Campus de São Carlos

**AVALIAÇÃO DA DUPLA FILTRAÇÃO PARA TRATAMENTO
DE ÁGUA SUPERFICIAL UTILIZANDO FILTRAÇÃO
ASCENDENTE EM AREIA GROSSA**

Donizeti de Paula

Orientador: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**AVALIAÇÃO DA DUPLA FILTRAÇÃO PARA TRATAMENTO
DE ÁGUA SUPERFICIAL UTILIZANDO FILTRAÇÃO
ASCENDENTE EM AREIA GROSSA**

DEDALUS - Acervo - EESC

31100044253

Donizeti de Paula

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: *14.01.04*.....

Ass.: *Leandra Corradi*.....

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento

ORIENTADOR: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo

São Carlos
2003

Class.	TESE-EESC
Cutt.	4188
Tombo	T027104
Sysno	1357100

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P324a Paula, Donizeti de
Avaliação da dupla filtração para tratamento de
água superficial utilizando filtração ascendente em
areia grossa / Donizeti de Paula. -- São Carlos,
2003.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo.

1. Dupla filtração. 2. Filtração ascendente em
areia grossa. 3. Filtração rápida descendente.

I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **DONIZETI DE PAULA**

Dissertação defendida e julgada em 08-08-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **LUIZ DI BERNARDO** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APPROVADO

Prof. Dr. **RICARDO DE LIMA ISAAC**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

APPROVADO

Prof. Dr. **VALTER LÚCIO DE PÁDUA**
(Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG)

Aprovado

Profª. Associada **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Aos meus pais,
meus primeiros e grandes professores.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Luiz Di Bernardo pela valiosa orientação e permanente incentivo.

De maneira muito especial à Emilia K. Kuroda, pela amizade, companheirismo e indiscutível amparo na realização deste trabalho.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP pela convivência amigável e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos do Departamento de Transportes, Construção Civil e Geotecnia pelo apoio técnico imprescindível.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos – SAAE por permitir a utilização das dependências da ETA 2 para a realização do trabalho experimental e aos funcionários pela colaboração e atenção nunca negada.

À FINEP pelos recursos financeiros concedidos ao grupo de pesquisa PROSAB 3, que integrou este trabalho como um dos subprojetos.

Ao CNPQ, pela concessão de bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO.....	2
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3.1 Considerações Iniciais	3
3.2 Filtração Direta Ascendente	4
3.2.1 Breve histórico sobre a filtração direta ascendente	4
3.2.2 Filtração Direta Ascendente em Areia.....	5
3.3 Filtração Rápida Descendente	15
3.4 Dupla Filtração	16
3.5 Coagulação Química	17
3.6 Comentários finais.....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Características da água bruta.....	22
4.2 Instalação Piloto de Dupla Filtração – IPDF.....	22
4.2.1 Sistema de recalque e regularização da vazão de água bruta	25
4.2.2 Sistema de Mistura Rápida e Coagulação Química.....	26
4.2.3 Sistema de distribuição de água coagulada	31
4.2.4 Sistema de filtração.....	31
4.3 Preparação e preenchimento do meio granular.....	33
4.4 Descargas de Fundo Intermediárias – DFI e lavagem dos filtros.....	34
4.5 Piezômetros.....	35
4.6 Turbidímetro de escoamento contínuo.....	35
4.7 Controle e ajuste das taxas de filtração.....	35
4.8 Teste em FLA utilizando água coagulada na IPDF.....	36
4.9 Simulação do pico de turbidez.....	36
4.9.1 Preparação da água de estudo	37
4.9.2 Determinação das condições de coagulação	40
4.9.3 Aplicação da suspensão de argila	41
4.10 Investigação experimental.....	41
4.10.1 Programação dos Ensaios	41
4.10.2 Parâmetros de controle	42
4.10.3 Critérios de encerramento da carreira de filtração	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 Taxas de filtração	44
5.2 Coagulação da água bruta.....	45
5.3 Determinação das condições de coagulação para o ensaio IX	46

5.4	Efluentes produzidos e duração das carreiras de filtração.....	49
5.5	Remoção de turbidez.....	68
5.6	Remoção de cor aparente e cor verdadeira.....	68
5.7	Remoção de Carbono Orgânico Dissolvido e Absorvância a 254 nm.....	70
5.8	Remoção de Coliformes Totais e <i>E. coli</i>	71
5.9	Remoção de Partículas.....	72
5.10	Perda de carga durante a carreira de filtração.....	73
5.11	Produção efetiva de água filtrada.....	74
5.12	Execução de DFIs.....	76
5.13	Lavagem dos Filtros.....	77
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	78
	ANEXO A – Resultados do ensaio I.....	81
	ANEXO B – Resultados do ensaio II.....	85
	ANEXO C – Resultados do ensaio III.....	89
	ANEXO D – Resultados do ensaio IV.....	94
	ANEXO E – Resultados do ensaio V.....	95
	ANEXO F – Resultados do ensaio VI.....	96
	ANEXO G – Resultados do ensaio VII.....	97
	ANEXO H – Resultados do ensaio VIII.....	100
	ANEXO I – Resultados do ensaio IX.....	106
	ANEXO J – Ensaios de coagulação.....	111
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Comportamento da carreira de filtração sem a realização de descargas de fundo. Fonte: DI BERNARDO, RAZABONI (1984).....	7
Figura 3.2 - Comportamento da carreira de filtração com a realização de descargas de fundo. fonte: DI BERNARDO, RAZABONI (1984).	8
Figura 3.3- Relação entre turbidez e NMP/100mL de coliformes.....	9
Figura 3.4 – Variação de turbidez, perda de carga, NMP de coliformes totais e contagem de bactérias durante a carreira de filtração para as seguintes condições: Taxa de filtração: 200 m ³ /m ² .dia; F1 sem DFIs; F2 com 1 DFI. Fonte: PATERNIANI (1986).	10
Figura 3.5 - Variação da turbidez e pH dos efluentes para diferentes taxas aplicadas.Fonte CRUZ VÉLEZ (1993).	11
Figura 3.6 - Variação dos valores de turbidez da água bruta, efluentes do filtro ascendente e descendente e de perda de carga no meio granular em função do tempo.Fonte: KURODA, E. K. (2002).	15
Figura 3.8 - Variação dos valores de perda de carga e de turbidez do afluente e dos efluentes em função do tempo de funcionamento (F1: água coagulada na instalação piloto; F2: água coagulada na ETASC) Fonte: MENDES (1985).....	20
Figura 4.1 - Esquema geral da instalação piloto de dupla filtração.....	23
Figura 4.2 – Vista externa do local da IPDF.	24
Figura 4.3 – Foto – IPDF.....	24
Figura 4.4 – Foto - Sistema de recalque.	25
Figura 4.5 – Foto – Rotâmetro para água bruta.....	25
Figura 4.6 – Foto – Câmara de Mistura Rápida – CMR.....	26
Figura 4.7 – Filtros de laboratório de areia - FLAs.	27
Figura 4.8 – Esquema do FLA.Fonte KURODA, E. K. (2002).	28
Figura 4.9 – Foto – Dispositivo para teste em FLA acoplado no extravasor de água coagulada da IPDF.	31
Figura 4.10 - Esquema dos FAAG e FRD.....	32

Figura 4.11 - Curva de l distribuição granulométrica do FAAG e FRD.....	34
Figura 4.12 – Programação do pico de turbidez.	37
Figura 4.13 – Fonte do material argiloso: Km 153/ São Carlos –Ribeirão Bonito.....	37
Figura 4.15 – Laudo técnico do solo argiloso.	39
Figura 4.16 – Tanques para a aplicação da suspensão de argila.....	41
Figura 5.1 – Resultados do Ensaio I (Taxas de filtração: FAAG = 120 m ³ /m ² d e no FRD = 200 m ³ /m ² d; Duração da carreira= 132,8 h - FAAG; Dosagem de coagulante = 0,381 mgAl/L; sem DFI).	51
Figura 5.2 – Resultados do Ensaio II (Taxas de filtração: FAAG = 160 m ³ /m ² d e no FRD = 300 m ³ /m ² d; Duração da carreira= 54,0 h -FAAG; Dosagem de coagulante = 0,533 mgAl/L; sem DFI).	53
Figura 5.3 – Resultados do Ensaio III (Taxas de filtração: FAAG = 240 m ³ /m ² d e no FRD = 300 m ³ /m ² d; Duração da carreira: 45,0h -FAAG; Dosagem de coagulante = 0,533 mgAl/L; sem DFI).	55
Figura 5.4 – Resultados do Ensaio IV (Taxas de filtração: FAAG = 240 m ³ /m ² d e no FRD = 400 m ³ /m ² d; Duração da carreira: 4,42h -FRD ; 10,50 h - FRD; Dosagem de coagulante = 0,533 mgAl/L; sem DFI).....	57
Figura 5.5 – Resultados do Ensaio V (Taxas de filtração: FAAG = 360 m ³ /m ² d e no FRD = 300 m ³ /m ² d; Duração da carreira: 23,2 h -FAAG; Dosagem de coagulante = 0,533 mgAl/L; sem DFI).	59
Figura 5.6 – Resultados do Ensaio VI (Taxas de filtração: FAAG = 360 m ³ /m ² d e no FRD = 400 m ³ /m ² d; Duração da carreira = 13,33 h – FRD; 21,8 h - FAAG; Dosagem de coagulante = 0,533 mgAl/L; sem DFI).	61
Figura 5.7 – Resultados do Ensaio VII (Taxas de filtração: FAAG = 360 m ³ /m ² d e no FRD = 400 m ³ /m ² d; Duração da carreira = 34 h - FAAG; Dosagem de coagulante = 0,381mgAl/L; com 3 DFIs).	63
Figura 5.8 – Resultados do Ensaio VIII (Taxas de filtração: FAAG = 240 m ³ /m ² d e no FRD = 300 m ³ /m ² d; Duração da carreira: 54,6 h; Dosagem de coagulante = 0,381 mg/L; com 4 DFIs).	65
Figura 5.9 – Resultados do Ensaio IX (Taxas de filtração: FAAG = 160 m ³ /m ² d e FRD = 300 m ³ /m ² d; Duração da carreira: 19 h; Dosagem de coagulante = 0,686 a 2,288 mgAl/L; Simulação de pico de turbidez de 372 uT; e com 1DFI).	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Características do material filtrante e camada suporte. Fonte: DI BERNARDO, RAZABONI (1984).....	7
Tabela 3.2 - Características das camadas suporte e areia. Fonte: TEIXEIRA (1986).....	8
Tabela 3.3 – Características das camadas suporte e areia. Fonte: PATERNIANI (1986).....	10
Tabela 3.4 - Características do material granular utilizado por GUSMÃO (2001).....	12
Tabela 3.5 - Programação dos ensaios realizados por GUSMÃO (2001)	12
Tabela 3.6 – Características do meio granular. Fonte: KURODA, E. K. (2002).	14
Tabela 3.7- parâmetros para projeto de unidade de mistura rápida. Fonte: Di Bernardo (1993a).....	20
Tabela 4.1 – Turbidez da água bruta e granulometria da areia nos FLAs	27
Tabela 4.2 – Especificações do coagulante químico	29
Tabela 4.3 - Vazões correspondentes aos limites de regulação das bombas dosadoras (L/h).....	30
Tabela 4.4 – Características do meio granular	33
Tabela 4.5 – Resultados da análise de sólidos da suspensão concentrada de argila.....	40
Tabela 4.6 - Programação dos ensaios.....	42
Tabela 4.7 - Parâmetros de Controle e frequência média de coleta.....	42
Tabela 5.1 – Taxas médias de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$).....	45
Tabela 5.2- Resumo das condições de coagulação química / Valores de turbidez, pH, temperatura, potencial zeta e alcalinidade da água bruta / dosagem de alumínio, pH e potencial zeta da água coagulada.....	46
Tabela 5.3 - Especificações do carbonato de sódio em pó	46
Tabela 5.4 - Parâmetros de mistura rápida, de filtração direta e de Controle empregados nos ensaios para determinação das condições de coagulação no ensaio IX.....	47
Tabela 5.5 - Resumo dos dados e resultados obtidos em laboratório para determinação das condições de coagulação no ensaio IX.	48
Tabela 5.6 - Resumo do ensaio I	50
Tabela 5.7 - Resumo do ensaio II	52
Tabela 5.8 - Resumo do ensaio III.....	54

Tabela 5.9 - Resumo do ensaio IV	56
Tabela 5.10 - Resumo do ensaio V	58
Tabela 5.11 - Resumo do ensaio VI	60
Tabela 5.12 - Resumo do ensaio VII	62
Tabela 5.13 - Resumo do ensaio VIII	64
Tabela 5.14 - Resumo do ensaio IX	66
Tabela 5.15 - Resumo dos valores de turbidez, faixa de variação na taxas de filtração.....	68
Tabela 5.16 - Resumo dos valores de cor aparente e taxas de filtração	69
Tabela 5.17 - Resumo dos valores de cor verdadeira e taxas de filtração	69
Tabela 5.18 - Resumo dos valores de COD e taxas de filtração.....	70
Tabela 5.19 - Resumo dos valores de ABS 254 nm e taxas de filtração	71
Tabela 5.20 - Resumo dos valores de Coliformes Totais e Taxas de filtração.....	71
Tabela 5.21 - Resumo dos valores de <i>E. coli</i> e Taxas de filtração	72
Tabela 5.22 – Remoção de partículas nos ensaios II, III, VII e VIII / Distribuição das faixas de tamanho de (2 a 4); (6 a 12); (12 a 24) µm na água bruta, % remoção no FAAG e FRD, antes e depois da execução de DFIs	73
Tabela 5.23 - Valores máximos resultantes de perda de carga por camada granular e respectivas porcentagens no FAAG e no FRD correspondente.....	74
Tabela 5.24 – Índice de produção efetiva de água filtrada	75
Tabela 5.25 - Taxas de filtração nos filtros FAAG e FRD empregadas nos ensaios da fase II.	76
Tabelas A 1 - Resultados das análises de Laboratório – ensaio I.	81
Tabela A 2 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio I.	82
Tabela A 3 – Perda de carga no meio granular – ensaio I.	84
Tabelas B 1 - Resultados das análises de Laboratório – ensaio II.	85
Tabelas B 2 - Distribuição de partículas – ensaio II.	86
Tabela B 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio II.	87
Tabela B4 – Perda de carga no meio granular – ensaio II.	88
Tabela C 1 – Valores dos resultados das análises de Laboratório – ensaio III.	89
Tabela C 2 – Distribuição de Partículas – ensaio III.	90
Tabela C 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio III.	92
Tabela C 4 – Perda de carga no meio granular – ensaio III.	93
Tabela D 1 - Valores dos resultados das análises de Laboratório – ensaio IV.	94

Tabela D 2 - Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio IV.	94
Tabela D3 – Perda de carga no meio granular – ensaio IV.	94
Tabela E 1 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio V.	95
Tabela E2 – Perda de carga no meio granular – ensaio V.	95
Tabela F 1 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio VI.	96
Tabela F 2 – Perda de carga no meio granular – ensaio VI.	96
Tabela G 1 – Resultados das análises de Laboratório – ensaio VII.	97
Tabela G 2 – Distribuição de Partículas – ensaio VII.	97
Tabela G 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio VII.	98
Tabela H 1 - Resultados das análises de Laboratório – ensaio VIII.	100
Tabela H 2 - Distribuição de partículas – ensaio VIII.	101
Tabela H 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio VIII.	104
Tabela H 4 - Perda de carga no meio granular – ensaio VIII.	105
Tabela I 1 – Resultados das análises de Laboratório – ensaio IX.	106
Tabela I 2 – Distribuição de partículas – ensaio IX.	107
Tabela I 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio IX.	110
Tabela I 4 – Perda de carga no meio granular – ensaio IX.	110
Tabela J 1 – Ensaio para determinação das condições de coagulação.	111

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

AB.....	Água Bruta
ABS.....	Absorvância
AC.....	Água Coagulada
CD.....	Coefficiente de Desuniformidade
CMR.....	Câmara de Mistura Rápida
CNC.....	Câmara de Nível Constante
COD.....	Carbono Orgânico Dissolvido
CU.....	Coefficiente de Uniformidade
DF.....	Descarga de Fundo
DAI.....	Dosagem de Alumínio
DCSpC.....	Dosagem de Carbonato de Sódio do produto comercial
DFE.....	Descarga de Fundo Final
DFI.....	Descarga de Fundo Intermediária
DSA.....	Dosagem de Sulfato de Alumínio sólido
EESC.....	Escola de Engenharia de São Carlos
ETA.....	Estação de Tratamento de Água
ETASC.....	Estação de Tratamento de Água de São Carlos
FAAG.....	Filtro Ascendente em Areia Grossa
FL.....	Filtração Lenta
FLA.....	Filtro de Laboratório de Areia
FLP.....	Filtro de Laboratório de Papel
Gmr.....	Gradiente de velocidade médio de mistura rápida
IPDF.....	Instalação Piloto de Dupla Filtração
pH.....	Potencial Hidrogeniônico
SDT.....	Sólidos Dissolvidos Totais
SDF.....	Sólidos Dissolvidos Fixos
SSF.....	Sólidos em Suspensão Fixos

SFT.....	Sólidos Fixos Totais
SSED.....	Sólidos Sedimentáveis
SST.....	Sólidos em Suspensão Totais
ST.....	Sólidos Totais
SVD.....	Sólidos Dissolvidos Voláteis
SSV.....	Sólidos em Suspensão Voláteis
SVT.....	Sólidos Voláteis Totais
Tmr	Tempo de mistura rápida
TE/D ₁₀	Tamanho Efetivo do Material
USP.....	Universidade de São Paulo

RESUMO

DE PAULA, D. (2002). *Avaliação da dupla filtração para tratamento de água superficial utilizando filtração ascendente em areia grossa*. São Carlos, 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho consiste na avaliação do desempenho de uma instalação piloto de dupla filtração no tratamento de água superficial, apresentando turbidez entre 8,5 e 21 uT. A instalação piloto consistida de um sistema de filtração de duas fases, com filtração direta ascendente em areia grossa seguida da filtração rápida descendente em areia fina. A taxa de filtração variou de 120 a 360 m³/m².dia no filtro ascendente e de 200 a 400 m³/m².dia no filtro descendente. Foram executadas descargas de fundo intermediárias no filtro ascendente durante a carreira de filtração para avaliar a instalação piloto. Além disso, simulou pico de turbidez, para avaliar as condições.

Baseado no trabalho experimental concluiu-se que: (i) a eficiência global do sistema de dupla filtração com filtração ascendente em areia grossa foi satisfatória, apresentando efluente final com turbidez inferior a 1uT e cor verdadeira inferior a 1 uH; (ii) a distribuição da perda de carga nas camadas do meio granular do FAAG não apresentou diferenças significativas para as variadas taxas de filtração e modo de operação (com e sem execução de DFIs); (iii) os ensaios que foram realizados com a execução de DFIs apresentaram carreiras de filtração mais longas.

Palavras-chaves: dupla filtração, filtração direta ascendente em areia grossa, filtração rápida descendente.

ABSTRACT

DE PAULA, D. (2003). *Evaluation of double filtration systems for treatment of surface water using direct upflow filtration in coarse sand*. São Carlos, 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work concerns the study of the performance of a double filtration pilot plant treating surface water, presenting turbidity between 8,5 and 21,0 NTU. The pilot plant consisted of two-stage filtration system, with an upflow coarse sand direct filter followed by a downflow fine sand filter. Filtration rates varied from 120 to 360 m/day in the upflow filter and from 200 to 400 m/day in the downflow filter. Intermediate downflow in the upflow filter were performed during the run length to evaluate the performance of the pilot plant. In addition, a peak of turbidity in the influent selected filter operating variable, was studied here in.

Based on the experimental work carried out, it was concluded that: (i) the global efficiency of the system of double filtration with upflow filtration in coarse sand was satisfactory, presenting final effluents with inferior turbidity to 1,0 NTU and inferior true color to 1 uH; (ii) the distribution of the load loss in the layers of the granular media of FAAG didn't present significant differences for the varied filtration rates and operation way (with and without execution of DFIs); (iii) the rehearsals that were accomplished with the execution of DFIs presented longer filtration runs.

Keywords: double filtration; upflow direct filtration in coarse sand; rapid downflow filtration.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional vem ocorrendo de forma cada vez mais desordenada a ocupação de área de preservação permanente, onde se encontram os mananciais de abastecimento. Com essa ação degradativa na qualidade da água destinada ao consumo humano ao mesmo tempo em que sua demanda vem aumentando, se faz necessário um contínuo aperfeiçoamento das técnicas disponíveis e estudos de novas alternativas no campo do tratamento de água para o abastecimento público.

Dentre essas alternativas, a filtração direta ascendente se destaca por ser uma tecnologia que apresenta um custo menor de implantação, emprego de menor quantidade de produtos químicos por metro cúbico de água tratada e maior simplicidade em sua operação e manutenção, quando comparado a uma instalação de ciclo completo. Mas apesar de bastante difundida em diversos países, em particular no Brasil, ainda estão sendo realizados estudos no que diz respeito às limitações que esta tecnologia apresenta, como por exemplo: variações bruscas na qualidade da água bruta, deterioração do efluente no início da carreira de filtração e após as descargas de fundo intermediárias, o que pode favorecer no efluente tratado, a presença de organismos que sejam resistentes à desinfecção com cloro. E uma das soluções que vem sendo estudada, é utilizar a filtração direta ascendente como um pré-tratamento à filtração rápida descendente, constituindo assim o sistema de dupla filtração, o qual tem como finalidade assegurar o polimento do efluente, ou seja, remover impurezas que não tenham sido retidas na primeira unidade de filtração.

Buscando o aperfeiçoamento desta tecnologia e complementando os recentes estudos realizados no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), como por exemplo, o de GUSMÃO (2001), o presente trabalho procurou avaliar o desempenho de uma instalação piloto de dupla filtração, constituída de uma unidade de filtração direta ascendente em areia grossa seguida de uma unidade de filtração rápida descendente em areia, em relação à qualidade da água produzida e aos aspectos operacionais.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de uma instalação piloto de dupla filtração, constituída de filtração direta ascendente em areia grossa como pré-tratamento à filtração rápida descendente em areia, considerando as seguintes situações: aplicação de diferentes combinações de taxas de filtração para as unidades filtrantes; operação da unidade de filtração ascendente executando ou não descargas de fundo intermediárias; e simulação de ocorrência de picos de turbidez de curta duração.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir serão apresentados alguns conceitos relacionados às etapas que compõe o sistema de dupla filtração, incluindo aspectos operacionais. Assim será revisada a literatura referente à filtração direta ascendente, à filtração rápida descendente e à coagulação química da água.

3.1 Considerações Iniciais

A filtração é um processo de tratamento em que a água a ser tratada escoar através de um meio poroso, com a finalidade de remover partículas coloidais, suspensas e microrganismos em geral, em quase sua totalidade, segundo DI BERNARDO (1993b). De acordo com REZAEI* *apud* FERNANDEZ (1996), a floculação e a sedimentação podem ocorrer simultaneamente durante o escoamento da água através de um meio granular e de sua combinação resulta o desempenho desse meio.

Em meio filtrantes granulares, a filtração pode ocorrer com ação de profundidade ou com ação superficial. Em função do valor da taxa de filtração, pode ser considerada rápida (geralmente superior a $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$) ou lenta (geralmente inferior a $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$).

Em meio granular constituído por pedregulho ou areia grossa (tamanho dos grãos da ordem de 1 mm), ocorre a filtração com ação de profundidade, onde a purificação da água é devido à remoção de partículas da suspensão por deposição ao longo de todo meio filtrante. A filtração com ação superficial ocorre quando a água escoar através de um meio granular constituído de areia fina (tamanho dos grãos menores que 0,5 mm).

*REZAEI, H. (1994). Direct horizontal-flow roughing filtration. Investigation of the coagulation mechanisms, particle removal and cleaning procedure. Delf. Dissertação (Mestrado) – Internacional Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering

É o que acontece nos chamados filtros lentos, onde o principal mecanismo de remoção de impurezas é a atividade biológica que se desenvolve de forma mais significativa no topo do meio filtrante, de acordo com AHSAN* apud Gusmão 2001.

3.2 Filtração Direta Ascendente

3.2.1 Breve histórico sobre a filtração direta ascendente

Segundo LIBANIO (1991), em 1685 Lucas Antonio Porzio, médico italiano, concebe o primeiro modelo de um sistema de filtração ascendente visando preservar a saúde dos soldados envolvidos na guerra Áustria-Turquia. O sistema era composto de três conjuntos de dois filtros cada um, operando em série com água decantada. Os pares de filtros, ambos utilizando areia como meio filtrante, foram dispostos de forma que a admissão de água se efetuasse primeiro no filtro de fluxo descendente sendo depois encaminhada ao filtro ascendente. Apenas em 1791, James Peacock, arquiteto londrino, obteve a primeira patente inglesa de um modelo de filtração ascendente. Peacock idealiza, de forma pioneira, a lavagem por inversão de fluxo, pois há evidências da realização da troca periódica do leito filtrante nos modelos antecedentes. O leito filtrante era composto por areia, cascalho e vidro moído, disposto sobre um fundo falso de madeira em forma de cone. Este modelo foi aplicado em três navios da marinha inglesa operando com vazões da ordem de 135 L/h.

A partir daí o modelo de Peacock foi sendo aprimorado, até que em 1867, Henry Flat obteve uma patente de um filtro ascendente semelhante ao de Peacock, contendo aperfeiçoamentos no processo de operação.

Em 1948 a “Academia de Economia Municipal Pamfilova” de Moscou elaborou e testou um modelo de dupla filtração (ascendente-descendente) empregado em diversos municípios e instalações industriais na antiga União Soviética. O modelo, denominado filtro AKX, efetua a lavagem do leito filtrante em fluxo ascendente com taxa mais elevada. Em 1953-54 a mesma “Pamfilova Academy” elaborou outro modelo de filtração ascendente, denominado “filtro de contato” ou “clarificador de contato” adequado ao tratamento de águas com baixa turbidez. Nesta instalação a floculação, decantação e filtração sucedem-se no interior do leito filtrante.

*AHSAN, T. (1995). Process analysis and optimization of direct horizontal-flow roughing filtration. Delft. 193p. Tese (Doutorado) – Delft University of Technology e International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.

Em 1896 o engenheiro holandês Pieter Smit relata o emprego dos filtros AKX na Holanda e em outros países da Europa Ocidental. Smit propõe ainda um modelo de filtro ascendente que apresenta uma malha, disposta próxima ao topo da camada de areia, com o intuito de aplicar taxas de filtração mais elevadas. Este filtro, denominado “filtro immedium”, utiliza também lavagem com ar.

Já em 1970 a Fundação SESP constrói na cidade de Colatina-ES, o primeiro filtro ascendente no Brasil. A estação convencional existente construída pelo mesmo órgão em 1950, utilizando o Rio Doce como manancial demonstra-se insuficiente para atender a demanda da cidade, cuja população triplicara nesse período. Como solução de emergência emprega-se o filtro ascendente com capacidade de 30 L/s para operar com água bruta ou pré-decantada, dependendo das características do afluente.

De 1971 a 1979 o engenheiro Grimplastch da FSESP, apresenta importante trabalho relacionado à filtração ascendente no VI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária de São Paulo em 1971. Relata a aplicação do filtro ascendente em Colatina e aborda o funcionamento de um filtro piloto em Ponta Grossa - PR. Com a repercussão aliada aos bons resultados, a FSESP constrói em Ponta Grossa uma estação de tratamento apta a tratar, em final de plano, 600 L/s que se constituiu durante alguns anos na maior do continente a empregar esta técnica.

No entanto as pesquisas mais recentes (a partir de meados de 1970) desenvolvidas no Brasil na utilização dos filtros ascendentes no tratamento de água remetem para a Escola de Engenharia de São Carlos, em que estudos em unidades piloto têm confirmado desde a importância da camada suporte no processo de floculação até a eficiência da execução de descargas de fundo intermediárias no funcionamento dos filtros ascendentes.

3.2.2 Filtração Direta Ascendente em Areia

A filtração direta ascendente – FDA consiste na passagem de água, coagulada no mecanismo de neutralização de cargas, com escoamento ascendente em meio granular. O filtro deve possuir fundo e sistema de drenagem apropriado, camada suporte constituída de pedregulho com espessura de 0,6 a 0,8 m e meio filtrante constituído unicamente de areia com espessura de 1,6 a 2,0 m. Na camada de pedregulho ocorre formação intensa de flocos, sendo responsável pela remoção de até 50% das impurezas. Devido às dificuldades na retirada das impurezas do interior da camada de pedregulho, torna-se indispensável a execução de descarga de fundo antes da lavagem. Os filtros de uma estação podem ser operados com taxa constante e com ou sem descargas de fundo intermediárias - DFI.

Atualmente, considera-se imprescindível que o sistema de drenagem e o fundo sejam adequados para que as DFIs sejam eficientes, com recuperação efetiva de carga hidráulica, propiciando carreiras de filtração com duração mais longa. A introdução de água na interface pedregulho-areia grossa deve ser efetuada sempre que for operar os filtros com DFIs, para evitar a formação de vácuo naquela região, o que causa prejuízo considerável à qualidade da água filtrada após o reinício da filtração.

Com relação ao tratamento de ciclo completo, a FDA se destaca por: possibilitar a filtração no sentido do maior grão para o menor, resultando na utilização da altura total da camada como meio filtrante (ação de profundidade), e redução do desenvolvimento de perda de carga durante a filtração, devido à remoção de uma quantidade substancial de impurezas na camada do meio filtrante de maior granulometria e, conseqüentemente, em duração de carreiras de filtração mais longas; empregar quantidade de coagulante por m^3 de água tratada, pois como a floculação ocorre na camada de pedregulho, onde fica retida grande parte das impurezas, não havendo necessidade da formação prévia de flocos grandes e densos; requerer menor área e custo de implantação da estação (eliminação das unidades de floculação e decantação); possibilitar a execução de DFIs com aplicação de água na interface, resultando em eficiente método de remoção do material retido na camada pedregulho, com produção de efluentes de melhor qualidade e duração de carreiras mais longas; resultar em custos de operação e manutenção significativamente menores quando comparados aos de uma instalação de tratamento de ciclo completo, devido à redução do consumo de energia, da mão de obra, da quantidade de produtos químicos e conseqüentemente da geração de lodo.

Desde da década de 80, na EESC-USP, a FDA vem sendo pesquisada por DI BERNARDO e colaboradores. Dentre esses estudos realizados em instalações piloto destacam-se:

DI BERNARDO & RAZABONI (1984) que realizaram um trabalho experimental com objetivo principal de investigar a influência da execução de descargas de fundo durante a carreira de filtração para taxas de filtração compreendidas entre 120 e 240 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Adicionalmente, foi também estudada a influência do uso de amido de batata na qualidade do efluente produzido e seu efeito na duração da carreira de filtração quando, durante o funcionamento do filtro, são efetuadas as descargas de fundo.

Com base nos resultados obtidos ficou evidenciada a grande potencialidade da operação de sistemas de filtração ascendente incluindo a realização de descargas de fundo durante a carreira de filtração, as carreiras de filtração para as taxas estudadas resultaram

consideravelmente mais longas que aquelas referentes ao método de operação em que não foram efetuadas as descargas.

Também foi verificado que o uso de amido de batata atenuou os picos de turbidez causados pelas perturbações devidas às descargas, porém as carreiras de filtração foram mais curtas em relação ao filtro em que esse polímero natural não foi aplicado.

Na tabela 3.1, é apresentada a característica do material filtrante utilizado na instalação piloto.

Tabela 3.1 – Características do material filtrante e camada suporte. Fonte: DI BERNARDO, RAZABONI (1984).

Camada Suporte	Posição				
	Fundo	1 ^a	2 ^a	3 ^a	Topo
Espessura (mm)	150	90	70	70	70
Tamanho (mm)	63,5 – 31,7	31,7 – 19,1	19,1 – 12,7	12,7 – 4,76	4,76 – 2,0
Areia	Espessura da camada (mm)	Tamanho do menor grão (mm)	Tamanho maior grão (mm)	Tamanho efetivo (mm)	Coefficiente de Desuniformidade
	2000	0,71	1,68	0,88	1,4

Nas figuras 3.1 e 3.2, são apresentados os dados referentes à turbidez do afluente e efluentes dos filtros e a curva de evolução de perda de carga durante o ensaio para taxa de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

Figura 3.1 - Comportamento da carreira de filtração sem a realização de descargas de fundo. Fonte: DI BERNARDO, RAZABONI (1984).

Figura 3.2 - Comportamento da carreira de filtração com a realização de descargas de fundo. fonte: DI BERNARDO, RAZABONI (1984).

TEIXEIRA (1986) estudou a influência das características da camada suporte e da areia na FDA. Para esse estudo foram utilizados três filtros pilotos operando em paralelo, com taxas entre 120 e 280 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, com execução de DFIs, com água coagulada no mecanismo de varredura e onde o meio filtrante apresentam as seguintes características (Tabela 3.2):

Tabela 3.2 - Características das camadas suporte e areia. Fonte: TEIXEIRA (1986).

Filtro	Camada Suporte		Camada de areia			
	Espessura (cm)	Tamanho (cm)	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Tamanho (cm)	Coefficiente de Desuniformidade
F1	10,0	31,7 – 25,4	200	0,59 – 1,68	0,85	1,6
	7,5	25,4 – 15,9				
	7,5	15,9 – 9,5				
	7,5	9,5 – 4,8				
	7,5	4,8 – 2,0				
F2	15,0	31,7 – 25,4	160	0,59 – 1,68	0,85	1,6
	15,0	25,4 – 15,9				
	15,0	15,9 – 9,5				
	17,5	9,5 – 4,8				
	17,5	4,8 – 2,0				
F3	20,0	31,7 – 25,4	120	0,59 – 1,68	0,85	1,6
	20,0	25,4 – 15,9				
	20,0	15,9 – 9,5				
	30,0	9,5 – 4,8				
	30,0	4,8 – 2,0				

Suas principais conclusões foram:

- A maior eficiência da FDA na remoção de microrganismos foi constatada quando o efluente produzido apresentava turbidez de até 1,0 uT, resultando em NMP de coliformes por 100 mL consistentemente abaixo de 100; acima desse valor de turbidez, esse índice de coliformes aumentava consideravelmente;

- A realização de DFIs proporcionou recuperação hidráulica devido à remoção parcial das impurezas retidas na camada suporte e no início da camada de areia;

Na figura 3.3 é apresentado um resultado típico da distribuição de perdas de carga ao longo das alturas dos filtros e à remoção de microrganismos.

Figura 3.3- Relação entre turbidez e NMP/100mL de coliformes.

Fonte: TEIXEIRA (1986).

PATERNIANI (1986) investigou a influência de DFIs durante a carreira de filtração na eficiência de remoção de microrganismos, tendo concluído que embora essas descargas aumentassem a duração da carreira, mostravam-se prejudiciais do ponto de vista bacteriológico, por causarem picos de turbidez e microrganismos no efluente. O autor observou ainda que, devido às diferentes velocidades de escoamento da água na areia e no pedregulho, durante a execução das DFIs, formavam-se bolsas de ar na região próxima à interface areia-pedregulho, cujo movimento ascendente logo após o reinício da operação carregava impurezas, provocando picos de turbidez e aumentos significativos na concentração de coliformes totais no efluente do filtro. No entanto notou-se que se as DFIs fossem executadas com mais frequência, os resultados seriam melhores. Foi o que constatou DI

BERNARDO & YATSUGAFU (1997), quando investigaram a influência do número de DFI na qualidade do efluente da FDA. Nesse trabalho os autores concluíram que: a) quanto maior o número de DFI, menores eram os picos de turbidez que ocorriam após sua execução e mais longas eram as carreiras de filtração; b) a deterioração da qualidade do efluente após as DFIs não foi muito influenciada pelos valores das taxas de filtração empregadas; c) a execução das DFIs provoca deterioração na qualidade bacteriológica da água.

Tabela 3.3 – Características das camadas suporte e areia. Fonte: PATERNIANI (1986).

Camada Suporte		Areia	
Espessura (cm)	Granulometria (mm)	Espessura (cm)	160
10	31,7 – 25,4	Granulometria (mm)	0,59 a 2,0
10	25,4 – 15,9	Tamanho efetivo	
10	15,9 – 9,5	D _{10%} (mm)	0,88
20	9,5 – 4,2	D _{90%} (mm)	1,32
30	4,2 – 2,0	Coefficiente de desuniformidade	1,5

Figura 3.4 – Variação de turbidez, perda de carga, NMP de coliformes totais e contagem de bactérias durante a carreira de filtração para as seguintes condições: Taxa de filtração: 200 m³/m².dia; F1 sem DFIs; F2 com 1 DFI. Fonte: PATERNIANI (1986).

