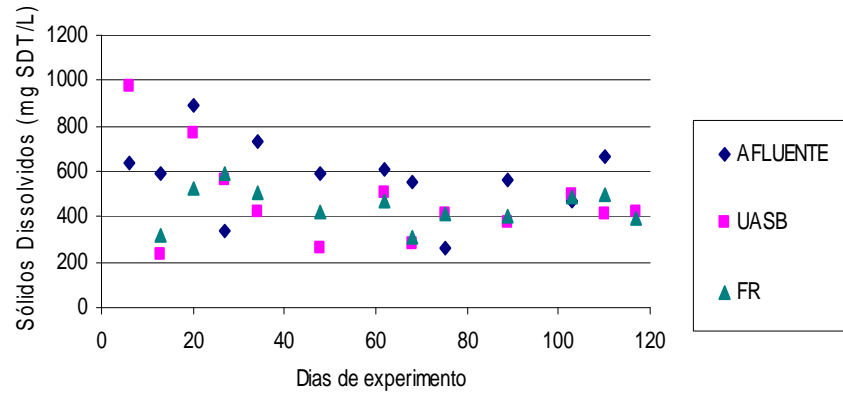


Figura 27 - SDT (mg/L) Afluente, UASB e FR

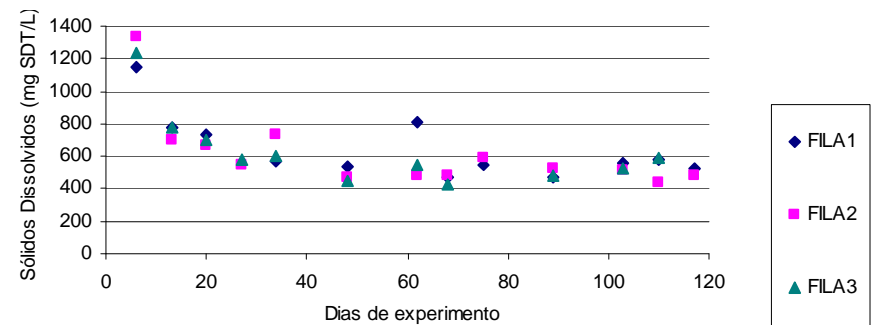


Figura 28 - SDT (mg/L) FILA1, FILA2 e FILA3

4.3 REMOÇÃO DE MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS

Foram realizados exames bacteriológicos com a intenção de avaliar a eficiência dos equipamentos na remoção de coliformes (totais e fecais) e ovos de helmintos. Todos os dados apresentados no trabalho se referem a coliformes fecais. A Tabela 21 na seção 4.4.6 ilustra os valores de patógenos encontrados em cada exame. Nas três primeiras coletas foi utilizado o método substrato cromogênico, nas demais, tubos múltiplos.

A Figura 29 apresenta as unidades log removidas ao longo das unidades que compõe o sistema de tratamento. A Tabela 18 resume os dados de remoção ao longo do período experimental.

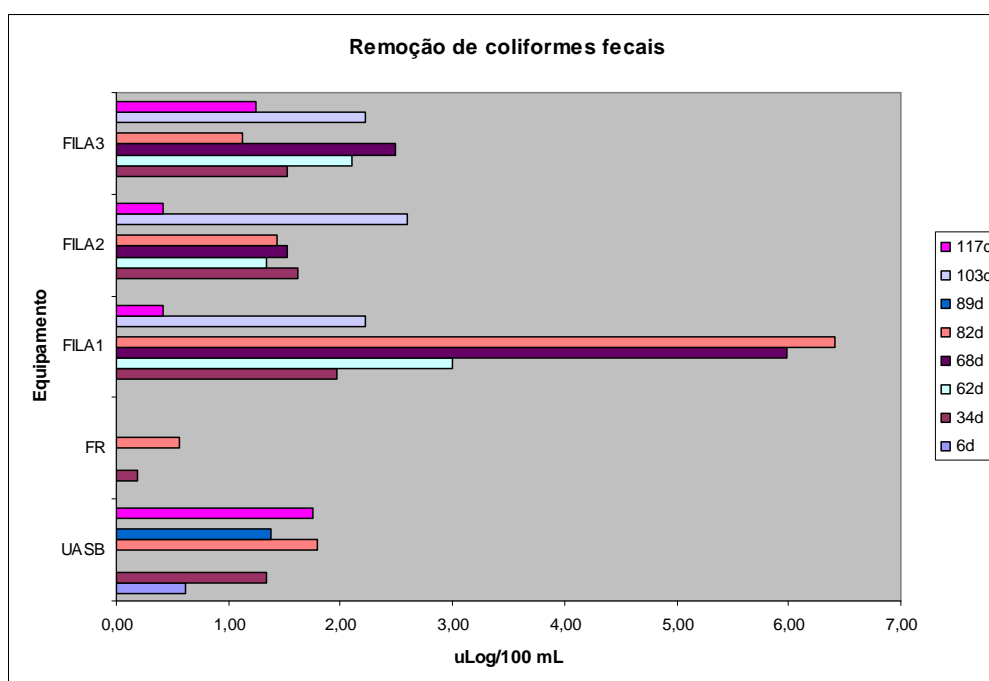


Figura 29 – Unidades logarítmicas de coliformes fecais removidas em cada unidade do sistema ao longo do período experimental

Tabela 17 – Resumo estatístico (uLog/100 mL) de coliformes encontrados em cada equipamento

	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
n	7	7	7	4	4	4	FASE 1
média	8,02	5,79	6,70	3	5	5	
máx	8,77	7,04	7,87	4	6	6	
mín	7,61	0,00	5,98	0	4	5	
desv. padrão	0,39	2,57	0,66	2	1	0	
			n	6	6	6	FASE 2
			média	3,67	4,37	5,07	
			máx	6,28	6,28	5,64	
			mín	0,00	0,00	3,48	
			desv. padrão	2,88	2,22	0,81	

Tabela 18 – Resumo uLog removidas por 100 mL

	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
n	5	2	2	2	2,00	FASE 1
média	1,38	0,37	2,48	1,48	1,81	
máx	1,80	0,56	3,00	1,62	2,10	
mín	0,61	0,19	1,96	1,34	1,52	
desv. Padrão	0,48	0,26	0,73	0,20	0,41	
		N	4	4	4	FASE 2
		média	3,76	1,49	1,77	
		Max	6,41	2,59	2,49	
		Mín	0,41	0,41	1,13	
		desv. Padrão	2,92	0,89	0,69	

Conforme visto acima, a melhor eficiência de remoção de coliformes foi constatada no FILA1, de maior TMP. A profundidade do leito dos três FILAs, maior que 50 cm, se mostrou adequada (TONETTI et al., 2005).

