Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 26/06/02
Ass.: *Azm*

**AVALIAÇÃO DA FILTRAÇÃO DIRETA
ASCENDENTE EM PEDREGULHO COMO
PRÉ-TRATAMENTO
EM SISTEMAS DE DUPLA FILTRAÇÃO**

Emília Kiyomi Kuroda

ORIENTADOR: Prof. Luiz Di Bernardo

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

São Carlos

2002

Class. TESE-EESC
 Cnt. 2880
 Tombo T0129/02
 Sysno. 1251116

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

K96a

Kuroda, Emília Kiyomi

Avaliação da filtração direta ascendente em
 pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla
 filtração / Emília Kiyomi Kuroda. -- São Carlos, 2002.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
 São Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo.

1. Tratamento de água. 2. Filtração direta
 ascendente. 3. Dupla filtração. 4. Filtração direta
 ascendente em pedregulho. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **EMILIA KIYOMI KURODA**

Dissertação defendida e julgada em 26-04-2002 perante a Comissão Julgadora:

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

Aprovada

Prof. Dr. **CARLOS GOMES DA NAVE MENDES**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Prof. Dra. **CRISTINA CÉLIA SILVEIRA BRANDÃO**
(Universidade de Brasília/UnB)

APROVADO

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

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

*Ao meu pai Shiguo (in memoriam) pelos
valiosos exemplos de conduta deixados, e à
minha mãe Somico, por sua simplicidade e
bondade.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Luiz Di Bernardo pela sábia orientação, pelos bons exemplos, pela oportunidade de aprendizado e confiança depositada durante a realização deste trabalho.

À minha mãe e aos meus irmãos An, Guemi, Midori e Misae pelo apoio, carinho e compreensão.

Ao Donizette De Paula pelo companheirismo e fundamental colaboração na realização deste trabalho.

Aos Professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos pelos ensinamentos adquiridos. Aos Funcionários deste departamento e em especial, aos Técnicos do Laboratório de Saneamento e ao Francisco pela montagem da Instalação Piloto.

Aos Técnicos desta Instituição: “Gigante” do Departamento de Transportes e Sérgio do Departamento de Construção Civil, pelo suporte técnico e empréstimo de equipamentos para o preparo do material granular dos filtros, e ao Oscar do Departamento de Geotecnia, pela imprescindível colaboração na análise dos dados de solos da região, para a obtenção de material argiloso.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos - SAAE por permitir a montagem da Instalação Piloto nas dependências da ETA 2 e aos Funcionários pelo carinho, cuidado e atenção nunca negada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela concessão de bolsa de mestrado (Proc. 00/01480-6).

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

Aos colegas e às amigas que me acompanharam nestes anos e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XVI
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
RESUMO.....	XVIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 Considerações Iniciais.....	5
3.2 Coagulação Química	9
3.3 Filtração Direta Ascendente	19
3.4 Filtração em Pedregulho.....	33
3.5 Dupla Filtração	41
3.6 Dupla Filtração utilizando a Filtração Direta Ascendente em Pedregulho.....	42
3.6.1 Filtração Rápida Descendente.....	55
3.7 Considerações Finais sobre a Revisão da Literatura	57
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1 Água Bruta	59
4.2 Instalação Piloto de Dupla Filtração – IPDF	60
4.2.1 Recalque de Água Bruta.....	62

4.2.2	<i>Regularização da Vazão de Água Bruta</i>	62
4.2.3	<i>Mistura Rápida e Coagulação Química</i>	65
4.2.4	<i>Distribuição de água coagulada</i>	71
4.2.5	<i>Sistema de Filtração</i>	71
4.2.6	<i>Sistema de Descarga de Fundo</i>	77
4.2.7	<i>Lavagem dos Filtros</i>	78
4.3	Pré-operação	82
4.3.1	<i>Calibração dos equipamentos de bancada</i>	82
4.3.2	<i>Preparo do material filtrante do FRD</i>	82
4.3.3	<i>Calibração dos turbidímetros de escoamento contínuo</i>	83
4.3.4	<i>Regularização da vazão de água bruta</i>	84
4.3.5	<i>Aferição das bombas dosadoras</i>	85
4.3.6	<i>Aferição dos rotâmetros de água e ar</i>	86
4.4	Programação dos Ensaio	86
4.5	Preparo do Ensaio XII	89
4.5.1	<i>Programação do pico de turbidez</i>	89
4.5.2	<i>Preparação da água de estudo</i>	89
4.5.3	<i>Determinação das condições de coagulação</i>	94
4.5.4	<i>Aplicação da suspensão de argila</i>	95
4.6	Parâmetros de Controle	96
4.7	Encerramento da Carreira de Filtração	98
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
5.1	Fases I e II	100
5.1.1	<i>Regularização e distribuição de vazão</i>	100
5.1.2	<i>Mistura Rápida e Coagulação Química</i>	100
5.1.3	<i>Desempenho do Sistema FAP-FRD</i>	104
5.2	Fase III	141
5.2.1	<i>Determinação das Condições de Coagulação para o Ensaio XII</i>	141
5.2.2	<i>Aplicação das Condições de Coagulação Química no Ensaio XII</i>	147
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	151
	ANEXO A : ENSAIO I	156
	ANEXO B : ENSAIO II	164