FERNANDES (1987), utilizando água coagulada no mecanismo de neutralização de cargas e dosagens de coagulante determinada a partir de ensaios de filtração direta em filtros de papel (whatman 40), estudou a influência da composição da camada suporte e de métodos de execução de DFIs no desempenho da FDA. Foram adotadas taxas de filtração de 160 a

280 m³/m².dia. A execução de descargas de fundo foi realizada com a introdução de água na interface (areia-pedregulho), para evitar a formação de subpressão, com conseqüente prejuízo da qualidade da água. Dentre as conclusões destacam-se: (i) o método de execução das DFIs produziu carreiras mais longas sem prejudicar a qualidade do efluente, devendo a taxa de água na interface, para promover uma limpeza satisfatória na camada suporte, ser de 600 a 1000 m³/m².dia com duração de 5 a 25 segundos; (ii) a colocação de subcamadas de maior granulometria sobre a subcamada superior de pedregulho da camada suporte evitou rupturas próximas à interface areia/pedregulho do meio filtrante, quando a taxa de filtração foi inferior a 200 m³/m².dia,

CRUZ VÉLEZ (1993) e LARA PINTO (1994), avaliaram o desempenho da filtração direta ascendente com altas taxas de filtração, de até 480 m³/m².dia, no tratamento de água com turbidez e cor aparente inferior a 30 uT e 120 uH, respectivamente e concluíram que: (i) após o período inicial de amadurecimento do filtro, a qualidade da água filtrada, relativamente à cor aparente e turbidez, atendia ao padrão de potabilidade quanto à turbidez, independentemente da taxa de filtração; (ii) com relação à qualidade bacteriológica, a água filtrada apresentava características favoráveis à obtenção de desinfecção eficiente; (iii) mesmo com taxas elevadas (até 900 m³/m².dia), não foi constatada fluidificação da camada de areia.

A seguir é apresentado um resultado típico dos estudos realizados por Cruz Vélez (Figura 3.5).

Figura 3.5 - Variação da turbidez e pH dos efluentes para diferentes taxas aplicadas. Fonte CRUZ VÉLEZ (1993).

CASTILLA MIRANDA (1997) e ISAAC (1997) estudaram a influência da mistura dos grãos de areia no desempenho da filtração direta, abordando também a possibilidade do emprego de altas taxas de filtração, quando o meio filtrante não se encontrava totalmente estratificado e constataram que: (i) o crescimento da perda de carga total no meio filtrante sempre foi maior no filtro com areia colocada totalmente estratificada e, portanto, a duração da carreira sempre foi menor neste filtro em relação ao filtro com areia colocada totalmente misturada; (ii) independentemente da disposição da areia, estratificada ou misturada, para as condições estabelecidas na pesquisa (granulometrias e espessuras da camada suporte e de areia empregadas) os filtros foram eficientes na obtenção de efluente de boa qualidade; (iii) ocorreu uma grande mistura dos grãos de areia de todos os tamanhos durante a lavagem simultânea com ar e água, independentemente da disposição inicial (estratificada ou mistura completa), sugerindo assim, a necessidade de investigações adicionais.

GUSMÃO (2001), estudou a Filtração Direta Ascendente em Areia Grossa – FAAG como pré-tratamento à FRD, utilizando água proveniente de manancial superficial com baixa turbidez (<25 uT) e variando-se as taxas de filtração e o número de DFIs. As principais características do meio granular e a programação dos ensaios realizados estão apresentadas nas tabelas 3.4 e 3.5:

Tabela 3.4 - Características do material granular utilizado por GUSMÃO (2001)

Camada suporte		FAAG	FRD
Tamanho dos grãos (mm)	Espessura das subcamadas (mm)		
15,9 – 9,6	7,5		
9,6 – 4,8	7,5		
4,8 – 2,4	15,0		
9,6 – 4,8	7,5		
15,9 – 9,6	7,5		
25,4 – 15,9	7,5		
31,7 – 25,4	7,5		
		Tamanho dos grãos = 1,0 a 2,38 mm TE = 1,2 mm CD = 1,51 Espessura da camada = 1,6 m	Tamanho dos grãos = 0,42 a 1,41 mm TE = 0,54 mm CD = 1,57 Espessura da camada = 0,7 m

Tabela 3.5 - Programação dos ensaios realizados por GUSMÃO (2001)

Taxas de filtração (m ³ /m ² .dia)		
FAAG	Nº de DFI	FRD
360	4	240
360	4	240
360	4	240
360	6	180
200	4	300
360	4	480

O coagulante utilizado foi sulfato de alumínio (solução comercial) e a determinação e o ajuste das dosagens foram realizados através de filtração da água coagulada na própria instalação, em filtros de laboratório de areia – FLA.

A lavagem do FAAG foi executada com aplicação de água com velocidade ascensional suficiente para produzir expansão de 30% por 10 min, descarga de fundo com injeção simultânea de água na interface areia-pedregulho, com taxa de escoamento entre 600 e 1000 m³/m².dia. Após a lavagem era realizada a compactação do meio granular, de forma a atingir sua altura original, e, simultaneamente, a remoção de bolhas de ar retidas em seus vazios intergranulares, mediante numerosas pancadas (leves), no sentido ascendente, ao longo da parede do filtro. Por último era realizada a remoção de bolhas de ar e de impurezas do interior de cada piezômetro (tubo flexível).

No FRD a lavagem foi realizada injetando-se primeiramente, ar comprimido durante 5 min, limitando-se a expansão do meio granular em 70%, para evitar a perda de material, seguida da aplicação de água com velocidade ascensional, de modo a produzir expansão do meio granular da ordem de 30%, durante 10 min.

Deste trabalho destacam-se, a seguir:

- Os resultados de alguns valores de potencial zeta sugerem que a coagulação tenha ocorrido, de forma predominante, no mecanismo de adsorção, com neutralização parcial de cargas, embora a aplicação das dosagens determinadas pelo teste em FLAs tenham levado à produção de efluente de boa qualidade;
- Em dois dos ensaios, onde a taxa de filtração aplicada no FAAG foi de 360 m³/m².dia, verificou-se a ocorrência de desprendimento contínuo de grande quantidade de pequenos flocos, causando a deterioração da qualidade do efluente, chegando a apresentar valores de turbidez e cor aparente da ordem de 6,0 uT e 45 uH, respectivamente. Dessa forma o FRD mostrou-se necessário como tratamento complementar, para garantir a produção de água com qualidade condizente com o Padrão de potabilidade em termos de turbidez;
- O FAAG apresentou crescimento da perda de carga no meio granular mais intenso do que no FRD. Com isso as carreiras de filtração, encerradas pelo critério de perda de carga limite foram determinadas pelo FAAG;

Mesmo com os resultados obtidos, o autor sugeriu que outras investigações fossem desenvolvidas para avaliar a influência de variações na qualidade da água bruta e nas taxas

de filtração no desempenho de sistema de dupla filtração que utilizem a filtração direta ascendente em areia.

KURODA, E. K. (2002) avaliou a filtração direta ascendente em pedregulho como pré tratamento em sistemas de dupla filtração. A investigação experimental foi realizada em instalação piloto, variando-se a taxa de filtração nos filtros ascendente (60 a $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$) e descendente (100 a $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$), com e sem execução de descargas de fundo intermediárias no ascendente. A água bruta foi proveniente de um manancial superficial com pH entre 6,5 a 7,5, valores de turbidez compreendidos entre 8,5 e 21 uT e alcalinidade entre 7,6 e 10 mg CaCO_3/L . As características do meio filtrante estão descritas na tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Características do meio granular. Fonte: KURODA, E. K. (2002).				
Filtro	Tamanho dos grãos (mm)		Espessura (cm)	
Ascendente em pedregulho	19,0 a 25,4		300	
	9,6 a 15,9		300	
	3,2 a 6,4		300	
	1,41 a 2,4		300	
	2,0 – 2,4		16	
	1,68 – 2,0		48	
	1,41 – 1,68		30	
	1,19 – 1,41		51	
	1,0 – 1,19		15	
Descendente em areia fina	Areia	Tamanho dos grãos: 0,30 – 1,41 mm	Tamanho efetivo: 0,43 mm	Espessura da camada: 0,7 m

Dentre os resultados obtidos pode-se destacar que: (i) embora o filtro FRD tenha sido capaz de absorver os picos de turbidez decorrentes do carreamento e desprendimento de flocos do filtro ascendente em pedregulho, nos ensaios sem execução de descargas de fundo intermediárias e taxas de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, o seu desempenho foi insatisfatório; (ii) a eficiência global do sistema de DF com Filtro ascendente em pedregulho foi satisfatória tendo o efluente final apresentado turbidez durante a maior parte do tempo inferior à 0,1 uT independente da qualidade da água bruta.

A seguir, na figura 3.6, são apresentados resultados típicos desse trabalho.

Figura 3.6 - Variação dos valores de turbidez da água bruta, efluentes do filtro ascendente e descendente e de perda de carga no meio granular em função do tempo. Fonte: KURODA, E. K. (2002).

3.3 Filtração Rápida Descendente

A filtração rápida descendente -FRD é a técnica de filtração rápida em que a água, após pré-tratamento, escoar no sentido descendente através de meio filtrante de areia e/ou

antracito. Esta técnica é, em geral, empregada em estações de tratamento em ciclo completo, após floculação e sedimentação, com a finalidade remover partículas em suspensão e coloidais e microrganismos em geral, que não foram retidos nas etapas anteriores, de forma a garantir uma desinfecção efetiva. Em sistema de dupla filtração – DF, a FRD é introduzida de forma similar, como tratamento complementar.

De acordo com DI BERNARDO (1993b), na filtração rápida descendente o meio filtrante empregado em geral é constituído por: camada única de areia (com espessura de 0,6 a 0,8 m e grãos com tamanhos de 0,42 a 1,41 mm); duas camadas superpostas, a superior de antracito (com espessura de 0,45 a 0,60 m e grãos com tamanho de 0,59 a 2,00 mm) e a inferior de areia (com espessura de 0,2 a 0,3 m e grãos com tamanho de 0,42 a 1,41 mm), e; camada única de areia praticamente uniforme (com espessura $\geq 1,0$ m e grãos com tamanho de 0,84 a 1,68 mm).

Durante a filtração a resistência total do filtro à passagem da água deve ser igual à carga hidráulica disponível. Também no decorrer da carreira de filtração, o acúmulo de partículas nos vazios intragranulares faz com as forças cisalhantes, que atuam sobre as partículas depositadas, aumentem, ocasionando o carreamento dessas partículas às camadas inferiores do filtro.

A operação de lavagem do meio filtrante consiste de introdução de água no sentido ascendente, em geral com velocidade da ordem de 0,8 a 1,0 m/min suficiente para produzir expansão do meio granular maior ou igual a 30%, durante 7 a 10 min, com o intuito de liberar as impurezas retidas no decorrer da filtração. A lavagem com água pode ser precedida pela aplicação de ar, durante um tempo de 2 a 5 min, com taxa de 10 a 20 L/s.m², ou ainda, pela aplicação simultânea de ar e água, com taxa de aplicação de 4 a 8 L/s.m² e 0,15 a 0,30 m/min, respectivamente, por um período de 2 a 5 min.

3.4 Dupla Filtração

Segundo DI BERNARDO (1993 b), a associação da filtração direta ascendente - FDA seguida por filtração rápida descendente –FRD, é recomendada para os casos em que: a) a água bruta, embora apresente valores de turbidez, cor verdadeira e concentração de algas que tornem possível seu tratamento apenas por meio da filtração direta em areia com escoamento descendente, apresentem NMP de coliformes totais elevado ou exista a possibilidade da presença de outros organismos que sejam resistentes à desinfecção com cloro; b) a água bruta apresente, temporariamente, valores de turbidez, cor verdadeira ou

concentração algal superiores àqueles que tornariam possível seu tratamento apenas por meio da filtração direta em areia com escoamento ascendente.

Mesmo apresentando maiores custos de implantação, operação e manutenção que a FDA, a DF destaca-se por permitir tratamento de água com pior qualidade, possibilitar o uso de taxas de filtração mais elevadas, oferecer maior segurança com relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, apresentar melhor remoção global de microrganismos e dispensar o descarte de água filtrada do FDA no início da carreira de filtração.

Na DF como há o tratamento complementar do FRD, o FDA pode ter uma camada de areia com espessura menor e granulometria maior, considerando que a turbidez de seu efluente pode ser superior a 1 uT. DI BERNARDO (1993 b) recomenda que a espessura da camada filtrante seja de 1,2 a 1,6 m, com tamanho dos grãos entre 1,0 e 2,4 mm e tamanho efetivo entre 1,0 e 1,2 mm.

A filtração direta ascendente em areia grossa pode ser operada com taxas de filtração variando entre 120 e 240 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, com execução de descargas de fundo intermediárias e introdução simultânea de água na interface pedregulho-areia, sob taxa igual ou superior a 600 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$. As DFIs devem ser definidas considerando as características da água bruta, a carga hidráulica disponível para a retenção de impurezas, a perda de carga no meio granular limpo, a evolução da perda de carga no meio granular e as condições operacionais estabelecidas.

3.5 Coagulação Química

As águas superficiais contêm em geral, partículas coloidais em suspensão, substâncias orgânicas e inorgânicas, além de microrganismos e outras impurezas, apresentando em grande parte, cargas superficiais negativas, predominando assim, as forças de repulsão que favorece a permanência estável dessas impurezas no meio. Com aplicação de sais de alumínio ou ferro na água, sob condições particulares de dosagem e pH, diversas espécies hidrolisadas solúveis positivas e com alta capacidade de adsorção são formadas. A adsorção dessas espécies hidrolisadas positivas na superfície do colóide é responsável pela desestabilização da partícula.

A coagulação consiste justamente na adição de substâncias químicas (coagulantes) à água, que alteram a força iônica do meio aquoso, provocando a desestabilização dessas partículas, a fim de serem mais facilmente retidas nas etapas subsequentes. A coagulação de partículas decorre basicamente de quatro mecanismos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e formação de pontes, sendo que a predominância de um

Observa-se no diagrama apresentado, que uma dosagem de 10 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, produz duas condições de neutralização de cargas correspondente à mobilidade eletroforética nula. A primeira é devida à adsorção de espécies hidrolisadas solúveis carregadas positivamente, que se transformam à fase sólida, sobre a superfície do colóide em $\text{pH} = 4,8$, e a segunda é devido à cobertura com $\text{Al}(\text{OH})_3$ na fase sólida em $\text{pH} = 6,8$. Esta última condição está localizada no limite da zona de reestabilização, onde ocorre a reversão de cargas, e sendo assim, pode-se esperar que uma coagulação eficiente ocorra ao longo de uma região estreita desse limite, denominada “corona”, com predominância do mecanismo de neutralização. Essa região compreende a faixa de 3 a 30 mg/L para dosagem de sulfato de alumínio, e pH na faixa de 5,0 a 7,0, sendo variáveis esses limites em função das características da água bruta.

Buscando-se determinar a dosagem de coagulante mais adequada na filtração direta, estudos foram realizados por WAGNER & HUDSON (1982) e DI BERNARDO (1985), em ensaios de bancada, utilizando o jarteste para a realização da mistura rápida, seguida da filtração de água coagulada em filtro de laboratório em papel – FLP (whatman 40). Os resultados satisfatórios concluíram que a investigação em instalação piloto era indispensável para obtenção de parâmetros de projeto de instalações em escala real.

MENDES (1985) estudou o efeito da coagulação por varredura e por neutralização de cargas em instalação piloto no desempenho da FDA, com taxas de filtração entre 120 e 240 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e concluiu que a FDA apresentava grande eficiência na remoção de sólidos em suspensão. Além disso, o autor observou que: (i) a dosagem de coagulante na FDA podia ser reduzida em até 70% dos valores de dosagens ótimos utilizados na coagulação para tratamento de ciclo completo, (ii) o valor do pH que otimizava eficiência da FDA era inferior ao comumente utilizado para obtenção de condições de floculação de água em ciclo completo, (iii) as carreiras de filtração apresentavam durações inversamente proporcionais às dosagens de sulfato de alumínio (coagulante) utilizadas na investigação experimental, 25%, 50%, 75% e 100% da dosagem utilizada na coagulação para tratamento em ciclo completo.

A figura 3.8 apresenta um resultado típico dessa investigação.

Figura 3.8 - Variação dos valores de perda de carga e de turbidez do afluente e dos efluentes em função do tempo de funcionamento (F1: água coagulada na instalação piloto; F2: água coagulada na ETASC) Fonte: MENDES (1985).

Di Bernardo (1993a) apresenta valores de parâmetros usualmente utilizados para projetos de unidades de mistura rápida (Tabela 3.6) ressaltando, porém, que os mesmos devem ser especificamente determinados em ensaios de laboratório.

Tabela 3.7- parâmetros para projeto de unidade de mistura rápida. Fonte: Di Bernardo (1993a)

coagulante	$G_{mr}(s^{-1})$	$T_{mr}(s)$	mecanismo
Sulfato de alumínio Cloreto férrico	3.000 a 6.000	≤ 5	Neutralização de cargas
Sulfato férrico Sulfato ferroso	500 a 1.200	≤ 60	varredura

Em estudos mais recentes, DI BERNARDO et al. (2000), procurando uma avaliação preliminar da potencialidade do emprego da FDD ou FDA, foi desenvolvido um sistema de filtros de pequenas dimensões contendo areia como meio filtrante (filtro de laboratório em areia – FLA), a serem acoplados ao equipamento de jarteste, para possibilitar a avaliação das condições de coagulação, tendo em vista que em certas situações (turbidez da água bruta elevada), a utilização do FLP se tornava inviável. Para efeito de comparação foram realizados ensaios, variando-se a qualidade da água, tipo e dosagens de coagulante. Os

resultados obtidos mostraram se mais coerentes com a utilização do FLA, especialmente quando a turbidez da água bruta era superior a 25 uT.

3.6 Comentários finais

Analisando os resultados que foram apresentados nas investigações realizadas, podemos concluir que a tecnologia de Dupla Filtração possui um grande potencial, especialmente, por permitir o tratamento de águas com características que dificultam a aplicação dos processos e operação envolvidos no tratamento que empregam a tecnologia de ciclo completo e filtração lenta (CRUZ VÉLEZ et al., 1998). Com relação à dupla filtração constituída por filtração direta ascendente seguida por filtração rápida descendente, é importante avaliar seu desempenho considerando-se os avanços obtidos por DI BERNARDO e colaboradores para o projeto e operação da unidade de filtração direta ascendente em areia, bem como avaliar o desempenho da filtração rápida descendente no tratamento final do efluente dessa unidade. Tendo em vista que a filtração direta ascendente, por algum tempo, foi considerada limitada devido: às dificuldades com relação à qualidade da água bruta; à fluidificação dos grãos mais finos presentes no topo da camada filtrante; à ocorrência de ruptura da camada de areia, causada pela elevada perda de carga devido à retenção de impurezas; ao elevado consumo de água para a execução da lavagem, devida a espessura da camada filtrante; e ao risco sanitário representado pela concepção de saída comum de água de lavagem e água filtrada, e atualmente com a introdução de novos conceitos e métodos operacionais, pode-se afirmar que tais dificuldades estão sendo minimizadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, neste capítulo, será apresentada a descrição da instalação piloto de dupla filtração – IPDF e aspectos relacionados ao seu funcionamento, sendo em seguida, descritas as atividades realizadas durante as fases de pré-operação e operação, bem como os procedimentos envolvidos no ensaio com ocorrência de pico de turbidez.

4.1 Características da água bruta

A água bruta utilizada no estudo era proveniente do Ribeirão do Feijão, um dos mananciais que abastece a cidade de São Carlos, que apresentou as seguintes características durante o período de dez/1999 a dez/2000, segundo o laboratório de águas da ETASC (fonte: SAAE/2000):

Turbidez: em 95% dos dias apresentando valores inferiores a 100 uT, em 97% dos dias, inferior a 200 uT e em 99% dos dias, inferior a 300 uT;

Cor Aparente: apresentando em 98% dos dias com valores inferior a 250 uH;

pH: 6,4 a 7,0;

Alcalinidade: 6 a 19 mg/L CaCO_3 ;

Coliformes Totais: 220 a 90000 NMP/mL;

Coliformes fecais: 17 a 9000 NMP/mL;

Temperatura: 16 a 26 °C.

4.2 Instalação Piloto de Dupla Filtração – IPDF

A IPDF, cujo esquema está apresentado na Figura 2, foi montada nas dependências da Estação de Tratamento de Água de São Carlos - ETA2, localizada no Centro Empresarial de Alta Tecnologia – CEAT, a qual emprega a técnica de dupla filtração. Esta estação recebe água bruta proveniente do Ribeirão do Feijão, a mesma utilizada para estudo no presente trabalho.

A IPDF era composta, basicamente, de um sistema de recalque de água bruta a partir do reservatório semi-enterrado da ETA2 até a caixa de nível constante - CNC, da qual por descarga livre chegava à unidade de mistura rápida, onde se dava a coagulação química da água e, em seguida, era encaminhada às unidades de filtração, construídas em acrílico transparente.

Figura 4.1 - Esquema geral da instalação piloto de dupla filtração.

Nas figuras 4.2 e 4.3 são apresentadas as fotos do local onde foi montada a IPDF.

Figura 4.2 – Vista externa do local da IPDF.

Figura 4.3 – Foto – IPDF.

4.2.1 Sistema de recalque e regularização da vazão de água bruta

Para adução da água bruta à Caixa de Nível Constante – CNC, localizada em uma torre, foi utilizada uma bomba centrífuga da marca Calpeda, modelo NTM 61 com motor de 0,45 HP de potência, instalada no reservatório semi-enterrado da ETA2 (Figura 4.4), a qual bombeava através de uma tubulação de PVC, de 19 mm diâmetro, uma vazão de, aproximadamente, 500L/h. Esta vazão era controlada por meio um registro de esfera instalado na tubulação de retorno e verificada por rotâmetro (Figura 4.5) na tubulação de recalque, com vazão máxima de 2000 L/h.

Figura 4.4 – Foto - Sistema de recalque.

Figura 4.5 – Foto – Rotâmetro para água bruta.

A CNC (350 x $\varnothing$ 310 mm) possuía internamente um extravasor de água bruta composto de duas reduções excêntricas superpostas ($\varnothing$ 150 para 100 mm e $\varnothing$ 100 para 50 mm) e um tubo provido de cap (contendo orifício com $\varnothing$ 12,7 mm), permitindo o encaminhamento de água bruta por descarga livre diretamente na tubulação de entrada da Câmara de Mistura Rápida – CMR ($\varnothing$ 76,2 mm). Como a vazão encaminhada para a CMR, era sempre inferior à de recalque, uma parcela da água bruta extravasava continuamente, mantendo uma lâmina líquida sobre o cap de aproximadamente 17 cm, o que mantinha uma vazão sempre regular.

4.2.2 Sistema de Mistura Rápida e Coagulação Química

A CMR (230 x $\varnothing$ 250 mm), onde eram adicionadas as soluções de alcalinizante e coagulante químico, era provida de um agitador com paleta plana que funcionava com rotação de 450 rpm e de um extravasor de água coagulada ($\varnothing$ 50 mm). Esta unidade possuía uma placa divisória com oito orifícios ($\varnothing$ 24,5 mm), distribuídos uniformemente na largura superior, com a finalidade de diminuir a turbulência na região próxima ao sistema de distribuição de água coagulada para a unidade de filtração (figura 4.6).

Figura 4.6 – Foto – Câmara de Mistura Rápida – CMR.

As condições de coagulação química da água foram determinadas para que predominasse o mecanismo de adsorção e neutralização de carga, e realizadas antecedendo cada ensaio em reatores estáticos (jarteste).

Após a mistura rápida nos reatores estáticos iniciava-se o ensaio de filtração direta, em filtro de laboratório em papel – FLP e em filtros de laboratório em areia – FLA. O FLP utilizado apresentava as seguintes características: marca Whatman 40, tamanho médio dos poros 8 μm , espessura de 0,2 mm e diâmetro de 125 mm. O Sistema de FLAs era constituído por seis filtros em acrílico ou PVC com 19 mm de diâmetro, 40 cm de altura e possuía areia aderida na parede interna (evitando assim a formação de correntes preferenciais) e composto de uma camada de areia de 15 cm. A saída de água filtrada foi posicionada, aproximadamente, a 1,0 cm acima da camada de areia.

A taxa de filtração empregada nos ensaios com FLAs, foi de 60 a 100 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$. Como haviam seis filtros e seis jarros no equipamento de jarteste, foi possível estudar diferentes dosagens simultaneamente, para a determinação daquela considerada apropriada (pela produção de efluente filtrado com turbidez $\leq 0,5$ uT).

Na tabela 4.1 apresentam-se as diferentes granulometrias da areia utilizadas nos FLAs de acordo com as características da água bruta.

Tabela 4.1 – Turbidez da água bruta e granulometria da areia nos FLAs

Turbidez (uT)	Granulometria da areia (mm)
<25	0,30 a 0,59
25-100	0,42 – 0,84
>100	0,59 – 1,41

Nas figuras 4.7 e 4.8 são apresentados os FLAs (fotos e esquema) utilizados nos ensaios de filtração direta.

Figura 4.7 – Filtros de laboratório de areia - FLAs.

Figura 4.8 – Esquema do FLA. Fonte KURODA, E. K. (2002).

Foram adotados os seguintes procedimentos para o preparo dos FLAs:

- 1) Colocar toda areia contida no FLA, em um béquer de 500mL;
- 2) Encher o béquer com água de diluição (água filtrada sem cloração), de maneira que a areia fique totalmente submersa;
- 3) Agitar a areia utilizando uma espátula de plástico, por meio de movimentos circulares;
- 4) Deixar o béquer contendo areia em repouso por 5 min;
- 5) Medir a turbidez do sobrenadante e repetir os procedimentos anteriores até que a turbidez resultante seja menor que 5 uT;
- 6) Transferir a areia “lavada” para o FLA com auxílio de uma piceta, através de pequenos jatos de água de diluição;
- 7) Compactar a areia por meio de leves pancadas, distribuídas na lateral superior do FLA, até atingir a espessura de 15 cm;
- 8) Repetir o mesmo procedimento para todos os FLAs.

O coagulante químico utilizado foi o sulfato de alumínio ferroso, em solução comercial, produzido por Produtos Iguaçu, cujas especificações no laudo técnico são apresentadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Especificações do coagulante químico

Massa específica da solução (g/cm ³)	1,32
Concentração Al ₂ (SO ₄) ₃ .14,3H ₂ O (%massa/massa)	42,4
Teor de Al ₂ O ₃ (%massa/massa)	7,215
Teor máximo de Fe ₂ O ₃ (%)	1,2
Acidez livre máxima (H ₂ SO ₄) (%)	1

O alcalinizante utilizado foi o carbonato de sódio em pó (Na₂CO₃), conhecido comercialmente como barrilha, tendo sido empregado apenas no ensaio IX (com ocorrência de pico de turbidez), devido às elevadas dosagens de coagulante requeridas. Nos demais ensaios a aplicação do alcalinizante foi dispensada, em função da água coagulada (com dosagens de alumínio – DA_I, entre 0,381 e 0,533 mgAl/L), ter apresentado geralmente valores de pH entre 6,2 e 7,1.

A preparação e aplicação das soluções de coagulante químico e alcalinizante foram realizadas em tanques graduados com volume útil de 50 L, providos de bomba dosadora por pulsos, moto-redutor e agitador. As bombas dosadoras possuíam as seguintes características: marca Prominent, modelo COMB 1601, com amplitude de dosagem de até 1,0L/h e altura manométrica de 16 m.c.a..

O preparo da solução de sulfato de alumínio ou de carbonato de sódio foi realizado utilizando água filtrada da ET

A2, sem cloração, para a diluição. Após a diluição a solução de sulfato de alumínio ou carbonato de sódio era agitada por aproximadamente 10 min. Em seguida eram efetuados os ajustes necessários: extração das bolhas retidas na tubulação e ajuste da vazão a ser bombeada (medidas volumétricas).

Nos ensaios de I a VIII, a solução de coagulante foi preparada com concentração igual a 766,4. No ensaio IX, a solução de coagulante foi preparada com concentração de 1.593,3 mgAl/L e a solução alcalinizante com a concentração de 10.000 mg/L do produto comercial (carbonato de sódio anidro em pó).

O cálculo da vazão da bomba dosadora foi realizado utilizando-se o conceito de balanço de massa, expressa por:

$$C_{\text{sol}} \times q_b = \text{DAI} \times (q_b + Q_{\text{ab}}), \text{ em que:}$$

C_{sol} = concentração da solução de coagulante (mg/L de Al);

q_b = vazão da bomba dosadora (L/h);

DAI = dosagem do coagulante (mgAl/L);

Q_{ab} = vazão de água bruta afluyente à CMR.

Ressaltando que a relação entre dosagens de alumínio (Al) e sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) foi considerada igual a 11,1.

Foi obtido, dessa maneira, dosagens de coagulante DAI entre 0,381 e 0,533 mg/L, para concentração da solução de coagulante C_{sol} de 766,4 e vazão de água bruta igual a 500 L/h, o que resultou vazões entre 0,249 e 0,348 L/h, para as bombas dosadoras. (correspondendo ao bom desempenho: 0,2 a 0,8 L/h).

Vale destacar que foram realizadas aferições das vazões das bombas dosadoras com o objetivo de estabelecer valores limites de vazões para cada condição de regulagem e para cada tanque de produto químico, pois com esses dados podia se escolher de forma adequada a concentração das soluções de coagulante e alcalinizante (caso necessário) durante a realização dos ensaios. Especialmente no ensaio, onde foi simulada a ocorrência de pico de turbidez, em que as dosagens variaram significativamente, tendo sido necessário o preparo de soluções com diferentes concentrações. A seguir, na tabela 4.3, estão apresentados os resultados da aferição realizada para a faixa ótima de desempenho da bomba dosadora.

Tabela 4.3 - Vazões correspondentes aos limites de regulagem das bombas dosadoras (L/h)

Tanque	Regulagens da bomba dosadora					
	II/30	II/50	II/70	III/30	III/50	III/70
Tanque coagulante 1	0,208	0,337	0,504	0,408	0,676	1,01
Tanque coagulante 2	0,180	0,297	0,475	0,344	0,600	0,998
Tanque alcalinizante 1	0,160	0,264	0,418	0,305	0,526	0,990
Tanque alcalinizante 2	0,176	0,301	0,473	0,338	0,572	1,01

Durante a carreira de filtração, o controle do processo de coagulação era efetuado através da adaptação de um FLA no extravasor de água coagulada na instalação piloto (figura 4.9).

Figura 4.9 – Foto – Dispositivo para teste em FLA acoplado no extravasor de água coagulada da IPDF.

4.2.3 Sistema de distribuição de água coagulada

A distribuição de água coagulada para o Sistema de Filtração – SF foi realizada por um dispositivo de sifonamento adaptado a CMR, utilizando mangueiras flexíveis de silicone de 5, 7 e 10 mm de diâmetro, as quais possuíam graduações, permitindo o controle e ajuste da vazão requerida pelo sistema, podendo ser visualizada na figura 4.6.

4.2.4 Sistema de filtração

O sistema de dupla filtração era constituído de uma unidade de filtração direta ascendente em areia grossa (FAAG), seguida de uma unidade de filtração rápida descendente (FRD). Na figura 4.10, é apresentado um esquema geral da IPDF, contendo detalhes da estrutura e do meio filtrante dos filtros.

Figura 4.10 - Esquema dos FAAG e FRD.

A estrutura do FAAG foi constituída por quatro peças cilíndricas superpostas, de acrílico, dotadas de flanges, com diâmetro externo de 153 mm (diâmetro interno de 141 mm) e alturas de 32,0 cm, 150,0 cm, 150,0 cm e 15,0 cm, totalizando 3,47 m. A estanqueidade do conjunto foi obtida com instalação de anéis de borracha entre os flanges de cada peça, as quais foram conectadas por meio de parafusos metálicos dispostos regularmente nos flanges.

O meio filtrante do FAAG possuía espessura total de 2,2 m, sendo constituído por duas camadas superpostas: a inferior de pedregulho, com espessura de 0,60 m, e a superior de areia grossa, com espessura de 1,60 m. A camada de pedregulho, apoiada sobre placa de acrílico perfurada, era constituída por seis subcamadas. A camada de areia grossa era constituída por grãos com tamanhos variando de 1,00 a 2,4 mm, com tamanho efetivo de 1,4 mm, colocada de forma estratificada em cinco subcamadas superpostas.

O FRD foi constituído por quatro peças cilíndricas superpostas, de acrílico, dotadas de flanges, possuía diâmetro externo de 100 mm (diâmetro interno de 92 mm) e alturas de 32,0 cm, 150,0 cm, 10,0 cm e 150 cm, totalizando 3,42 m. As conexões e estanqueidade do conjunto foram semelhantes à do FAAG.

O meio filtrante foi composto por uma camada de areia, com grãos de 0,3 a 1,41 mm e tamanho efetivo entre 0,42 e 0,45 mm, com 0,70 m de espessura, tendo como suporte uma placa de acrílico perfurada e dotada de tela (# 0,2 mm).

4.3 Preparação e preenchimento do meio granular

A preparação do material filtrante foi feita segundo o método de peneiramento manual para teste granulométrico, utilizado em laboratório de análise de solos da EESC-USP, separando os grãos pelo tamanho e em seguida compondo-os pela porcentagem em peso retido entre as peneiras consecutivas, a fim de se obter a granulometria desejada.

O preenchimento do FAAG com o material filtrante foi efetuado por subcamadas, correspondentes aos tamanhos das peneiras consecutivas, dispondo-se os grãos em ordem decrescente no sentido ascendente.

As características dos materiais filtrantes utilizados e as curvas granulométricas correspondentes encontram-se na Tabela 4.4 e Figura 4.11, respectivamente.

Tabela 4.4 – Características do meio granular				
Filtro	Material	Subcamada	Tamanho dos grãos (mm)	Espessura (cm)
Ascendente (FAAG)	Pedregulho (Suporte)	fundo	25,4 – 19,0	10
		primeira	12,7 – 19,0	10
		segunda	6,4 – 12,7	10
		terceira	3,2 – 6,4	15
		quarta	6,4 – 12,7	7,5
		superior	12,7 – 19	7,5
	Areia	1	2,0 – 2,4	16
		2	1,68 – 2,0	48
		3	1,41 – 1,68	30
		4	1,19 – 1,41	51
		5	1,0 – 1,19	15
Descendente (FRD)	Areia	Tamanho dos grãos: 0,30 – 1,41 mm	Tamanho efetivo: 0,43 mm	Espessura da camada: 0,7 m

Figura 4.11 - Curva de distribuição granulométrica do FAAG e FRD.

4.4 Descargas de Fundo Intermediárias – DFI e lavagem dos filtros

As Descargas de Fundo Intermediárias – DFIs no FAAG, foram programadas em função da perda de carga final prevista no meio granular (2,2 m) e da perda de carga no meio granular limpo, para as diferentes taxas de filtração ($H_{0,i}$ no FAAG). Foram realizadas descargas de fundo intermediárias considerando a seguinte programação: carga hidráulica disponível para retenção de impurezas no FAAG: $(2,2 - H_{0,i})$; acréscimo de perda de carga entre descargas intermediárias sucessivas: $(2,2 - H_{0,i})/(N + 1)$, sendo N o número de descargas previstas. Para cada DFI realizada no FAAG, o afluente ao filtro ascendente era desviado e em seguida era introduzida na interface (pedregulho-areia), água com taxa de aproximadamente $1000 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, por um período de 1 min.

A lavagem do FAAG foi realizada executando-se primeiramente uma descarga de fundo com introdução de água na interface pedregulho-areia, durante 1 min e taxa de aproximadamente $1000 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, seguida de aplicação de água no sentido ascensional com velocidade em torno de 1,8 a 1,9 m/min, obtendo-se expansão de aproximadamente 20 %, durante 10 min.

A lavagem do FRD foi realizada com aplicação de ar por 3 min com taxa da ordem de 15 L/sm^2 , seguida de aplicação de água com velocidade ascensional de 0,6 m/min, durante 7 min, resultando expansão de aproximadamente 30 %.

4.5 Piezômetros

Foram instaladas três tomadas piezométricas no FAAG e quatro no FRD, permitindo verificar a penetração de impurezas no meio granular dos filtros e controlar as operações de descargas de fundo intermediárias – DFI no FAAG. Os pontos de tomadas piezométricas podem ser verificados na figura 4.10.