Cohim (2006) concluiu que a remoção de coliformes é tanto maior quanto é a frequência de aplicação, embora o aumento desta última reduza a duração das carreiras. Nas faixas de tamanho efetivo e nas frequências de aplicação utilizadas (diâmetro de 0,5 a 1,2 mm e frequência de 24 a 96 d⁻¹), a melhor eficiência no tratamento de coliformes fecais aconteceu com o aumento da frequência de aplicação no maior diâmetro.

O sistema como um todo removeu de 3 a 5 uLog de coliformes fecais. Entretanto, a remoção média de 1,48 a 3,33 uLog no sistema reservatório de distribuição/FILAs foi razoável. Cohim (2006) confirmou remoção de até 4 uLog utilizando mesmos diâmetros efetivos, com frequências de aplicação diferentes.

O filtro rápido em nenhum momento removeu coliformes com eficiência, como já era esperado. O equipamento atuou na filtragem dos ovos de helmintos.

Parte dos ovos ficou retida no UASB, entretanto, ao longo do tempo, houve um acúmulo antes do tubo de entrada, na caixa de distribuição, o que explica aumento repentino no ponto UASB nos dias 103 e 117. (Figura 30).

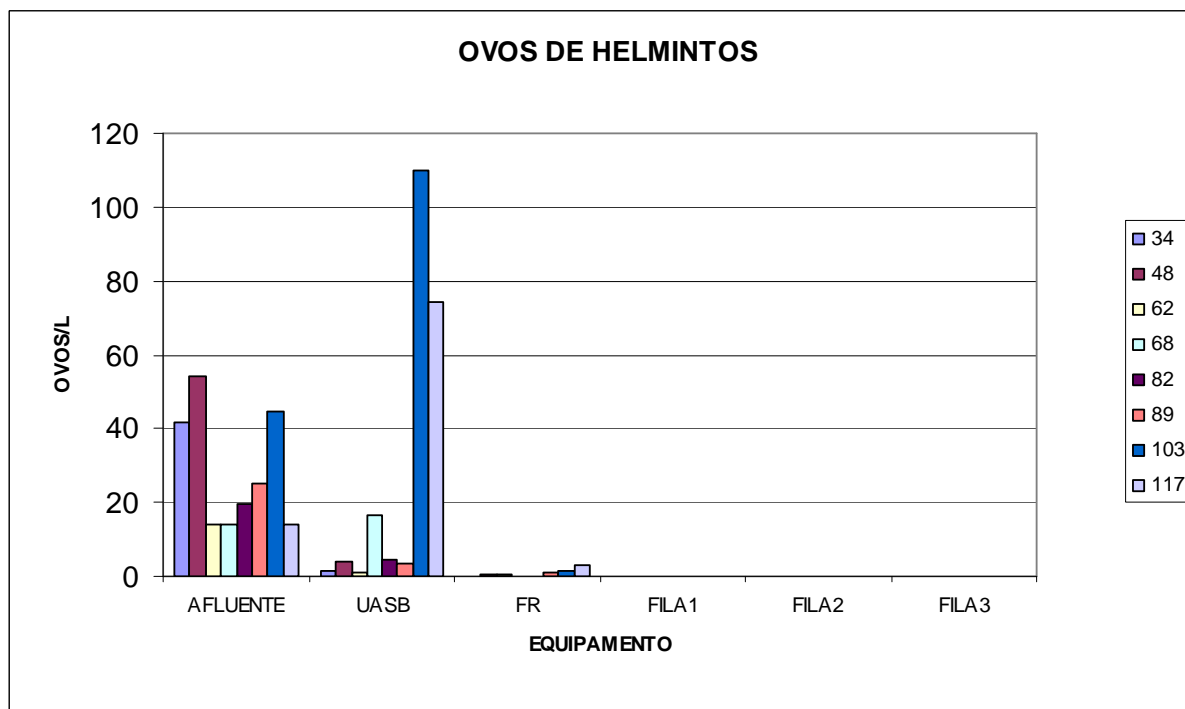


Figura 30 – Ovos no efluente de cada ponto de coleta

A remoção de ovos de helmintos com tal eficiência não é comum em reatores UASB. Neste caso, a configuração diferenciada da área de decantação funcionou como uma barreira, removendo os oocistos e sólidos.

A maioria dos ovos encontrados foi do tipo *Diphilobothrium latum*, e *Ascaris lumbricoides*, parasitas freqüentes no homem (CUTOLO et al., 2001). Todos os helmintos encontrados na saída do FR foram larvas de *Strongyloides stercoralis* - estrogiloidíase humana (SECRETARIA DE SAÚDE E DEFESA CIVIL-RJ). Nos efluentes dos FILAs não foi encontrado nenhum ovo durante todo o período experimental.

4.4 ADEQUAÇÃO DO EFLUENTE FINAL PARA REÚSO URBANO NÃO POTÁVEL

A partir das médias obtidas foi feita relação com os padrões exigidos nas fontes obtidas para adequação de água para reúso urbano não potável.

4.4.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio

O controle da DQO evita a proliferação de microorganismos e cheiro desagradável, em função do processo de decomposição, que pode ocorrer em linhas e reservatórios (MACINTYRE, 1990). No reator UASB, a DQO particulada flocula, sedimenta e é digerida por bactérias anaeróbias. Nos filtros, existe a retenção física da DQO particulada e digestão da DQO solúvel por biomassa no meio suporte (Von SPERLING, 1996a).