ANEXO C : ENSAIO III.....	169
ANEXO D : ENSAIO IV.....	170
ANEXO E : ENSAIO V.....	173
ANEXO F : ENSAIO VI	179
ANEXO G : ENSAIO VII	183
ANEXO H : ENSAIO VIII.....	184
ANEXO I : ENSAIO IX	185
ANEXO J : ENSAIO X (C/ 3 DFIS)	186
ANEXO K : ENSAIO XI (C/ 4 DFIS).....	188
ANEXO L : ENSAIO XII (C/ PICO DE TURBIDEZ).....	194
PLANILHAS DOS ENSAIOS REALIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DAS.....	201
CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO DO ENSAIO XII (C/ PICO DE TURBIDEZ)	201
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	211

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Porcentagem e número de cidades em função de faixas de população Fonte: IBGE (2001)	2
Figura 2 - Fluxograma das tecnologias usuais de tratamento de água para consumo humano Adaptado de DI BERNARDO (1993a)	6
Figura 3 - Esquema da coagulação química com sulfato de alumínio nos mecanismos de adsorção-neutralização de cargas e varredura Adaptado de AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)	10
Figura 4 - Diagrama de coagulação com sulfato de alumínio e potencial zeta Fonte: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)	11
Figura 5 - Influência das condições de mistura rápida na sedimentação Fonte: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)	13
Figura 6 - 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)	15
Figura 7 - Turbidez da água filtrada ao longo da profundidade em função do pH para as dosagens de 5 e 8 mg/L de sulfato de alumínio incluindo seções do diagrama de coagulação Fonte: AMIRTHARAJAH (1989)	15
Figura 8 - Variação dos valores de turbidez efluente e tempo de filtração em função da dosagem de Al para turbidez inicial =200 uT, pH = 8,1, comprimento do FDHP = 8 m e taxa de filtração = 120 m ³ /m ² d. Adaptado de AHSAN et.al. (1996)	16
Figura 9 - Variação dos valores de turbidez efluente e tempo de filtração em função do pH de coagulação para turbidez inicial =200 uT, dosagem de Al _{III} = 1 mg/L, comprimento do FDHP = 8 m e taxa e filtração = 120 m ³ /m ² d. Adaptado de AHSAN et.al. (1996)	17
Figura 10 - Foto - Sistema de FLAs acoplado ao equipamento de jarteste Fonte: DI BERNARDO et. al. (2000)	19
Figura 11 - Foto - FLA durante a filtração Fonte: DI BERNARDO et. al. (2000)	19

Figura 12 - Variação do NMP colif. totais / 100 mL em função da turbidez do.....	23
Figura 13 - Variação da perda de carga, turbidez, NMP coliformes totais e colônias em placa do afluente e dos efluentes em função do tempo de funcionamento para taxa de filtração igual a 240 m ³ /m ² .d. (F1:16 DFIs; F2:s/ DFIs) Fonte: DIBERNARDO & YATSUGAFU (1987)	24
Figura 14 - Variação dos valores de turbidez, perda de carga e NMP/100 mL de coliformes totais em função do tempo de funcionamento para taxa de filtração igual a 200 m ³ /m ² .d. Fonte: FERNANDES (1987)	26
Figura 15 - Fluxograma das alternativas de pré-tratamento utilizando filtros em pedregulho Fonte: DI BERNARDO et.al. (1999)	33
Figura 16 - Concepções alternativas de filtros em pedregulho que permitem a introdução prévia da etapa de coagulação química Fonte: DI BERNARDO et. al.(1999)	34
Figura 17 - Variação dos valores de turbidez da água bruta e da dosagem de coagulante em função do tempo ETA convencional de Vijes / Acuvallle Fonte: CRUZ VELEZ et al. (1998)	37
Figura 18 - Valores de turbidez média e máxima, duração das variações de qualidade de água em seis fontes superficiais do Vale do rio Cauca Fonte: CRUZ VELEZ et al. (1998)	37
Figura 19 - Variação dos valores de turbidez em função do tempo de operação Fonte: CRUZ VELEZ et al. (1998).....	38
Figura 20 - Custos de investimento inicial em função da vazão para diferentes alternativas tecnológicas na região da cafetera Fonte: MONDRAGON (1998).....	41
Figura 21 - Variação dos valores de turbidez do afluente e efluentes em função do tempo de operação Adaptado de MEGDA (1999)	45
Figura 22 - Variação dos valores de perda de carga e turbidez da água bruta e efluentes do sistema S01 em função do tempo de funcionamento Fonte: GUSMÃO (2001)	52
Figura 23 - Variação dos valores de perda de carga e turbidez da água bruta e efluentes do sistema S02 em função do tempo de funcionamento Fonte: GUSMÃO (2001)	53
Figura 24 - Fluxograma de captação e distribuição de água na IPDF	60
Figura 25 - Foto - Vista externa da IPDF	61
Figura 26 - Foto - Vista interna da IPDF	61
Figura 27 - Foto - Sistema elevatório	62
Figura 28 - Foto - Rotâmetro para água bruta.....	62
Figura 29 - Foto - Interior da Câmara de Nível Constante – CNC.....	63
Figura 30 - Esquema da CNC, CMR e dispositivo de sifonamento (dimensões em mm)	64