As tomadas piezométricas foram adaptadas conectando espigões metálicos ($\varnothing$ 3,2 mm) ao longo dos filtros e estes por sua vez em mangueiras de cristal ($\varnothing$ 5,0 mm), os quais compunham os quadros piezométricos. Com a finalidade de evitar a perda de material granular, os espigões eram providos de uma tela metálica (abertura de # 0,2 mm).

4.6 Turbidímetro de escoamento contínuo

O IPDF possuía derivações nas tubulações de água bruta e na saída dos filtros ascendente e descendente que conduziam aos turbidímetros de escoamento contínuo, através de mangueiras de cristal ($\varnothing$ 5,0 mm), com vazões previamente ajustadas, entre 15 e 45 L/h, por pinças reguláveis. Os turbidímetros utilizados foram da marca HACH, modelo 1720C, e eram calibrados periodicamente, segundo a metodologia apresentada no manual do equipamento.

4.7 Controle e ajuste das taxas de filtração

A vazão afluente ao FAAG era controlada por um dispositivo de sifonamento, como descrito no item 4.2.3. O efluente do FAAG era coletado e conduzido por uma tubulação de PVC para o FRD, o qual funcionava com taxa constante e nível de água variável no seu interior. A vazão afluente ao FRD era controlada e ajustada por meio de rotâmetros e registro de agulha, adaptado à tubulação de desvio.

Periodicamente eram realizadas medidas de vazão, utilizando cronômetro e provetas graduadas, nas tubulações de desvio de água pré-filtrada, nas saídas dos turbidímetros e nas saídas de efluente filtrado. Essas medidas eram todas a fim de controlar as taxas empregadas, tendo em vista que no decorrer da carreira de filtração ocorria acúmulo de impurezas na parede interna da tubulação e, conseqüentemente, variações nas vazões.

4.8 Teste em FLA utilizando água coagulada na IPDF

Como citado anteriormente, a parcela de água coagulada extravasada pela tubulação junta ao SDF, permitia a realização dos testes e ajustes das condições de coagulação. Os teste eram realizados utilizando os FLAs, antes de iniciar cada carreira de filtração.

O FLA após os procedimentos de preparação, conforme item 4.2.2, era acoplado na extremidade de extravasor de água coagulada que continha uma pinça regulável fixada à mangueira de silicone (ϕ 5mm), com a função de ajustar a taxa requerida para o teste (60 a 100 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$). As coletas das amostras de água filtrada eram efetuadas após 15 min de filtração a cada 5 min. As condições de coagulação eram consideradas satisfatórias, se resultassem turbidez do efluente menor que 1 uT em até 30 min.

Verificada a condição desejada de coagulação, a água coagulada era encaminhada ao filtro ascendente de areia grossa – FAAG. Iniciada a operação, o controle da coagulação era realizado em intervalos de 6 horas, ou quando a qualidade do afluente ou efluente produzido apresentasse variações.

4.9 Simulação do pico de turbidez

A simulação de pico de turbidez de curta duração foi realizada no ensaio IX, considerando que a variação brusca da qualidade da água bruta apresenta uma dificuldade maior no tratamento, especialmente com relação ao controle da coagulação química, necessitando de procedimentos adequados para assegurar a qualidade da água tratada. Assim com esta simulação procurou-se:

- Determinar condições de coagulação (dosagens de coagulante e alcalinizante) em ensaios de laboratório para água apresentando turbidez de 350 uT;
- Avaliar o comportamento do SDF para a situação simulada de água com pico de turbidez de, aproximadamente, 350 uT, mediante a aplicação das condições de coagulação obtidas em ensaios de laboratório.

Para realização desse ensaio, tendo em vista as características da água bruta na época de execução do trabalho experimental, foi necessário introduzir suspensão de material argiloso à água bruta. Para programar o desenvolvimento do pico de turbidez foi realizado um levantamento para o Ribeirão do Feijão, sobre a ocorrência de picos de turbidez e sua duração, junto ao SAAE de São Carlos, o que resultou no seguinte esquema (figura 4.12).

Figura 4.12 – Programação do pico de turbidez.

4.9.1 Preparação da água de estudo

Com informações obtidas nos Departamentos de Geotecnia – SGS e Transportes – SST da EESC-USP, foi possível encontrar o local apropriado para coletar o material argiloso necessário (figura 4.13).

Figura 4.13 – Fonte do material argiloso: Km 153/ São Carlos –Ribeirão Bonito.

Através da análise granulométrica conjunta (NBR 6502), para material argiloso, obteve-se porcentagem em peso passada na peneira # 200 igual a 73,9%, sendo 55,1%, a

porcentagem de partículas menores que $2,5 \mu\text{m}$. A seguir, nas figuras 4.14 e 4.15, apresentam-se a curva de distribuição granulométrica do material utilizado e o laudo técnico da análise granulométrica conjunta.

Figura 4.14 – Curva de distribuição granulométrica do solo argiloso peneirado na # 200.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS ANÁLISE GRANULOMÉTRICA CONJUNTA - NBR 6502									
DADOS DO SOLO									
LOCAL:	Ribeirão Bonito km153				DATA:	11/04/2001		ρ_s (g/cm ³)	2,989
PONTO:	1				BLOCO n°:	-		AM n°:	
PROF.:	- m							OPER.:	Indira
CLASSIF.:									
UMIDADE (w)					MASSA INICIAL				
Cápsula	n°	P61	P25	185	Recip.	n°	-		
S + T + A	g	22,86	29,23	28,36	S + T + A	g	154,72		
S + T	g	22,16	28,24	27,37	T	g	102,00		
Tara (T)	g	10,62	12,15	11,33	S + A	g	52,72		
Água (A)	g	0,70	0,99	0,99	w	%	6,13		
Sólidos (S)	g	11,54	16,09	16,04	Sólidos	g	49,67		
w	%	6,07	6,15	6,17					
PENEIRAMENTO					DADOS DO ENSAIO				
PENEIRA	MASSA	RETIDO	RET. AC.	PASSADO	DENSÍMETRO n° :	2			
n°	(g)	(%)	(%)	(%)	TIPO :	ASTM-151H			
4	0,00	0,0	0,0	100,0	c (m) :	0,5			
10	0,00	0,0	0,0	100,0	PROVETA n° :	-			
16	0,00	0,0	0,0	100,0	DEFLOCULANTE :	HEXAMETAFOSFATO			
30	0,42	0,8	0,8	99,2	DE SÓDIO				
50	4,28	8,6	9,5	90,5	TIPO :	Solução			
100	5,52	11,1	20,6	79,4	VOLUME (cm ³) :	125			
200	2,76	5,6	26,1	73,9					
Prato	0,40	0,8	26,9	73,1					
SEDIMENTAÇÃO									
TEMPO (t)	r (H)	T	$\mu \cdot 10^{-4}$	z	rw (H)	Di	r (H) - rw (H)	P (<Di)	
(min)	--	(C°)	(Pa.s)	(cm)	--	(mm)	--	(%)	
0,5	26,0	22,9	9,41	9,27	-4,02	0,0518	22,0	66,5	
1	25,5	22,9	9,41	9,40	-4,02	0,0369	21,5	65,0	
2	25,1	22,9	9,41	9,51	-4,02	0,0262	21,1	63,8	
4	25,0	22,9	9,41	9,54	-4,02	0,0186	21,0	63,5	
8	24,4	22,9	9,41	9,70	-4,02	0,0132	20,4	61,6	
15	24,2	23,0	9,38	9,75	-4,01	0,0097	20,2	61,1	
30	23,4	23,1	9,36	9,96	-3,99	0,0069	19,4	58,7	
60	23,1	23,2	9,34	10,04	-3,97	0,0049	19,1	57,9	
120	22,2	23,6	9,26	10,28	-3,89	0,0035	18,3	55,4	
240	22,0	24,1	9,15	10,34	-3,79	0,0025	18,2	55,1	
480	21,2	24,5	9,07	10,55	-3,71	0,0018	17,5	52,9	

Figura 4.15 – Laudo técnico do solo argiloso.

Com o intuito de aumentar a porcentagem de material argiloso, manteve-se o solo submerso em água filtrada por aproximadamente 36 horas e em seguida realizou-se o peneiramento manual do solo (#200), resultando assim uma suspensão composta por, aproximadamente 75% de material argiloso (menor que 2,5 μm) e 25% de material siltoso. Em seguida a suspensão de argila foi colocada em tanques de 100 L, onde após a sedimentação das partículas sifonava-se o sobrenadante. Com a suspensão concentrada de argila foi realizada a análise de sólidos, obtendo-se o seguinte resultado (tabela 4.5):

Tabela 4.5 – Resultados da análise de sólidos da suspensão concentrada de argila								
ST (mg/L)	STF (mg/L)	STV (mg/L)	SST (mg/L)	SFS (mg/L)	SVS (mg/L)	SDT (mg/L)	SFD (mg/L)	SVD (mg/L)
223876	201522	22354	19840	177935	20465	25476	23587	1889
Obs.: -----								

Para obter a água de estudo foram preparadas, inicialmente, duas suspensões de argila com diferentes concentrações que misturadas à água bruta em proporções pré-definidas, resultavam nas condições desejadas (25, 65, 85, 160, 235, 350 uT), de acordo com a programação do pico de turbidez, apresentada na figura 4.12.

A primeira suspensão foi preparada diluindo-se a suspensão concentrada de argila em água bruta na proporção de 1:500, resultando em suspensão com turbidez da ordem de 530 a 556 uT, da qual obtinha-se a água de estudo com 25, 65, 85, 160 uT.

A segunda suspensão foi preparada diluindo-se a suspensão concentrada de argila em água bruta na proporção de 1:300, resultando em suspensão com turbidez da ordem de 900 a 1000 uT, a partir da qual obtinha-se a água de estudo com 235 e 350 uT.

4.9.2 Determinação das condições de coagulação

Após o preparo da água de estudo foram realizados ensaios de coagulação em reatores estáticos, tendo sido testados vários tipos de alcalinizantes (hidróxido de sódio, carbonato de sódio anidro em pó e carbonato de sódio decahidratado). Em seguida eram realizado os ensaios de filtração direta, utilizando FLAs, com diferentes granulometrias segundo critério apresentado na tabela 3, acoplados ao jarteste, além do uso de FLPs whatman 40 para efeito de comparação de resultados.

4.9.3 Aplicação da suspensão de argila

A aplicação da suspensão de argila foi realizada por meio de uma tubulação de 12,7 mm, interligada a um sistema composto por dois tanques de 200 L, providos de agitador e bomba centrífuga (modelo MOB-12X, potência de 025 HP e motor Weg), que descarregava livremente na tubulação de entrada da unidade de mistura rápida.

Foram realizados testes de pré-operação para determinar as vazões requeridas de cada tipo de suspensão. O sistema de aplicação de argila por ser observado na figura 4.16.

Figura 4.16 – Tanques para a aplicação da suspensão de argila.

4.10 Investigação experimental

4.10.1 Programação dos Ensaios

Na Fase I da investigação experimental, foi programada a realização de seis ensaios (ensaio I a VI), com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema com a combinação de taxas de filtração entre o FAAG e o FRD, buscando o limite de aplicação desta tecnologia para as condições em que foi realizada esta investigação.

Através dos resultados obtidos na Fase I, foram selecionadas combinações de taxas de filtração para a realização dos ensaios da Fase II (ensaios VII e VIII), cujo objetivo foi de avaliar a influência da execução de DFIs.

Na Fase III, considerando a ocorrência de picos de turbidez de curta duração que ocorre em mananciais superficiais destinados ao abastecimento público, devido à incidência de chuvas intensas, foi realizado o ensaio IX, procurando avaliar o comportamento do SDF diante dessa situação.

As taxas de filtração empregadas nos ensaios estão apresentadas na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Programação dos ensaios

Fase	Ensaio	Taxas no FAAG (m ³ /m ² .dia)	Taxas no FRD (m ³ /m ² .dia)	Operação do FAAG
I.	I	120	200	Sem DFI
	II	160	300	Sem DFI
	III	240	300	Sem DFI
	IV	240	400	Sem DFI
	V	360	300	Sem DFI
	VI	360	400	Sem DFI
II	VII	360	400	Com DFI
	VIII	240	300	Com DFI
III	IX	160	300	Com DFI e pico de turbidez de até 380 uT

4.10.2 Parâmetros de controle

Na Tabela 4.7, a seguir, estão indicadas as frequências médias com que foram coletadas as amostras para determinação dos parâmetros de interesse.

Tabela 4.7 - Parâmetros de Controle e frequência média de coleta

Parâmetros	Pontos de coleta	Frequência
Vazão (L/h)	Água bruta, extravasor e efl. do FAAG e FRD	1 h
Perda de carga (m)	3 tom. FAAG 4 tom. FRD	1 h
Turbidez (uT)	Água bruta e efl. do FAAG e FRD	Contínua
Temperatura (°C)	Água bruta	1 h
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	Água bruta	6 h
Potencial zeta	Água bruta e coagulada	2 / carreira
pH	Água bruta e coagulada	6 h
Cor aparente e verdadeira (uH)	Água bruta e efl. do FAAG e FRD	2 / carreira
COD (mgC/L)	Água bruta e efl. do FAAG e FRD	2 / carreira
Absorvância a 254 nm	Água bruta e efl. do FAAG e FRD	2 / carreira
Partículas Tamanho e distribuição/mL	Água bruta e efl. do FAAG e FRD	Antes e após DF e lavagens
Sólidos em suspensão	Efluente do FAAG e FRD	Após DF
Coliformes (NMP/100mL)	Água bruta e eflu. Do FAAG e FRD	2 / carreira

4.10.3 Critérios de encerramento da carreira de filtração

A carreira de filtração era encerrada pelo critério de perda de carga limite no meio granular, estabelecida em 2,2 m para o FAAG (camada suporte e areia grossa) e 2,1 m para o FRD, ou pela produção de água filtrada com turbidez superior a 1 uT.

O encerramento de cada ensaio foi condicionado à conclusão de pelo menos uma carreira do FAAG e duas do FRD, o que permitia uma avaliação mais adequada, devido aos seguintes aspectos:

- A análise comparativa de desempenho, onde são observadas variações do comportamento do sistema no decorrer da carreira;
- A sucessão de carreiras do FRD com efluente pré-filtrado apresentando condições diferenciadas de qualidade, permite uma avaliação mais condizente com o que ocorre nas carreiras de instalações em escala real;
- Possibilita o cálculo de índices de produção efetiva de água, considerando a duração da carreira, sendo os resultados produzidos mais consistentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os dados obtidos durante a realização da investigação experimental, com o intuito de avaliar o desempenho do sistema de dupla filtração em relação à qualidade da água produzida, à produção efetiva de água tratada e à capacidade de absorver picos de turbidez de curta duração. Serão analisados também, os aspectos referentes às taxas de filtração empregadas, à coagulação química, às execuções das descargas de fundo intermediárias.

Nos anexos A a I, estão expostos, na forma de tabelas, os valores de vazão, taxas de filtração, turbidez, cor verdadeira, cor aparente, NMP de coliformes totais e *E. coli*, absorvância a 254 nm, concentração de carbono orgânico dissolvido, concentração de partículas, níveis piezométricos, perdas de cargas e temperatura da água, obtidos nos ensaios de filtração.

5.1 Taxas de filtração

Durante os ensaios ocorriam variações nas taxas de filtração devido à constante sedimentação de partículas, tanto na parede da mangueira de silicone, utilizada para veicular água coagulada à tubulação de alimentação do FAAG, quanto nos desvios que havia na tubulação que ligava o FAAG ao FRD. Mas mesmo tomando certas medidas, como limpezas periódicas, este fato dificultou o controle das vazões afluentes aos filtros. Na tabela 5.1, é apresentado um resumo das taxas de filtração previstas e observadas.

Tabela 5.1 – Taxas médias de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

ensaios	FAAG		FRD	
	Previstas	Observadas	Previstas	Observadas
I	120	115 a 128	200	173 a 249
II	160	150 a 171	300	278 a 325
III	240	223 a 250	300	253 a 314
IV	240	233 a 246	400	408 a 422
V	360	356 a 370	300	311 a 325
VI	360	352 a 367	400	397 a 433
VII	360	354 a 367	400	397 a 426
VIII	240	233 a 244	300	298 a 321
IX	160	154 a 166	300	272 a 304
Obs.:-----				

5.2 Coagulação da água bruta

Antes de cada ensaio de filtração eram realizados ensaios em jarreste com filtros de bancada (FLAs) acoplados para definir a dosagem inicial de coagulante. Na tabela 5.2 estão resumidos os valores de turbidez, pH e potencial zeta obtidos durante os ensaios de filtração com as dosagens que foram empregadas.

Os valores de pH da água coagulada e dosagem de coagulante sugerem que a coagulação tenha ocorrido, de forma dominante, no mecanismo de neutralização parcial de carga, levando em consideração o diagrama integrado de estabilidade e coagulação do sulfato de alumínio desenvolvido por AMIRTHARAJAH & MILLS (1982).

No entanto, na maioria dos ensaios, os resultados mostram que não ocorreu a anulação do potencial zeta, ou seja, que a dosagem do coagulante não provocou a desestabilização completa dos colóides.

Apesar deste fato ocorrido, o efluente final apresentou, de forma consistente, qualidade compatível com as exigências das Normas Brasileiras (MINISTÉRIO DA SAÚDE, PORTARIA Nº 1469 de 29/12/2000) relativas ao padrão de aceitação de água potável, referente à turbidez e cor aparente.

A água bruta, para os ensaios de I a VIII, apresentou valores de turbidez de 8,5 a 21,0 uT, cor aparente de 61 a 215 uH, cor verdadeira de 19 a 50 uH, alcalinidade de 6,7 a 10 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$, potencial zeta de -22, 9 a -10,1 mV e valores de pH entre 6,5 a 7,5. As variações de turbidez durante os ensaios foram decorrentes do sistema de bombeamento no poço de água bruta da ETA2, durante o acionamento. Para estes ensaios a solução de sulfato de alumínio foi preparada com concentração na faixa de 766,4 mgAl/L , não tendo sido necessária a aplicação de alcalinizante. As dosagens de alumínio (DAI) foram de 0,381 a 0,533 mgAl/L e os valores de pH de coagulante permaneceram entre 6,2 e 7,1.

Tabela 5.2- Resumo das condições de coagulação química / Valores de turbidez, pH, temperatura, potencial zeta e alcalinidade da água bruta / dosagem de alumínio, pH e potencial zeta da água coagulada

Ensaio	água bruta					água coagulada			
	turbidez (uT)	pH	Temp (°C)	PZ (mV)	alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	DAI (mgAl/L)	DSA (mg/l)	pH	PZ (mV)
I	8,6 a 13,6	6,8 a 7,4	17,5 a 19	-10,1 a -21	7,4 a 7,8	0,381	4,2	6,6 a 7,1	-8,2 a -15,5
II	11,4 a 20,9	6,6 a 7,1	17,5 a 19,0	-16,9 a -22,6	8,2 a 8,6	0,533	5,9	6,4 a 6,9	-2,4 a -8,2
III	12,0 a 18,9	6,5 a 7,1	19,1 a 21,0	-19,1 a -21,9	9,2 a 9,9	0,533	5,9	6,4 a 6,8	-2,8 a -3,2
IV	12,0 a 13,4	6,9 a 7,1	16,8 a 17,5	-21,4 a -22,1	-	0,533	5,9	6,2 a 6,8	-0,16 a -0,9
V	11,8 a 19,7	6,8 a 7,1	17,5 a 19,5	-	-	0,533	5,9	6,6 a 6,8	-
VI	14,3 a 17,1	6,1 a 7,5	17,0 a 18,0	-	-	0,533	5,9	6,4 a 6,9	-
VII (c/ 3 DFI)	9,2 a 12,2	6,9 a 7,2	17,2 a 19,0	-7,6 a -12,2	-	0,381	4,2	6,7 a 6,8	-9,3
VIII (c/ 4 DFI)	9,5 a 17,3	6,9 a 7,1	18,5 a 20,0	-6,3 a -14,9	8,6	0,381	4,2	6,8 a 6,9	-2,8 a -12,0
IX (c/ 1 DFI)	14,0 a 372,0	-	21,5 a 23,5	-	8,4 a 10,5	0,686 a 2,288	7,62 a 25,4	6,8 a 7,3	-4,0 a -17,0

Obs.: (-): parâmetro não medidos; PZ: potencial zeta; DAI: dosagem de alumínio; DSA: dosagem de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃.14,3H₂O).

5.3 Determinação das condições de coagulação para o ensaio IX

Para a determinação das condições de coagulação empregadas no ensaio IX, foram preparadas inicialmente as águas de estudo segundo a programação do pico de turbidez, apresentada no capítulo 4. Em seguida foram realizados, para cada água de estudo, os ensaios para determinação das dosagens de alcalinizante, em função do ajuste do pH (valores em torno de 6,5).

Foram testados 3 tipos de alcalinizantes: hidróxido de sódio, carbonato de sódio anidro em pó e carbonato de sódio decahidratado. O escolhido foi o carbonato de sódio em função de sua eficiência no ajuste do pH, cujas especificações estão apresentadas na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Especificações do carbonato de sódio em pó	
Massa específica aparente (g/cm ³)	450 a 550
Teor mínimo (%)	98
Umidade máxima (% peso)	1
Insolúveis máximo (%)	0,05

A determinação das dosagens combinadas de coagulante foi realizada em jarteste ($T_{mr} = 60 \text{ s}$ e $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$) seguido do ensaio de filtração direta (em FLA e FLP). A dosagem de coagulante foi escolhida em função da qualidade do filtrado (turbidez $\leq 0,5 \text{ uT}$).

Após a escolha da dosagem de coagulante foi realizado um novo ensaio variando-se apenas as dosagens de alcalinizante, possibilitando assim, a escolha da sua dosagem e, conseqüentemente, das condições apropriadas para a água de estudo.

A solução de sulfato de alumínio foi preparada com concentração igual a $438,2 \text{ mgAl/L}$ e a de carbonato de sódio, com concentração igual a 5.000 mg/L do produto comercial (carbonato de sódio anidro em pó).

Na tabela 5.4, são apresentados os parâmetros utilizados nos ensaios realizados.

Tabela 5.4 - Parâmetros de mistura rápida, de filtração direta e de Controle empregados nos ensaios para determinação das condições de coagulação no ensaio IX	
Parâmetros de mistura rápida, de filtração direta	
$T_{mr}(\text{s})$	60
$G_{mr}(\text{s}^{-1})$	1000
DSA (mg/L)	2,54 a 33,9
DAI (mgAl/L)	0,229 a 3,05
DCSpc (mg/L)	0 a 17
Tempo de coletas em FLP (min)	3 a 6
Tempo de coletas em FLA (min)	15, 20, 25 e 30
Parâmetros de Controle	
pH da água de estudo	
Turbidez da água de estudo	
Alcalinidade da água de estudo	
pH de coagulação	
Turbidez dos efluentes filtrados em 2 coletas nos FLP e 3 nos FLA	

Os resultados obtidos nos ensaios efetuados para a determinação das condições de coagulação para as águas preparadas para o estudo e água bruta, com valores de turbidez variando de $15,3$ a 318 uT , resultaram em valores de DSA entre $7,62$ a $25,4 \text{ mg/L}$ de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (DAI = $0,686$ a $2,288 \text{ mgAl/L}$) e de alcalinizante – DCSpc entre 0 a 12 mg/L do produto comercial.

A partir dos resultados utilizando a filtração em FLP e FLA, constatou-se que os valores obtidos empregando o FLA eram mais coerentes, mostrando ser mais sensíveis às variações das condições de coagulação bem como das características da água de estudo.

Na tabela 5.5 é apresentado o resumo dos resultados obtido sem laboratório para determinação das condições de coagulação no ensaio IX.

Tabela 5.5 - Resumo dos dados e resultados obtidos em laboratório para determinação das condições de coagulação no ensaio IX.

Ensaio	Turb. Água estudo (uT)	FLA	DAI (mg/L)	DCSpc (mg/L)	Resultados selecionados				
					DAI (mg/L)	DCSpc (mg/L)	pH	Turb. FLP 2ª col.	Turb. FLA 20 min
1*	15,3	1	0,381 a 0,991	0	0,686	0	6,38	0,18	0,32
2	25	1	0,229 a 0,991	0	0,839	0	5,64	0,16	0,29
3	63,5	2	1,144 a 1,906	0 a 9	1,525	6	6,34	0,39	0,25
4	85,5	2/3	1,525 a 2,669	7 a 15	1,525	8	6,59	0,24	0,22
5	160	3	1,532 a 2,288	6 a 12	1,525	8	6,57	0,3	0,37
6	236	3	1,532 a 2,669	8 a 15	1,906	10	6,56	0,21	0,3
7	351	3	1,991 a 3,050	10 a 17	2,288	12	6,37	0,37	0,26

Obs.: (*) – ensaio realizado para a água bruta coletada na ocasião da realização dos ensaios; DAI (mg/L) – dosagem de alumínio; DCSpc: dosagem de carbonato de sódio anidro (produto comercial)

Devido as dificuldades no controle da vazão de suspensão de argila, realizada por meio de ajustes nos registros da tubulação de retorno do tanque, resultaram na aplicação da suspensão de argila por descarga livre, na entrada da CMR, o que impossibilitou a coleta de amostras da água de estudo. Assim, o controle dos valores de turbidez durante o ensaio foi feito com coleta de amostras de água coagulada.

Neste ensaio a solução de alcalinizante foi preparada com concentração de 10000 mg/L do produto comercial (carbonato de sódio anidro em pó) e a de coagulante de 1593,3 mgAl/L.

Foram realizadas medidas da concentração de alumínio residual nos efluentes finais, por terem sido empregadas elevadas dosagens de sulfato de alumínio, tendo resultado valores entre 0,01 e 0,03 mgAl/L no efluente final (atendendo ao padrão de potabilidade – Portaria 1469, cujo limite é de 0,2 mgAl/L).

O FAAG mostrou ser capaz de absorver a ocorrência do pico de turbidez de 380 uT, mesmo encontrando-se no estágio de maturação após a execução da DFI, tendo produzido efluente com valores de turbidez entre 0,11 a 2,87 uT, o que possibilitou a obtenção de efluente do FRD com valores sempre menores que 1 uT, e na maior parte do tempo menores que 0,1 uT.

5.4 Efluentes produzidos e duração das carreiras de filtração

A seguir são apresentados, nas tabelas 5.6 a 5.14, os resumos dos resultados obtidos referentes aos exames e análises realizados nos ensaios de I a IX, e nas figuras 5.1 a 5.9, os gráficos representando a variação da turbidez da água bruta e dos efluentes produzidos e a perda de carga em função do tempo de operação.

Tabela 5.6 - Resumo do ensaio I

Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)	FAAG: 120; FRD: 200		
Duração da carreira	FAAG: 132,8 h		
Condições de coagulação	DSA: 4,2mg/L; pH AC: 6,6 a 7,09; temp.: 17,5 a 19 °C		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,8 a 7,4	6,6 a 6,9	6,6 a 6,9
Potencial zeta (mV)	-10,1 a -21	-2,0 a -2,2	-2,1 a -2,2
Turbidez (uT) *	8,56 a 13,62	1,154 a 2,347	<1
Cor aparente (uH) *	91 a 61	<1 a 1	<1 a 1
Cor verdadeira (uH) *	22 a 33	<1 a 1	<1 a 1
COD (mgC/L) *	1,059 a 3,015	0,886 a 3,015	1,508 a 2,338
Absorvância 254 nm	0,041 a 0,054	0,004 a 0,046	0,009 a 0,019
Colif. Totais (NMP/100mL) *	4352 a 669	3,1 a 7,4	2 a 7,4
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	63 a 171	<1 a 2	<1 a 1

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*) picos após DFIs e lavagens dos filtros.

Figura 5.1 – Resultados do Ensaio I (Taxas de filtração: FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira= 132,8 h - FAAG; Dosagem de coagulante = 0,381 mgAl/L; sem DFI).

Tabela 5.7 - Resumo do ensaio II

Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)	FAAG: 160; FRD: 300		
Duração da carreira	FAAG: 54 h		
Condições de coagulação	DSA: 5,9 mg/L; pH AC : 6,4 a 6,9; PZ AC : -8,2 a -2,4 mV; temp.: 17,5 a 19°C		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,6 a 7,1	-	-
Potencial zeta (mV)	-16,9 a -22,6	-	-
Turbidez (uT) *	11,37 a 20,9	0,057 a 1,31	0,032 a 0,194
Cor aparente (uH) *	115 a 177	-	-
Cor verdadeira (uH) *	65 a 42	-	-
COD (mgC/L) *	1,594 a 1,359	0,588 a 0,66	0,573 a 0,633
Absorvância 254 nm	0,054 a 0,056	0,007 a 0,009	0,005 a 0,006
Núm. Total de partículas/mL*	8295,9 a 17495,1	77,2 a 401,7	102,3 a 170,7
Num. partícs. 2 a 4 µm	3747,3 a 5625,7	14,5 a 325,3	41,7 a 70,2
Num. partícs. 6 a 12 µm	1682,5 a 5165,1	9,4 a 30,3	21,1 a 41,1
Num. partícs. 12 a 24 µm	644,9 a 3326,7	9,5 a 22,8	10,5 a 17,6

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*)lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos.

Figura 5.2 – Resultados do Ensaio II (Taxas de filtração: FAAG = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira= 54,0 h -FAAG; Dosagem de coagulante = $0,533 \text{ mgAl/L}$; sem DFI).

Tabela 5.8 - Resumo do ensaio III

Taxas de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	FAAG: 240; FRD: 300		
Duração da carreira	FAAG: 40,08 h; FRD: 45 h		
Condições de coagulação	DAS: 5,9 mg/L; pH AC: 6,4 a 6,8; temp.: 19,1 a 21°C		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,9 a 7,2	-	-
Potencial zeta (mV)	-15, a -21,9	-	-
Turbidez (uT) *	12,0 a 18,9	0,07 a 3,58	0,03 a 0,06
Cor aparente (uH) *	113,0 a 98,0	11,0 a 19	1 a 4
Cor verdadeira (uH) *	50 a 35	1	<1
COD (mgC/L) *	1,099 a 2,698	0,158 a 0,714	0,36 a 0,99
Absorvância 254 nm	0,01 a 0,013	0,011 a 0,014	0,009 a 0,015
Núm. Total de partículas/mL*	10166,3 a 16631,6	20 a 3112,9	31,5 a 784,8
Num. partícs. 2 a 4 μm	3900,5 a 6062,4	5,7 a 1244,3	10,7 a 1959,3
Num. partícs. 6 a 12 μm	2055,8 a 4956,5	1,4 a 822,1	4,4 a 3563,0
Num. partícs. 12 a 24 μm	696,2 a 3266,9	3,2 a 280,5	4,3 a 2322,9

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*)lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos.

Figura 5.3 – Resultados do Ensaio III (Taxas de filtração: FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira: 45,0h -FAAG; Dosagem de coagulante = $0,533 \text{ mgAl/L}$; sem DFI).

Tabela 5.9 - Resumo do ensaio IV

Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)	FAAG: 240; FRD: 400		
Duração da carreira	FRD: 4,42 h; FRD: 10,50 h		
Condições de coagulação	DSA = 5,9 mg/L; pH da AC = 6,2 a 6,8; PZ da AC = - 0,156 a - 0,9 mV; temp.=16,8 a 17,5°C;		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,85 a 7,1	-	-
Potencial zeta (mV)	-22,1 a -21,4	-2,1	-2,2
Turbidez (uT) *	11,99 a 13,42	1,113 a 3,721	0,131 a 0,44
Cor aparente (uC) *	119 a 114	6 a 13	0 a 1
Cor verdadeira (uC) *	42 a 51	0 a 1	<1
COD (mgC/L) *	0,728 a 1,044	1,734 a 1,759	2,0 a 2,023
Absorvância 254 nm	0,044 a 0,046	0,009 a 0,014	0,008 a 0,012

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*)lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos.

Figura 5.4 – Resultados do Ensaio IV (Taxas de filtração: FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $400 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira: 4,42h -FRD ; 10,50 h - FRD; Dosagem de coagulante = $0,533 \text{ mgAl/L}$; sem DFI).

Tabela 5.10 - Resumo do ensaio V

Taxas de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	FAAG: 360; FRD: 300		
Duração da carreira	FAAG: 23,2 h		
Condições de coagulação	DSA 5,9 mg/L; pH da AC = 6,6 a 6,8; temp. = 17,5 a 19,5°C;		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,8 a 7,1	-	-
Turbidez (uT) *	11,77 a 19,7	0,153 a 4,029	0,029 a 0,07

DSA (mg/L):): dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*) picos após DFIs e lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos.

Figura 5.5 – Resultados do Ensaio V (Taxas de filtração: FAAG = $360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira: 23,2 h -FAAG; Dosagem de coagulante = $0,533 \text{ mgAl/L}$; sem DFI).

Tabela 5.11 - Resumo do ensaio VI

Taxas de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	FAAG: 360; FRD: 400		
Duração da carreira	FRD: 13,33 h; FAAG: 21,83 h		
Condições de coagulação	DSA = 5,9 mg/L; pH da AC = 6,4 a 6,9; temp. = 17 a 18°C;		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,1 a 7,5	-	-
Turbidez (uT) *	14,3 a 17,1	0,12 a 6,76	0,06 a 0,1

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*) picos após DFIs e lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos

Figura 5.6 – Resultados do Ensaio VI (Taxas de filtração: FAAG = $360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $400 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira = 13,33 h – FRD; 21,8 h – FAAG; Dosagem de coagulante = $0,533 \text{ mgAl/L}$; sem DFI).

Tabela 5.12 - Resumo do ensaio VII

Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)	FAAG:360; FRD: 400		
Duração da carreira	FAAG: 34 h		
Condições de coagulação	DSA = 4,2 mg/L; pH da AC = 6,65 a 6,83; temp. =17,2 a 19°C		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,87 a 7,17	6,56 a 6,72	6,52 a 6,67
Potencial zeta (mV)	-12,2 a -7,6	-2,0	-2,0
Turbidez (uT) *	9,179 a 12,20	0,015 a 0,863	0,037 a 0,491
Cor aparente (uH) *	87	2	1
Cor verdadeira (uH) *	31	1	<1
COD (mgC/L) *	2,215	2,058	2,165
Absorvância 254 nm	0,048	0,012	0,012
Colif. Totais (NMP/100mL) *	1203,3	12,2	6,3
Colif. fecais (NMP/100mL) *	126,7	2	<1
Núm. Total de partículas/mL*	7795,9	104,7	60,1
Num. partícs. 2 a 4 µm	4244,6	32,6	25,8
Num. partícs. 6 a 12 µm	1210,2	20,5	11,3
Num. partícs. 12 a 24 µm	160,9	12,4	5,1

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*) picos após DFIs e lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos.

Figura 5.7 – Resultados do Ensaio VII (Taxas de filtração: FAAG = $360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $400 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira = 34 h - FAAG; Dosagem de coagulante = $0,381 \text{ mgAl/L}$; com 3 DFIs).

Tabela 5.13 - Resumo do ensaio VIII

Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)	FAAG: 240; FRD: 300		
Duração da carreira	FAAG: 56,4 h		
Condições de coagulação	DSA = 4,2 mg/L; pH da AC = 6,8 a 6,9; PZ da AC = -6,3 a -15,6 mV; temp.=18,5 a 20°C; alcalin.AB = 8,61mgCaCO ₃ /L		
Parâmetros	Água bruta	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,87 a 7,12	6,5 a 7,82	6,67 a 6,87
Potencial zeta (mV)	-14,9 a -6,3	-1,7 a -2,1	-2,0 a -2,1
Turbidez (uT) *	9,528 a 17,33	0,044 a 1,33	0,040 a 0,46
Cor aparente (uH) *	111 a 74	1 a 9	<1 a 8
Cor verdadeira (uH) *	25 a 38	1	<1
COD (mgC/L) *	3,599 a 1,134	0,704 a 2,860	0,791 a 2,820
Absorvância 254 nm	0,046 a 0,067	0,009 a 0,021	0,01 a 0,015
Colif. Totais (NMP/100mL) *	686,7 a 2613	<1 a 18,9	<1 a 5,2
Colif. fecais (NMP/100mL) *	201 a 98	<1 a 6,3	<1 a 5,2
Núm. Total de partículas/mL*	1972,3 a 17698,9	53 a 350,3	51,5 a 344,7
Num. partícs. 2 a 4 µm	997,5 a 3911,5	17,8 a 154	19,3 a 167,9
Num. partícs. 6 a 12 µm	421,7 a 3448,8	8,4 a 78,3	9,9 a 46,9
Num. partícs. 12 a 24 µm	111,9 a 6484,7	5,5 a 36	6,3 a 38,6
DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio (Al ₂ (SO ₄) ₃ .14,3 H ₂ O); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*) picos após DFIs e lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos.