No decorrer do projeto foram realizadas análises de DQO bruta nos seis pontos de coleta. A Tabela 12 apresenta tais resultados.

Para fins de adequação ao reúso urbano e aplicação em vasos sanitários, a DQO bruta foi transformada em DBO₅. Segundo von Sperling (1996a), à medida que o esgoto passa por tratamento biológico, a relação DQO/DBO₅ aumenta e sugere valores maiores que 3. Considerou-se no cálculo fator igual a 3. Assim, a média de DBO₅ mais alta foi do FILA2, em ordem crescente de diâmetro, as médias foram 13,28; 16,73 e 14,08 mg/L na fase 1, e 11,17; 21,94 e 10,63 na fase 2.

Para atender ao padrão utilizado pela SABESP e SINDUSCON-SP, a DBO₅ deve estar abaixo de 10 mg O₂/L. Manual da USEPA estabelece, para países em desenvolvimento, a faixa de 10-45 mg O₂/L. Em grande parte do tempo o sistema produziu efluente que atendeu a estes padrões.

4.4.2 pH

Os três padrões propostos (SINDUSCON-SP, PROSAB e USEPA) de pH em torno de 6,0 a 9,0 foram atendidos durante todo o período experimental, conforme dados apresentados na Tabela 10. A Tabela 19 traz a média e as medidas de dispersão das amostras obtidas em laboratório.

Tabela 19– Resumo do pH das amostras coletadas

	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
N	13	13	13	7	7	7	FASE 1
média	7,05	7,25	7,22	7,03	7,45	7,36	
máx	7,69	7,94	7,81	7,53	7,80	7,52	
Mín	6,40	6,87	6,73	6,30	6,83	6,84	
desv. Padrão	0,36	0,27	0,27	0,39	0,35	0,24	
			n	6	6	5	FASE 2
		média	7,37	7,45	7,49		
		máx	7,68	7,78	7,75		
		mín	7,09	7,09	7,13		
		desv. Padrão	0,25	0,24	0,24		

4.4.3 Sólidos dissolvidos e suspensos totais

Na aplicação em vasos sanitários, a remoção de partículas sólidas impede a entrada de matéria orgânica e microrganismos aderidos, assim como a decantação em tubulação e aparelhos hidráulicos (MACINTYRE, 1990).

Os padrões para água cinza (SINDUSCON-SP) se apresentam mais rígidos que os da USEPA. Para sólidos suspensos totais SST é de 5 no primeiro e entre 5 a 30 no segundo. Para sólidos dissolvidos totais, os valores são de 500 para água cinza e de 500 ou 2000 no guia da USEPA. Considerando este último, os sólidos dissolvidos ficam abaixo do limite estabelecido durante todo o tempo e os sólidos totais, embora não tenham ficado abaixo do limite de 30 mg/L, chegaram bem próximo (abaixo de 50 mg/L), como visto nas Figuras 25 a 28.

A Tabela 20 apresenta variáveis estatísticas para os resultados de sólidos suspensos totais em mg/L.

Tabela 20 – Valores médios obtidos para Sólidos Suspensos Totais (mg/L) nas unidades do sistema

	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3	
n	12	13	12	6	7	7	FASE 1
média	179,00	109,08	83,67	52,33	52,00	60,86	
máx	488,00	350,00	334,00	96,00	84,00	118,00	
mín	70,00	26,00	18,00	16,00	22,00	16,00	
desv. Padrão	123,44	86,74	83,69	32,95	23,72	33,28	
			n	6	6	4	FASE 2
			média	44,33	53,33	58,25	
			máx	82,00	132,00	110,00	
			mín	11,00	22,00	21,00	
			desv. Padrão	25,37	41,33	37,72	

4.4.4 Turbidez

A turbidez é removida com os mesmos mecanismos que os sólidos. O reúso doméstico demanda água não turva.

Foi constatado um valor mínimo de 1,68 NTU no sistema como um todo. Os padrões das instituições brasileiras são rígidos quanto à turbidez, estabelecendo máxima de 2 NTU (Para o PROSAB é a média diária; nenhuma amostra > 5uT ou 5 mgSST/L). Considerando o intervalo fornecido pela USEPA de 2 a 5, as médias (das coletas semanais) dos FILAs ficaram muito próximas na fase 2: 5,52; 3,88 e 6,59 NTU para os FILAs 1, 2 e 3, respectivamente.

4.4.5 Cor

O sistema apresentou remoção significativa de cor. A cor não representa risco direto à saúde, mas consumidores podem recusar a água devido a seu aspecto pouco confiável (von SPERLING, 1996a). A remoção de cor verdadeira consiste na remoção de sólidos dissolvidos, DBO solúvel e ferro e manganês. Nos filtros ela é removida por adsorção - retenção na superfície de aglomerados, bactérias ou

biomassa (von SPERLING, 1996a). Nos FILAs foram obtidos resultados de cor aparente abaixo de 100 unidades Hazen. Cor verdadeira entre 15 a 20 uH.

O limite de cor estabelecido na literatura para reúso urbano não potável é de 10 uH (SINDUSCON-SP). A eficiência na remoção de cor é apresentada na Figura 31. A análise de cor verdadeira foi feita na fase 1, com disco, apresentando valores médios para os FILAs de 24,17; 25,29 e 25,57 unidades Hazen. Foi utilizado o método APHA Platinum-cobalt standard method para cor aparente na fase 2. Em média o efluente dos FILAs apresentou valores de 79,67 uH; 105 uH e 74 uH para diâmetros efetivos de 0,5; 0,7 e 1,2, respectivamente.