Figura 31 - Foto - Câmara de Mistura Rápida - CMR.....	64
Figura 32 - Esquema do FLA.....	67
Figura 33 - Foto - Sistema de FLAs acoplados no jarteste	67
Figura 34 - Foto - Tanques de produtos químicos providos de bomba dosadora,.....	68
Figura 35 - Foto - Dispositivo para teste em FLA no extravasor de água coagulada da IPDF	71
Figura 36 - Foto - FLAs para os três tipos de granulometria	71
Figura 37 - Foto – Filtros FAP e FRD	72
Figura 38 - Detalhes das unidades filtrantes do SDF composto por FAP - FRD	73
Figura 39 - Fotos das camadas granulares do FAP	74
Figura 40 - Curva granulométrica da areia do FRD	75
Figura 41 - Foto - Quadros de Piezômetros	76
Figura 42 - Foto - Turbidímetros de processo.....	77
Figura 43 - Foto - Bomba centrífuga.....	79
Figura 44 - Foto - Reservatório de	79
Figura 45 - Foto - Rotâmetro com gabarito	80
Figura 46 - Foto - Referencial de expansão 0%.....	80
Figura 47 - Esquema geral da IPDF com FDAP	81
Figura 48 - Curva de distribuição granulométrica da areia do FRD.....	83
Figura 49 - Esquema da CNC com bóia (dimensões em mm)	85
Figura 50 - Foto - Ribeirão do Feijão em época de estiagem.....	87
Figura 51 - Foto - Ribeirão do Feijão em época de ocorrência de chuvas.....	88
Figura 52 - Programação do pico de turbidez	89
Figura 53 - Fonte do material argiloso: Km153 / São Carlos – Ribeirão Bonito	90
Figura 54 - Curva de distribuição granulométrica do solo argiloso	91
Figura 55 - Laudo técnico do solo argiloso.....	92
Figura 56 - Curva de distribuição granulométrica do solo argiloso peneirado na # 200	93
Figura 57 - Suspensão concentrada de argila / reservatório de 1000 L	93
Figura 58 - Tanques para aplicação da suspensão de argila.....	95
Figura 59 - Topo da última subcamada do meio granular do FAP.....	106
Figura 60 - Topo da última subcamada do meio granular do FAP.....	106
Figura 61 - Ensaio I / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	109

Figura 62 - Ensaio II / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	111
Figura 63 - Ensaio III / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	113
Figura 64 - Ensaio IV / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	115
Figura 65 - Ensaio V / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	117
Figura 66 - Ensaio VI / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	119
Figura 67 - Ensaio VII / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	121
Figura 68 - Ensaio VIII / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação.....	123
Figura 69 - Ensaio IX / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	125
Figura 70 - Ensaio X c/ 3 DFIs / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no FAP e FRD em função do tempo de operação.....	127
Figura 71 - Ensaio XI / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	129
Figura 72 - Fotos sequenciais da execução de uma DF no FAP	137
Figura 73 - Ensaio de laboratório 1 A / Variação da turbidez remanescente e pH em função da DSA utilizando FLP e FLA para água bruta com turbidez igual a 15,3 uT	144
Figura 74 - Ensaio de laboratório 6 A / Variação da turbidez remanescente e pH em função da DSA utilizando FLP e FLA para água bruta com turbidez igual a 236 uT	144