Figura 5.8 – Resultados do Ensaio VIII (Taxas de filtração: FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no FRD = $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira: 54,6 h; Dosagem de coagulante = $0,381 \text{ mg/L}$; com 4 DFIs).

Tabela 5.14 - Resumo do ensaio IX

Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)	FAAG: 160; FRD: 300		
Duração da carreira	FAAG: 19h; DSA = 7,62 a 25,4 mg/L; pH da AB = 6,8 a 7,3; temp = 21,5 a 23,5°C; alcalin.AB= 8,4 a 10,5 mgCaCO ₃ /L; DCSpc= 0 a 12 mg/L		
Condições de coagulação			
Parâmetros	Água coagulada	Efl. FAAG	Efl. FRD
pH	6,5 a 6,8	6,43 a 6,56	6,5 a 6,8
Potencial zeta (mV)	-17 a -4	-2,2	-1,8
Turbidez (uT) *	15,4 a 384	0,11 a 2,87	0,07 a 0,084
Cor aparente (uH) *	-	<1 a 9	<1 a 4
Cor verdadeira (uH) *	-	<1 a 2	<1
COD (mgC/L) *	-	1,672 a 3,524	1,463 a 3,799
Absorvância 254 nm	-	0,012 a 0,02	0,011 a 0,018
Alumínio residual (mgAl/L) *	-	-	<0,01 a 0,03
Núm. Total de partículas/mL*	17.698,9 a 21.180,8	44 a 346,7	30,2 a 196
Num. partícs. 2 a 4 µm	249,6 a 1.009,9	13,5 a 149,2	10,5 a 129,7
Num. partícs. 6 a 12 µm	1.237,6 a 3.448,8	7,5 a 78,3	8,1 a 46,5
Num. partícs. 12 a 24 µm	6.484,7 a 8.428,6	5,8 a 29,1	4 a 23,5

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O); DCSpc (mg/L): dosagem de carbonato de sódio (produto comercial); AC: água coagulada; PZ (mV): potencial zeta; (*) valores considerando os picos após DFIs e lavagens dos filtros; (-): parâmetros não medidos.

Figura 5.9 – Resultados do Ensaio IX (Taxas de filtração: FAAG = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; Duração da carreira: 19 h; Dosagem de coagulante = 0,686 a 2,288 mgAl/L; Simulação de pico de turbidez de 372 uT; e com 1DFI).

5.5 Remoção de turbidez

Como pode ser observado na tabela 5.15, o sistema se mostrou eficiente na remoção da turbidez, mesmo considerando os picos de turbidez do início da carreira e após as DFIs. O FAAG e o FRD apresentaram efluentes com turbidez sempre abaixo de 5,0 uT e abaixo de 1,0 uT, respectivamente, com exceção do ensaio VI, que atingiu valores de até 6,76 uT no efluente do FAAG, já no final da carreira de filtração.

Tabela 5.15 - Resumo dos valores de turbidez, faixa de variação na taxas de filtração

Ensaio	Turbidez da água bruta (uT)	FAAG		FRD	
		Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Turbidez do efluente (*) (uT)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Turbidez do efluente (*) (uT)
I	8,60 a 13,6	115 a 128	0,03 a 2,4	173 a 249	0,04 a 0,5
II	11,4 a 20,9	150 a 171	0,06 a 1,3	278 a 325	0,03 a 0,20
III	12,0 a 18,9	223 a 250	0,07 a 3,6	253 a 314	0,03 a 0,06
IV	12,0 a 13,4	233 a 246	1,1 a 3,7	408 a 422	0,13 a 0,44
V	11,8 a 19,7	356 a 370	0,15 a 4,0	311 a 325	0,03 a 0,07
VI	14,3 a 17,1	352 a 367	0,12 a 6,76	308 a 433	0,06 a 0,10
VII (c/ 3 DFIs)	9,20 a 12,2	354 a 367	0,03 a 0,86	397 a 426	0,04 a 0,49
VIII (c/ 4 DFIs)	9,50 a 17,3	233 a 244	0,04 a 1,33	298 a 321	0,04 a 0,50
IX (c/ 1 DFI)	14,0 a 372,0	154 a 166	0,11 a 2,87	272 a 304	0,07 a 0,84

Obs.: (*) - valores de turbidez considerando os picos de turbidez no início da carreira e após as DFIs

5.6 Remoção de cor aparente e cor verdadeira

Nas tabelas 5.16 e 5.17 são apresentados os valores de cor aparente e cor verdadeira, relacionados à característica da água bruta e as taxas de filtração empregadas, considerando a faixa de variação.

Tabela 5.16 - Resumo dos valores de cor aparente e taxas de filtração

Ensaio	água bruta	FAAG		FRD	
	Cor aparente(uH)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Cor aparente no efluente (uH)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Cor aparente no efluente (uH)
I	61 a 93	115 a 128	≤ 1	173 a 249	≤ 1
II	115 a 177	150 a 171	-	278 a 325	-
III	98 a 113	223 a 250	11 a 19	253 a 314	1 a 4
IV	114 a 119	233 a 246	6 a 13	408 a 422	≤ 1
V	-	356 a 370	-	311 a 325	-
VI	-	352 a 367	-	397 a 433	-
VII (c/ 3 DFIs)	87	354 a 367	2	397 a 426	1
VIII (c/ 4 DFIs)	74 a 111	233 a 244	1 a 9	298 a 321	≤ 8
IX (c/ 1 DFI)	-	154 a 166	≤ 2	272 a 304	≤ 1

Obs.: (-) parâmetro não medido.

Pode-se verificar na tabela 5.16, que com relação à cor aparente, o sistema foi capaz de produzir efluente final em conformidade com o padrão de aceitação para o consumo humano (de acordo com a Portaria 1469 de 12/2001, cujo valor máximo permitido – VPM é igual a 15 uH). Nota-se também, que nos ensaios III e VIII, onde as taxas médias de filtração aplicadas foram iguais (240 m³/m².dia para o FAAG e 300 m³/m².dia para o FRD) e os valores de cor aparente da água bruta foram semelhantes, a cor aparente do pré-filtrado do ensaio VIII, no qual foi aplicada 4 DFIs, se apresentou inferior.

Tabela 5.17 - Resumo dos valores de cor verdadeira e taxas de filtração

Ensaio	Água bruta	FAAG		FRD	
	Cor verdadeira (uH)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Cor verdadeira no efluente (uH)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Cor verdadeira no efluente (uH)
I	22 a 33	115 a 128	≤ 1	173 a 249	≤ 1
II	42 a 65	150 a 171	-	278 a 325	-
III	35 a 50	223 a 250	1	253 a 314	≤ 1
IV	42 a 51	233 a 246	≤ 1	408 a 422	< 1
V	-	356 a 370	-	311 a 325	-
VI	-	352 a 367	-	308 a 433	-
VII (c/ 3 DFIs)	31	354 a 367	1	397 a 426	< 1
VIII (c/ 4 DFIs)	25 a 38	233 a 244	1	298 a 321	< 1
IX (c/ 1 DFI)	-	154 a 166	≤ 2	272 a 304	< 1

Obs.: (-) parâmetro não medido.

5.7 Remoção de Carbono Orgânico Dissolvido e Absorvância a 254 nm

A seguir nas tabelas 5.18 e 5.19, são apresentados os resultados obtidos com relação ao Carbono Orgânico Dissolvido - COD e à Absorvância –ABS.

Tabela 5.18 - Resumo dos valores de COD e taxas de filtração

Ensaio	água bruta	FAAG		FRD	
	COD (mgC/L)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	COD no efluente (mgC/L)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	COD no efluente (mgC/L)
I	1,059 a 3,015	115 a 128	0,886 a 3,015	173 a 249	1,508 a 2,338
II	1,594 a 1,359	150 a 171	0,588 a 0,660	278 a 325	0,573 a 0,633
III	1,099 a 2,698	223 a 250	0,158 a 0,714	253 a 314	0,360 a 0,990
IV	0,728 a 1,044	233 a 246	1,734 a 1,759	408 a 422	2,0 a 2,023
V	-	356 a 370	-	311 a 325	-
VI	-	352 a 367	-	308 a 433	-
VII (c/ 3 DFIs)	2,215	354 a 367	2,058	397 a 426	2,165
VIII (c/ 4 DFIs)	3,599 a 1,134	233 a 244	0,704 a 2,860	298 a 321	0,791 a 2,820
IX (c/ 1 DFI)	-	154 a 166	1,672 a 3,524	272 a 304	1,463 a 3,799

Obs.: (-) parâmetro não medido.

Os valores de remoção de COD apresentaram-se inconsistentes, em relação ao tempo de operação, com valores superiores após o período de maturação do FAAG e à própria eficiência do sistema, apresentando valores para o efluente do FAAG menores que os obtidos no efluente do FRD.

Tabela 5.19 - Resumo dos valores de ABS 254 nm e taxas de filtração

Ensaio	água bruta	FAAG		FRD	
	ABS 254 nm	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	ABS 254 nm no efluente	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	ABS 254 nm no efluente
I	0,41 a 0,054	115 a 128	0,004 a 0,046	173 a 249	0,09 a 0,019
II	0,054 a 0,056	150 a 171	0,007 a 0,009	278 a 325	0,005 a 0,006
III	0,01 a 0,013	223 a 250	0,011 a 0,014	253 a 314	0,009 a 0,015
IV	0,044 a 0,046	233 a 246	0,009 a 0,014	408 a 422	0,008 a 0,012
V	-	356 a 370	-	311 a 325	-
VI	-	352 a 367	-	308 a 433	-
VII (c/ 3 DFIs)	0,048	354 a 367	0,012	397 a 426	0,013
VIII (c/ 4 DFIs)	0,046 a 0,067	233 a 244	0,009 a 0,021	298 a 321	0,01 a 0,015
IX (c/ 1 DFI)	-	154 a 166	0,012 a 0,02	272 a 304	0,011 a 0,018

Obs.: (-) parâmetro não medido.

Para os valores de ABS-254 nm, nota-se uma sensível redução do efluente do FAAG para o efluente do FRD e até mesmo na faixa de variação desses valores.

5.8 Remoção de Coliformes Totais e *E. coli*

Nas tabelas 5.20 e 5.21, são apresentados os resultados obtidos com relação à remoção de coliformes totais e *E. coli*, considerando as taxas de filtração utilizadas.

Tabela 5.20 - Resumo dos valores de Coliformes Totais e Taxas de filtração

Ensaio	água bruta	FAAG		FRD	
	Colif. Totais (NMP/100ML)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Colif. Totais (NMP/100ML) no efluente	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Colif. Totais (NMP/100ML) no efluente
I	4352 a 669	115 a 128	3,1 a 7,4	173 a 249	2 a 7,4
II	-	150 a 171	-	278 a 325	-
III	-	223 a 250	-	253 a 314	-
IV	-	233 a 246	-	408 a 422	-
V	-	356 a 370	-	311 a 325	-
VI	-	352 a 367	-	308 a 433	-
VII (c/ 3 DFIs)	1203,3	354 a 367	12,2	397 a 426	6,3
VIII (c/ 4 DFIs)	686,7 a 2613	233 a 244	<1 a 18,9	298 a 321	<1 a 5,2
IX (c/ 1 DFI)	-	154 a 166	-	272 a 304	-

Obs.: (-) parâmetro não medido.

De maneira geral o sistema se mostrou eficiente na remoção de coliforme totais, apresentando valores sempre superior a 98%, independente das taxas de filtração empregadas e das DFIs. Da mesma forma, o mesmo se apresentou para a remoção de *E. coli*, com exceção do ensaio VIII, no qual foram realizadas 4 DFIs, em que durante a carreira de filtração a bomba dosadora de coagulante apresentou alguns problemas.

Tabela 5.21 - Resumo dos valores de *E. coli* e Taxas de filtração

Ensaio	água bruta	FAAG		FRD	
	<i>E. coli</i> (NMP/100ML)	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	<i>E. coli</i> (NMP/100ML) no efluente	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	<i>E. coli</i> (NMP/100ML) no efluente
I	63 a 171	115 a 128	<1 a 2	173 a 249	<1 a 1
II	-	150 a 171	-	278 a 325	-
III	-	223 a 250	-	253 a 314	-
IV	-	233 a 246	-	408 a 422	-
V	-	356 a 370	-	311 a 325	-
VI	-	352 a 367	-	308 a 433	-
VII (c/ 3 DFIs)	126,7	354 a 367	2	397 a 426	<1
VIII (c/ 4 DFIs)	201 a 98	233 a 244	<1 a 6,3	298 a 321	<1 a 5,2
IX (c/ 1 DFI)	-	154 a 166	-	272 a 304	-

Obs.: (-) parâmetro não medido.

5.9 Remoção de Partículas

Para os ensaios realizados sem a execução de DFIs a remoção de partículas tanto para o FAAG e para o FRD, para as faixas especificadas, se assemelharam, independente da taxa de filtração aplicada (ensaio II: FAAG = 160 m³/m².dia, FRD = 300 m³/m².dia; ensaio III: FAAG = 240 m³/m².dia, FRD = 300 m³/m².dia).

Para o ensaio VIII, com execução de DFIs, a remoção de partículas pelo FAAG apresentou-se menor após as DFIs para as partículas de tamanho de 2 a 4 µm e 6 a 12 µm, provavelmente devido ao desprendimentos de impurezas, enquanto que o FRD praticamente manteve a mesma remoção para as faixas especificadas (tabela 5.22).

Tabela 5.22 – Remoção de partículas nos ensaios II, III, VII e VIII / Distribuição das faixas de tamanho de (2 a 4); (6 a 12); (12 a 24) μm na água bruta, % remoção no FAAG e FRD, antes e depois da execução de DFIs

Ensaio	Faixas de tamanho (μm)	Água Bruta (%)	Remoção FAAG (%)		Remoção FRD (%)	
II c/ 5 coletas	2 a 4	51,8 a 72,3	19,0 a 81,2		58,9 a 65,8	
	6 a 12	73,1 a 80,6	80,7 a 97,6		72,7 a 83,9	
	12 a 24	80,4 a 93,8	84,2 a 97,6		87,9 a 93,6	
III c/ 7 coletas	2 a 4	53,7 a 76,5	29,3 a 74,7		54,8 a 71,5	
	6 a 12	70,2 a 80,1	64,4 a 98,0		63,0 a 87,2	
	12 a 24	80,4 a 94,6	84,4 a 98,9		86,3 a 98,1	
VII c/1 coleta	2 a 4	45,6	68,9		57,0	
	6 a 12	84,5	80,4		81,1	
	12 a 24	97,4	81,3		92,1	
Ensaio	Faixas de tamanho (μm)	Água Bruta (%)	Antes das DFIs		Depois das DFIs	
			Rem. FAAG (%)	Rem. FRD (%)	Rem. FAAG (%)	Rem. FRD (%)
VIII c/11 coletas	2 a 4	23,1 a 93,9	45,9 a 64,3	32,5 a 49,2	37,3 a 59,5	44,0 a 66,8
	6 a 12	60,8 a 79,8	69,4 a 80,6	74,0 a 77,5	65,9 a 74,9	70,3 a 79,5
	12 a 24	60,9 a 97,4	76,7 a 90,0	83,4 a 91,7	83,4 a 92,9	78,9 a 89,7

Obs.: no ensaio VII apesar de ter sido realizada 3DFIs, foi coletada apenas 1 amostra antes da 1ª DFI

5.10 Perda de carga durante a carreira de filtração

Para todos os ensaios em que foram empregadas taxas de filtração entre 120 a 360 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e entre 200 a 300 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD, o encerramento da carreira foi ditado pelo critério de perda de carga limite no FAAG, mesmo para diferentes condições de qualidade de água bruta e dosagens de produtos químicos, tendo o FRD pouco contribuído para a remoção global de impurezas, dados os valores de perda de carga e de turbidez resultantes (como os do ensaio I).

A perda de carga na camada suporte do meio granular do FAAG variou entre 10,8 e 21,3 % da perda de carga total enquanto na camada filtrante, variou entre 79 e 89,2 %, conforme a tabela 32. Esses dados sugerem que a granulometria do FAAG para as condições estudadas deve ser revisada, de forma que a perda de carga seja melhor distribuída entre as camadas. Uma opção a ser testada seria a de utilizar para o meio filtrante do FAAG, maior granulometria e menor espessura. Com relação ao FRD, observou-se que cerca de 63,3 a 79,1 % da perda de carga total foi associada à camada superior (de menor granulometria) com apenas 10 cm de espessura (ensaios III e VI da tabela 5.23). Por outro lado, o FRD foi capaz de absorver as variações de qualidade da água pré-filtrada devido às execuções das

DFIs, lavagens e ocorrências de carreamento de flocos, tendo resultado em durações satisfatórias das carreiras de filtração.

Tabela 5.23 - Valores máximos resultantes de perda de carga por camada granular e respectivas porcentagens no FAAG e no FRD correspondente							
Características		ensaios					
		I(**)	III	VI	VII(**)	VIII(**)	IX(*)(**)
FAAG	Cam.1 = 160 cm (1,0 a 2,4 mm)	174,1cm 79%	188,9cm 85,9%	196cm 89,2%	188cm 84,2%	184cm 83,3%	42,9cm 78%
	Cam.2 = 60 cm (3,2 a 25,4 cm)	46,9cm 21,3%	31cm 14,1%	23,8cm 10,8%	35,2cm 15,8%	36,7cm 16,7%	14,9cm 27,1%
FRD	Cam. superior 10 cm	16,9cm 30%	166,3cm 79,1%	135cm 63,3%	35,7cm 31%	32,4cm 37%	28,3cm 36,1%
	Cam. intermediária 20 cm	17,8cm 31,6%	33,7cm 16%	60,2cm 28,3%	38,1cm 33,1%	28,5cm 32,6%	23,4cm 29,9%
	Cam. inferior 40 cm	22,3cm 39,6%	24,2cm 11,5%	56,4cm 26,5%	43cm 37,3%	28,6cm 32,7%	28,1cm 35,9%

Obs.: (*): Ensaio encerrado sem atingir a perda de carga limite no FAAG; (**): Ensaio encerrado sem atingir a perda de carga limite no FRD;

5.11 Produção efetiva de água filtrada

A eficiência de produção de água foi calculada considerando aspectos operacionais condizentes com o que acontece nas ETAs em escala real, uma vez que a realização de investigações é também fundamentada na aplicabilidade dos resultados obtidos. Assim, foram assumidas as seguintes hipóteses: i) o sistema de tratamento era constituído por unidades de DF funcionando em paralelo e, portanto, por ocasião da execução de DFI (ou final) ou lavagem de um filtro, a vazão correspondente à unidade que foi retirada de operação, era igualmente distribuída às demais unidades mantendo assim aproximadamente constante a produção de água durante este período; ii) o número de lavagens executadas no FAAG durante um período determinado era calculado dividindo-se o período considerado pela duração de uma carreira do filtro, desde que a qualidade da água bruta não apresentasse grandes variações. Assim, a produção efetiva de água foi obtida com base em: a) calcular o volume total produzido pela multiplicação da taxa média de filtração no FAAG (por ser o primeiro a ter a carreira de filtração encerrada) pelo tempo de operação considerado; b) subtrair o volume de água tratada utilizado para execução das lavagens dos filtros e DFIs do

valor obtido em a) no período considerado; c) dividir o valor obtido em b) pelo valor obtido em a) resultando a eficiência de produção.

Para o cálculo do índice de produção efetiva de água os aspectos operacionais considerados foram:

- Taxa de aplicação de água na DFI e final no FAAG = $1000 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; duração das DFIs e final do FAAG = 1 min (consumo devido às DFI e final do FAAG = $0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$);
- Taxa de aplicação água para lavagem do FAAG = $2736 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; duração da lavagem do FAAG = 10 min (consumo devido à lavagem FAAG = $19,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$);
- Taxa de aplicação água para lavagem do FRD = $864 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; duração da lavagem do FRD = 7 min (consumo devido à lavagem do FRD = $4,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).

A seguir na tabela 5.24, são apresentados os resultados obtidos no cálculo da eficiência da produção de água.

Tabela 5.24 – Índice de produção efetiva de água filtrada								
Ensaio	I	II	III	IV	V	VI	VII*	VIII*
Tf FAAG ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	120	160	240	240	360	360	360	240
Tf FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	200	300	300	400	300	400	400	300
Duração da carreira de filtração (h)	132,8	54,0	45,0	10,5	23,2	21,83	34,0	56,4
Número de DF	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	5,0
Número de lav. FAAG	1,0	1,0	1,12	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0
Número de lav. FRD	0,0	0,0	1,0	2,0	0,6	1,6	1,0	1,0
Prod. total de água filtrada ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	664,0	360,0	450,0	105,0	348,0	327,5	510,0	564,0
Prod. Efetiva de água filtrada ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)	644,3	341,0	424,5	92,8	326,5	301,7	486,8	540,8
Índice de produção efetiva de água (%)	97,0	94,7	94,3	88,4	93,8	92,1	95,5	95,9
Obs: (*) – Ensaios com execução de DFIs								

Nota-se que a influência da execução das DFIs na eficiência da produção de água, implica no resultado de valores de índice de produção efetiva de água superiores aos obtidos nos ensaios sem a execução de DFIs, para mesmas taxas, devido principalmente, à duração de carreiras de filtração mais longas.

5.12 Execução de DFIs

Os resultados obtidos nos ensaios sem execução de DFIs serviram de base para a realização dos ensaios referentes à fase II (ensaios VII e VIII), foram selecionados duas combinações de taxas de filtração que se mostraram apropriados à execução de DFIs (tabela 5.25).

Tabela 5.25 - Taxas de filtração nos filtros FAAG e FRD empregadas nos ensaios da fase II.

ensaio	FAAG (m ³ /m ² .dia)	FRD (m ³ /m ² .dia)
VII (c/ 3 DFIs)	360	400
VIII (c/ 4 DFIs)	240	300

No ensaio VII, foi observado que mesmo após as DFIs, os valores de turbidez no FAAG atingiram no máximo 0,25 uT (2^a DFI). Verificou-se também que a perda de carga máxima atingida no FRD foi de 1,15 m, e a soma total das cargas hidráulicas recuperadas no FAAG devido as execuções das DFIs foi de 0,9 m para uma carga hidráulica disponível de 2,20 m;

No ensaio VIII, observou-se que após a 3^a DFI, houve um crescimento na turbidez dos dois filtros, atingido valores de até 1,13 uT no efluente do FAAG e 1,15 uT no efluente do FRD. Este fato, além da influência da DFI, também, foi decorrente de um problema com a bomba dosadora de coagulante químico, que de imediato foi comprovado pela realização do teste com o FLA para controle da coagulação, e em seguida tomadas as providências para ajuste da dosagem de coagulante, fazendo com que a turbidez dos efluentes voltassem aos valores anteriores e permanecessem baixas até o final da carreira de filtração. Este imprevisto comprovou a eficiência do teste com FLAs nas instalações piloto e em escala real para o controle da coagulação. A soma das cargas hidráulicas recuperadas no FAAG devido as execuções das DFIs foi de 1,68 m (aproximadamente 76% da carga hidráulica disponível).

Para os ensaios VII e VIII, o FRD se mostrou capaz de absorver os picos de turbidez devido as DFIs, apresentando valores de turbidez do efluente filtrado sempre menores que 1 uT para ambos os casos.

5.13 Lavagem dos Filtros

O método de lavagem empregado para os filtros, FAAG e FRD, mostrou-se eficiente, pelo fato de apresentar, após a lavagem, perda de carga inicial praticamente igual ao do início da carreira filtração.

No ensaio III, realizado com taxas de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e de $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD e sem execução de DFI, foi verificada esta eficiência, pois a perda de carga inicial (meio filtrante limpo) resultou idêntica à observada no início do ensaio (ver Figura 5.3). Porém, convém ressaltar que a taxa de água utilizada para lavagem, resultou elevada quando comparada com as usualmente empregadas e ocasionou uma ruptura do meio filtrante, sendo necessário aplicar leves pancadas na lateral do filtro, para que o meio filtrante voltasse a sua posição inicial.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados obtidos, concluiu-se que:

➤ Em relação ao FLA:

- ✓ Em alguns ensaios de laboratório para determinação das condições de coagulação em função da turbidez do filtrado ($\leq 0,5$ uT), resultaram valores que não condizem com o mecanismo de neutralização total de cargas (potencial zeta da água coagulada entre -8,2 e -15,5 mV). No entanto este fato não acarretou prejuízo à qualidade do efluente final, conclui-se assim, que o potencial zeta não deve ser o único parâmetro de controle da eficiência da coagulação e que a realização de ensaios de filtração em FLAs ou filtro de papel – FLP se torna indispensável para a determinação dos parâmetros de coagulação.
- ✓ Com relação ao controle da coagulação, a adaptação do dispositivo para a realização de testes em FLAs no extravasor de água coagulada, apresenta a vantagem de utilizar água coagulada com as condições reais de mistura rápida empregadas e simplicidade de operação. Esta sistema pode, na ausência de instalação piloto de escoamento contínuo, ser utilizado em ETAs para determinação e controle das condições de coagulação química.
- ✓ No ensaio IX em que se simulou a ocorrência de pico de turbidez de 380 uT, onde as condições de coagulação química foram determinadas em ensaios de laboratório utilizando o FLA, apresentou resultados satisfatórios, produzindo efluente pré-filtrado com valores de turbidez entre 0,11 a 2,87 uT e efluente final com turbidez entre 0,07 a 0,084 uT.
- ✓ Sua utilização, quando empregada a granulometria adequada, para a determinação das condições de coagulação, como no ensaio IX, apresentou maior sensibilidade às variações da qualidade da água quando comparado ao FLP.

➤ A distribuição da perda de carga nas camadas do meio granular do FAAG não apresentou diferenças significativas para as variadas taxas de filtração e modo de operação (com e sem execução de DFIs), tendo a camada suporte, sido responsável por 10,8 a 21,3 % da perda de carga total e a camada filtrante, por 79 a 89,2 %.

➤ No FRD, cerca de 63,3 a 79,1 % da perda de carga total foi associada à camada superior (de menor granulometria) com apenas 10 cm de espessura, porém, considerando a função de polimento e barreira bacteriológica dessa unidade de filtração, concluiu-se que a granulometria utilizada foi adequada para este fim.

➤ A eficiência global do sistema de Dupla Filtração com Filtração Ascendente em Areia Grossa foi satisfatória, apresentando efluente final com turbidez inferior a 1uT e cor verdadeira inferior a 1 uH, na maior parte do tempo, independente da qualidade da água bruta e da taxa empregada; a Filtração Rápida Descendente em areia foi capaz de absorver as variações da qualidade de água pré-filtrada devido às execuções das DFIs, lavagens e carreamento de flocos.

➤ Nos ensaios VII e VIII, realizados com a execução de 3 e 4 DFIs e taxas de filtração $360 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, respectivamente, os números de DFIs no FAAG se mostraram eficientes, pelos resultados apresentados:

- Duração da carreira de filtração do FAAG mais longa ;
- Recuperação parcial da carga hidráulica, para 3 e 4 DFIs, foram de 87,8 cm e 167,7 cm, respectivamente, para uma carga disponível de 220 cm;
- As durações das carreiras do FRD resultaram mais longas, devido à qualidade dos efluentes produzidos no FAAG;
- Os índices de produção efetiva de água resultaram superiores aos obtidos nos ensaios sem a execução de DFIs devido, principalmente, à produção de carreira de duração mais longas;

Em função dos resultados obtidos nesta investigação, recomenda-se:

- Estudos adicionais para as taxas de aplicação de água para lavagem do FAAG, considerando a granulometria do material filtrante e a qualidade da água bruta;
- Estudos adicionais para determinação das taxas de filtração para o FAAG e FRD em função da qualidade da água bruta;
- Estudos mais aprofundados de outras granulometrias de areia para o FAAG e FRD;

- A utilização de instalação piloto para otimizar o desempenho de estações em escala real;
- A utilização de filtros de laboratório de areia para determinação e controle das condições de coagulação química.

ANEXO A – Resultados do ensaio I

Tabelas A 1 - Resultados das análises de Laboratório – ensaio I.

Ensaio I Data: 06/08/2001								
Parâmetros	amostras 0h				amostras 6h			
	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	-	-	0,043	0,009	0,008	0,012
PZ (mV)	-18,1 / 1,1	-10,6 / 2,5	-	-	-18,2/0,4	-12,5/2,1	-2/0,0	-2,1/0,0
COD (mgC/L)	-	-	-	-	1,801	1,406	1,389	2,139
CA (uH)	84	83	-	-	90	87	1	1
CV (uH)	32	5	-	-	33	7	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	1793	-	7,4	2
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	135	-	2	1

Parâmetros	amostras 12h				amostras 18h			
	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,043	0,014	0,004	0,009	0,041	0,008	0,005	0,007
PZ (mV)	-14,6/1,6	-10,7/1,9	-2,2/0,0	-2,2/0,0	-21/0,8	-13,2/2,0	-2,2/0,0	-2,2/0,0
COD (mgC/L)	1,483	1,411	1,157	1,868	1,912	1,234	0,542	1,953
CA (uH)	87	85	<1	<1	93	98	<1	1
CV (uH)	32	10	<1	<1	32	5	<1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-

Parâmetros	amostras 24h				amostras 30h			
	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,041	0,021	0,011	0,01	0,045	-	0,006	0,012
PZ (mV)	-20/1,7	-15,5/1	-2,1/0,0	-2,1/0,0	-18,4/1,2	-15,5/0,7	-2,1/0,1	-2,1/0,0
COD (mgC/L)	3,015	1,049	1,117	1,593	2,264	0,922	0,886	2,081
CA (uH)	91	92	1	<1	91	95	1	1
CV (uH)	31	6	1	<1	32	8	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	1160	-	4,1	7,4
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	110	-	<1	<1

Parâmetros	amostras 48h				amostras 60h			
	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,049	-	-	-	0,054	-	0,02	0,019
PZ (mV)	-17,7/1,2	-8,5/2,2	-	-	-10,1/1	-8,2/1,3	-2,1/0,0	-2,2/0,0
COD (mgC/L)	1,218	-	-	-	1,311	-	1,868	2,338
CA (uH)	61	-	-	-	61	-	1	2
CV (uH)	25	-	-	-	23	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	669	-	-	-	888	-	3,1	2
E. coli (NMP/100mL)	63	-	-	-	94	-	<1	1

Parâmetros	amostras 99,7h				amostras 102h			
	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,037	-	0,01	0,012	0,046	-	-	-
PZ (mV)	-14,8/4,4	-12,1/1,1	-2,2/0,0	-2,1/0,0	-	-	-	-
COD (mgC/L)	1,059	-	1,495	1,508	1,782	-	-	-
CA (uH)	77	-	<1	<1	72	-	-	-
CV (uH)	33	-	<1	<1	26	-	-	-
ColTot (NMP/100mL)	4352	-	6,3	4,1	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	86	-	1	<1	-	-	-	-

Parâmetros	amostras 118,3h				amostras 131,8h (final do ensaio I)			
	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag.Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,045	-	-	-	0,046	-	0,019	0,013
PZ (mV)	-14,1/1,3	-11,7/1,1	-	-	-13,7/2,1	-11,9/1,0	-2,1/0,0	-2,1/0,0
COD (mgC/L)	1,466	-	-	-	1,504	-	3,015	1,985
CA (uH)	83	-	-	-	78	-	<1	<1
CV (uH)	27	-	-	-	22	-	<1	<1
ColTot (NMP/100mL)	2382	-	-	-	3255	-	3,1	2
E. coli (NMP/100mL)	132	-	-	-	171	-	1	1

Tabela A 2 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio I.