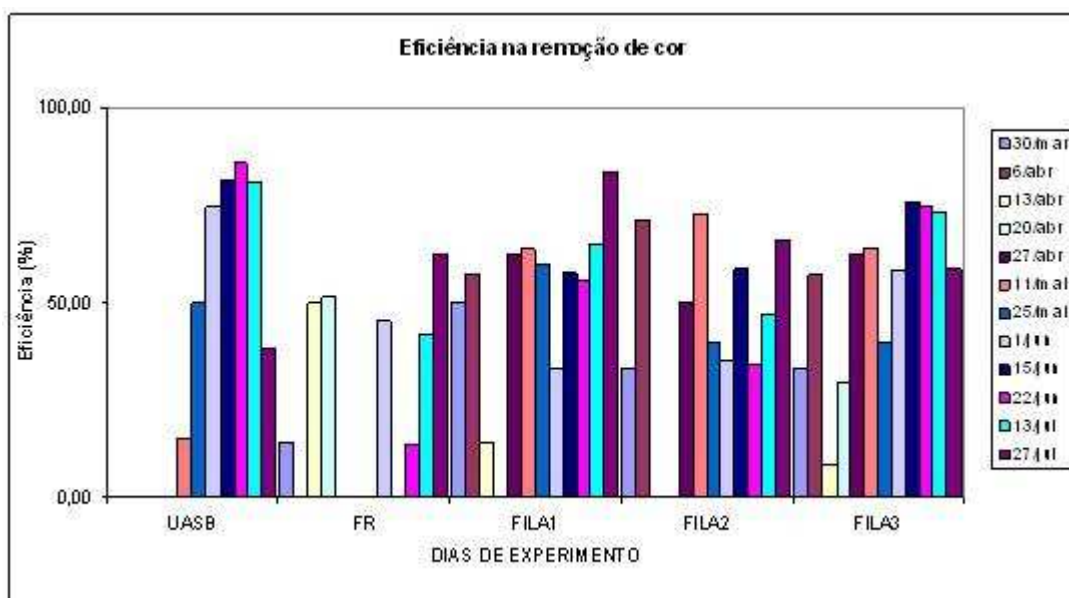


Figura 31 – Remoção de cor por equipamento

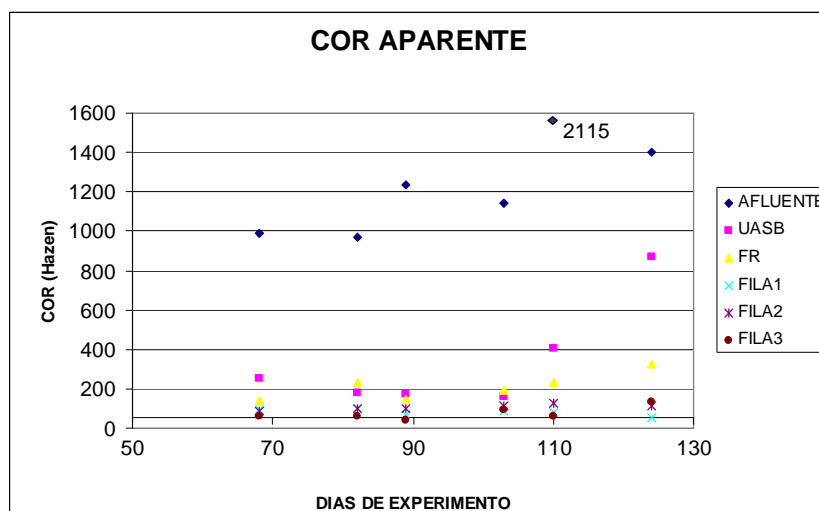


Figura 32 – Cor aparente – FASE 2

4.4.6 Coliformes fecais

O resultado do sistema chegou a atingir o número 0 de coliformes fecais, conforme apresentado na Tabela 21. Entretanto, não foi o que prevaleceu, apesar das condições favoráveis à remoção desse grupo de bactérias.

Tabela 21 – uLog/100 mL de coliformes fecais

	Dias de exper.	AFLUENTE	UASB	FR	FILA1	FILA2	FILA3		
	30/mar	6	7,61	7	-	4,49	5,45	5,6	FASE 1
	27/abr	34	7,83	6,49	6,3	4,33	4,68	4,78	
	18/mai	55	-	-	-	0	3,93	5,08	
	25/mai	62	7,86	-	6,98	3,98	5,64	4,88	
	1/jun	68	7,87	0	5,98	0	4,46	3,48	FASE 2
	15/jun	82	8,77	6,97	6,41	0	4,98	5,28	
	22/jun	89	7,87	6,48	-	4,86	0	4,98	
	6/jul	103	-	7,04	7,87	5,64	5,28	5,64	
	13/jul	110	-	-	-	5,27	5,25	5,56	
	20/jul	117	8,31	6,56	6,69	6,28	6,28	5,46	

As médias geométricas de coliformes fecais encontradas nos efluentes dos FILAs foram, em ordem FILA 1, 2 e 3: $1,85 \cdot 10^4$; $8,47 \cdot 10^4$; $1,22 \cdot 10^5$ uLog/100 mL na

primeira fase e $3,24 \cdot 10^5$; $1,77 \cdot 10^5$ e $1,17 \cdot 10^5$ /100 mL na segunda fase. Cruz *et al.* (2006) pesquisaram 98 amostras de selo hídrico em edifícios públicos abastecidos com água potável, encontrando a faixa de $1,55 \cdot 10^2$ a $1,20 \cdot 10^5$ /100 mL em 50% das amostras. Em vista dessas considerações, o PROSAB e a USEPA se referem a faixa de 1 a 10^3 NMP/100 mL, como razoável para reúso. Para o PROSAB, deve-se considerar média geométrica. Portanto, o efluente final do sistema não atendeu à qualidade requerida.

Quanto aos indicadores de remoção de nematóides intestinais humanos, ovos de helmintos, o PROSAB recomenda limite de 1 ovo/L (média aritmética). O efluente do sistema atendeu a tal requisito.

4.4.7 Nitrogênio

O controle de nitrogênio visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, etc. (MACINTYRE, 1990).

Como limites superiores de nitrogênio amoniacal e nitrito os utilizados para águas cinzas (SINDUSCON-SP), são propostos 20 mg/L e 1 mg/L respectivamente. A média dos valores obtidos está apresentada na Figura 33. O nitrogênio amoniacal afluente à estação, já atende em média, ao padrão sugerido. Os resultados de nitrito também se mostraram adequados (próximos à faixa requerida).