Hora	TF (h)	Turab água bruta	pHab	pHac	temp	Turpl eff. FAAG	pHpl	Turfr eff. FRD	pHfr	Vazão FAAG	Tx FAAG m³/m².d	vazão FRD	Tx FRD m³/m².d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
														P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
01:05	0,0	9,366	-	-	18	2,347	-	1,154	-	78	120,0	55,4	200,0	45,1	55,8	56,2	-	-	-	-
01:10	0,2	9,354	-	-	18	1,07	-	0,81	-	-	-	-	-	45,1	55,3	56,9	-	-	-	-
01:15	0,3	9,333	-	-	18	0,701	-	0,51	-	-	-	-	-	45,1	56,5	57	12,6	32,3	47,3	61,2
01:20	0,3	9,327	-	-	18	0,652	-	0,297	-	-	-	-	-	45,1	56,6	57,2	12,1	34,2	50,4	65,1
01:25	0,4	9,364	-	-	18	0,602	-	0,254	-	-	-	-	-	45,1	56,9	57,5	12,5	32,6	47,7	61,5
01:30	0,5	9,329	-	-	18	0,525	-	0,265	-	-	-	-	-	45,1	57	57,6	12,5	32,6	45,8	59
01:35	0,6	9,3	-	-	18	0,388	-	0,214	-	-	-	-	-	45,1	57,1	57,7	12,5	32,1	47,2	61,6
01:40	0,7	9,316	-	-	18	0,306	-	0,176	-	-	-	-	-	45,1	57,1	57,7	12,5	32,7	47,8	62,2
01:45	0,8	9,3	-	-	18	0,274	-	0,14	-	-	-	-	-	45,1	57,1	57,8	12,5	33,2	48,8	63
01:50	0,8	9,265	-	-	18	0,255	-	0,12	-	-	-	-	-	45,1	57,2	57,9	12,5	33,4	49,1	63,3
01:55	0,9	9,299	-	-	18	0,242	-	0,112	-	-	-	-	-	45,1	57,2	58	12,5	32,8	48,2	62
02:00	1,0	9,306	7,14	6,83	18	0,215	-	0,106	-	80	123,1	52	187,7	45,1	57,2	58	12,5	32,4	47,2	61,8
03:00	2,0	9,25	7,2	6,97	18	0,165	-	0,087	-	77,5	119,2	57,5	207,6	45,1	57,7	59	12,5	33,4	49,3	64,4
04:00	3,0	9,223	-	-	18	0,134	-	0,08	-	83,1	127,8	52	187,7	45,1	58,3	59,8	12,5	31,3	45,6	59,4
05:00	4,0	9,213	7,13	6,91	18	0,123	-	0,079	-	76,4	117,5	54,5	196,8	45,1	58,7	60,6	12,5	32,3	47,4	61,8
06:00	5,0	9,155	-	-	17,5	0,121	-	0,081	-	82,5	126,9	60	216,6	45,1	60,1	62,8	12,6	34,9	51,7	63
07:00	6,0	9,102	6,92	6,87	17,5	0,104	-	0,074	-	75,1	115,5	54	194,9	45,1	59,4	62,3	12,5	32,1	47	61,5
08:00	7,0	9,097	-	-	17,5	0,101	-	0,074	-	79,3	122,0	57	205,8	45,2	60,6	64,1	12,6	33,4	49,4	65
09:00	8,0	9,052	6,91	6,85	18	0,098	-	0,072	-	78,9	121,4	57	205,8	45,2	61	65,1	12,6	33	48,5	63,6
10:00	9,0	8,999	-	-	18	0,094	-	0,07	-	78,8	121,2	57,5	207,6	45,3	61,5	66	12,6	33,1	48,9	64,3
11:00	10,0	8,97	6,87	6,75	18	0,093	-	0,07	-	80,4	123,7	60	216,6	45,3	63,1	67,9	12,6	33,6	49,6	65,2
12:00	11,0	8,945	-	-	18	0,09	-	0,068	-	80,15	123,3	58	209,4	45,4	63,3	68,7	12,7	32,9	48,4	63,4
13:00	12,0	11,19	7,01	6,9	18	0,087	-	0,068	-	77	118,5	55	198,6	45,3	63,4	69,3	12,7	31,8	48,3	60,7
14:00	13,0	11,45	-	-	18	0,081	-	0,062	-	79,2	121,8	59	213,0	45,3	65,7	72,3	12,6	33,3	49,2	64,6
15:00	14,0	10,85	-	-	18	0,074	-	0,057	-	81,4	125,2	59	213,0	45,4	65,6	72,4	12,7	33	48,7	64
16:00	15,0	11,02	7,02	6,83	18	0,07	-	0,053	-	77,8	119,7	55	198,6	45,4	66,8	73,7	12,6	31,3	45,7	59,2
17:00	16,0	10,99	-	-	18	0,065	-	0,068	-	76,3	117,4	54	194,9	45,3	66,5	74,4	12,6	31,8	45,7	59,2
18:00	17,0	10,96	7,03	6,89	18	0,072	-	0,059	-	75,3	115,8	54	194,9	45,3	67	75,2	12,6	30,8	45	58,8
19:00	18,0	10,68	-	-	18	0,072	-	0,064	-	76,7	118,0	59	213,0	45,3	68,3	77	12,6	31,5	45,5	60,4
20:00	19,0	10,55	7,15	6,82	18	0,077	-	0,063	-	76,7	118,0	55	198,6	45,3	69	78	12,6	31,8	46,4	60,8
21:00	20,0	10,42	-	-	18	0,076	-	0,062	-	80,5	123,8	60	216,6	45,3	70,8	80,4	12,6	33,3	49,3	65,5
22:00	21,0	10,2	7,2	6,89	18	0,07	-	0,057	-	80,6	124,0	59	213,0	45,3	72	82	12,6	33,5	49,8	65,6
23:00	22,0	10,05	-	-	18	0,067	-	0,056	-	79,3	122,0	60	216,6	45,3	72,5	82,9	12,5	33	48,6	64
00:00	23,0	9,909	6,96	6,85	18	0,064	-	0,056	-	77	118,5	59	213,0	45,3	72,7	83,4	12,5	32,2	47,4	62,4
01:00	24,0	9,81	-	-	18	0,061	-	0,057	-	76,6	117,8	58,5	211,2	45,3	73,5	84,6	12,5	32	47	62
02:00	25,0	9,777	-	-	18	0,063	-	0,057	-	78,8	121,2	60	216,6	45,2	75	85,4	12,5	32,9	48,5	64
03:00	26,0	9,63	6,89	6,74	18	0,063	-	0,057	-	77,6	119,4	59	213,0	45,2	76,1	87,7	12,5	32,5	47,8	63
04:00	27,0	9,658	-	-	18	0,063	-	0,057	-	81,2	124,9	61	220,2	45,2	77,7	90	12,5	33,9	50,2	66,5
05:00	28,0	9,585	6,91	6,74	18	0,062	-	0,058	-	78,2	120,3	59,5	214,8	45,2	77,8	90,2	12,5	32,8	48,2	63,4
06:00	29,0	9,551	-	-	18	0,061	-	0,059	-	76,8	118,2	58	209,4	45,2	78,5	91,4	12,4	32,2	47,5	62,6
07:00	30,0	9,543	-	-	18,2	0,061	-	0,06	-	77,7	119,5	59	213,0	45,2	80,2	93,4	12,5	32,9	48,6	64,2
08:00	31,0	9,512	-	-	18,5	0,063	-	0,058	-	80,1	123,2	61	220,2	45,2	81,6	95,2	12,5	33,7	50	66,3
09:00	32,0	9,41	6,86	6,72	18,5	0,067	-	0,061	-	79,6	122,5	64	231,0	45,3	82,1	96,2	12,5	33,1	49	64,6
10:00	33,0	9,352	-	-	18,5	0,064	-	0,061	-	76,4	117,5	63	227,4	45,3	82,1	96,2	12,5	32	47	61
11:00	34,0	9,287	7,1	6,84	18,5	0,061	-	0,058	-	78,1	120,2	63	227,4	45,5	83,4	98	12,5	32,6	48	63,4
12:00	35,0	9,29	-	-	18,8	0,061	-	0,056	-	77,1	118,6	69	249,1	45,4	84,2	99,2	12,5	31,9	46,9	61,9
13:00	36,0	9,24	7,05	6,83	18,8	0,056	-	0,053	-	78	120,0	62,5	225,6	45,4	85,6	100	12,5	32,5	47	62
14:00	37,0	9,191	-	-	19	0,054	-	0,052	-	77	118,5	62,5	225,6	45,3	86,3	101,8	12,5	31,6	46,2	60,9
15:00	38,0	9,165	7,2	6,85	19	0,056	-	0,052	-	76,6	117,8	62,5	225,6	45,4	87,2	103,2	12,5	31,5	46	60,7
16:00	39,0	9,124	-	-	19	0,053	-	0,05	-	76,6	117,8	62,5	225,6	45,4	88,4	105	12,5	31,4	46	60,7
17:00	40,0	9,137	-	-	19	0,054	-	0,051	-	77,2	118,8	62,5	225,6	45,4	89,6	106,5	12,5	31,8	46,7	61,5
18:00	41,0	9,108	7,4	6,96	19	0,054	-	0,051	6,79	76	116,9	62	223,8	45,4	90	106,2	12,5	31,4	45,9	60,4
19:00	42,0	9,044	-	-	18,8	0,055	-	0,052	-	76,6	117,8	62	223,8	45,4	91,6	109,3	12,5	31,9	46,8	61,6
20:00	43,0	9,026	-	-	18,8	0,054	-	0,053	-	82,3	126,6	62	223,8	45,4	93,3	114,1	12,5	34,2	50,6	67
21:00	44,0	8,958	-	-	18,5	0,054	-	0,053	-	77,6	119,4	56	202,2	45,4	94,8	113,5	12,4	32,4	47,6	63
22:00	45,0	8,914	7,01	6,9	18,2	0,054	6,71	0,053	6,66	77	118,5	54	194,9	45,4	95,2	114,4	12,4	31,8	46,6	61,4
23:00	46,0	8,858	-	-	18,2	0,053	-	0,053	-	78,4	120,6	57	205,8	45,3	97,3	116,6	12,4	32,7	48,2	63,7
00:00	47,0	8,875	7,15	6,96	18,2	0,05	-	0,05	-	76,8	118,2	57,5	207,6	45,3	98,3	118,1	12,4	33,7	50	66
01:00	48,0	8,804	-	-	18,2	0,049	-	0,052	-	78,7	121,1	58	209,4	45,3	100,3	120,5	12,4	33,7	50	66,1
02:00	49,0	8,823	6,98	6,82	18,2	0,049	-	0,051	-	77,4	119,1	48	173,3	45,3	100,7	121,1	12,4	31,2	45,6	59,8
03:00	50,0	8,841	-	-	18,1	0,048	-	0,051	-	76,1	115,5	52	187,7	45,3	101,8	122,4	12,4	31,4	46	60,6
04:00	51,0	8,854	-	-	18	0,047	-	0,051	-	76,6	117,8	52,5	189,5	45,3	104,2	125,3	12,4	32	47,2	

Tabela A 2 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação (continuação) – ensaio I.

Hora	TF (h)	T _é rb água bruta	pH _a b	pH _a c	tem p	Turpf ef FAAG	pHpf	Turff ef FRD	pHf	Vazã o FAAG	Tx FAAG m³/m² 2d	vazã o FRD	Tx FRD m³/m² 2d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
														P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
15:00	62,0	8,555	7,1	6,93	19	0,048	-	0,047	-	78	120,0	58	209,4	45,3	117,4	141,6	12,4	32,9	48,6	63,8
16:00	63,0	8,559	-	-	19	0,05	-	0,047	-	75	115,4	54	194,9	45,3	115,5	139,5	12,4	30,8	45	59,2
17:00	64,0	8,566	6,93	6,92	19	0,048	-	0,045	-	77,3	118,9	56	202,2	45,3	118,7	143	12,4	31,5	46,2	60,7
18:00	65,0	8,593	-	-	19	0,048	-	0,046	-	77,1	118,6	56	202,2	45,3	120,6	145,7	12,4	31,6	46,4	61,2
19:00	66,0	8,576	-	-	19	0,048	-	0,047	-	77,8	119,7	57,5	207,6	45,3	123,4	148,9	12,4	31,6	48,2	63,5
20:00	67,0	8,572	-	-	-	0,048	-	0,048	-	77,8	119,7	57,5	207,6	45,3	124,8	150	12,4	32,7	48,3	63,8
21:00	68,0	8,568	-	-	18,5	0,048	-	0,048	-	77,7	119,5	57	205,8	45,3	124,6	150,8	12,4	32,6	48,1	63,2
22:00	69,0	8,56	6,93	6,78	18,5	0,048	6,63	0,048	6,9	76,9	118,3	57	205,8	45,3	124,7	150,9	12,4	32,1	46,9	61,7
23:00	70,0	8,649	-	-	18,5	0,048	-	0,048	-	78,6	120,9	57,5	207,6	45,3	128,4	155,8	12,4	33,3	49,2	65
00:00	71,0	8,676	7,21	6,83	18,5	0,045	6,8	0,047	-	80,4	123,7	57	205,8	45,3	128,7	156	12,4	33,2	48,1	64,9
01:00	72,0	8,673	-	-	18,5	0,046	-	0,047	-	77,7	119,5	57	205,8	45,3	127,5	155	12,4	31,5	46,2	60,8
02:00	73,0	8,657	7,19	6,83	18,4	0,046	-	0,047	6,91	77	118,5	56	202,2	45,2	131,7	159,2	12,4	32,5	47,9	63,2
03:00	74,0	8,641	-	-	18,4	0,044	-	0,047	-	80,8	124,3	59	213,0	45,2	135,4	164,4	12,5	34,1	50,7	67,1
04:00	75,0	8,667	-	-	18,3	0,045	-	0,047	-	78,6	120,9	57,5	207,6	45,2	135,6	163,8	12,4	33,3	49,3	65,3
05:00	76,0	8,65	7,16	6,79	18	0,044	6,9	0,047	-	78	120,0	57	205,8	45,2	137	165,5	12,4	33,2	49,1	65
06:00	77,0	8,648	-	-	18	0,044	-	0,047	-	78,9	121,4	56	202,2	45,2	137,3	166,2	12,4	32,9	48,5	64,2
07:00	78,0	8,633	-	-	18	0,045	-	0,048	-	79	121,5	58	209,4	45,2	141,7	171	12,4	33,9	50,5	67
08:00	79,0	8,631	-	-	18	0,045	-	0,048	-	77,3	118,9	57	205,8	45,2	140,9	169,9	12,4	33,2	49,2	65
09:00	80,0	8,592	-	-	18	0,047	-	0,047	-	82,8	127,4	62	223,8	45,3	145,5	175,8	12,4	34,7	51,8	68,7
10:00	81,0	8,565	6,95	6,65	18	0,047	-	0,047	6,64	80,3	123,5	58	209,4	45,3	143	173,1	12,4	33,3	49,2	65,5
11:00	82,0	8,563	-	-	18	0,048	-	0,047	-	78,8	118,2	56	202,2	45,3	141,8	172	12,4	31,7	46,4	61,5
12:00	83,0	8,562	-	-	18	0,048	-	0,046	-	78,1	120,2	57,5	207,6	45,3	144,8	175,1	12,4	32,3	47,7	62,6
13:00	84,0	11,6	6,98	6,6	18	0,046	6,7	0,045	-	78,5	120,8	57	205,8	45,3	145	175,5	12,4	32,4	47,9	62,9
14:00	85,0	10,69	-	-	18	0,041	-	0,041	-	78,3	120,5	57	205,8	45,3	150	161,2	12,4	32,4	47,9	63
15:00	86,0	11,18	-	-	18	0,039	-	0,039	-	77,7	119,5	56	202,2	45,3	150,3	162,1	12,4	32,1	47,6	62,8
16:00	87,0	10,13	6,95	6,75	18	0,039	-	0,039	6,65	77,8	119,7	56	202,2	45,3	151	162,8	12,4	31,8	46,9	61,8
17:00	88,0	10,12	-	-	18	0,039	-	0,039	-	76,9	118,3	56	202,2	45,3	153	166	12,4	31,8	46,7	61,5
18:00	89,0	9,962	-	-	18	0,039	-	0,038	-	77,9	119,8	57,5	207,6	45,4	156,4	169,2	12,5	32,3	47,4	62,6
19:00	90,0	9,774	7,12	6,78	18	0,038	6,6	0,039	6,76	78,1	120,2	57,5	207,6	45,3	158,1	191,5	12,5	32,6	48	63,4
20:00	91,0	9,665	-	-	18	0,038	-	0,039	-	77,1	118,6	56	202,2	45,3	158,7	192,2	12,5	32,4	47,5	63
21:00	92,0	9,725	-	-	18	0,038	-	0,04	-	75,7	116,5	56	202,2	45,3	159,8	193,7	12,5	32,5	47,8	63,2
22:00	93,0	9,532	6,91	6,77	17,9	0,038	6,64	0,041	6,69	80,8	124,3	59	213,0	45,3	164,7	199,9	12,5	34	50,6	67,1
23:00	94,0	9,327	-	-	17,9	0,038	-	0,041	-	80,8	124,3	59	213,0	45,3	162,7	199	12,5	32,9	48,6	64,2
00:00	95,0	9,273	-	-	17,9	0,038	-	0,041	-	78,2	120,3	59	213,0	-	-	-	-	-	-	-
01:00	96,0	9,175	-	-	17,8	0,039	-	0,042	-	77,5	119,4	59	213,0	45,3	165,6	201	12,5	33	48,8	64,4
02:00	97,0	9,102	6,99	6,82	17,5	0,039	6,8	0,042	6,81	77,8	119,7	58	209,4	45,3	168,5	204,5	12,5	33,6	49,8	65,6
03:00	98,0	9,075	-	-	17,5	0,038	-	0,042	-	77,9	119,8	56	202,2	45,3	167,8	204,5	12,5	33,4	49,2	65
04:00	99,0	9,011	-	-	17,5	0,038	-	0,038	-	77,3	118,9	55	198,6	45,3	168	205	12,4	33,1	48,9	64,8
05:00	100,0	8,994	-	-	17,5	0,039	-	0,043	-	76,9	118,3	55	198,6	45,3	171	207	12,4	31,1	46,9	64,9
06:00	101,0	8,91	-	-	17,5	0,039	-	0,043	-	76,9	118,3	55	198,6	45,3	174,4	211	12,4	33,6	50	66
07:00	102,0	8,833	-	-	17,5	0,038	-	0,043	-	76,4	117,5	57	205,8	45,2	174,6	211,8	12,4	33,6	49,9	66,1
08:00	103,0	8,762	7,2	6,69	17,5	0,034	-	0,044	6,67	77,2	118,8	57	205,8	45,2	176,8	214,5	12,4	33,9	50,5	67,1
09:00	104,0	8,774	-	-	17,8	0,038	-	0,044	-	77,4	119,1	57	205,8	45,2	177,4	215,1	12,4	33,8	50,2	66,6
10:00	105,0	8,739	-	-	17,8	0,041	-	0,046	-	77	118,5	57	205,8	45,3	178	216	12,4	33,4	49,7	65,5
11:00	106,0	12,1	7,1	6,92	17,8	0,042	6,61	0,043	6,74	78,1	120,2	57,5	207,6	45,3	178,6	216,7	12,4	33,1	48,7	64,3
12:00	107,0	10,67	-	-	17,8	0,039	-	0,044	-	81,4	125,2	59	213,0	45,3	181,5	220	12,4	33,4	49,5	65,3
13:00	108,0	13,62	-	-	18	0,039	-	0,039	-	77,1	118,6	57	205,8	45,3	181,1	220,2	12,5	32,3	47,5	62,8
14:00	109,0	12,78	7,01	6,93	18	0,039	6,69	0,038	6,69	78,6	120,9	58	209,4	45,4	185,1	224,7	12,5	32,9	48,6	64,1
15:00	110,0	11,54	-	-	18,5	0,038	-	0,037	-	79,9	122,9	57	205,8	45,4	183,6	223,8	12,6	32,2	47,3	62,4
16:00	111,0	11,5	-	-	18,5	0,039	-	0,038	-	78	120,0	57,5	207,6	45,4	185,6	226,3	12,6	32,3	47,5	62,8
17:00	112,0	11,15	7,1	6,99	18,5	0,038	6,68	0,037	6,74	76	116,9	56	202,2	45,4	184,4	225,7	12,5	31,7	46,8	61
18:00	113,0	10,98	-	-	18,2	0,039	-	0,038	-	78,9	121,4	58	209,4	45,4	190,8	232,6	12,5	32,9	48,5	64
19:00	114,0	10,9	-	-	18,2	0,04	-	0,038	-	78,8	121,2	57,5	207,6	45,4	193,6	235,1	12,5	33,2	49,1	64,8
20:00	115,0	10,7	7,26	7,07	18	0,038	6,72	0,039	6,65	78,3	120,5	57,5	207,6	45,4	194,1	236,2	12,5	33,2	49,1	65
21:00	116,0	10,59	-	-	18	0,038	-	0,039	-	78,6	120,9	57,5	207,6	45,4	195,1	237	12,5	33,3	49,2	65,1
22:00	117,0	10,4	-	-	18	0,039	-	0,041	-	77	118,5	57	205,8	45,3	195,5	238	12,4	33	48,7	64,3
23:00	118,0	10,14	7,27	6,91	18	0,039	6,7	0,041	6,64	77,4	119,1	57	205,8	45,3	197,2	239,6	12,4	33,1	49,1	64,8
00:00	119,0	9,974	-	-	18	0,039	-	0,041	-	78,4	120,6	57	205,8	45,3	199,8	242,5	12,5	33,3	49,5	65,5
01:00	120,0	9,892	-	-	18	0,038	-	0,041	-	77,1	118,6	56,4	203,6	45,3	199,3	242,6	12,5	31,1	48,7	64,2
02:00	121,0	9,707	7,15	6,98	18	0,038	6,74	0,042	6,75	80,2	123,4	57,5	207,6	45,3	204	248,8	12,5	34	50,7	67,1
03:00	122,0	9,576	-	-	17,8	0,038	-	0,042	-	77	118,5	55,5	200,4	45,3	200,6	244,8	12,5	31,1	48,7	64,3
04:00	123,0	9,56	-	-	17,8	0,038	-	0,042	-	76,3	117,4	57,5	207,6	45,3	202	246	12,5	32	47,8	63,5
05:00	124,0	9,506	7,1	6,93	17,8	0,038	6,67	0,042	6,71	79,3	122,0	59	213,0	45,3	206,4	248,2	12,5	32,8	48,7	63,9
06:00	125,0	9,465	-	-	17,5	0,038	-	0,042	-	76,5	117,7	59	213,0	45,3	204,5	249,6	12,5	32,5	48	

Tabela A 3 – Perda de carga no meio granular – ensaio I.

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	11,4	0,5	11,9	19,7	15	13,9	48,6
1	12,1	0,8	12,9	19,9	14,8	14,6	49,3
2	12,6	1,3	13,9	20,9	15,9	15,1	51,9
3	13,2	1,5	14,7	18,8	14,3	13,8	46,9
4	13,6	1,9	15,5	19,8	15,1	14,4	49,3
5	15	2,7	17,7	22,3	16,8	11,3	50,4
6	14,3	2,9	17,2	19,6	14,9	14,5	49
7	15,4	3,5	18,9	20,8	16	15,6	52,4
8	15,8	4,1	19,9	20,4	15,5	15,1	51
9	16,2	4,5	20,7	20,5	15,8	15,4	51,7
10	17,8	4,8	22,6	21	16	15,6	52,6
11	17,9	5,4	23,3	20,2	15,5	15	50,7
12	18,1	5,9	24	19,1	14,5	14,4	48
13	20,4	6,6	27	20,7	15,9	15,4	52
14	20,2	6,8	27	20,3	15,7	15,3	51,3
15	20,8	7,5	28,3	18,7	14,4	14	47,1
16	21,2	7,9	29,1	18,4	14,2	14	46,6
17	21,7	8,2	29,9	18,2	14,2	13,8	46,2
18	23	8,7	31,7	18,9	14	14,9	47,8
19	23,7	9	32,7	19,2	14,6	14,4	48,2
20	25,5	9,6	35,1	20,7	16	16,2	52,9
21	26,7	10	36,7	20,9	16,3	15,8	53
22	27,2	10,4	37,6	20,5	15,6	15,4	51,5
23	27,4	10,7	38,1	19,7	15,2	15	49,9
24	28,2	11,1	39,3	19,5	15	15	49,5
25	29,8	10,4	40,2	20,4	15,6	15,5	51,5
26	30,9	11,6	42,5	20	15,3	15,2	50,5
27	32,5	12,3	44,8	21,4	16,3	16,3	54
28	32,6	12,4	45	20,3	15,4	15,2	50,9
29	33,3	12,9	46,2	19,8	15,3	15,1	50,2
30	35	13,2	48,2	20,4	15,7	15,6	51,7
31	36,4	13,6	50	21,2	16,3	16,3	53,8
32	36,8	14,1	50,9	20,6	15,9	15,6	52,1
33	36,8	14,1	50,9	19,5	15	14,8	49,3
34	37,9	14,6	52,5	20,1	15,4	15,4	50,9
35	38,8	15	53,8	19,4	15	15	49,4
36	40,2	14,4	54,6	20	14,5	15	49,5
37	41	15,5	56,5	19,1	14,6	14,7	48,4
38	41,8	16	57,8	19	14,5	14,7	48,2
39	43	16,6	59,6	18,9	14,6	14,7	48,2
40	44,2	16,9	61,1	19,3	14,9	14,8	49
41	44,6	16,2	60,8	18,9	14,5	14,5	47,9
42	45,2	17,7	63,9	19,4	14,9	14,8	49,1
43	49,9	18,8	68,7	21,7	16,4	16,4	54,5
44	49,4	18,7	68,1	20	15,2	15,4	50,6
45	49,8	19,2	69	19,4	14,8	14,8	49
46	52	19,3	71,3	20,3	15,5	15,5	51,3
47	53	19,8	72,8	21,3	16,3	16	53,6
48	55	20,2	75,2	21,3	16,3	16,1	53,7
49	55,4	20,4	75,8	18,8	14,4	14,2	47,4
50	56,5	20,6	77,1	19,1	14,5	14,5	48,1
51	58,9	21,1	80	19,6	15,2	14,9	49,7
52	60	21,7	81,7	21	15,8	16	52,8
53	60,7	21,8	82,5	20,7	15,9	15,8	52,4
54	62,4	22	84,4	19,8	17	15,9	52,7
55	65,2	22,5	87,7	21,8	16,8	16,6	55,2
56	64,9	22,7	87,6	21,3	16,1	16,1	53,5
57	65,8	22,4	88,2	20,6	15,5	15,6	51,7
58	66,9	23,1	90	20,3	15,5	15,5	51,3
59	68,3	23,4	91,7	20,4	15,6	15,5	51,5
60	68,3	23,7	92	19,7	14,9	15,8	50,4
61	71,8	23,7	95,5	20,7	15,8	15,1	51,6
62	72,1	24,2	96,3	20,5	15,7	15,2	51,4
63	70,2	24	94,2	18,4	14,2	14,2	46,8
64	73,4	24,3	97,7	19,1	14,7	14,5	48,3
65	75,3	25,1	100	19,2	14,8	14,8	48,8
66	78,1	25,5	104	19,2	16,6	15,3	51,1
67	79,5	25,2	105	20,3	15,6	15,5	51,4

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
68	79,3	26,2	105,5	20,2	15,5	15,1	50,8
69	79,4	26,2	105,6	19,7	14,8	14,8	49,3
70	83,1	27,4	110,5	20,9	15,9	15,8	52,6
71	83,4	27,3	110,7	20,8	14,9	16,8	52,5
72	82,2	27,5	109,7	19,1	14,7	14,6	48,4
73	86,5	27,5	114	20,1	15,4	15,3	50,8
74	91,2	28	119,2	21,6	16,6	16,4	54,6
75	90,4	28,2	118,6	20,9	16	16	52,9
76	91,8	28,5	120,3	20,8	15,9	15,9	52,6
77	92,1	28,9	121	20,5	15,6	15,7	51,8
78	98,5	29,3	127,8	21,5	16,6	16,5	54,6
79	95,7	29	124,7	20,8	16	15,8	52,6
80	100	30,3	130,3	22,3	17,1	16,9	56,3
81	97,7	30,1	127,8	20,9	15,9	16,3	53,1
82	98,5	30,2	128,7	19,3	14,7	15,1	49,1
83	99,5	30,3	129,8	19,9	15,4	14,9	50,2
84	99,7	30,5	130,2	20	15,5	15	50,5
85	105	31,2	136,9	20	15,5	15,1	50,6
86	105	31,6	136,8	19,7	15,5	15,2	50,4
87	106	31,8	137,5	19,4	15,1	14,9	49,4
88	108	33	140,7	19,4	14,9	14,8	49,1
89	111	32,8	143,8	19,8	15,1	15,2	50,1
90	113	33,4	146,2	20,1	15,4	15,4	50,9
91	113	33,5	146,9	19,9	15,1	15,5	50,5
92	115	33,9	148,4	20	15,3	15,4	50,7
93	119	35,2	154,6	21,5	16,6	16,5	54,6
94	117	35,3	152,7	20,4	15,7	15,6	51,7
95	119	35,4	154,4	21	15,2	16	52,2
96	120	35,4	155,7	20,5	15,8	15,6	51,9
97	123	36	159,2	21,1	16,2	15,8	53,1
98	123	36,7	159,2	20,9	15,8	15,8	52,5
99	123	37	159,7	20,7	15,8	15,9	52,4
100	126	36	161,7	18,7	17,8	16	52,5
101	129	36,6	165,7	21,2	16,4	16	53,6
102	129	37,2	166,6	21,2	16,3	16,2	53,7
103	132	37,7	169,3	21,5	16,6	16,6	54,7
104	132	37,7	169,9	21,4	16,4	16,4	54,2
105	133	38	170,7	21	16,3	15,8	53,1
106	133	38,1	171,4	20,7	15,6	15,6	51,9
107	136	38,5	174,7	21	16,1	15,8	52,9
108	138	39,1	174,9	19,8	15,2	15,3	50,3
109	140	39,6	179,3	20,4	15,7	15,5	51,6
110	138	40,2	178,4	19,6	15,1	15,1	49,8
111	140	40,7	180,9	19,7	15,2	15,3	50,2
112	139	41,3	180,3	19,2	15,1	14,2	48,5
113	145	41,8	187,2	20,4	15,6	15,5	51,5
114	148	41,5	189,7	20,7	15,9	15,7	52,3
115	149	42,1	190,8	20,7	15,9	15,9	52,5
116	150	41,9	191,6	20,8	15,9	15,9	52,6
117	150	42,5	192,7	20,6	15,7	15,6	51,9
118	152	42,4	194,3	20,7	16	15,7	52,4
119	155	42,7	197,2	20,8	16,2	16	53
120	154	43,3	197,3	18,6	17,6	15,5	51,7
121	159	44,8	203,5	21,5	16,7	16,4	54,6
122	155	44,2	199,5	18,6	17,6	15,6	51,8
123	157	44	200,7	19,5	15,8	15,7	51
124	161	41,8	202,9	20,3	15,9	15,2	51,4
125	159	45,1	204,3	20	15,5	15,5	51
126	160	44,9	204,6	19,9	15,7	15,5	51,1
127	164	45,1	209,1	20,3	15,9	16,2	52,4
128	164	45,2	209,4	20,1	15,2	15,2	50,5
129	167	45,1	212	20,4	15,7	15,6	51,7
130	171	45,1	215,7	20,4	15,8	15,6	51,8
131	172	46,9	219,2	20,4	15,8	15,7	51,9
132	174	45,2	219,3	20,5	15,8	15,7	52
132,8	174	46,2	220,3	20,5	15,8	15,7	52
máx	174	46,9	220,3	22,3	17,8	16,9	56,3
%	79	21,29	100	39,61	31,62	30,02	100

ANEXO B – Resultados do ensaio II

Tabelas B 1 - Resultados das análises de Laboratório – ensaio II.

Ensaio II Data: 06/08/2001								
Parâmetros	amostras 00h				amostras 06h			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,054	0,007	-	-	-	-	-	-
PZ (mV)	-22,6	-8,2	-	-	-	-	-	-
COD (mgC/L)	1,471	1,135	-	-	-	-	-	-
CA (uH)	177	-	-	-	141	-	-	-
CV (uH)	65	-	-	-	58	-	-	-
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-

Parâmetros	amostras 12h				amostras 18h			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	-	-	0,055	0,009	0,009	0,005
PZ (mV)	-	-	-	-	-22,9	-5	-	-
COD (mgC/L)	-	-	-	-	1,473	1,015	0,66	0,573
CA (uH)	133	-	-	-	133	-	-	-
CV (uH)	59	-	-	-	65	-	-	-
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-

Parâmetros	amostras 24h				amostras 30h			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,056	0,01	0,009	0,006	-	-	-	-
PZ (mV)	-21,5	-5	-	-	-	-	-	-
COD (mgC/L)	1,359	1,673	0,642	0,6	-	-	-	-
CA (uH)	127	-	-	-	120	-	-	-
CV (uH)	56	-	-	-	44	-	-	-
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-

Parâmetros	amostras 36h				amostras 48h			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,054	0,013	0,008	0,006	0,054	0,009	0,007	0,006
PZ (mV)	-21,7	-4,2	-	-	-16,9	-2,4	-	-
COD (mgC/L)	1,389	1,545	0,604	0,633	1,594	0,883	0,588	0,602
CA (uH)	118	-	-	-	115	-	-	-
CV (uH)	42	-	-	-	42	-	-	-
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelas B 2 - Distribuição de partículas – ensaio II.

ensaio II 0 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4700,3	27,7	3051,5	18,3				
4-6	3503,1	20,6	2788,1	16,7				
6-12	4559,8	26,9	5387,3	32,3				
12-24	3326,7	19,6	4511,3	27,1				
>24	881,47	5,2	918,93	5,5				
Total	16971,37	100,0	16657,13	100,0				
ensaio II 13 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	5625,7	32,2	2792,7	17,6				
4-6	4516,3	25,8	2670,2	16,8				
6-12	5165,13	29,5	5353	33,7				
12-24	1821,4	10,4	4081,6	25,7				
>24	366,53	2,1	971,73	6,1				
Total	17495,06	100,0	15869,23	100,0				
ensaio II 18 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4361,7	42,3	2590,4	22,2	43,2	27,5	51,333	34,2
4-6	2407,5	23,4	2154,4	18,4	29,267	18,7	35,667	23,7
6-12	2227,23	21,6	3653,37	31,3	30,267	19,3	41,067	27,3
12-24	1039,93	10,1	2571,3	22,0	22,8	14,5	17,6	11,7
>24	268,53	2,6	719,67	6,2	31,333	20,0	4,6	3,1
Total	10304,89	100,0	11689,14	100,0	156,867	100,0	150,267	100,0
ensaio II 24 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	3747,3	45,2	2426,5	23,7	14,533	18,8	42,333	37,2
4-6	1881,3	22,7	1948,1	19,1	10	13,0	24,067	21,2
6-12	1682,47	20,3	3197,33	31,3	9,4	12,2	22,734	20,0
12-24	784	9,5	2110,7	20,6	12,2	15,8	13,8	12,1
>24	200,8	2,4	542,53	5,3	31,067	40,2	10,733	9,4
Total	8295,87	100,0	10225,16	100,0	77,2	100,0	113,667	100,0
ensaio II 36 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4972	48,2	2980,9	26,4	325,13	81,0	41,667	40,7
4-6	2606,1	25,3	2424,2	21,5	47,933	11,9	21,133	20,7
6-12	1997,37	19,4	3671,8	32,6	9,467	2,4	21,067	20,6
12-24	644,87	6,2	1876,67	16,6	9,467	2,4	10,467	10,2
>24	98,933	1,0	320,07	2,8	9,267	2,3	8	7,8
Total	10319,27	100,0	11273,64	100,0	401,264	100,0	102,334	100,0
ensaio II 48 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4775,4	40,7	3088,5	25,2	77,8	34,6	70,2	41,1
4-6	3102,6	26,4	2800,2	22,8	50	22,2	39,267	23,0
6-12	2928,56	25,0	4398,73	35,8	29,533	13,1	27,467	16,1
12-24	787,34	6,7	1772,06	14,4	20,467	9,1	10,867	6,4
>24	139,8	1,2	219,6	1,8	47,333	21,0	22,933	13,4
Total	11733,7	100,0	12279,09	100,0	225,133	100,0	170,734	100,0

Tabela B 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio II.

Hora	TF (h)	Turb água bruta	pH _{ab}	pH _{sc}	temp	Turpl eff FAAG	Térf eff FRD	Vazão FAAG	Tx FAAG m3/m2 d	vazão FRD	Tx FRD m3/m2 d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
												P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
23 10	0,20	20,9	-	-	18,5	1,31	0,194	-	-	-	-	45,2	60,2	60,8	-	-	-	-
23 20	0,33	16,96	-	-	-	0,446	0,158	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 30	0,50	17	-	-	-	0,768	0,152	-	-	-	-	45,3	60,6	61,5	12,9	42,4	68,3	62,3
23 45	0,75	16,8	-	-	-	0,701	0,114	-	-	-	-	45,3	61	62,2	12,9	42,2	68,1	62,9
00 00	1,00	16,1	6,59	6,48	18,5	0,55	0,075	104,3	160,3	87	314,1	45,3	61,8	63,3	12,9	42	67,8	94
01 00	2,00	16,5	-	-	18,5	0,49	0,06	104,7	160,9	85	308,9	45,3	63,7	65,8	12,9	41,8	67,5	65,4
02 00	3,00	15,6	6,6	6,48	18,5	0,568	0,054	104,7	160,9	85	308,9	45,3	64,7	67,4	12,9	41,4	67,2	95
03 00	4,00	15,46	6,69	6,68	18,5	0,28	0,048	105,2	161,7	85	308,9	45,3	66,1	69,5	12,9	41,1	66,8	96,2
04 00	5,00	15,19	6,9	6,53	18,5	0,243	0,044	103,7	159,4	85	308,9	45,3	67,8	72,1	12,9	41	66,2	96,8
05 00	6,00	14,87	6,63	6,68	18	0,221	0,042	101	155,2	82	296,0	45,3	69,5	74,8	12,9	40,7	65,9	97
06 00	7,00	14,8	7	6,7	18	0,233	0,042	100,9	155,1	85	308,9	45,3	70,9	76,9	12,9	40,4	65,5	97
07 00	8,00	14,62	6,77	6,42	18	0,231	0,041	103,8	159,5	85	308,9	45,3	73,8	80,4	12,9	41,7	67,8	101,3
08 00	9,00	14,8	6,68	6,51	18	0,184	0,039	104,2	160,2	86	310,5	45,3	75,7	83,3	12,9	42,2	68,4	102,9
09 00	10,00	14,01	-	-	18	0,179	0,039	104,2	160,2	86	310,5	45,3	77,8	86	12,9	42,2	68,5	103,5
10 00	11,00	13,8	6,96	6,78	18	0,183	0,038	104,2	160,2	86	310,5	45,3	79,6	88,6	12,9	41,8	68,1	103,5
11 00	12,00	13,58	-	-	18,5	0,181	0,037	104	159,8	85	308,9	45,3	80,4	91,1	12,9	41,1	66,7	101,8
12 00	13,00	13,58	7,11	6,68	18,5	0,182	0,038	105,6	162,3	87	314,1	45,3	83,7	84,1	12,9	41,4	67,3	103,2
13 00	14,00	13,6	7,01	6,71	18,5	0,364	0,039	104,5	160,6	87	314,1	45,3	87,1	98,7	12,9	40,5	66,1	103
14 00	15,00	14,06	6,65	6,69	19	0,443	0,038	103,2	158,6	86	310,5	45,3	89,5	101,9	12,9	39,9	64,5	103,6
15 00	16,00	14,2	-	-	19	0,497	0,037	104,4	160,5	87	314,1	45,3	93,5	107	12,9	40,7	66,2	110
16 00	17,00	14	6,93	6,57	19	0,496	0,037	104,9	161,2	88	310,5	45,3	97,2	111,7	12,9	40,5	66,1	113,1
17 00	18,00	-	-	-	19	0,274	0,033	107,8	165,4	85	308,9	45,3	101	116,8	13	41,4	67,8	119
18 00	19,00	13,4	6,66	6,68	19	0,24	0,033	107	164,5	85	308,9	45,3	103,7	119,3	13	41,6	68,2	120
19 00	20,00	13,4	-	-	19	0,357	0,035	104	159,8	85	308,9	45,3	105,5	122	12,9	40	65,6	116,2
20 00	21,00	13,4	6,94	6,63	19	0,36	0,035	98,9	152,0	80	288,8	45,3	107,7	124,8	12,9	39,4	64,1	117
21 00	22,00	13,54	-	-	18,8	0,315	0,033	97,6	150,0	80	288,8	45,3	110,2	128,3	12,9	38,5	62,6	116,8
22 00	23,00	13,29	6,9	6,71	18,5	0,363	0,033	102,4	157,4	82	296,0	45,3	116,2	135,4	12,9	50,2	65,8	124,8
23 00	24,00	12,8	-	-	18,5	0,288	0,033	103,3	158,8	83	299,6	45,3	119,9	139,5	12,8	40,5	66,5	127,2
00 00	25,00	12,74	6,92	6,72	18,5	0,3	0,034	106,3	163,4	87	314,1	45,3	124,7	145,3	12,9	41,6	68,6	133,2
01 00	26,00	12,63	-	-	18,5	0,247	0,034	105,1	161,5	87	314,1	45,1	128,3	149,7	12,9	42	69,3	136,2
02 00	27,00	12,48	6,91	6,64	18,4	0,225	0,033	106,5	163,7	87	314,1	45,1	131,2	153,6	12,9	41,9	69,2	136,8
03 00	28,00	12,37	-	-	18,4	0,223	0,033	103,4	158,9	83	299,6	45,1	133,5	156,2	12,9	40,9	67,4	134,4
04 00	29,00	12,25	6,89	6,69	18,5	0,215	0,033	105	161,4	83	299,6	45,1	137	160,4	12,9	40,5	66,8	134
05 00	30,00	12,16	-	-	18,5	0,192	0,033	103,3	158,8	82	296,0	45,2	139,9	164,1	12,9	40,2	66,2	134,3
06 00	31,00	12,03	6,91	6,65	18,5	0,186	0,033	103,2	158,6	80	288,8	45,1	145	170	12,9	41,3	68,3	139,2
07 00	32,00	11,92	-	-	18,5	0,174	0,033	103,9	159,7	82	296,0	45,1	148	173,4	12,9	40,8	67,2	137,8
08 00	33,00	11,89	6,97	6,65	18,5	0,159	0,033	100,2	154,0	80	288,8	45,1	150,6	176,8	12,9	40,4	66,5	136,5
09 00	34,00	11,78	-	-	18	0,148	0,033	110,9	170,5	80	288,8	45,1	156,5	183,8	12,9	44,2	74,9	150,2
10 00	35,00	11,62	6,94	6,7	18	0,137	0,033	105	161,4	80	288,8	45,1	158,4	185,3	12,8	38,5	62,0	128,5
11 00	36,00	11,61	-	-	18	0,148	0,033	102	156,6	77	278,0	45,1	161,5	189,5	12,9	40,8	67,2	138,5
12 00	37,00	11,59	6,99	6,61	18	0,131	0,033	104,6	160,6	80	288,8	45,1	166,5	195	12,9	40,4	66,9	138,3
13 00	38,00	11,42	-	-	17,5	0,113	0,033	104,4	160,5	83	317,7	45,1	170	199,5	12,9	41	68	141
14 00	39,00	13,65	6,8	6,58	17,9	0,112	0,033	101,2	155,5	82	296,0	45,1	170,5	203,6	12,9	41,5	68,8	143
15 00	40,00	13,65	6,88	6,64	17,8	0,174	0,033	99,1	152,3	80	288,8	45,1	175,8	207	12,8	40,7	67,2	141,1
16 00	41,00	13,92	6,98	6,65	18	0,158	0,034	103,8	159,5	90	324,9	45,1	186,5	218,5	12,8	44,4	74,3	158,7
17 00	42,00	13,24	6,99	6,71	18	0,181	0,034	108,2	166,3	89	321,3	45,1	88,5	219,9	12,9	43,9	73,8	158
18 00	43,00	13,05	-	-	18	0,117	0,033	104,9	161,2	86	310,5	45,1	60,3	223	12,9	43	72	154
19 00	44,00	12,96	6,94	6,64	18	0,101	0,033	103,6	159,2	86	310,5	45,1	192,1	226,1	12,9	42,5	70,6	150,9
20 00	45,00	12,86	-	-	18	0,093	0,032	102,2	157,1	83	299,6	45,1	194,8	229,5	12,9	42	69,8	149
21 00	46,00	12,65	6,94	6,67	17,9	0,09	0,032	102,6	157,7	83	299,6	45,1	199	234,2	12,9	41,4	69,7	149
22 00	47,00	12,36	-	-	17,5	0,087	0,032	104,1	160,0	85	308,9	45,1	202,8	238,4	12,9	42,5	71	151,5
23 00	48,00	12,11	6,96	6,73	17,5	0,08	0,032	102,1	156,9	84	303,2	45,1	205	240,9	12,9	42	70	148,3
00 00	49,00	11,92	6,98	6,68	-	0,066	0,032	102,6	157,7	84	303,2	45,2	207	243,5	12,9	41,5	68,8	146
01 00	50,00	11,73	-	-	-	0,067	0,032	99,2	152,5	80	288,8	45,2	208,2	245	12,9	41	67,5	143
02 00	51,00	11,58	6,94	6,68	17,5	0,068	0,032	104,7	160,9	85	308,9	45,2	218,6	254,8	12,9	43	72,1	153
03 00	52,00	11,48	-	-	17,5	0,066	0,032	104,7	160,9	85	308,9	45,2	219,5	259,8	12,9	43,2	72,2	153,1
04 00	53,00	11,42	-	-	17,5	0,061	0,032	106	162,9	87,5	315,9	45,2	223	263,1	12,9	43,9	73,3	155,4
05 00	54,00	11,37	-	-	17	0,057	0,032	108	162,9	87,5	315,9	45,2	225,9	266,1	12,9	44,1	74	158,4

Tabela B4 – Perda de carga no meio granular – ensaio II.