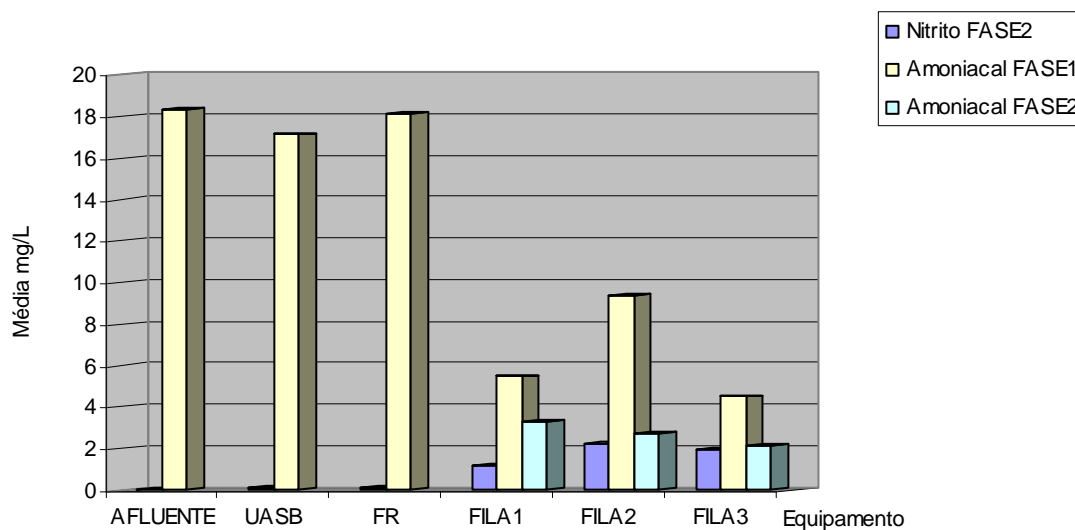


Figura 33 - Nitrogênio Amoniacal/Nitrito

A Tabela 22 faz um resumo das médias dos dados obtidos com os limites estabelecidos.

Tabela 22 – Atendimento aos padrões de reúso

Parâmetro*	Fase 1			Fase 2		
	FILA1	FILA2	FILA3	FILA1	FILA2	FILA3
DBO ₅	13,28	16,73	14,08	11,17	21,94	10,63
SST	52,33	52	60,86	44,33	53,33	58,25
SDT	804,6	704,71	700,43	523	505	505,75
Turbidez	14,44	11,8	11,18	5,52	3,88	6,59
Coliformes**	$1,85 \cdot 10^4$	$8,47 \cdot 10^4$	$1,22 \cdot 10^5$	$3,24 \cdot 10^5$	$1,77 \cdot 10^5$	$1,17 \cdot 10^5$
Nitrogênio amoniacal	5,48	9,36	4,51	3,35	2,7	2,13
Helmintos	0	0	0	0	0	0

*Médias aritméticas das coletas semanais

**Média geométrica

Os resultados hachurados atingiram padrões do PROSAB, que são adaptados do USEPA, os com borda atingiram os padrões exigidos pelo SINDUSCON-SP para águas cinzas e os dados em itálico e negrito, os padrões de reúso para países em desenvolvimento do USEPA. Pode-se concluir que, excetuando-se os padrões de coliformes fecais e os de turbidez na primeira fase, os dados resultados obtidos estão perto de se adequar ao uso pretendido.

Tabela 23 – Resumo dos padrões de reúso

PARÂMETROS	PROSAB	SINDUSCON -SP	USEPA
DBO ₅ (mg/L)	10	10	10 a 45
SST (mg/L)		5	5 a 30
SDT (mg/L)		500	
TURBIDEZ (NTU)	2	2	0,1 a 30
COLIFORMES FECAIS NMP/100mL)	0 a 1000	0	0 a 1000
NITROGÊNIO AMONIACAL (mg/L)		20	
HELMINTOS (ovos/L)	menor que 1		

5 CONCLUSÕES

O sistema de filtração FR+FILAs utilizado como pós-tratamento de esgotos tratados em reator UASB se mostrou bastante eficiente na remoção de sólidos, ovos de helmintos, DQO e na nitrificação.

Os resultados do efluente do FR salientam valores abaixo de 40 NTU. Quanto aos FILAs, na maior parte do tempo, a turbidez ficou abaixo de 20 NTU. Os resultados mostraram melhor qualidade na FASE 2- maior frequência e menores cargas. Na fase 2 (Carga distribuída em 16 vezes por dia), os FILAs apresentaram turbidez média de 5,52 (FILA1); 3,87 (FILA2) e 5,13 (FILA3) NTU.

Tal remoção de turbidez foi acompanhada da retirada de sólidos suspensos e dissolvidos. O afluente ao FR trazia concentração média de 100 mg/L. O filtro apresentou efluentes com concentrações em torno de 80 mg/L. Nos FILAs obteve-se valores na faixa de 20 a 60 mg/L em grande parte do tempo, exceto no FILA3 (maior “de”), abaixo de 80 mg/L.

Não foi possível relacionar a qualidade final com o diâmetro efetivo utilizado nos FILAS. Mas a tendência é de que maiores diâmetros acarretem em maiores velocidades (PINTO, 2006) e, assim, o filtro deixa de reter turbidez. Na remoção de sólidos suspensos, confirmou-se que os maiores diâmetros resultam em menor qualidade. No geral eles apresentaram eficiências semelhantes.

O Filtro Rápido (FR) demandou maior atenção e atingiu carreiras de duração bem menores quando comparadas às tradicionais em sistemas de tratamento de água para produção de água potável (6 horas em comparação com 20 a 30 horas, com água). A taxa de 100 m³/m².d se mostrou elevada para afluente proveniente de reator UASB, sem coagulação e decantação prévia. Os FILAs não colmataram durante o experimento, o que mostra a importância da remoção de turbidez no FR.

Era esperado dos FILAs na maior frequência de aplicação (menor carga/aplicação), a melhor qualidade do efluente. Segundo a U.S.EPA (1977), quando se reduz a taxa de carregamento hidráulico diária e instantânea e se providencia distribuição uniforme, os níveis de umidade do solo são mantidos baixos. Isso resulta em tempos de retenção do esgoto no solo mais longos e faz com que ele passe pelos poros menores do solo na zona não saturada.

A eficiência dos FILAs com relação a DQO e nitrogênio poderia ser melhorada, com maior aporte de ar. Os FILAs tiveram de trabalhar com tampas, pois foram colocados em ambiente abertos. Mesmo assim, o resultado foi positivo. Foram obtidas baixas concentrações médias de nitrogênio amoniacal no efluente dos FILAs: 5,48; 9,36 e 4,51 mg/L na Fase 1 (frequência de 8 vezes por dia) e 3,35; 2,70 e 2,13 mg/L na Fase 2. Não foi possível observar relação entre o diâmetro efetivo e a DQO final, nem entre as frequências e a qualidade final com relação a tal parâmetro.

Embora a remoção de coliformes fecais nos FILAs (média de 1 a 4 uLog/100 mL) tenha estado de acordo com o apresentado na literatura, remoções de até 3 uLog/100 mL (SOLOMON, 1998) e de 4 uLog/100 mL (COHIM, 2006), há a necessidade de desinfecção antes da utilização em bacias sanitárias, pois ainda que comprovada na água potável a presença de coliformes no selo hídrico, o uso irrestrito da água reciclada demanda maior atenção.

Os ovos de helmintos foram removidos pelos três filtros (de 0,5; 0,7 e 1,2 mm), com a mesma eficiência, nenhum ovo/L encontrado nos efluentes dos FILAs 1, 2 e 3 ao longo do período analisado.

O sistema apresentou faixa de pH final entre 6,0 a 9,0 e remoção de cor.

Quanto à adequação do efluente do sistema aos limites estabelecidos para reuso urbano não potável, na ausência de normas brasileiras, foram adotados padrões utilizados por duas instituições brasileiras (PROSAB e SINDUSCON-SP) e uma americana (USEPA). Os máximos estabelecidos pelo SINDUSCON-SP são mais restritivos que os do guia USEPA, para países em desenvolvimento, só sendo atingidos em helmintos. DBO₅ e Turbidez atingiram padrões USEPA e os outros parâmetros chegaram bem próximos.

6 SUGESTÕES PARA DESDOBRAMENTO DO TRABALHO

- Um orifício pode ser feito na lateral inferior ou no fundo do compartimento de saída da caixa de distribuição e vedado com tampa removível, com a finalidade de descargas periódicas.
- O afluente ao filtro rápido (FR) poderia ser decantado após a caixa de distribuição, utilizando um dos atuais FILAs abaixo da caixa vazia. A vazão estaria controlada e muitos sólidos ficariam retidos no decantador, o que alongaria a carreira do filtro.
- A troca de material de enchimento (camada suporte + leito de areia) do filtro rápido por camadas de diferentes diâmetros de pedregulho implicaria nas seguintes vantagens:

- o pedregulho não fluidifica, portanto, cargas mais elevadas poderiam ser utilizadas;

- os filtros removem turbidez e sólidos com eficiência, o remanescente seria retido nos filtros intermitentes;

- não necessitam de lavagem do leito filtrante, mas de DFIs.

- no filtro de pedregulho taxas menores poderiam ser utilizadas, observando-se entretanto, conseqüente aumento de área quando em escala real para a mesma vazão.

A Filtração Ascendente em Pedregulho (FAP) é utilizada em ETAs de dupla filtração antes do FR (BRAGA *et al.*, 2007) na remoção de turbidez e algas.

- Diminuição do tamanho dos FILAs e aplicação de frequências de 24 e 48 vezes/dia.
- Estudo de desinfecção com cloro do efluente final

BIBLIOGRAFIA

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA. Disponível em: www.abes-sp.org.br/noticias/index.php?id=50. Acesso em 12 de Junho de 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público*. – Impresso no Brasil, 1992. 18 p.

AISSE, M. M; BONA, A.; JURGENSEN, D. *Filtração rápida de efluentes de processo físico-químico com flotação*. (Submetido). 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20^a ed., Washington, D.C., 1999.

ANDERSON, J.; DAMANN, L.; SIEGRIST, Robert L.; OTIS, Richard J. *Tec Assess of Int Sand Filter*. Municipal Environmental Research Laboratory. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1985. Disponível em: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/200045JW.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1981%20Thru%201985&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=3&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=pubnumber%5E%22832R85100%22&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=pubnumber&IntQFieldOp=1&ExtQFieldOp=1&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C81THRU85%5CTXT%5C0000002%5C200045JW.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=10&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1>. Acesso em: 19 de Outubro de 2009.

AQUINO, S. F. *Caracterização da DQO efluente de sistemas de tratamento biológico*. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 8 – n^o3 – jul-set 2003, 135-144.

ASANO, T.; BURTON, F. L.; LEVERENZ, H. L. TSUCHIHASHI, R.; TCHOBANOGLOUS, G. *Water reuse: issues, technologies and applications*. 1st Edition. Hardcover: 2007. 1570 p. Metcalf & Eddy, Inc. AECOM Company.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de, 1918 _ *Manual de Hidráulica* [por] J. M. de Azevedo Netto [e] Guillermo Acosta Alvarez, 7^a Ed. Atualizada e ampliada. São Paulo, Edgard Blücher, 1973,1977,1982.

BASTOS R. K. X.; KIPERSTOK A.; CHERNICHARO C. A. L.; FLORENCIO L. ; MONTEGGIA L. O.; SPERLING M. V.; AISSE M. M.; BEVILACQUA P. D.; PIVELI R. Q.: *Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil- Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura*. DAE, #177, ano LXXI. pp 50-62, 2008.

Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFPE. Disponível em: www.bdtd.ufpe.br. Acesso em: 15 de Janeiro de 2009.

BRAGA, F. M.G; BRANDÃO, C. C. S.; CORDEIRO, B. S.;. (2007). *Dupla Filtração em Filtros Ascendentes de Pedregulho e Filtros Descendentes de Areia Aplicada à Remoção de Algas: Influência da Granulometria do Filtro de Areia*. In: Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte: ABES, set. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Brasília. Disponível em: www.aguaseguas.ufjf.br. Acesso em: 12 de Junho de 2007.