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P4	P4-P3	P4-P1
0,20	15	0,9	15,6	-	-	-	-
0,33	-	1,2	-	-	-	-	-
0,50	15,3	1,5	16,2	29,5	24	24	79,4
0,75	15,7	2,1	16,9	29,3	24,8	24,8	80
1,00	16,5	2,7	18	29,1	26,2	26,2	81,1
2,00	18,4	3,4	20,5	28,9	27,9	27,9	82,5
3,00	19,4	4,3	22,1	28,5	28,8	28,8	83,1
4,00	20,8	5,3	24,2	28,2	29,4	29,4	83,3
5,00	22,5	6	26,8	28,1	30,6	30,6	83,9
6,00	24,2	6,6	29,5	27,8	31,1	31,1	84,1
7,00	25,6	7,6	31,6	27,5	31,5	31,5	84,1
8,00	28,5	8,2	35,1	28,8	33,5	33,5	88,4
9,00	30,4	9	38	29,3	34,5	34,5	90
10,00	32,5	10,7	40,7	29,3	35	35	90,6
11,00	34,3	0,4	43,3	28,9	35,4	35,4	90,6
12,00	35,1	11,6	45,8	28,2	35,1	35,1	88,9
13,00	38,4	12,4	38,8	28,5	35,9	35,9	90,3
14,00	41,8	13,5	53,4	27,6	36,9	36,9	90,1
15,00	44,2	14,5	56,6	27	39,1	39,1	90,7
16,00	48,2	15,6	61,7	27,8	43,6	43,6	97,1
17,00	51,9	15,6	66,4	27,6	47	47	100,2
18,00	55,7	16,5	71,3	28,4	51,2	51,2	106
19,00	58,4	17,1	74	28,6	51,8	51,8	107
20,00	60,2	18,1	76,7	27,1	50,6	50,6	103,3
21,00	62,4	19,2	79,5	26,5	52,9	52,9	104,1
22,00	64,9	19,6	83	25,6	54,2	54,2	103,9
23,00	70,9	20,6	90,1	37,3	59	59	111,9
24,00	74,6	21,4	94,2	27,7	60,7	60,7	114,4
25,00	79,4	22,4	100	28,7	64,6	64,6	120,3
26,00	83,2	22,7	104,6	29,1	66,9	66,9	123,3

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P4	P4-P3	P4-P1
27,00	86,1	23,4	103,5	29	67,6	67,6	123,9
28,00	88,4	24,2	111,1	28	67	67	121,5
29,00	91,9	25	115,3	27,6	67,2	67,2	121,1
30,00	94,7	25,4	118,9	27,3	68,1	68,1	121,4
31,00	99,9	26,2	124,9	28,4	70,9	70,9	126,3
32,00	102,9	27,3	128,3	27,9	70,6	70,6	124,9
33,00	105,5	26,9	131,7	27,5	70	70	123,6
34,00	111,4	28	138,7	31,3	75,3	75,3	137,3
35,00	113,3	28,5	140,2	25,7	65,6	65,6	115,7
36,00	116,4	29,5	144,4	27,9	71,3	71,3	125,6
37,00	121,4	33,1	149,9	27,5	71,4	71,4	125,4
38,00	124,9	31,2	154,4	28,1	73	73	128,1
39,00	125,4	32	158,5	28,6	74,2	74,2	130,1
40,00	130,7	131,4	161,9	27,9	73,9	73,9	128,3
41,00	141,4	132,7	173,4	31,6	84,4	84,4	145,9
42,00	43,4	34	174,8	31	84,2	84,2	145,1
43,00	45,2	34,7	177,9	30,1	82	82	141,1
44,00	147	35,2	181	29,6	80,3	80,3	138
45,00	149,7	35,6	184,4	29,1	79,2	79,2	136,1
46,00	153,9	35,9	189,1	28,5	79,3	79,3	136,1
47,00	157,7	36,5	193,3	29,6	80,5	80,5	138,6
48,00	159,9	36,8	195,8	29,1	78,3	78,3	135,4
49,00	161,8	38,2	198,3	28,6	77,2	77,2	133,1
50,00	163	40,3	199,8	28,1	75,5	75,5	130,1
51,00	171,4	40,1	209,6	30,1	80,9	80,9	140,1
52,00	174,3	40,2	214,6	30,3	80,9	80,9	140,2
53,00	177,8	40,2	217,9	31	82,1	82,1	142,5
54,00	180,7	0,6	220,9	31,2	82,4	82,4	143,6
máx	180,7	132,7	220,9	37,3	84,4	84,4	145,9
%	81,8	0,3	100,0	21,7	57,4	57,4	100,0

ANEXO C – Resultados do ensaio III

Tabela C 1 – Valores dos resultados das análises de Laboratório – ensaio III.

Ensaio: III Data: 01/06/2001								
Parâmetros	amostras 06h				amostras 36h			
	Ag Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	0,058	0,011	0,009	0,01	0,063	0,013	0,012
PZ (mV)	-	-	-	-	-	-	-	-
COD (mgC/L)	2,134	2,048	0,158	1,682	1,099	2,460	0,714	0,99
CA (uH)	100	-	19	4	113	-	15	2
CV (uH)	50	-	1	0	48	-	0	0
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensaio: III Data: 01/06/2001				
Parâmetros	amostras 06h			
	Ag Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,013	0,078	0,014	0,015
PZ (mV)	-	-	-	-
COD (mgC/L)	2,698	1,868	0,55	0,36
CA (uH)	103	-	11	1
CV (uH)	35	-	0	0
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-

Tabela C 2 – Distribuição de Partículas – ensaio III.

ensaio III 0 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	6062,4	37,1	3914,7	21,5	—	—	—	—
4-6	4659,4	28,5	4043,5	22,2	—	—	—	—
6-12	4664,07	28,5	7564,5	41,6	—	—	—	—
12-24	884,13	5,4	2497,77	13,7	—	—	—	—
>24	78,867	0,5	171,13	0,9	—	—	—	—
Total	16348,87	100,0	18191,6	100,0	—	—	—	—

ensaio III 06 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	5161,7	41,5	1959,3	19,5	561,53	27,7	127	45,2
4-6	3232,8	26,0	1799,5	17,9	688,13	33,9	41,067	14,6
6-12	3059,37	24,6	3563,03	35,5	723,207	35,6	36,067	12,8
12-24	832,6	6,7	2322,9	23,2	24,666	1,28	22,866	8,1
>24	143,87	1,2	388,8	3,9	32,8	1,6	53,867	19,2
Total	12430,34	100,0	10033,53	100,0	2030,333	100	280,867	100

ensaio III 12 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	3900,5	23,5	2005,7	21,3	265,07	70,7	185,53	28,5
4-6	3194,8	19,2	1526,3	16,2	90,467	24,1	172,13	26,4
6-12	4956,5	29,8	2682,9	28,5	7,333	2,0	240,597	37,0
12-24	3266,9	19,6	2135,33	22,7	4,133	1,1	12,4	1,9
>24	1312,9	7,9	1067,1	11,3	7,733	2,1	40,333	6,2
Total	16631,6	100,0	9417,33	100,0	374,736	100,0	650,99	100,0

Tabela C 2 – Distribuição de Partículas (continuação) – ensaio III.

ensaio III 18 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4456,1	40,5	2027,5	22,8	13,4	32,2	10,667	33,8
4-6	2648,1	24,1	1521,7	17,1	8,267	19,9	5,133	22,2
6-12	2549,53	23,2	2501,27	28,1	7,399	17,8	4,4	16,3
12-24	1044,66	9,5	1967	22,1	6,2	14,9	4,334	14,0
>24	304,27	2,8	888,8	10,0	6,333	15,2	7	13,7
Total	11002,66	100,0	8906,27	100,0	41,599	100,0	31,534	100,0
ensaio III 24 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4432,7	43,6	1795,1	24,1	19,867	25,3	70	34,2
4-6	2559,2	25,2	1336,7	17,9	16,4	20,9	42,6	20,8
6-12	2255,7	22,2	2072,27	27,8	16,666	21,2	28,534	13,9
12-24	721	7,1	1546,47	20,7	9,667	12,3	23,6	11,5
>24	197,67	1,9	708,07	9,5	16	20,4	39,867	19,5
Total	10166,27	100,0	7458,61	100,0	78,6	100,0	204,601	100,0
ensaio III 30 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4792,1	46,3	2007	30,9	5,667	28,3	132,73	37,7
4-6	2607,4	25,2	1262,9	19,4	2,933	14,7	73,533	20,9
6-12	2055,77	19,9	1607,33	24,7	1,4	7,0	64,6	18,3
12-24	696,2	6,7	1075	16,6	3,2	16,0	31,133	8,8
>24	200,2	1,9	542,2	8,3	6,8	34,0	50,067	14,2
Total	10351,67	100,0	6494,43	100,0	20	100,0	352,063	100,0
ensaio III 36 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4940,4	41,7	2506,1	25,5	1244,3	40,0	307,07	39,1
4-6	2890,7	24,4	1840,1	18,7	743,73	23,9	189,8	24,2
6-12	2607,3	22,0	2785,3	28,4	822,07	26,4	186,467	23,8
12-24	1049,26	8,9	1873,77	19,1	280,53	9,0	52,667	6,7
>24	366,27	3,1	818,33	8,3	22,267	0,7	48,8	6,2
Total	11853,93	100,0	9823,6	100,0	3112,897	100,0	784,804	100,0
ensaio III 42 h								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	4934,9	40,8	2582,5	24,6	71,6	38,6	62	34,9
4-6	3076,2	25,4	1950	18,5	39,133	21,1	47,667	26,9
6-12	2865,3	23,7	3050,97	29,0	32,2	17,4	38,533	21,7
12-24	950,27	7,9	2060,13	19,6	16,2	8,7	20,2	11,4
>24	272,4	2,3	869,6	8,3	26,4	14,2	9,067	5,1
Total	12099,07	100,0	10513,2	100,0	185,533	100,0	177,467	100,0

Tabela C 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio III.

Hora	TF (h)	Turb água bruta	pH _{ab}	pH _{ac}	temp	Turf eñ. FAAG	pH _{pf}	Turf eñ. FRD	pH _f	Vazão FAAG	Tx FAAG m3/m2 d	vazão FRD	Tx FRD m3/m2 d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
														P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
00:10	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,7	68,8	70,2	-	-	-	-
00:20	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:30	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:45	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,7	69,8	71,5	13,2	37,2	62,1	87,5
01:00	1,00	14,4	7,12	6,61	19,5	0,375	-	0,054	-	160	246,0	77	278,0	45,7	71,3	73,5	13,1	36,7	60,3	85,6
02:00	2,00	13,9	7,12	-	-	0,244	-	0,05	-	157,2	241,7	77	278,0	45,7	74,4	77,4	13,1	36	60	86,3
03:00	3,00	13,3	7,06	6,59	-	0,203	-	0,047	-	159,5	245,2	77	278,0	45,7	77,9	80,4	13,1	36,2	60,6	88,1
04:00	4,00	-	-	-	19,5	0,174	-	0,044	-	158,1	243,1	76	274,4	45,6	79,1	83,6	13	35,9	60,1	87,9
05:00	5,00	13,3	-	-	-	0,139	-	0,043	-	155,4	238,9	78	281,6	-	-	-	-	-	-	-
06:00	6,00	13	-	-	-	0,123	-	0,042	-	153	235,2	78	281,6	45,7	84,5	90,7	13,1	35,2	60,6	89,8
07:00	7,00	13,3	7,15	6,43	19,5	0,111	-	0,041	-	157,9	242,8	79	285,2	45,8	86,4	93	13,1	36,7	61,6	91,6
08:00	8,00	-	-	-	-	0,09	-	0,04	-	157,2	241,7	78	281,6	45,8	89,8	97,3	13	36,3	60,9	90,7
09:00	9,00	12,5	6,95	6,68	19,8	0,08	-	0,034	-	158,7	244,0	78	281,6	45,8	91,6	99,6	13,1	36,3	60,9	90,6
10:00	10,00	-	-	6,66	-	0,069	-	0,037	-	159,9	245,8	84	303,2	45,8	97	105,2	13,1	37,3	62,9	94,9
11:00	11,00	16,8	-	-	-	0,068	-	0,037	-	160,7	247,1	80	288,8	46	100,2	109	13,1	36,7	68	90,6
12:00	12,00	17,9	-	6,59	19,9	0,094	-	0,038	-	160,3	246,5	81	292,4	46	103,5	114	13,1	36,8	61,9	92,6
13:00	13,00	15,6	-	-	-	0,103	-	0,037	-	159,8	245,7	80	288,8	48	107,8	119,3	13,1	36,2	60,9	91,5
14:00	14,00	18,9	6,96	6,61	20	0,106	-	0,036	-	159,8	245,7	78	281,6	45,9	111,8	124,2	13,1	35,9	60	90,3
15:00	15,00	15,11	-	-	-	0,107	-	0,035	-	158,1	243,1	79	285,2	45,9	115	127,9	13,1	35,8	60,1	90,8
16:00	16,00	14,7	6,96	6,7	-	0,095	-	0,035	-	158,5	243,7	79	285,2	45,9	119,5	133,3	13,1	35,8	60,2	91,5
17:00	17,00	14,32	6,96	6,73	-	0,108	-	0,035	-	158,8	244,2	79	285,2	45,9	124,3	139,1	13,1	36	60,5	92,1
18:00	18,00	14,5	-	-	-	0,127	-	0,037	-	162,8	250,3	84	303,2	45,8	129	144,5	13,1	37	62,8	98,4
19:00	19,00	14,7	7,01	6,81	20	0,139	-	0,03	-	160	246,0	87	314,1	45,8	135,3	151,2	13,1	36,9	62,7	95,8
20:00	20,00	-	-	-	-	0,138	-	0,03	-	157,2	241,7	79	285,2	45,8	135,4	155,4	13	36,2	61,3	95
21:00	21,00	14,6	6,99	6,74	19,5	0,124	-	0,03	-	154	236,8	78	281,6	45,8	142,3	160,2	13	35,8	60,3	93,7
22:00	22,00	-	-	-	-	0,112	-	0,029	-	156,6	240,8	76	274,4	45,8	145,8	164,5	13	35,8	60,3	93,8
23:00	23,00	14,2	7,01	6,76	19,5	0,1010	-	0,029	-	151,7	233,2	75	270,8	45,8	149,8	169	12,9	33,5	55,6	86
00:00	24,00	-	-	-	-	0,091	-	0,038	-	152,5	234,5	72	259,9	45,7	152,5	172	12,9	34,5	58	90,4
01:00	25,00	13,7	7,03	6,8	19,2	0,086	-	0,029	-	150,8	231,9	72	259,9	45,7	156,4	177,2	12,9	34,4	57,6	90
02:00	26,00	-	-	-	-	0,081	-	0,028	-	150,4	231,2	72	259,9	45,7	161,3	182,2	12,9	34,4	57,6	90
03:00	27,00	12	6,89	6,56	19,2	0,078	-	0,029	-	155,5	239,1	77	278,0	45,7	169	190,9	12,9	36,4	61,7	96,5
04:00	28,00	-	-	-	-	0,076	-	0,032	-	158,2	243,2	79	285,2	45,7	174,4	196,7	12,9	36,7	62,3	97,8
05:00	29,00	-	7	6,77	19,1	0,071	-	0,032	-	158,9	244,3	80	288,8	45,7	181,3	204	12,9	37,1	63,1	99,2
06:00	30,00	-	7,01	6,76	-	0,07	-	0,031	-	160,1	245,1	80	288,8	45,7	184,8	208,3	12,9	37	63	98,9
07:00	31,00	-	-	-	-	0,079	-	0,031	-	160,3	246,5	80	288,8	45,7	188,4	212,5	12,9	37	63	98,8
08:00	32,00	12,6	-	-	-	0,182	-	0,031	-	158,3	243,4	77	278,0	45,7	191,4	216,1	12,9	36,7	62,2	98
09:00	33,00	-	6,96	6,79	-	0,431	-	0,03	-	157,8	242,6	78	281,6	45,7	195,2	220,7	12,9	35,8	60,5	97,2
10:00	34,00	15,6	-	-	-	1,455	-	0,029	-	157,1	241,5	76	274,4	45	199,2	225	12,9	35	58,9	98
11:00	35,00	-	6,99	6,66	20	2,041	-	0,029	-	148,9	228,9	79	285,2	45,9	204,3	231,4	13	35,8	60,5	108,2
12:00	36,00	14	-	-	-	2,488	-	0,029	-	154,5	237,5	80	288,8	45,8	209,3	237,1	13,1	36,9	62,5	119
13:00	37,00	-	-	-	20	2,636	-	0,028	-	155,9	239,7	79	285,2	45,9	214,4	243	13	36,2	61,1	124
14:00	38,00	13,7	6,68	6,56	21	3,054	-	0,028	-	149,9	230,6	70	252,7	45,9	219,5	249	13	36,5	62,8	134,6
15:00	39,00	-	6,85	6,63	-	3,578	-	0,027	-	154,6	237,7	79	285,2	45,9	228,6	259	12,9	35,3	59,7	143,5
16:00	40,00	-	-	-	-	3,469	-	0,027	-	154,6	237,7	80	288,8	45,9	233,8	265	12,9	36,2	60,3	144,1
16:05	40,08	-	-	-	-	3,369	-	0,027	-	154,6	237,7	80	288,8	45,8	234,7	265,7	-	-	-	-
17:00	41,00	-	6,92	-	-	1,258	-	0,029	-	156,1	240,0	80	288,8	45,8	71,5	73,5	12,9	34,1	57,2	185
18:00	42,00	12,9	-	-	-	1,081	-	0,032	-	155	238,3	74	267,1	45,8	73,5	75,8	12,9	34,8	68,5	200
19:00	43,00	-	-	-	-	1,039	-	0,033	-	145,3	223,4	73	263,5	45,8	76,9	80,1	12,8	34	57	209,8
20:00	44,00	13,4	6,97	6,68	19,9	1,129	-	0,034	-	152,4	234,3	70	252,7	45,7	79,7	83,8	12,8	33,3	55,8	220,1
21:00	45,00	12,8	-	-	-	0,669	-	0,029	-	152,4	234,3	70	252,7	-	-	-	12,8	34	56,7	223

Tabela C 4 – Perda de carga no meio granular – ensaio III.

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	23,1	1,4	24,5	18,6	20	19,4	58
1	25,6	2,2	27,8	23,6	23,6	25,3	72,5
2	28,7	3	31,7	22,9	24	26,3	73,2
3	32,2	2,5	34,7	23,1	24,4	27,5	75
4	33,5	4,5	38	22,9	24,2	27,8	74,9
5	36,2	5,35	41,5	22,5	24,8	28,5	75,8
6	38,8	6,2	45	22,1	25,4	29,2	76,7
7	40,6	6,6	47,2	23,6	24,9	30	78,5
8	44	7,5	51,5	23,3	24,6	29,8	77,7
9	45,8	8	53,8	23,2	24,6	29,7	77,5
10	51,2	8,2	59,4	24,2	25,6	32	81,8
11	54,2	8,8	63	23,6	31,3	22,6	77,5
12	57,5	10,5	68	23,7	25,1	30,7	79,5
13	61,8	11,5	73,3	23,1	24,7	30,6	78,4
14	65,9	12,4	78,3	22,8	24,1	30,3	77,2
15	69,1	12,9	82	22,7	24,3	30,7	77,7
16	73,6	13,8	87,4	22,7	24,4	31,3	78,4
17	78,4	14,8	93,2	22,9	24,5	31,6	79
18	83,2	15,5	98,7	23,9	25,8	33,6	83,3
19	89,5	15,9	105,4	23,8	25,8	33,1	82,7
20	89,6	20	109,6	23,2	25,1	33,7	82
21	96,5	17,9	114,4	22,8	24,5	33,4	80,7
22	100	18,7	118,7	22,8	24,5	33,5	80,8

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
23	104	19,2	123,2	20,6	22,1	30,4	73,1
24	106,8	19,5	126,3	21,6	23,5	32,4	77,5
25	110,7	20,8	131,5	21,5	23,2	32,4	77,1
26	115,6	20,9	136,5	21,5	23,2	32,4	77,1
27	123,3	21,9	145,2	23,5	25,3	34,8	83,6
28	128,7	22,3	151	23,8	25,6	35,5	84,9
29	135,6	22,7	158,3	24,2	26	36,1	86,3
30	139,1	23,5	162,6	24,1	26	35,9	86
31	142,7	24,1	166,8	24,1	26	35,8	85,9
32	145,7	24,7	170,4	23,8	25,5	35,8	85,1
33	149,5	25,5	175	22,9	24,7	36,7	84,3
34	154,2	25,8	180	22,1	23,9	39,1	85,1
35	158,4	27,1	185,5	22,8	24,7	47,7	95,2
36	163,5	27,8	191,3	23,8	25,6	56,5	105,9
37	168,5	28,6	197,1	23,2	24,9	62,9	111
38	173,6	29,5	203,1	23,5	26,3	71,8	121,6
39	182,7	30,4	213,1	22,4	24,4	83,8	130,6
40	188,9	31	219,9	21,8	23,75	105,8	151,4
41	25,7	2	27,7	21,2	23,1	127,8	172,1
42	27,7	2,3	30	21,9	33,7	131,5	187,1
43	31,1	3,2	34,3	21,2	23	152,8	197
44	34	4,1	38,1	20,5	22,5	164,3	207,3
45	38	5	43	21,2	22,7	166,3	210,2
máx	188,9	31	219,9	24,2	33,7	166,3	210,2
%	85,903	14,097	100	11,513	16,03	79,12	100

ANEXO D – Resultados do ensaio IV

Tabela D 1 - Valores dos resultados das análises de Laboratório – ensaio IV.

Ensaio: IV Data: 23/08/2001								
Parâmetros	amostras 00h				amostras 06h			
	Ag Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag.Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,046	0,008	-	-	0,044	0,011	0,014	0,012
PZ (mV)	-22,1	-0,156	-	-	-21,4	-0,9	-2,1	-2,2
COD (mgC/L)	0,728	0,513	-	-	1,044	0,528	1,759	2,023
CA (uH)	119	-	-	-	114	-	13	0
CV (uH)	51	-	-	-	42	-	0	0
ColTot (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela D 2 - Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio IV.

Hora	TF (h)	Turb. água bruta	pH a b	pH a c	tem p	Turb. efl. FAAG	pH p f	Turb. efl. FRD	pH f	Vazão FAAG m³/m².d	Tx FAAG m³/m².d	Vazão FRD	Tx FRD m³/m².d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
														P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
22:10	0,20	-	-	-	-	1,113	-	0,44	-	-	-	-	-	45,4	68,5	69,6	-	-	-	-
22:20	0,33	-	-	-	-	2,823	-	0,171	-	-	-	-	-	45,4	68,8	70,9	-	-	-	-
22:30	0,50	-	-	-	-	3,156	-	0,183	-	-	-	-	-	45,4	71	72,2	13,4	56,2	91,6	127,3
22:40	0,67	-	-	-	-	3,246	-	0,193	-	-	-	-	-	45,5	71,5	72,9	13,4	56,4	91,1	132,2
22:50	0,83	-	-	-	-	3,249	-	0,201	-	-	-	-	-	45,5	72,1	73,5	13,4	57	93,8	136,6
23:00	1,00	-	-	-	-	3,721	-	0,212	-	156,3	240,3	115	415,2	45,5	72,5	74	13,4	57,2	94,3	142
00:00	2,00	13,42	6,93	6,17	17,2	3,01	-	0,19	-	155,8	239,5	115	415,2	45,5	76,2	78	13,4	57,5	97,6	170
01:00	3,00	13,15	7,1	6,19	17	2,653	-	0,177	-	154,8	238,0	115	415,2	45,6	79,5	81,8	13,4	58	99,6	198,2
02:00	4,00	12,9	-	-	16,9	2,609	-	0,16	-	155,7	239,4	116	418,8	45,6	83,1	85	13,4	58,9	102,7	222
02:25	4,42	-	-	-	-	2,444	-	0,18	-	155,8	239,5	116	418,8	45,6	84,8	87,2	13,4	59,2	103,1	223,4
03:00	5,00	12,71	6,65	6,65	16,9	2,359	-	0,355	-	155,8	239,5	117	422,4	45,6	85,1	89,7	13,4	57	93,7	128,7
04:00	6,00	12,57	6,68	6,68	16,9	2,213	-	0,268	-	156,9	241,2	117	422,4	45,6	91,2	95,2	13,4	58,9	99,3	152,2
05:00	7,00	12,38	6,87	6,65	16,8	1,977	-	0,181	-	160	248,0	116	418,8	45,6	95	99,7	13,4	59,4	101,4	169
06:00	8,00	12,16	-	-	16,8	1,835	-	0,145	-	158,3	243,4	113	407,9	45,6	98,7	104	13,4	58	101,3	183,8
07:00	9,00	12,02	6,91	6,83	16,8	1,769	-	0,131	-	152	233,7	116	418,8	45,6	101,7	108,5	13,2	57,8	100,9	195,2
08:00	10,00	11,99	6,92	6,72	17	2,331	-	0,191	-	153,5	236,0	116	418,8	45,5	107	113,8	13,3	58,7	103,3	217,5
08:35	10,45	-	-	-	17,5	2,497	-	0,224	-	151,7	233,2	116	418,8	45,4	107,8	114,7	13,4	58,7	103,8	223,4

Tabela D3 – Perda de carga no meio granular – ensaio IV.

TF (h)	FAAG				FRD		
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0,20	23,1	1,1	24,2	-	-	-	-
0,33	24,4	1,1	25,5	-	-	-	-
0,50	25,6	1,2	26,8	42,8	35,4	35,7	113,9
0,67	26	1,4	27,4	43	34,7	41,1	118,8
0,83	26,6	1,4	28	43,6	36,8	42,8	123,2
1,00	27	1,5	28,5	43,8	37,1	47,7	128,6
2,00	30,7	1,8	32,5	44,1	40,1	72,4	156,6
3,00	33,9	2,3	36,2	44,6	41,6	98,6	184,8
4,00	37,5	2,9	40,4	45,5	43,8	119,3	208,6
4,42	38,9	2,7	41,6	46,8	42,9	120,3	210
5,00	40,5	3,6	44,1	43,6	36,7	35	115,3
6,00	45,6	4	49,6	45,5	40,4	52,9	138,8
7,00	49,4	4,7	54,1	46	42	67,6	155,6
8,00	53,1	5,3	58,4	44,6	43,3	82,5	170,4
9,00	56,1	6,8	62,9	44,6	43,1	94,3	182
10,00	61,5	6,8	68,3	45,4	44,6	114,2	204,2
10,60	62,4	6,9	69,3	45,3	45,1	119,6	210
máx	62,4	6,9	69,3	46,8	45,1	120,3	210
%	90,0	10,0	100,0	22,3	21,5	67,3	100,0

ANEXO E – Resultados do ensaio V

Tabela E 1 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio V.

Hora	TF (h)	Turb água bruta	pH _{ab}	pH _{ac}	temp	Turpf eff FAAG	pH _{pf}	Turfr eff FRD	pH _f	Vazão FAAG m³/m².d	Tx FAAG m³/m².d	vazão FRD m³/m².d	Tx FRD m³/m².d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
														P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
23:00	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:15	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,8	66,8	69,8	13,5	53,2	64,1	113
00:00	1,0	12,93	-	-	18	0,765	-	0,07	-	240,7	370,0	90	324,9	45,8	92,3	96,4	13,2	47,1	73,5	101,6
00:30	2,0	-	-	-	-	0,66	-	-	-	240,8	370,1	90	324,9	-	-	-	-	-	-	-
01:00	3,0	12,8	6,8	6,65	18	0,639	-	0,059	-	236,8	364,0	90	324,9	45,8	99,5	105	13,2	46,5	72,7	104,5
02:00	4,0	12,73	-	-	-	0,554	-	0,053	-	237,3	364,8	88	317,7	45,8	103,5	109,9	13,2	46,8	73,2	107,2
03:00	5,0	12,44	6,9	6,74	-	0,34	-	0,043	-	239,7	368,5	88	317,7	45,8	111,5	119,7	13,2	46,6	73,2	109,8
04:00	6,0	-	-	-	-	0,214	-	0,04	-	239,7	368,5	88	317,7	45,8	113,1	129,2	13,2	46,2	72,6	110,8
05:00	7,0	12,23	6,97	6,77	18	0,252	-	0,038	-	236,4	363,4	88	317,7	45,8	122,4	133,4	13,2	45,3	72,7	111,5
06:00	8,0	12,12	-	-	18	0,231	-	0,038	-	236,4	363,4	88	317,7	45,8	126,8	138,7	13,2	46,4	72,8	112
07:00	9,0	11,99	6,95	6,8	17,5	0,165	-	0,036	-	236,2	363,1	88	317,7	45,8	134,8	148	13,2	46	72,8	113
08:00	10,0	11,96	-	-	-	0,176	-	0,036	-	238,2	366,1	87	314,1	45,8	139,8	154	13,2	46,1	72,8	113
09:00	11,0	11,77	6,89	6,69	18	0,153	-	0,035	-	233,1	358,3	87	314,1	45,8	146,5	162	13,2	46,1	72,8	113,1
10:00	12,0	14,14	-	-	18,5	0,159	-	0,035	-	233	358,2	87	314,1	45,8	152,4	168,7	13,2	45,5	71,4	112
11:00	13,0	15,63	6,87	6,79	19	0,239	-	0,032	-	234,9	361,1	88	310,5	45,8	160,3	177,6	13,2	45,6	71,9	114,8
12:00	14,0	16,36	-	-	19	0,199	-	0,034	-	234,9	361,1	88	310,5	46	167	165,3	13,2	46,4	72,3	115,1
13:00	15,0	19,7	6,88	6,67	19	0,19	-	0,032	-	235	361,2	87	314,1	46	175,8	195,4	13,2	46,6	72,5	116,5
14:00	16,0	15,93	6,88	6,73	19	0,206	-	0,032	-	236,3	363,2	89	321,3	46	179,9	200,1	13,2	46,7	72,6	117,5
15:00	17,0	14,85	-	-	19	0,322	-	0,031	-	237	364,3	89	321,3	46	187,3	208,8	13,2	46,7	72,6	118,1
16:00	18,0	14,34	-	-	19	0,9	-	0,03	-	234,4	360,3	89	321,3	46	201	224,1	13,2	45,2	71,5	120,1
17:00	19,0	14,1	7,1	6,71	19,5	1,416	-	0,032	-	233,9	359,5	88	310,5	46	205,7	229,4	13,2	44,8	70,4	121,2
18:00	20,0	13,84	-	6,67	19	2,522	-	0,031	-	240,5	369,7	88	317,7	46	218,6	243,7	13,1	45,6	72,5	133,3
19:00	21,0	13,87	-	-	19	2,681	-	0,031	-	240,5	369,7	89	321,3	46	223,1	249,2	13,1	46,1	73,2	137,6
20:00	22,0	13,44	6,98	6,21	19	3,321	-	0,03	-	231,5	355,8	89	321,3	46	232	259,2	13,1	45,8	73,1	148
21:00	23,0	-	-	-	19	3,775	-	0,03	-	231,5	355,8	89	321,3	46	237,3	265,1	13,1	46,1	73,9	154,4
21:10	23,2	-	-	-	-	4,029	-	0,029	-	231,5	355,8	89	321,3	46	238,2	266	13,1	46,3	74,3	157,1

Tabela E2 – Perda de carga no meio granular – ensaio V.