CAMPOS, José Roberto (coordenador). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CESET - CENTRO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. Disponível em: www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/st514/mansan02_33_51.pdf. Acesso em 12 de Junho de 2007.

CHERNICHARO, C. A. de L.; PAULA, F. S. de. *Benefícios da hibridização de reator UASB aplicado ao tratamento de esgoto doméstico*. In: Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte: ABES, set. 2007.

CIRRA - CENTRO DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA. Disponível em: www.usp.br/cirra. Acesso em 12 de Junho de 2007.

COHIM, E. *Polimento de efluente de UASB com filtros intermitentes de areia*. Dissertação (mestrado). UFBA. 2006.

COHIM, E.; DOURADO, M.; KIPERSTOK, A. (2008): *Tempo médio de passagem de líquido em filtros intermitentes de leito de areia*. In: Anais do XXXI CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS. Santiago, Chile.

Conservação e reúso da água em edificações. /Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; Sindicato das Indústrias de Construção Civil do Estado de São Paulo. São Paulo: FIESP; ANA; SINDUSCON, 2005. 151 p. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em 12 de Junho de 2007.

CRUZ, C. S.; KIPERSTOK, A. (2006): *Estudo da qualidade bacteriológica da água nos usos domiciliares visando reúso não potável*. In: Anais do VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, Ceará.

CUTOLO, S. A.; ROCHA, A. A. (2001): *Uso de águas residuárias e as helmintíases*. 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. João Pessoa, Setembro de 2001. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil21/vii-017.pdf>. Acesso em: 19 de Outubro de 2009.

DECA. Disponível em: www.deca.com.br. Acesso em: 11 de março de 2009.

DI BERNARDO, L. (1993). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. ABES. Rio de Janeiro, RJ. Volumes 1 e 2.

DI BERNARDO, Luis (coord). *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 498pg.:il.Projeto PROSAB.

DOURADO, M.; FRIST, A. K.; COHIM, E. (2007). *Modelagem matemática para dimensionamento e otimização operacional de filtros intermitentes de leito de areia – FILAS*. Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina. Fortaleza, CE. Disponível em: http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art64.pdf. Acesso em: 18 de Julho de 2009.

DULTRA, F. A. (2007). *Aplicação da filtração intermitente em leito de areia e de escória da metalurgia do cobre no tratamento de esgotos com ênfase em reúso*. Dissertação (Mestrado) – Salvador, BA.

EMERICK, R. W. *et al*. Shallow Intermittent Sand Filtration: microorganism removal. The Small Flows Journal, 3 (1): 1997, p. 12-22. Disponível em:

http://www.nesc.wvu.edu/old_website/nsfc/pdf/sfj/SFJw97.pdf. Acesso em: 19 de Outubro de 2009.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. *Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações*. Disponível em: www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/doc123148.pdf. Acesso em 12 de Junho de 2007.

FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coord). *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. FINEP/PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. 2006.

GENERAL WATER. *Reúso de esgoto tratado para descarga de vasos sanitários*. Disponível em: www.generalwater.com.br/trabalho_reúso2.pdf. Acesso em 12 de Abril de 2009.

GUSMÃO, P. T.; DI BERNARDO, L. *Desempenho da Filtração Direta Ascendente em Pedregulho em Sistema de Dupla Filtração para Tratamento de Águas para Abastecimento*. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 8 – nº3 – jul-set 2003, 108-113.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf. Acesso em 30 de Junho de 2007.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Disponível em: www.iap.pr.gov.br. Acesso em: 22 de Dezembro de 2008.

KIPERSTOK, A. (Docente), 2006. *Avaliação de Risco à Saúde Humana do Reúso de Águas Residuárias Tratadas em Descargas de Vaso Sanitário*. (Submetido). 2006. Informamos que nesse artigo existem outros autores, mas que em função da dificuldade de encontrar dados cadastrais, não foi possível acrescentar.

MACINTYRE, Archibald Joseph. *Manual de instalações hidráulicas e sanitárias*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1990.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M. and PARKER, J. (2003). *Brock biology of microorganisms*, 10th. ed. Prentice Hall. Inter. edition

MALINOWSKI, A.; SANTOS, D. C. dos .(2007): *Aplicação de programa para o planejamento de ações de reúso de água no meio urbano*. In: Anais do WORKSHOP USO E REÚSO ÁGUAS RESIDUÁRIAS E SALINAS. Viçosa, MG.

NARDI, N. B. *Como elaborar um relatório científico da pesquisa*. Departamento de Genética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: www.ufrgs.br/immunogenetica/apresentacoes.htm. Acesso em: 01 de Setembro de 2009.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. *Vidas secas. O drama do aquecimento global na árida Austrália*. Por Robert Draper. Abril/2009. Ano 9. Nº 109.

PAIXÃO, L.; FERNANDES, L. M.; DELUIZ, N. BASTOS, L. R. *Manual para elaboração de projetos e relatórios de pesquisa, teses, dissertações e monografias*. 4ª Edição. Rio de Janeiro: 1995.

PESQUISA TRATA BRASIL: SANEAMENTO E SAÚDE. Instituto Trata Brasil; Fundação Getúlio Vargas- Centro de Políticas Sociais. Novembro de 2007. Disponível em: www.tratabrasil.org.br. Acesso em: 28 de Abril de 2008.

PIMENTA, M. (2005) *Tratamento de esgoto doméstico em reator híbrido de fibra de vidro tipo UASB e filtro anaeróbio para comunidades de pequeno porte*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE.

PINTO, C. de S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/3ª Edição* – São Paulo: Oficina de Textos.2006.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. *Cadernos do Meio Ambiente*. V. 1, nº2. Jul/Dez de 1998.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. Disponível em: www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/pnud2005/mapa_bairros.jpg. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2009.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Saúde e Defesa Civil. *Acessoria de doenças transmitidas por água e alimentos*. Disponível em: http://www.saude.rj.gov.br/agua_alimentos/estrogiloidiase.shtml. Acesso em: 19 de Outubro de 2009.

SALGOT, M.; BRISAUD, F.; CAMPOS, C. *Disinfection of secondary effluents by infiltration percolation*. Water Science and Technology, Vol. 33, nº 10-11, p. 271-276, 1996.

SAN FRANCISCO EDIT: Scientific, medical and general proofreading and editing. Newsletters. Disponível em: www.sfedited.net. Acesso: 30 de Agosto de 2007.

SANTANA, E.V. Oscilações em um sistema formado por dois vasos comunicantes. Sergipe, 2006. Página do professor do Departamento de Física da UFS. Disponível em:

<http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/fluidos/dinamica/oscilaciones/oscilaciones.htm#Oscilaciones%20en%20dos%20vasos%20comunicantes>. Acesso em: 15 de Junho de 2002.

SANTOS, F.M.S.M. dos; SANTOS, F.A.C.M. dos. *Combustível "hidrogênio"*. Millenium on line- Revista do ISPV, nº31, Maio de 2005. Disponível em: www.ipv.pt/millenium/millenium31/15.pdf. Acesso em: 12 de Setembro de 2009.

SÉLAS, B.; LAKEL, A.; ANDRES, Y.; LE CLOIRE, C. P. *Wastewater reuse in on-site wastewater treatment: bacteria and virus movement in unsaturated flow through sand filter*. Water Science Technology, Vol. 47, nº1, p. 59-64, 2002.

SEMURA, K. A.; RICCITELLI, M.; GONÇALVES, M. C. (2007): *Estudo para implantação de reúso e proposição de parâmetros de qualidade para usos urbanos não potáveis a partir das ETEs da RMSP*. In: Anais do WORKSHOP USO E REÚSO ÁGUAS RESIDUÁRIAS E SALINAS. Viçosa, MG.

SOLOMON, C. et al. *Intermittent Sand Filter*. US Environmental Protection Agency (USEPA), 1998. Disponível em: http://www.nsfc.wvu.edu/nsfc/pdf/eti/ISF_gen.pdf. Acesso em: 16 de Outubro de 2009.

STEVIK, T. K.; BOMO, A. M.; HOVI, I.; HANSEN, J. F. *Bacterial removal and protozoan grazing in biological sand filters*. Journal of Environmental Quality, published by ASA, CSSA e SSSA, 33:1041-1047. EUA: 2004. Disponível em: <http://jeq.scijournals.org/cgi/content/full/33/3/1041?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&author1=stevik&andorexactfulltext=and&searchid=1&FIRSTINDEX=0&sortspec=relevance&volume=33&resourcetype=HWCIT>. Acesso em: 18 de Outubro de 2009.

TCHOBANOGLIOUS, George. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. Metcalf & Eddy, Inc. – 3ª edição./ revisada por George Tchobanoglous, Frank Burton. McGraw-Hill, Inc., New York:1991.

TECLIM- REDE DE TECNOLOGIAS LIMPAS E MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS. Disponível em: www.teclim.ufba.br. Acesso em: 21 de Dezembro de 2008.

TONNETI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B. STEFANUTTI, R. FIGUEIREDO, R. F. de.; SÃO PEDRO; C. C. O. *Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia*. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 10 – nº3 – jul-set 2005, 209-218.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1977. *Alternatives for small wastewater treatment systems. On site disposal/septage treatment and disposal*. Municipal Environmental Research Laboratory. Cincinnati, Ohio. EPA 625/4-77-011 (vol.1). Disponível em: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/20008RHY.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1976+Thru+1980&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=pubnumber%5E%22625477011A%22&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=pubnumber&IntQFieldOp=1&ExtQFieldOp=1&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C76thru80%5CTXT%5C00000000%5C20008RHY.TXT&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=10&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x>. Acesso em: 19 de Outubro de 2009.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2002. *Onsite wastewater treatment systems manual*. Office of Research and Development. EPA 625/R-00-008. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r00008/625r00008totaldocument.pdf>. Acesso em: 19 de Outubro de 2009.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. Divisão de Biblioteca. *Diretrizes para apresentação de dissertações e teses*/ Divisão de Biblioteca da Epusp.-3ª Ed.-São Paulo,2006.103p.

USEPA- U.S.Environmental Protection Agency. *Guidelines for water reuse*. U.S. Agency for International Development. Washington, DC, 2004.

VAID, R. P.; GUPTA, P. S. *Minimum fluidization velocities in beds of mixed solids*. The Canadian Journal of Chemical Engineering, Canada. V.56, p. 292-296, Junho de 1978.

van HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F.; MEDEIROS, E. J. S.; SILVA, J. K. M. *Estratégia de descarga do lodo de excesso de reatores UASB tratando esgoto municipal*. In: CAMPOS, José Roberto (coordenador). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo – coletânea de trabalhos técnicos*. São Carlos, 2000. Projeto PROSAB, 348 p.

VIAGEM UOL. Disponível em: www.viahem.uol.com.br.com.br. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2009.

VIANNA, M. R. *Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água*. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997.

VITORATTO, E.; SILVA, J. O. P. *Reúso de água na indústria*. Informativo CRQ-IV, mar-abr 2004, Versão resumida. Disponível em: www.crq4.org.br/informativo/abril_2004/pagina09.php. Acesso em 12 de Junho de 2007.

VOLSCHAN JUNIOR, I. (Docente), 2007. *Adaptações tecnológicas em processos biológicos de tratamento de esgotos visando o atendimento aos padrões de lançamento e de reúso*. (Submetido).

von SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, vol 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996a.

von SPERLING, Marcos. *Princípios básicos do Tratamento de Esgotos*. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, vol 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerias; 1996c.

von SPERLING, Marcos. *Lodos Ativados*. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, vol 4. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerias; 1996b.

von SPERLING, Marcos. *Sistemas Anaeróbios*. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, vol 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerias; 1996d. WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Volume 2. Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006a. 213 p. Disponível em: www.who.int/water_sanitation_health/wastewater. Acesso em 01 de Setembro de 2009.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)