TF(h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P2	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0,0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	41	3	44	30,9	30,9	28,9	99,5
1,0	46,5	4,1	50,6	26,4	26,4	28,1	88,4
2,0	0	0	0	0	0	0	0
3,0	53,7	5,5	59,2	26,2	26,2	31,8	91,3
4,0	57,7	6,4	64,1	26,4	26,4	34	94
5,0	65,7	8,2	73,9	26,6	26,6	36,6	96,6
6,0	67,3	16,1	83,4	26,4	26,4	38,2	97,6
7,0	76,6	11	87,6	26,4	26,4	38,8	98,3
8,0	81	11,9	92,9	26,4	26,4	39,2	98,8
9,0	89	13,2	102,2	26,8	26,8	40,2	99,8
10,0	94	14,2	108,2	26,7	26,7	40,2	99,8
11,0	100,7	15,5	116,2	26,7	26,7	40,3	99,9
12,0	106,6	16,3	122,9	25,9	25,9	40,6	98,8
13,0	114,5	17,5	132	26,3	26,3	42,9	101,6
14,0	121	18,3	139,3	25,9	25,9	42,8	101,9
15,0	129,8	19,6	149,4	25,9	25,9	44	103,3
16,0	133,9	20,2	154,1	25,9	25,9	44,9	104,3
17,0	141,3	21,5	162,8	25,9	25,9	45,5	104,9
18,0	155	23,1	178,1	26,3	26,3	48,6	106,9
19,0	159,7	23,7	183,4	25,6	25,6	50,8	108
20,0	172,6	25,1	197,7	26,7	26,7	60,8	120,2
21,0	177,1	26,1	203,2	27,1	27,1	64,4	124,5
22,0	186	27,2	213,2	27,3	27,3	74,9	134,9
23,0	191,3	27,8	219,1	27,8	27,8	80,5	141,3
23,2	192,2	27,8	220	28	28	82,8	144
máx	192,2	27,8	220	30,9	30,9	82,8	144
%	87,4	12,6	100,0	21,5	21,5	57,5	100,0

ANEXO F – Resultados do ensaio VI

Tabela F 1 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio VI.

Hora	TF (h)	Turb	pH _{ab}	pH _{ac}	temp	Turp _{el} FAAG	Turp _{el} FRD	Vazão FAAG	Tx FAAG m ³ /m ² .d	vazão FRD	Tx FRD m ³ /m ² .d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
												P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
23:00	0,00	17,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	0,50	-	6,96	6,55	-	-	0,09	-	-	-	-	45,7	91,4	95,3	13,7	58,8	97,1	127,8
00:00	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,6	93,7	96,4	13,8	59,9	98,9	131,2
01:00	2,00	16,4	-	6,65	-	-	0,09	238,2	366,1	110	397,1	45,6	96,8	101,6	13,8	60	99,5	131,8
02:00	3,00	-	-	6,53	-	0,17	0,09	238,5	366,6	120	433,2	45,6	103,6	109,4	13,8	60,2	100	133
03:00	4,00	-	-	-	16	-	-	238,3	366,3	120	433,2	45,6	110,4	117,1	13,8	60,5	100,4	133,9
04:00	5,00	-	-	6,44	-	0,12	0,08	238,3	366,3	120	433,2	45,6	117,1	124,3	13,5	60,5	100,8	135
05:00	6,00	-	-	-	-	-	-	238,3	366,3	120	433,2	45,6	126,1	134,8	13,5	60,5	100,8	135,8
06:00	7,00	-	-	6,48	16	0,44	0,08	237,8	365,5	120	433,2	45,6	133,1	142,5	13,5	60,5	99,8	136
07:00	8,00	-	-	-	-	2,45	0,07	235,4	361,8	120	433,2	45,6	142,2	152,4	13,5	58,7	98,1	145
08:00	9,00	15,3	6,76	6,56	16	2,91	0,07	236,8	364,0	120	433,2	45,6	148,4	159,4	13,5	58,8	98,6	153,9
09:00	10,00	-	-	6,74	-	-	-	235,9	362,6	120	433,2	45,6	155,2	167,1	13,5	58,5	103,2	167,8
10:00	11,00	14,7	-	6,66	18	4,3	0,06	237,6	365,2	120	433,2	45,6	160,1	173,6	13,5	58,6	110,8	161
11:00	12,00	-	-	-	18	-	-	232,7	357,7	118	429,6	45,6	172,7	186,8	13,5	59,1	116	203,5
12:00	13,00	-	7,5	6,7	17,5	4,4	-	232,7	357,7	118	426,0	45,8	179,1	194	13,5	61,3	121,5	219
12:20	13,33	-	6,74	-	17,5	-	-	232,7	357,7	118	426,0	46	181,8	196,4	13,8	58,8	91,8	228,5
13:00	14,00	-	-	-	-	-	-	232,7	357,7	118	426,0	46	165,5	201,5	13,8	56,7	91,2	127,6
14:00	15,00	15,6	-	-	17,5	5,45	0,09	232,7	357,7	118	426,0	46	194,3	211,3	13,8	59,2	93,1	153
15:00	16,00	-	-	-	17,5	-	-	232,7	357,7	118	426,0	46	202	220	13,8	58,7	94,4	179,4
16:00	17,00	15,7	6,08	-	18	5,56	0,06	229,3	352,5	118	426,0	46	206,4	225,3	13,8	54,4	96,5	197,2
17:00	18,00	-	6,9	6,6	18	-	-	234,2	350,0	120	433,2	46	213,3	232,2	13,8	54,4	100,8	223,5
18:00	19,00	14,4	6,76	6,5	17	5,71	0,07	234,2	350,0	113	407,9	45,9	222,9	244	13,3	61,8	92,6	128
19:00	20,00	-	7,52	6,9	17	-	-	230,5	354,3	113	407,9	45,9	231,4	250,1	13,4	68,1	100,6	160,4
20:00	21,00	14,3	7,52	6,9	17	6,755	0,1	236,2	363,1	120	433,2	46	236,5	259,8	13,4	67,7	106,6	175,3
20:50	21,83	-	-	-	17	-	-	236,2	363,1	120	433,2	46	241,7	265,5	13,5	69,8	113,7	198,4

Tabela F 2 – Perda de carga no meio granular – ensaio VI.

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0,00	45,7	3,9	49,6	46,1	39	32,3	117,4
1,00	48,45	4,35	52,8	46,4	39,8	33	119,2
2,00	51,2	4,8	56	46,7	39,9	33,5	120,1
3,00	58	5,8	63,8	47	40,3	34,2	121,5
4,00	64,8	6,7	71,5	47	40,3	35	122,3
5,00	71,5	7,2	78,7	47	39,3	36,2	122,5
6,00	80,5	8,7	89,2	45,2	39,4	46,9	131,5
7,00	87,5	9,4	96,9	45,3	39,8	55,3	140,4
8,00	96,6	10,2	106,8	45	44,7	64,6	154,3
9,00	102,8	11	113,8	45,1	52,2	70,2	167,5
10,00	109,6	11,9	121,5	45,6	56,9	87,5	190
11,00	114,5	13,5	128	47,8	60,2	97,5	205,5
12,00	127,1	14,1	141,2	45	33	134,7	212,7
13,00	133,3	14,9	148,2	44,95	34,35	109,9	189,2
14,00	139,5	16	155,5	44,9	35,7	85	165,6
15,00	148,3	17	165,3	40,6	42,1	100,7	183,4
16,00	156	18	174	40,6	46,4	122,7	209,7
17,00	160,4	18,9	179,3	48,5	30,8	35,4	114,7
18,00	167,3	18,9	186,2	52,7	34,5	59,8	147
19,00	177	21,1	198,1	54,3	38,9	68,7	161,9
20,00	185,5	18,7	204,2	56,4	43,8	84,7	184,9
21,00	190,5	23,3	213,8	0	0	0	0
21,83	195,7	23,8	219,5	0	0	0	0
máx	195,7	23,8	219,5	56,4	60,2	134,7	212,7
%	89,157	10,843	100	26,516	28,303	63,329	100

ANEXO G – Resultados do ensaio VII

Tabela G 1 – Resultados das análises de Laboratório – ensaio VII.

Ensaio:VII		c/3 DFI			
Data: 15/08/2001					
Parâmetros	amostras 06h				
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	
Abs (254 nm)	0,048	-	0,012	0,013	
PZ (mV)	-12,2/2,6	-9,3/2,0	-2,0/0,0	-2,0/0,0	
COD (mgC/L)	2,215/0,039	-	2,058/0,075	2,165/0,053	
CA (uH)	87	-	2	1	
CV (uH)	31	-	1	<1	
ColTot (NMP/100mL)	1203,3	-	12,2	6,3	
E. coli (NMP/100mL)	126,7	-	2	<1	

Tabela G 2 – Distribuição de Partículas – ensaio VII.

ensaio VII		06 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	4244,6	54,4	-	-	32,6	31,2	25,8	42,9	
4-6	2093,6	26,9	-	-	19,533	18,7	13,067	21,8	
6-12	1210,21	15,5	-	-	20,533	19,6	11,334	18,9	
12-24	203,533	2,6	-	-	12,467	11,9	5,134	8,5	
>24	43,933	0,6	-	-	19,533	18,7	4,733	7,9	
Total	7795,876	100,0	-	-	104,666	100	60,068	100	

Tabela G 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio VII.

Hora	TF (h)	Turb. água bruta	pH _{ab}	pH _{ac}	temp	Turb. eff. FAAG	Turb. eff. FRD	nível piezométrico no FAAG				nível piezométrico no FAAG		
								P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2
15:00	0:00	14	-	6,93	23,5	2,87	1,3	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:10	0:20	-	-	6,9	-	2,32	0,84	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:20	0:33	-	-	6,89	-	0,71	0,42	45,5	58,7	59,9	12,2	38,9	60	65,8
15:30	0:50	-	-	-	-	0,47	0,25	45,6	59	60,5	12,3	39,5	61,2	78,2
15:40	0:67	-	-	-	-	0,25	0,2	45,6	59	60,6	12,3	49,6	61,2	78,4
15:50	0:83	-	-	-	-	0,19	0,16	45,6	59,3	61	12,3	38,5	59,4	76
16:00	1:00	16,8	-	-	-	0,57	0,17	45,6	59,5	61,6	12,3	37,9	59,9	76,7
17:00	2:00	-	-	-	23,4	0,16	0,15	45,6	60,1	62,9	12,3	38,4	60,1	78,9
18:00	3:00	60,3	-	-	23	0,58	0,18	45,6	63	67,5	12,3	39,9	62	82,1
19:00	4:00	70,3	-	-	22,5	0,77	0,2	45,6	66,3	72,6	12,3	38,8	60,6	82,3
20:00	5:00	157	-	-	22,5	0,79	0,19	45,6	69,5	77,4	12,3	39,4	62,8	85,6
21:00	6:00	167	-	-	-	0,42	0,13	45,5	72,7	82	12,3	40	62,8	87,5
22:00	7:00	250	-	-	23	0,34	0,18	45,5	75,2	85,8	12,3	39,6	62,3	86,8
23:00	8:00	317	-	-	-	0,21	0,16	45,3	77,1	88,3	12,3	40	62,9	87,5
00:00	9:00	357	-	6,55	22,9	0,23	0,18	45,5	79,3	91,4	12,1	38	59,3	82,5
01:00	10:00	372	-	6,51	-	0,42	0,26	45,5	82,3	95,4	12,3	39,2	61,5	85,8
02:00	11:00	177	-	6,56	21,5	0,24	0,11	45,5	85,7	99,9	12,2	40,1	63,2	88,3
02:05	11:08	-	-	-	-	-	-	45,5	85,6	100,5	12,2	40,1	63,4	88,5
02:20	11:33	-	-	-	-	-	-	45,4	84,3	95,2	12,2	39,5	62,2	87
03:00	12:00	166	-	-	21,5	0,26	0,14	45,5	86,6	99,4	12,2	40,5	63,8	89,4
04:00	13:00	170	-	-	22	0,24	0,18	45,5	70	74,7	12,2	40,3	63,6	89,6
05:00	14:00	157	-	-	-	0,32	0,2	-	-	-	-	-	-	-
06:00	15:00	84,7	-	6,67	-	-	-	45,5	71,2	75	12,2	40,1	62,8	88,1
07:00	16:00	84,7	-	6,6	22	0,45	0,15	45,5	80	88,5	12,2	39,3	61,9	88,3
08:00	17:00	84,7	-	6,8	22	0,57	0,14	45,5	83,4	91,1	12,2	39	61,6	88,5
09:00	18:00	14,6	-	6,7	22	0,11	0,08	45,8	88,2	95,5	12,2	39,4	62,4	90,3
10:00	19:00	14,6	-	-	22	0,11	0,07	45,8	88,5	98,7	12,2	39,4	62,4	90,5
15:00	0:00	14	-	6,93	23,5	2,87	1,3	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:10	0:20	-	-	6,9	-	2,32	0,84	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:20	0:33	-	-	6,89	-	0,71	0,42	45,5	58,7	59,9	12,2	38,9	60	65,8
15:30	0:50	-	-	-	-	0,47	0,25	45,6	59	60,5	12,3	39,5	61,2	78,2
15:40	0:67	-	-	-	-	0,25	0,2	45,6	59	60,6	12,3	49,6	61,2	78,4
15:50	0:83	-	-	-	-	0,19	0,16	45,6	59,3	61	12,3	38,5	59,4	76
16:00	1:00	16,8	-	-	-	0,57	0,17	45,6	59,5	61,6	12,3	37,9	59,9	76,7
17:00	2:00	-	-	-	23,4	0,16	0,15	45,6	60,1	62,9	12,3	38,4	60,1	78,9
18:00	3:00	60,3	-	-	23	0,58	0,18	45,6	63	67,5	12,3	39,9	62	82,1
19:00	4:00	70,3	-	-	22,5	0,77	0,2	45,6	66,3	72,6	12,3	38,8	60,6	82,3
20:00	5:00	157	-	-	22,5	0,79	0,19	45,6	69,5	77,4	12,3	39,4	62,8	85,6
21:00	6:00	167	-	-	-	0,42	0,13	45,5	72,7	82	12,3	40	62,8	87,5
22:00	7:00	250	-	-	23	0,34	0,18	45,5	75,2	85,8	12,3	39,6	62,3	86,8
23:00	8:00	317	-	-	-	0,21	0,16	45,3	77,1	88,3	12,3	40	62,9	87,5
00:00	9:00	357	-	6,55	22,9	0,23	0,18	45,5	79,3	91,4	12,1	38	59,3	82,5
01:00	10:00	372	-	6,51	-	0,42	0,26	45,5	82,3	95,4	12,3	39,2	61,5	85,8
02:00	11:00	177	-	6,56	21,5	0,24	0,11	45,5	85,7	99,9	12,2	40,1	63,2	88,3
02:05	11:08	-	-	-	-	-	-	45,5	85,6	100,5	12,2	40,1	63,4	88,5
02:20	11:33	-	-	-	-	-	-	45,4	84,3	95,2	12,2	39,5	62,2	87
03:00	12:00	166	-	-	21,5	0,26	0,14	45,5	86,6	99,4	12,2	40,5	63,8	89,4
04:00	13:00	170	-	-	22	0,24	0,18	45,5	70	74,7	12,2	40,3	63,6	89,6
05:00	14:00	157	-	-	-	0,32	0,2	-	-	-	-	-	-	-
06:00	15:00	84,7	-	6,67	-	-	-	45,5	71,2	75	12,2	40,1	62,8	88,1
07:00	16:00	84,7	-	6,6	22	0,45	0,15	45,5	80	88,5	12,2	39,3	61,9	88,3
08:00	17:00	84,7	-	6,8	22	0,57	0,14	45,5	83,4	91,1	12,2	39	61,6	88,5
09:00	18:00	14,6	-	6,7	22	0,11	0,08	45,8	88,2	95,5	12,2	39,4	62,4	90,3
10:00	19:00	14,6	-	-	22	0,11	0,07	45,8	88,5	98,7	12,2	39,4	62,4	90,5
15:00	0:00	14	-	6,93	23,5	2,87	1,3	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:10	0:20	-	-	6,9	-	2,32	0,84	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:20	0:33	-	-	6,89	-	0,71	0,42	45,5	58,7	59,9	12,2	38,9	60	65,8
15:30	0:50	-	-	-	-	0,47	0,25	45,6	59	60,5	12,3	39,5	61,2	78,2
15:40	0:67	-	-	-	-	0,25	0,2	45,6	59	60,6	12,3	49,6	61,2	78,4
15:50	0:83	-	-	-	-	0,19	0,16	45,6	59,3	61	12,3	38,5	59,4	76
16:00	1:00	16,8	-	-	-	0,57	0,17	45,6	59,5	61,6	12,3	37,9	59,9	76,7
17:00	2:00	-	-	-	23,4	0,16	0,15	45,6	60,1	62,9	12,3	38,4	60,1	78,9
18:00	3:00	60,3	-	-	23	0,58	0,18	45,6	63	67,5	12,3	39,9	62	82,1
19:00	4:00	70,3	-	-	22,5	0,77	0,2	45,6	66,3	72,6	12,3	38,8	60,6	82,3
20:00	5:00	157	-	-	22,5	0,79	0,19	45,6	69,5	77,4	12,3	39,4	62,8	85,6
21:00	6:00	167	-	-	-	0,42	0,13	45,5	72,7	82	12,3	40	62,8	87,5
22:00	7:00	250	-	-	23	0,34	0,18	45,5	75,2	85,8	12,3	39,6	62,3	86,8
23:00	8:00	317	-	-	-	0,21	0,16	45,3	77,1	88,3	12,3	40	62,9	87,5
00:00	9:00	357	-	6,55	22,9	0,23	0,18	45,5	79,3	91,4	12,1	38	59,3	82,5
01:00	10:00	372	-	6,51	-	0,42	0,26	45,5	82,3	95,4	12,3	39,2	61,5	85,8
02:00	11:00	177	-	6,56	21,5	0,24	0,11	45,5	85,7	99,9	12,2	40,1	63,2	88,3
02:05	11:08	-	-	-	-	-	-	45,5	85,6	100,5	12,2	40,1	63,4	88,5
02:20	11:33	-	-	-	-	-	-	45,4	84,3	95,2	12,2	39,5	62,2	87
03:00	12:00	166	-	-	21,5	0,26	0,14	45,5	86,6	99,4	12,2	40,5	63,8	89,4
04:00	13:00	170	-	-	22	0,24	0,18	45,5	70	74,7	12,2	40,3	63,6	89,6
05:00	14:00	157	-	-	-	0,32	0,2	-	-	-	-	-	-	-
06:00	15:00	84,7	-	6,67	-	-	-	45,5	71,2	75	12,2	40,1	62,8	88,1
07:00	16:00	84,7	-	6,6	22	0,45	0,15	45,5	80	88,5	12,2	39,3	61,9	88,3
08:00	17:00	84,7	-	6,8	22	0,57	0,14	45,5	83,4	91,1	12,2	39	61,6	88,5
09:00	18:00	14,6	-	6,7	22	0,11	0,08	45,8	88,2	95,5	12,2	39,4	62,4	90,3
10:00	19:00	14,6	-	-	22	0,11	0,07	45,8	88,5	98,7	12,2	39,4	62,4	90,5

Tabela G 4 – Perda de carga no meio granular – ensaio VII.

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0,00	35,7	3,1	38,8	40,2	34,3	26,1	100,6
1,00	40,5	4,9	45,4	42,2	36,1	28	106,3
2,00	43,9	6,6	50,5	41,1	35,1	28	104,2
3,00	46,8	8,2	55	41,3	33,6	28	102,9
4,00	51,1	9,4	60,5	40,9	35,4	28,8	105,1
5,00	54,8	10,6	65,4	41,6	36	29,7	107,3
6,00	58,7	11,9	70,6	41,5	36,1	29,6	107,2
7,00	62,6	13	75,6	40,1	35,1	29,1	104,3
8,00	66,9	14	80,9	40,9	35,5	29,7	106,1
9,00	73,6	15,2	88,8	40,6	35,6	29,7	105,9
10,00	68,8	9,8	78,6	41,4	36,4	31	108,8
11,00	78,8	13,4	92,2	40,5	35,4	30,3	106,2
12,00	84,9	15,7	100,6	40,7	35,8	30,7	107,2
13,00	90,2	17,5	107,7	41,6	36,5	31,3	109,4
14,00	98	19,4	117,4	40,7	35,75	30,85	107,3
15,00	100,3	20,9	121,2	40	35	30,4	105,4
16,00	105	22,1	127,1	40,1	35	30,6	105,7
17,00	109,9	22	131,9	40,2	35,3	30,9	106,4
18,00	89,9	13,3	103,2	40,3	35,6	31,2	107,1
19,00	95,1	15,05	110,2	40,6	35,9	31,5	108
20,00	100,3	16,8	117,1	41,1	36,2	32,1	109,4
21,00	108,7	19,2	127,9	42	36,4	32,4	110,8
22,00	114,6	21,2	135,8	41,9	37	32,5	111,4
23,00	119,3	23,2	142,5	41,5	36,6	32,4	110,5
24,00	128	24,6	152,6	40,8	36,3	32,2	109,3
25,00	133,1	26	159,1	41,9	36,9	33	111,8
26,00	138,9	27,7	166,6	40,8	36,2	32,1	109,1
27,00	145,6	28,1	173,7	41,5	36,7	32,8	111
28,00	137,7	16,2	153,9	42,4	37,1	33,4	112,9
29,00	149,6	25,1	174,7	43	38,1	34,1	115,2
30,00	156,9	27,5	184,4	42,1	37,1	33,6	112,8
31,00	168	30,7	198,7	42,7	37,5	34,1	114,3
32,00	174,5	32,4	206,9	42,2	37,3	33,7	113,2
33,00	179,5	34	213,5	41,3	36,3	34	111,6
34,00	187,5	35,2	222,7	41,4	36,8	35,7	113,9
máx	187,5	35,2	222,7	43	38,1	35,7	115,2
%	84,194	15,806	100	37,326	33,073	30,99	100

ANEXO H – Resultados do ensaio VIII

Tabela H 1 - Resultados das análises de Laboratório – ensaio VIII.

Parâmetros	amostras 00h				amostras 14 h - antes DF11/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,046	-	0,009	0,01	0,047	-	0,011	0,011
PZ (mV)	-9,7 / 1,7	-7,7 / 1,2	-2,1 / 0	-2,3 / 0	-6,3 / 1,5	-2,8 / 0,5	-2,2 / 0	-2,2 / 0
COD (mgC/L)	2,834	-	2,120	2,0	1,063	-	0,704	0,791
CA (uH)	96	-	4	2	87	-	<1	<1
CV (uH)	30	-	1	1	26	-	<1	<1
ColTot (NMP/100mL)	2419,2	-	11	0	2247	-	<1	2
E. coli (NMP/100mL)	191,8	-	6,3	0	74	-	<1	<1

Parâmetros	amostras 14,3 h - após DF11/FAAG				amostras 29 h - antes DF12/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,011	0,015	0,047	-	0,015	0,013
PZ (mV)	-	-	-	-	-11,5 / 1,7	-6,7 / 2	-2,0 / 0	-2,0 / 0
COD (mgC/L)	-	-	0,687	1,789	1,134	-	0,794	0,796
CA (uH)	87	-	1	1	85	-	1	1
CV (uH)	31	-	1	1	25	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	18,9	21,1	2613	-	<1	5,2
E. coli (NMP/100mL)	-	-	1	<1	74	-	<1	<1

Parâmetros	amostras 29,7 h - após DF12/FAAG				amostras 42,7h - antes DF13/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,013	0,016	0,06	-	0,021	0,020
PZ (mV)	-	-	-	-	-13,6 / 3	-6,9 / 0,3	-2,1 / 0,2	-2,1 / 0
COD (mgC/L)	-	-	0,875	1,721	3,599	-	2,860	2,820
CA (uH)	-	-	2	2	74	-	7	8
CV (uH)	-	-	1	1	31	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	30,9	62,4	686,7	-	5,2	3
E. coli (NMP/100mL)	-	-	5,2	5,2	63,3	-	<1	2

Parâmetros	amostras 43h - após DF13/FAAG				amostras 51h - antes DF14/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,015	0,016	0,067	-	0,021	0,011
PZ (mV)	-	-	-	-	-14,9 / 1,9	-12 / 2	-1,7 / 0,1	-2,0 / 0
COD (mgC/L)	-	-	2,581	2,169	2,472	-	2,693	2,175
CA (uH)	-	-	9	8	111	-	2	2
CV (uH)	-	-	1	1	38	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	1	7,4	1732,9	-	<1	<1
E. coli (NMP/100mL)	-	-	<1	1	142,3	-	<2	<1

Parâmetros	amostras 51,3 h - após DF14/FAAG				amostras 54,6 h - DFF/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,01	0,008	-	-	0,011	0,013
PZ (mV)	-	-	-	-	-	-	-2,0 / 0,0	-2,0 / 0,0
COD (mgC/L)	-	-	2,724	2,227	-	-	2,058	1,845
CA (uH)	-	-	4	4	-	-	4	3
CV (uH)	-	-	1	1	-	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	1	<1	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	<1	<1	-	-	-	-

ANEXO H – Resultados do ensaio VIII

Tabela H 1 - Resultados das análises de Laboratório – ensaio VIII.

Parâmetros	amostras 00h				amostras 14 h - antes DF11/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	0,046	-	0,009	0,01	0,047	-	0,011	0,011
PZ (mV)	-9,7 / 1,7	-7,7 / 1,2	-2,1 / 0	-2,3 / 0	-6,3 / 1,5	-2,8 / 0,5	-2,2 / 0	-2,2 / 0
COD (mgC/L)	2,834	-	2,120	2,0	1,063	-	0,704	0,791
CA (uH)	96	-	4	2	87	-	<1	<1
CV (uH)	30	-	1	1	26	-	<1	<1
ColTot (NMP/100mL)	2419,2	-	11	0	2247	-	<1	2
E. coli (NMP/100mL)	191,8	-	6,3	0	74	-	<1	<1

Parâmetros	amostras 14,3 h - após DF11/FAAG				amostras 29 h - antes DF12/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,011	0,015	0,047	-	0,015	0,013
PZ (mV)	-	-	-	-	-11,5 / 1,7	-6,7 / 2	-2,0 / 0	-2,0 / 0
COD (mgC/L)	-	-	0,687	1,789	1,134	-	0,794	0,796
CA (uH)	87	-	1	1	85	-	1	1
CV (uH)	31	-	1	1	25	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	18,9	21,1	2613	-	<1	5,2
E. coli (NMP/100mL)	-	-	1	<1	74	-	<1	<1

Parâmetros	amostras 29,7 h - após DF12/FAAG				amostras 42,7h - antes DF13/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,013	0,016	0,06	-	0,021	0,020
PZ (mV)	-	-	-	-	-13,6 / 3	-6,9 / 0,3	-2,10 / 2	-2,10
COD (mgC/L)	-	-	0,875	1,721	3,599	-	2,860	2,820
CA (uH)	-	-	2	2	74	-	7	8
CV (uH)	-	-	1	1	31	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	30,9	62,4	686,7	-	5,2	3
E. coli (NMP/100mL)	-	-	5,2	5,2	63,3	-	<1	2

Parâmetros	amostras 43h - após DF13/FAAG				amostras 51h - antes DF14/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,015	0,016	0,067	-	0,021	0,011
PZ (mV)	-	-	-	-	-14,9 / 1,9	-12 / 2	-1,7 / 0,1	-2,0 / 0
COD (mgC/L)	-	-	2,581	2,169	2,472	-	2,693	2,175
CA (uH)	-	-	9	8	111	-	2	2
CV (uH)	-	-	1	1	38	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	1	7,4	1732,9	-	<1	<1
E. coli (NMP/100mL)	-	-	<1	1	142,3	-	<2	<1

Parâmetros	amostras 51,3 h - após DF14/FAAG				amostras 54,6 h - DFF/FAAG			
	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD	Ag Bruta	Ag Coag	FAAG	FRD
Abs (254 nm)	-	-	0,01	0,008	-	-	0,011	0,013
PZ (mV)	-	-	-	-	-	-	-2,0 / 0	-2,0 / 0
COD (mgC/L)	-	-	2,724	2,227	-	-	2,058	1,845
CA (uH)	-	-	4	4	-	-	4	3
CV (uH)	-	-	1	1	-	-	1	1
ColTot (NMP/100mL)	-	-	1	<1	-	-	-	-
E. coli (NMP/100mL)	-	-	<1	<1	-	-	-	-

Tabela H 2 - Distribuição de partículas – ensaio VIII.

ensaio VIII		00 h						
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	3261,1	39,8	—	—	31,667	37,0	59,6	37,67
4-6	1867,1	22,8	—	—	18,2	21,2	38,6	24,4
6-12	1981,21	24,2	—	—	18,067	21,1	42,333	26,8
12-24	822,8	10,0	—	—	10,866	12,7	14,666	9,3
>24	255,33	3,1	—	—	6,867	8,0	3	1,9
Total	8187,54	100,0	—	—	85,667	100,0	158,199	100

ensaio VIII		01 h						
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	1009,9	5,7	—	—	154	44,0	167,93	48,7
4-6	1129,9	6,4	—	—	76,733	21,9	50,733	14,7
6-12	3448,8	19,5	—	—	78,333	22,4	46,866	13,6
12-24	6484,7	36,6	—	—	36	10,3	38,6	11,2
>24	5625,6	31,8	—	—	5,267	1,5	40,6	11,8
Total	17698,9	100,0	—	—	350,333	100	344,729	100

ensaio VIII		14 h antes da 1 DFI						
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	3391,7	48,0	—	—	28,8	34,3	48,133	45,7
4-6	1821,9	25,8	—	—	18,867	22,4	25,933	24,6
6-12	1457,8	20,6	—	—	16,133	19,2	19,2	18,2
12-24	333,8	4,7	—	—	12,6	15,0	8,6	8,2
>24	60,733	0,9	—	—	7,667	9,1	3,4	3,2
Total	7065,933	100,0	—	—	84,067	100,0	105,266	100,0

ensaio VIII		14,3 h depois da 1 DFI							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	—	—	75,133	37,0	37,733	37,5	
4-6	—	—	—	—	44,8	22,1	20,6	20,5	
6-12	—	—	—	—	43,134	21,2	19,467	19,3	
12-24	—	—	—	—	25,6	12,6	14,933	14,8	
>24	—	—	—	—	14,4	7,1	8	7,9	
Total	—	—	—	—	203,067	100,0	100,733	100,0	

Tabela H 2 - Distribuição de partículas (continuação) – ensaio VIII.

ensaio VIII 29 h antes da 2 DFI								
tamanho (um)	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	3911,5	56,8	—	—	21,4	37,5	52,267	52,1
4-6	1797,1	26,1	—	—	12,467	21,8	22,933	22,8
6-12	1028,07	14,9	—	—	10,933	19,2	17,467	17,4
12-24	132,733	1,9	—	—	5,534	9,7	6,4	6,4
>24	14,867	0,2	—	—	6,733	11,8	1,333	1,3
Total	6884,27	100,0	—	—	57,067	100,0	100,4	100,0

ensaio VIII 29,7 h depois da 2 DFI								
tamanho (um)	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	—	—	—	—	39,467	42,7	24,667	42,0
4-6	—	—	—	—	19	20,5	12,8	21,8
6-12	—	—	—	—	18,467	20,0	11,4	19,4
12-24	—	—	—	—	10,067	10,9	5,667	9,7
>24	—	—	—	—	5,533	6,0	4,133	7,0
Total	—	—	—	—	92,534	100,0	58,667	100,0

ensaio VIII 42,7 h antes da 3 DFI								
tamanho (um)	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	997,47	50,6	—	—	34,667	41,6	35,133	40,9
4-6	430,53	21,8	—	—	19,133	23,0	19,067	22,2
6-12	421,667	21,4	—	—	19,6	23,5	17,333	20,2
12-24	111,866	5,7	—	—	6,4	7,7	8,067	9,4
>24	10,8	0,5	—	—	3,467	4,2	6,2	7,2
Total	1972,333	100,0	—	—	83,267	100,0	85,8	100,0

ensaio VIII 43 h depois da 3 DFI								
tamanho (um)	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	—	—	—	—	91,067	49,6	61,667	42,9
4-6	—	—	—	—	38,467	20,9	33,4	23,3
6-12	—	—	—	—	36,734	20,0	22,6	15,7
12-24	—	—	—	—	10,333	5,6	11,4	7,9
>24	—	—	—	—	7,133	3,9	14,533	10,1
Total	—	—	—	—	183,734	100,0	143,6	100,0

Tabela H 2 - Distribuição de partículas (continuação) – ensaio VIII.

ensaio VIII 51 h antes da 4 DFI								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	2241,9	30,4	—	—	17,8	28,4	19,333	37,5
4-6	1515,8	20,6	—	—	12,8	20,4	13,533	26,2
6-12	2295	31,1	—	—	14,267	22,8	9,867	19,1
12-24	1089,66	14,8	—	—	11	17,6	6,333	12,3
>24	233,53	3,2	—	—	6,733	10,8	2,533	4,9
Total	7375,89	100,0	—	—	62,6	100,0	51,599	100,0

ensaio VIII 51,3 h depois da 4 DFI								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	—	—	—	—	40,2	31,6	18,067	26,7
4-6	—	—	—	—	28,067	22,0	13,2	19,5
6-12	—	—	—	—	33,8	26,5	16,134	23,9
12-24	—	—	—	—	16,533	13,0	11,467	17,0
>24	—	—	—	—	8,8	6,9	8,733	12,9
Total	—	—	—	—	127,4	100,0	67,601	100,0

ensaio VIII 56,4 h antes da DFF								
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	—	—	—	—	18,667	35,2	33,4	43,9
4-6	—	—	—	—	9,8	18,5	18,4	24,2
6-12	—	—	—	—	8,4	15,8	13,134	17,3
12-24	—	—	—	—	10,067	19,0	8,333	10,9
>24	—	—	—	—	6,067	11,4	2,867	3,8
Total	—	—	—	—	53,001	100,0	76,134	100,0

Tabela H 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio VIII.

Hora	TF (h)	Turb água bruta	pH _{ab}	pH _{ac}	temp	Turpf e/f FAAG	pH _{pf}	Turfr e/f FRD	pH _{fr}	Vazão FAAG	Tx FAAG m³/m².d	vazão FRD	Tx FRD m³/m².d	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
														P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
09:00	0,00	-	-	-	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:10	0,20	-	-	-	19,5	0,295	-	0,806	-	-	-	-	-	45,7	69,4	71,1	-	-	-	-
09:20	0,33	-	-	-	19,5	0,344	-	0,24	-	-	-	-	-	45,7	69,7	71,6	-	-	-	-
09:30	0,50	-	-	-	19,5	0,228	-	-	-	-	-	-	-	45,7	69,2	71,3	-	-	-	-
09:40	0,67	-	-	-	19,5	0,152	-	-	-	-	-	-	-	45,7	69,4	71,2	-	-	-	-
09:50	0,83	-	-	-	19,5	0,149	-	0,107	-	-	-	-	-	45,7	69,8	72,3	12,8	43,2	68,7	87,5
10:00	1,00	11,43	-	-	19,5	0,139	-	0,094	-	155,8	239,4	85	306,9	45,7	70	72,7	12,8	43	67,4	87,5
10:10	1,20	-	-	-	19,9	0,128	-	0,089	-	155,8	239,4	85	306,9	45,7	70,3	73,2	12,8	43,1	68,8	88,3
10:30	1,50	-	-	-	20	0,124	-	0,084	-	155,8	239,4	85	306,9	45,7	70,6	73,6	12,8	43,7	69,7	89,3
10:40	1,67	-	-	-	20	0,117	-	0,08	-	155,8	239,4	85	306,9	45,7	70,8	74	12,8	43,4	69,1	88,4
10:50	1,83	-	-	-	20	0,113	-	0,077	-	155,8	239,4	85	306,9	45,7	70,9	74,2	12,9	43,3	69	88,4
11:00	2,00	10,92	6,92	6,8	20	0,065	6,62	0,063	6,71	155	238,2	87,5	315,9	45,7	70,9	74,2	12,9	43,3	69	88,4
12:00	3,00	11,94	-	-	20	0,072	-	0,059	-	156,2	240,0	86	310,5	45,7	72,7	77,3	12,9	42,5	67,5	86,7
13:00	4,00	11,74	-	-	20	0,072	-	0,059	-	156,4	240,3	85	306,9	45,7	74,2	79,8	12,9	41,9	66,6	85,8
14:00	5,00	11,45	-	-	20	0,072	-	0,054	-	156,2	240,0	86	310,5	45,7	76	82,5	12,9	41,8	65,5	85,8
15:00	6,00	11,18	-	-	20	0,072	-	0,052	-	157,3	241,7	87	314,1	45,7	78,5	85,8	12,9	42,2	67,2	86,8
16:00	7,00	11,02	-	-	20	0,072	-	0,052	-	157,8	242,5	88	317,7	45,7	80,8	89,3	12,9	42,6	67,8	87,4
17:00	8,00	10,91	6,68	6,77	20	0,072	6,62	0,05	6,87	154,1	238,8	84	303,2	45,7	82	91	-	-	-	-
18:00	9,00	10,72	-	-	19,8	-	-	-	-	157,1	241,4	85	306,9	45,7	85,3	95,4	12,9	42,3	67,5	87,4
19:00	10,00	10,62	-	-	19,8	-	-	-	-	157,6	242,2	86	310,5	45,7	87,9	98,8	12,9	42,6	68,2	88,4
20:00	11,00	10,52	-	-	19,5	-	-	-	-	155	238,2	86	310,5	45,7	90,3	101,7	12,9	42,6	68,2	88,4
21:00	12,00	10,36	-	-	19	-	-	-	-	158,9	244,1	87,5	315,9	45,7	93,8	106,3	12,9	43,8	70,4	91,5
22:00	13,00	10,2	-	-	19	-	-	-	-	156,3	240,2	87	314,1	45,7	95,3	108,2	12,9	43,6	70,1	91,2
23:00	14,00	10,64	6,8	6,78	19	-	6,77	-	6,81	157	241,7	87	314,1	45,7	97,3	111	12,9	43,4	69,8	90,3
23:20	14,33	-	-	-	-	-	-	-	-	157	241,2	87	314,1	45,6	81,4	85,1	-	-	-	-
23:33	14,55	-	-	-	-	0,114	-	0,068	-	157	241,2	87	314,1	-	-	-	-	-	-	-
23:38	14,63	-	-	-	-	0,08	-	0,094	-	157	241,2	87	314,1	-	-	-	-	-	-	-
00:00	15,00	9,968	-	-	19	0,07	-	0,057	-	155,2	238,5	82,5	297,8	45,6	84	89	12,8	42,4	68	88,5
01:00	16,00	9,914	-	-	19,2	-	-	-	-	156,3	240,2	85	306,9	45,6	88,4	95,6	12,8	43,3	69,5	90,6
02:00	17,00	9,853	-	-	19	-	-	-	-	156,1	239,8	85	306,9	45,6	92,8	101,7	12,8	43,7	70,4	91,7
03:00	18,00	9,8	-	-	18,8	-	-	-	-	156,7	240,8	86	310,5	45,6	93,8	108,1	12,8	43,6	70,2	91,8
04:00	19,00	9,724	-	-	18,8	-	-	-	-	156,6	243,7	89	321,3	45,6	99,8	111	12,8	45,2	73,3	95,5
05:00	20,00	9,683	6,92	6,75	18,8	-	6,5	-	6,67	156,6	240,6	87	314,1	45,6	102,8	115,1	12,8	44,1	71,1	93,1
06:00	21,00	9,63	-	-	18,5	-	-	-	-	156,5	240,5	87	314,1	45,6	105	118,3	12,8	43,8	70,6	92,3
07:00	22,00	9,641	-	-	18,8	-	-	-	-	155,9	239,5	85	306,9	45,6	108,7	122,9	12,8	43,4	70	91,7
08:00	23,00	9,528	-	-	19	-	-	-	-	157,9	242,6	87	314,1	45,6	112,3	127,2	12,8	44,1	70,3	93,4
09:00	24,00	9,603	-	-	19	-	-	-	-	151,6	232,9	84	303,2	45,6	114,4	130,5	12,8	43,7	70,4	92,3
10:00	25,00	9,555	-	-	19	0,07	-	0,048	-	158,6	243,7	87,5	315,9	45,6	118	134,1	12,8	44,2	71,4	93,6
11:00	26,00	9,532	6,91	6,8	19	0,07	6,67	0,049	6,77	157,2	241,5	87	314,1	45,6	120,1	137,5	12,8	44	71,2	93,3
12:00	27,00	9,559	-	-	19	0,07	-	0,049	-	156,3	240,2	86	310,5	45,6	122,3	140,3	12,8	43,6	70,3	92,3
13:00	28,00	9,642	-	-	19	0,07	-	0,049	-	156,5	240,5	86	310,5	45,6	126,3	145,2	12,8	43,6	70,3	92,1
14:00	29,00	9,612	-	-	19	0,06	-	0,05	-	158	240,3	88	310,5	45,6	129	149	12,8	43,4	70,1	91,9
14:28	29,47	-	-	-	-	-	-	-	-	159	239,7	89	310,5	45,6	130,1	150,1	-	-	-	-
15:00	30,00	9,663	-	-	19	0,06	-	0,045	-	156,3	240,2	86	310,5	45,6	137,2	144,9	12,8	43,3	69,9	91,4
16:00	31,00	9,824	6,87	6,77	18,8	-	6,66	-	6,71	155,6	239,1	85	306,9	45,6	113,7	123,5	12,8	43	69,6	91,2
17:00	32,00	10,12	-	-	18,8	-	-	-	-	156,1	239,8	86	310,5	45,6	118,2	129,3	12,8	43,6	70,5	91,6
18:00	33,00	10,52	-	-	18,8	-	-	-	-	156,8	240,9	86	310,5	45,6	122,3	135,5	12,8	43,6	70,5	92,6
19:00	34,00	10,51	-	-	18,8	-	-	-	-	155	238,2	86	310,5	45,6	126,4	140,5	12,8	43,5	70,2	92,4
20:00	35,00	10,61	-	-	19	-	-	-	-	154,8	237,8	86	310,5	45,6	131,3	147,1	12,8	43,6	70,4	92,7
21:00	36,00	10,81	-	-	19	-	-	-	-	154,4	243,4	87	314,1	45,6	135,6	152,4	12,8	44,2	71,6	94,3
22:00	37,00	11,03	-	-	18,8	0,18	-	0,113	-	155,2	238,5	84	303,2	45,6	138,2	155,5	12,8	43,2	70	92
23:00	38,00	11,49	-	-	18,8	0,33	-	0,192	-	156,1	239,8	85	306,9	45,6	143,5	161,7	12,8	43,6	70,6	93
00:00	39,00	11,62	-	-	18,8	0,43	-	0,37	-	156,4	240,3	85	306,9	45,6	148,3	168	12,8	44	71,2	94,2
01:00	40,00	11,62	-	-	18,8	0,63	-	0,41	-	156,9	241,1	85	306,9	45,6	153,8	174,1	12,8	44	71,3	94,4
02:00	41,00	11,68	7,12	6,68	18,8	0,82	-	0,434	-	155,6	239,1	84	303,2	45,6	157,3	178,9	12,8	44,2	70,1	92,6
03:00	42,00	11,65	-	-	18,8	0,82	-	0,587	-	156	239,7	85	306,9	45,6	162,3	184,4	12,8	43,7	70,8	93,9
03:38	42,63	-	-	-	-	0,82	-	0,57	-	158	239,7	85	306,9	45,6	167	188	-	-	-	-
04:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	153,9	236,5	83	299,6	45,6	121,8	128,7	-	-	-	-
04:20	43,33	11,67	-	-	18,8	1,33	-	0,678	-	153,9	236,5	83	299,6	45,6	125,8	134,1	12,8	43,3	70,2	93,6
04:30	43,60	-	-	-	-	1,13	-	0,992	-	153,9	236,5	83	299,6	-	-	-	-	-	-	-
05:00	44,00	-	-	-	18,8	-	-	-	-	153,9	236,5	83	299,6	-	-	-	-	-	-	-
06:00	45,00	11,77	-	-	18,8	0,652	-	1,078	-	158,7	243,8	87,5	315,9	45,6	145,1	157,1	12,8	44,9	73,4	98,7
07:00	46,00	11,86	-	-	18,8	0,933	-	1,15	-	156,6	240,6	85	306,9	45,6	151,3	165	12,8	44,1	72,1	97,5
08:00	47,00	11,92	-	-	18,8	0,91	-	1,15	-	156,8	240,9	85	306,9	45,7	160,3	176,7	12,8	43,8	72	97,7
09:00	48,00	12,17	-	-	18,8	0,993	-	1,34	-	156,2	240,0	85	306,9	45,7	168,6	183,1	12,8	43,6	71,8	97,7
10:00	49,00	12,25	-	-	18,8	-	-	-	-	156	239,7	85	306,9	45,7	179,1	201,9	12,8	42	67,2	91,1
11:00	50,00	13,3	-	-	18,8	0,125	-	0,05	-	157,3	241,7	86	310,5	45,7	183,2	218,4	12,8	43,4	70,9	97,1
12:00	51,00	16,84	-	-	19	0,048	-	0,04	-	156,8	240,9	85	306,9	45,7	195,5	225,4	12,8	43,4	70,9	97,2
12:05	51,10	-	-	-	-	0,655	-	0,64	-	157	240,9	85	306,9	45,6	197	227	-	-	-	-
12:15																				

Tabela H 4 - Perda de carga no meio granular – ensaio VIII.

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0,00	23,7	1,7	25,4	30,4	25,5	18,8	74,7
1,00	24,3	2,7	27	30,2	24,4	20,1	74,7
2,00	25,2	3,3	28,5	30,4	25,7	19,4	75,5
3,00	27	4,6	31,6	29,6	25	19,2	73,8
4,00	28,5	5,6	34,1	29	24,7	19,2	72,9
5,00	30,3	6,5	36,8	28,9	24,7	19,3	72,9
6,00	32,8	7,3	40,1	29,3	25	19,6	73,9
7,00	35,1	8,5	43,6	29,7	25,2	19,6	74,5
8,00	36,3	9	45,3	29,55	25,2	19,75	74,5
9,00	39,6	10,1	49,7	29,4	25,2	19,9	74,5
10,00	42,2	10,9	53,1	29,7	25,6	20,2	75,5
11,00	44,6	11,4	56	29,7	25,6	20,2	75,5
12,00	48,1	12,5	60,6	30,9	26,6	21,1	78,6
13,00	49,6	12,9	62,5	30,7	26,5	21,1	78,3
14,00	51,6	13,6	65,2	30,5	26,2	20,7	77,4
15,00	38,4	5	43,4	29,6	25,6	20,5	75,7
16,00	42,8	7,2	50	30,5	26,2	21,1	77,8
17,00	47,2	8,9	56,1	30,9	26,7	21,3	78,9
18,00	48,2	12,3	60,5	30,8	26,6	21,6	79
19,00	54,2	11,2	65,4	32,4	28,1	22,2	82,7
20,00	57,2	12,3	69,5	31,3	27	22	80,3
21,00	59,4	13,3	72,7	31	26,8	21,7	79,5
22,00	63,1	14,2	77,3	30,6	26,6	21,7	78,9
23,00	66,7	14,9	81,6	31,3	26,2	23,1	80,6
24,00	68,8	16,1	84,9	30,9	26,7	21,9	79,5
25,00	72,4	16,1	88,5	31,4	27,2	22,2	80,8
26,00	74,5	17,4	91,9	31,2	27,2	22,1	80,5
27,00	76,7	18	94,7	30,8	26,7	22	79,5
28,00	80,7	18,9	99,6	30,8	26,7	21,8	79,3

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
29	83,4	19,5	102,9	30,6	26,7	21,8	79,1
30	57,5	6	63,5	30,5	26,6	21,5	78,6
31	68,1	9,8	77,9	30,2	26,6	21,6	78,4
32	72,6	11,1	83,7	30,8	26,9	21,1	78,8
33	76,7	13,2	89,9	30,8	26,9	22,1	79,8
34	80,8	14,1	94,9	30,7	26,7	22,2	79,6
35	85,7	15,8	101,5	30,8	26,8	22,3	79,9
36	90	16,8	106,8	31,4	27,4	22,7	81,5
37	92,6	17,3	109,9	30,4	26,8	22	79,2
38	97,9	18,2	116,1	30,8	27	22,4	80,2
39	102,7	19,7	122,4	31,2	27,2	23	81,4
40	108,2	20,3	128,5	31,2	27,3	23,1	81,6
41	111,7	21,6	133,3	31,4	25,9	22,5	79,8
42	121,1	21,2	142,3	30,9	27,1	23,1	81,1
43	76,2	6,9	83,1	30,5	26,9	23,4	80,8
44	87,85	9,45	97,3	31,3	27,7	24,35	83,35
45	99,5	12	111,5	32,1	28,5	25,3	85,9
46	105,7	13,7	119,4	31,3	28	25,4	84,7
47	114,6	16,4	131	31	28,2	25,7	84,9
48	120,9	16,5	137,4	30,8	28,2	25,9	84,9
49	133,4	22,8	156,2	29,2	25,2	23,9	78,3
50	147,5	25,2	172,7	30,6	27,5	26,2	84,3
51	151,4	30	181,4	30,6	27,5	26,3	84,4
52	124,5	13,5	138	29,6	26,5	26,3	82,4
53	143,1	16,3	159,4	30,7	28	28,1	88,8
54	154,5	24,3	178,8	29,9	27,4	27,9	85,2
55	169,4	30,3	199,7	30,9	27,4	28,3	86,6
56	182	32,5	214,5	30,4	28	28,3	86,7
56,4	183,7	36,7	220,4	30,8	28,1	28,6	87,5
máx	183,7	36,7	220,4	32,4	28,5	28,6	87,5
%	83,35	16,65	100	37,03	32,67	32,69	100

Tabela I 2 – Distribuição de partículas – ensaio IX.

ensaio IX		02 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	5069,3	33,5	149,2	43,0	69,4	42,2	
4-6	—	—	3746,7	29,2	82,533	22,6	42,933	19,4	
6-12	—	—	4413,33	10,1	78,334	8,4	31,867	7,8	
12-24	—	—	1533	2,3	29,133	2,2	12,866	4,5	
>24	—	—	352,73	24,8	7,533	23,8	7,4	26,1	
Total	—	—	15115,06	100,0	346,733	100,0	164,466	100,0	

ensaio IX		04 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	1009,9	5,7	90,4	40,8	45,6	31,2	
4-6	—	—	1129,9	19,5	50,533	22,5	28,8	23,3	
6-12	—	—	3448,8	36,6	50	10,9	34,066	14,1	
12-24	—	—	6484,7	31,8	24,134	3,0	20,667	11,6	
>24	—	—	5625,6	6,4	6,667	22,8	16,933	19,7	
Total	—	—	17698,9	100,0	221,734	100,0	146,066	100,0	

ensaio IX		06 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	723,87	3,9	36,467	43,0	35,2	31,0	
4-6	—	—	828,87	15,4	21,467	18,6	25,667	24,8	
6-12	—	—	2838,47	37,1	15,733	8,6	28,133	12,3	
12-24	—	—	6854,4	39,2	7,267	4,5	13,933	9,2	
>24	—	—	7243,4	4,5	3,8	25,3	10,467	22,6	
Total	—	—	18489,01	100,0	84,734	100,0	113,4	100,0	

ensaio IX		08 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	301,27	1,5	35	37,7	129,67	66,6	
4-6	—	—	365,6	7,4	17,2	15,5	22,067	10,8	
6-12	—	—	1465,6	34,8	14,4	13,6	21	7,2	
12-24	—	—	6890,7	54,4	12,6	14,7	13,933	4,1	
>24	—	—	10759	1,8	13,667	18,5	8,067	11,3	
Total	—	—	19782,17	100,0	92,867	100,0	194,737	100,0	

Tabela I 2 – Distribuição de partículas (continuação) – ensaio IX.

ensaio IX		10 h						
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	—	—	249,6	1,2	66,133	46,7	71,267	36,4
4-6	—	—	294,93	5,9	26,467	20,0	46,867	23,7
6-12	—	—	1237,6	34,2	28,266	10,0	46,533	11,5
12-24	—	—	7202,97	57,3	14,133	4,6	22,6	4,5
>24	—	—	12076	1,4	6,533	18,7	8,733	23,9
Total	—	—	21061,1	100,0	141,532	100,0	196	100,0

ensaio IX		11,12 h		antes da DFI					
tamanho	água bruta	água coagulada	FAAG		FRD				
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	481,07	2,3	37,6	35,8	43,667	29,8	
4-6	—	—	613,53	11,4	22,4	20,3	30	23,5	
6-12	—	—	2406,47	38,9	21,333	11,4	34,467	16,0	
12-24	—	—	8229	44,5	11,933	11,1	23,533	10,3	
>24	—	—	9400,9	2,9	11,667	21,3	15,067	20,4	
Total	—	—	21130,97	100,0	104,933	100,0	146,734	100,0	

ensaio IX		11,2 h		depois da DFI					
tamanho	água bruta	água coagulada	FAAG		FRD				
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	—	—	38,867	36,2	51,2	28,0	
4-6	—	—	—	—	27,933	18,9	37,733	22,8	
6-12	—	—	—	—	20,333	9,3	41,667	14,9	
12-24	—	—	—	—	9,933	9,6	27,333	13,6	
>24	—	—	—	—	10,267	26,0	24,933	20,6	
Total	—	—	—	—	107,333	100,0	182,866	100,0	

ensaio IX		12 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	648,87	3,1	20,267	35,3	—	—	
4-6	—	—	774,4	13,9	13,6	19,7	—	—	
6-12	—	—	2935,47	39,8	11,266	12,6	—	—	
12-24	—	—	8428,6	39,6	7,2	8,7	—	—	
>24	—	—	8393,5	3,7	5	23,7	—	—	
Total	—	—	21180,84	100,0	57,333	100,0	—	—	

Tabela I 2 – Distribuição de partículas (continuação) – ensaio IX.

ensaio IX		14 h						
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD	
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%
2-4	—	—	837,07	4,4	34,067	34,6	29,467	35,4
4-6	—	—	977,8	17,3	21,067	21,5	18	27,0
6-12	—	—	3276,6	37,7	21,133	12,7	22,467	10,5
12-24	—	—	7147,3	35,4	12,467	9,8	8,733	5,5
>24	—	—	6710,7	5,2	9,6	21,4	4,6	21,6
Total	—	—	18949,47	100,0	98,334	100,0	83,267	100,0

ensaio IX		16 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	1396,4	8,3	13,467	28,5	30,267	37,7	
4-6	—	—	1500,9	24,3	8,067	17,1	19,067	24,9	
6-12	—	—	4067,6	34,4	8,067	14,5	20	10,1	
12-24	—	—	5761,9	24,1	6,866	22,8	8,134	3,5	
>24	—	—	4035,5	9,0	10,8	17,1	2,8	23,8	
Total	—	—	16762,3	100,0	47,267	100,0	80,268	100,0	

ensaio IX		19 h							
tamanho	água bruta		água coagulada		FAAG		FRD		
(um)	n	%	n	%	n	%	n	%	
2-4	—	—	4997,6	41,0	16,133	36,7	10,467	34,7	
4-6	—	—	2972	23,5	9,8	17,0	6,6	26,7	
6-12	—	—	2863,3	8,8	7,467	13,2	8,066	13,2	
12-24	—	—	1071,4	2,3	5,8	10,9	4	3,5	
>24	—	—	277,6	24,4	4,8	22,3	1,067	21,9	
Total	—	—	12181,9	100,0	44	100,0	30,2	100,0	

Tabela I 3 – Planilha com valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAAG e FRD em função do tempo de operação – ensaio IX.

Hora	TF (h)	Turac	pH _{ab}	pH _{ac}	temp	Turp efl	pH _{ef}	Turf efl	pH _{ef}	nível piezométrico no FAAG			nível piezométrico no FRD			
		água bruta				FAAG		FRD		P0	P1	P2	P1	P2	P3	P4
15:00	0,00	14	-	6,93	23,5	2,87	-	1,3	-	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:10	0,20	-	-	6,9	-	2,32	-	0,84	-	45,5	58,2	59,1	12,1	33,1	49,5	64,5
15:20	0,33	-	-	6,89	-	0,71	-	0,42	-	45,5	58,7	59,9	12,2	33,9	50,9	65,9
15:30	0,50	-	-	-	-	0,47	-	0,25	-	45,6	59	60,5	12,3	39,5	61,2	78,2
15:40	0,67	-	-	-	-	0,25	-	0,2	-	45,6	59	60,6	12,3	49,6	61,2	78,4
15:50	0,83	-	-	-	-	0,19	-	0,16	-	45,6	59,3	61	12,3	38,5	59,4	78
16:00	1,00	16,8	-	-	-	0,57	-	0,17	-	45,6	59,5	61,6	12,3	37,9	59,9	76,7
17:00	2,00	-	-	-	23,4	0,16	-	0,15	-	45,6	60,1	62,9	12,3	38,4	60,1	76,9
18:00	3,00	60,3	-	-	23	0,53	-	0,18	-	45,6	63	67,5	12,3	39,9	62	82,1
19:00	4,00	70,3	-	-	22,5	0,77	-	0,2	-	45,6	66,3	72,6	12,3	38,8	60,6	82,3
20:00	5,00	157	-	-	22,5	0,79	-	0,19	-	45,6	69,5	77,4	12,3	39,4	62,8	85,6
21:00	6,00	167	-	-	-	0,42	-	0,13	-	45,5	72,7	82	12,3	40	62,8	87,5
22:00	7,00	250	-	-	23	0,34	-	0,18	-	45,5	75,2	85,8	12,3	39,6	62,3	86,8
23:00	8,00	317	-	-	-	0,21	-	0,16	-	45,3	77,1	88,3	12,3	40	62,9	87,5
00:00	9,00	357	-	6,56	22,9	0,23	-	0,18	-	45,5	79,3	91,4	12,1	33	59,3	82,5
01:00	10,00	372	-	6,51	-	0,42	-	0,26	-	45,5	82,3	95,4	12,3	39,2	61,5	85,8
02:00	11,00	177	-	6,58	21,5	0,24	-	0,11	-	45,5	85,7	99,9	12,2	40,1	63,2	88,3
02:05	11,08	-	-	-	-	-	-	-	-	45,5	85,6	100,5	12,2	40,1	63,4	88,5
02:20	11,33	-	-	-	-	-	-	-	-	45,4	84,3	95,2	12,2	39,5	62,2	87
03:00	12,00	166	-	-	21,5	0,26	-	0,14	-	45,5	86,6	99,4	12,2	40,5	63,8	89,4
04:00	13,00	170	-	-	22	0,24	-	0,18	-	45,5	70	74,7	12,2	40,3	63,6	89,6
05:00	14,00	157	-	-	-	0,32	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
06:00	15,00	84,7	-	6,67	-	-	-	-	-	45,5	71,2	75	12,2	40,1	62,8	88,1
07:00	16,00	84,7	-	6,6	22	0,48	-	0,15	-	45,5	80	86,5	12,2	39,3	61,9	88,3
08:00	17,00	84,7	-	6,8	22	0,57	-	0,14	-	45,5	83,4	91,1	12,2	39	61,6	88,5
09:00	18,00	14,6	-	6,7	22	0,11	-	0,08	-	45,6	88,2	95,5	12,2	39,4	62,4	90,3
10:00	19,00	14,6	-	-	22	0,11	-	0,07	-	45,6	88,5	98,7	12,2	39,4	62,4	90,5

Tabela I 4 – Perda de carga no meio granular – ensaio IX.

TF (h)	FAAG			FRD			
	P1-P0	P2-P1	P2-P0	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0,00	12,7	0,9	13,6	21	16,4	15	52,4
1,00	13,9	2,1	16	25,6	22	16,8	64,4
2,00	14,5	2,8	17,3	26,1	21,7	16,8	64,6
3,00	17,4	4,5	21,9	27,6	22,1	20,1	69,8
4,00	20,7	6,3	27	26,5	21,8	21,7	70
5,00	23,9	7,9	31,8	27,1	23,4	22,8	73,3
6,00	27,2	9,3	36,5	27,7	22,8	24,7	75,2
7,00	29,7	10,6	40,3	27,3	22,7	24,5	74,5
8,00	31,8	11,2	43	27,7	22,9	24,6	75,2
9,00	33,8	12,1	45,9	27,5	22,6	24,45	74,55
10,00	36,8	13,1	49,9	26,9	22,3	24,3	73,5
11,00	40,1	14,9	55	27,9	23,1	25,1	76,1
12,00	18,9	0,9	19,8	28,3	23,3	25,6	77,2
13,00	24,5	4,7	29,2	28,1	23,3	26	77,4
14,00	27,8	5,3	33,1	28	23	25,65	76,65
15,00	31,1	5,9	37	27,9	22,7	25,3	75,9
16,00	34,5	6,5	41	27,1	22,6	26,4	76,1
17,00	37,9	7,7	45,6	26,8	22,6	26,9	76,3
18,00	40,6	9,3	49,9	27,2	23	27,9	78,1
19,00	42,9	10,2	53,1	27,2	23	28,1	78,3
máx	42,9	14,9	55	28,3	23,4	28,1	78,3
%	78	27,091	100	36,143	29,885	35,888	100

ANEXO J – Ensaios de coagulação

Tabela J 1 – Ensaios para determinação das condições de coagulação.

Enasio 1 A

Turbidez = 15,3uT

pH = 7,23

Alcalinizante (mg/L do PC)	DSAmáx 15 mg/L					
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
Barrilha ETA	0	5,28	2	5,74	5	6,2

Filtro		1	2	3	4	5
FLA		1	1	1	1	1
DSA (mg/L AS sólido)		4,2	5,9	7,6	9,3	11
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)		2	2,8	3,6	4,4	5,2
CSpc (mg/LPC)		0	0	0	0	3
Vol. Adic. (ML da solução 1%)		-	-	-	-	0,6
pH		6,8	6,75	6,38	6,11	6,8
FLP	1coleta	2,93	0,46	0,19	0,23	0,5
	2 coleta	2,9	0,52	0,18	0,12	0,14
	10 min	10,9	2,08	0,57	0,26	0,31
FLA	20 min	11	2	0,32	0,18	0,17
	30 min	10,3	1,89	0,28	0,15	0,14

Enasio 2A

Turbidez = 25uT

pH = 6,7

Filtro		1	2	3	4	5	6
FLA		1	1	1	1	1	1
DSA (mg/L AS sólido)		2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)		1,2	2	2,8	3,6	4,4	5,2
pH		6,61	6,53	6,61	6,2	5,64	6,8
FLP	1coleta	16,8	11,3	2,38	0,3	0,28	-
	2 coleta	16	10,4	2,12	0,2	0,16	0,18
	10 min	20,7	20,2	5,03	1,2	0,59	0,46
FLA	20 min	20,8	19,8	4,74	0,78	0,29	0,22
	30 min	20,6	19,8	4,59	0,76	0,2	0,2

Ensaio 3 A
Turbidez = 63,5uT
pH = 6,99

Alcalinidade 8,61 mg CaCO_3

Turbidez AB = 16,8uT
pH AB = 7,15

Alcalinizante (mg/L do PC)	DSAmáx 25 mg/L							
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
Barrilha ETA	0	4,88	3	5,42	5	5,84	8	6,39
Barrilha compra	0	-	3	5,45	5	5,88	8	6,45
soda	0	-	3	5,53	5	6,19	8	7,16

Filtro		1	2	3	4
FLA		2	2	2	2
DSA (mg/L AS sólido)		0	12,7	16,9	21,2
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)		-	6	8	10
CSpc (mg/LPC)		0	5	7	9
Vol. Adic. (ML da solução 1%)		-	1	1,4	1,8
pH		6,07	6,63	6,53	5,88
FLP	1 coleta	14,8	0,32	0,39	1,07
	2 coleta	14,8	0,32	0,39	1,07
	10 min	40,8	0,61	0,51	2,26
FLA	20 min	40,3	0,46	0,29	2,01
	30 min	41,4	0,4	0,2	2

Ensaio 3B

Filtro		1	2	3
FLA		2	2	2
DSA (mg/L AS sólido)		16,9	16,9	16,9
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)		8	8	8
CSpc (mg/LPC)		6	7	8
Vol. Adic. (ML da solução 1%)		1,2	1,4	1,6
pH		6,34	6,53	6,57
	10 min	0,43	0,51	0,47
FLA	20 min	0,25	0,29	0,29
	30 min	0,19	0,2	0,23

Enasio 4 AAlcalinidade 8,82 mg CaCO_3

Turbidez AB = 16,8uT

Turbidez = 85,5uT

pH AB = 7,15

pH = 7,11

mg/L do PC	DSAmáx 35 mg/L					
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
Barrilha E	0	4,92	10	5,8	15	6,51
Barrilha co	0	-	10	5,78	15	6,51
soda	0	-	10	6,68	15	8,47

Filtro		1	2	3	4	5
FLA		2	2	2	2	2
DSA (mg/L AS sólido)		0	21,2	25,4	29,6	16,9
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)		-	10	12	14	8
CSpc (mg/LPC)		0	10	13	15	8
Vol. Adic. (ML da solução 1%)		-	2	2,6	3	6,59
pH		7,25	6,63	6,6	6,45	6,59
FLP	1coleta	21,2	0,67	0,75	0,79	0,28
	2 coleta	19,3	0,28	0,23	0,37	0,24
	10 min	58,3	0,31	0,25	0,38	0,47
FLA	20 min	57,6	0,25	0,2	0,32	0,22
	30 min	26,3	0,22	0,16	0,13	0,18

Ensaio 4B

Filtro		1	2	3	4
FLA		2	2	2	2
DSA (mg/L AS sólido)		21,2	21,2	21,2	21,2
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)		10	10	10	10
CSpc (mg/LPC)		7	8	9	10
Vol. Adic. (ML da solução 1%)		1,4	1,6	1,8	2
pH		6,14	6,27	6,35	6,44
FLP	1coleta	1,46	0,98	0,74	0,77
	2 coleta	0,37	0,35	0,2	0,24
	10 min	2,38	1,32	0,63	0,63
FLA	20 min	1,73	0,57	0,25	0,18
	30 min	1,29	0,4	0,23	0,19

Enasio 5 AAlcalinidade 10,5 mg CaCO_3

Turbidez AB = 20,1uT

Turbidez = 160uT

pH AB = 6,86

pH = 6,97

Filtro		1	2	3	4	5	6	7	8	9
FLA		2	2	2	3	3	3	3	3	3
DSA (mg/L AS sólido)		0	21,2	25,4	0	16,9	16,9	16,9	21,2	25,4
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)		-	10	12	-	8	8	10	10	12
CSpc (mg/LPC)		0	10	12	0	6	8	8	10	12
Vol. Adic. (ML da solução 1%)		-	2	2,6	-	1,2	1,6	1,6	2	2,6
pH		6,89	6,69	6,73		6,39	6,57	6,24	6,55	6,69
FLP	1coleta	31,5	0,28	0,64	-	0,28	0,57	-	0,28	0,36
	2 coleta	31	0,13	0,24	-	0,28	0,3	-	0,38	0,14
	10 min	89,7	0,55	0,88	87,7	0,71	0,51	0,8	0,78	0,49
FLA	20 min	102	0,5	-	98,8	0,43	0,37	0,33	0,45	0,31
	30 min	95	0,28	0,17	91,1	0,37	0,32	0,29	0,33	0,25

Enasio 6 AAlcalinidade 9,45 mg CaCO_3

Turbidez AB = 20,1uT

Turbidez = 236uT

pH AB = 6,86

pH = 7,12

Alcalinizant (mg/L do PC)	DSAmáx 35 mg/L					
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
Barrilha ET	0	4,92	10	5,76	15	6,47
Barrilha cor	0	-	10	5,72	15	6,4
soda	0	-	10	6,61	15	6,72

Filtro	1	2	3	4	5	6
FLA	3	3	3	3	3	
DSA (mg/L AS sólido)	0	16,9	21,2	21,2	25,4	29,6
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)	-	8	10	10	12	14
CSpc (mg/LPC)	0	8	8	10	12	15
Vol. Adic. (ML da solução 1%)	-	1,6	1,6	2	2,4	3
pH	7,14	6,61	6,23	6,56	6,43	6,18
FLP	1coleta	19,9	0,69	0,41	0,28	0,32
	2 coleta	18,2	0,3	0,23	0,21	0,19
	10 min	124	0,84	1,35	0,72	0,48
FLA	20 min	130	0,42	0,43	0,3	0,28
	30 min	128	0,31	0,31	0,15	0,15

Enasio 7 AAlcalinidade 9,24 mg CaCO_3

Turbidez AB = 20,1uT

Turbidez = 351uT

pH AB = 6,86

pH = 7,02

Alcalinizant (mg/L do PC)	DSAmáx 35 mg/L							
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
Barrilha ET	0	4,92	10	5,4	15	6,09	18	6,74
Barrilha cor	0	-	10	5,4	15	6,23	18	6,73
soda	0	-	10	6,2	15	7,78	18	-

Filtro	1	2	3	4	5
FLA	3	3	3	3	3
DSA (mg/L AS sólido)	0	21,2	25,4	29,6	33,9
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)	-	10	12	14	16
CSpc (mg/LPC)	-	10	12	15	17
Vol. Adic. (ML da solução 1%)	-	2	2,4	3	3,4
pH	7,05	6,5	6,37	6,37	6,29
FLP	1coleta	30,8	12,9	0,84	0,99
	2 coleta	43,7	0,39	0,37	0,29
	10 min	216	0,85	0,48	0,53
FLA	20 min	243	0,59	0,32	0,28
	30 min	222	-	0,17	0,12

Ensaio 7B

Filtro	1	2	3
FLA	3	3	3
DSA (mg/L AS sólido)	25,4	25,4	25,4
Vol. Adic. (mL da solução 0,5%)	12	12	12
CSpc (mg/LPC)	10	12	15
Vol. Adic. (ML da solução 1%)	2	2,4	3
pH	60,5	6,3	6,49
	10 min	1,73	0,87
FLA	20 min	0,55	0,26
	30 min	0,53	0,24

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K. M. (1982). *Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation*. Journal American Water Works Association, v. 74, n. 4, p.210-6, apr.

BRASIL. Leis. Etc. (2000). Ministério da Saúde. Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000. Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.

CASTILLA MIRANDA, S. J. (1997). *Influência da mistura dos grãos de areia no desempenho da filtração direta ascendente*. São Carlos. 154 p. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CRUZ VELEZ, C. H. (1993). *Filtração direta ascendente com alta taxa*. São Carlos. 220 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CRUZ VELEZ, C. H.; GALVIS, G.; VISSCHER, J. T.; DI BERNARDO, L.; ALERTS, G. (1998). *Optimization de sistemas de potabilização con filtración rápida: La filtración gruesa dinámica y la clarificación con filtración gruesa ascendente, una alternativa factible*. Apresentado à Conferência Internacional Água Y Sostenibilidad, Cali, 1998.

DI BERNARDO, L.; RAZABONI, J. D. (1984) *Influência da realização de descargas de fundo durante a carreira de filtração no comportamento de sistemas de filtração direta ascendente*. Revista DAE, São Paulo, São Paulo, v. 44, n. 139, p. 340-345, dez/1984.

DIBERNARDO, L. (1995). *Comparação entre a filtração realizada em papel de filtro e em instalação piloto de filtração ascendente*. Revista DAE, São Paulo – v 45, n 142, set/1985.

DI BERNARDO, L.; YATSUGAFU, P.H. (1987). *Estudos sobre a influência da taxa de filtração no NMP de coliformes totais do afluente e do número de descargas de fundo intermediárias ao 14º*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1987.

DI BERNARDO, L. (1993a). Métodos e Técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro. ABES, vol. 1.

DI BERNARDO, L. (1993b). Métodos e Técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro. ABES, vol. 2.

DI BERNARDO, L. (1998). *Alternativas Tecnológicas para o Tratamento de Água para o Consumo Humano*. Conferência Internacional – Água y Sostenibilidad, Cali – Colômbia.

KURODA, E. K. (2002). Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla filtração. São Carlos, 2002. 237p. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FERNANDEZ, L. C. (1987). *Estudos sobre as influências das características da camada suporte e dos métodos de descargas de fundo intermediárias no desempenho de sistemas de filtração direta ascendente* – São Carlos, 297 p. (Dissertação de Mestrado – EESC-USP).

FERNANDEZ, J. E. (1996). Roughing filtration selection in a multistage filtration system. Delft. 76 p. Dissertação (Mestrado) - Interncional Institute for Infrastructural, Hidraulic and Environmental Engineering.

GUSMÃO, P. T. R. (2001). *Utilização de Filtração direta ascendente como pré-tratamento à filtração rápida descendente para tratamento de água para abastecimento*, tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ISAAC, R. L. (1997). *Influência da disposição inicial dos grãos de areia na eficiência da filtração direta ascendente de alta taxa*. São Carlos, 174 p. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LARA PINTO, D. M. C. (1994). *Influência das descargas de fundo intermediárias na filtração direta ascendente de alta taxa*. São Carlos. 194 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MENDES, C. G. N. (1985). *Estudo da influência das dosagens de produtos químicos na filtração direta ascendente*. São Carlos. 117 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PATERNIANI, J. E. S. (1986). *Estudo da influência de descarga de fundo na eficiência da remoção de microrganismos em sistema de filtração direta ascendente*. São Carlos. 139 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TEIXEIRA, B. A. N. (1986). *Influências das características da camada suporte e da areia na eficiência da filtração direta ascendente*. São Carlos. 194 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

WAGNER, HUDSON Jr, H (1982). *Low-dosage high-rate direct filtration*. Journal American Water Works Association, v.74 , n.5, p. 256 – 61 may.