Figura 75 - Ensaio de laboratório 7 A / Variação da turbidez remanescente e pH em função da DSA utilizando FLP e FLA para água bruta com turbidez igual a 351 uT	145
Figura 76 - Dosagem do coagulante e turbidez do efluente do FLA	145
Figura 77 - Fotos do FAP durante a realização do ensaio XII	148
Figura 78 - Ensaio XII c/ IDFI e pico de turbidez de 384 uT/ Variação dos valores de turbidez da água coagulada e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água bruta, de projeto e operação recomendados para o emprego das tecnologias de FL, FDD, FDA, FDAAG - FRD e FDAP – FRD	8
Tabela 2- Parâmetros para projeto de unidade de mistura rápida	14
Tabela 3 - Composições granulométricas da camada suporte utilizada por Fernandes (1987)	25
Tabela 4 - Características das principais investigações citadas, utilizando a FDA Adaptada de CASTILLA MIRANDA (1997)	29
Tabela 5 - (contin.) Características das principais investigações citadas, utilizando a FDA Adaptada de CASTILLA MIRANDA (1997)	30
Tabela 6 - (contin.) Características das principais investigações citadas, utilizando a FDA	31
Tabela 7 - Características do Material Granular utilizado por MEGDA (1999)	43
Tabela 8 - Características do Material Granular utilizado por CEZAR et. al. (2000)	47
Tabela 9 - Características da água bruta observadas nos ensaios realizados por CEZAR et. al. (2000)	47
Tabela 10 -Valores de eficiência média de remoção de turbidez e clorofila-a e duração da carreira de filtração nos PFAP e FDAP obtidos por CEZAR et. al. (2000).....	47
Tabela 11 - Características do Material Granular utilizado por GUSMÃO (2001)	49
Tabela 12 - Programação dos ensaios realizados por GUSMÃO (2001)	49
Tabela 13 - Composições granulométricas e taxas de filtração / FAPs utilizadas por AMARAL et. al. (2001)	54
Tabela 14 - Características granulométricas / FRDs utilizadas por AMARAL et. al. (2001)	54
Tabela 15 - Características granulares dos meios filtrantes comumente utilizados na FRD Adaptada de DI BERNARDO (1993b)	56
Tabela 16 - Características das principais investigações citadas, utilizando a filtração em pedregulho como pré-tratamento	58
Tabela 17 - Especificações do coagulante químico.....	65

Tabela 18 - Critérios para escolha da granulometria do FLA	66
Tabela 19 - Características do Material Granular do FAP	72
Tabela 20 - Características do Material Granular do FRD	75
Tabela 21 - Vazões correspondentes aos limites de regulação das bombas dosadoras (L/h) 85	
Tabela 22 - Taxas de filtração Fase-I: ensaios sem DFI	88
Tabela 23 - Taxas de filtração Fase-II: ensaios com DFI	88
Tabela 24 - Taxas de filtração Fase-III: ensaios com DFI e pico de turbidez de 350 uT	89
Tabela 25 - Resultados da análise de sólidos da suspensão concentrada de argila	94
Tabela 26 - Parâmetros de Controle e Frequência.....	97
Tabela 27 - Métodos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros de controle	98
Tabela 28 - Resumo das condições de coagulação química nos ensaios de I a XI / Valores de turbidez, pH, temperatura, potencial zeta e alcalinidade da água bruta e de dosagem de alumínio, pH e potencial zeta na água coagulada.....	101
Tabela 29 - Determinação das condições de coagulação para o ensaio VI / Valores de dosagem de alumínio, pH de coagulação e potencial zeta da água coagulada e turbidez da 1ª. e 2ª. coleta do filtrado em FLP	102
Tabela 30 -Valores de pH, Turbidez, ME e PZ das amostras de água bruta de diferentes mananciais e de água coagulada obtidos por Williams (1965)	103
Tabela 31 - Comparação dos resultados de desempenho do sistema nos ensaios IV, V e VI / Valores de taxas de filtração no FAP e FRD, dosagem de alumínio, potencial zeta, turbidez efluentes do FAP e FRD, duração da 1ª. carreira do FRD	103
Tabela 32 - Tempo de início da ocorrência dos fenômenos no FAP nos ensaios I, IV, V, VI, VIII, X e XI / taxa de filtração, DSA, tempo de operação em que foi observado o início da ocorrência de carreamento e desprendimento de flocos, formação de fissuras e ruptura, ...	107
Tabela 33 - Resumo do Ensaio I / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, <i>E. coli</i> , número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD	108
Tabela 34 - Resumo do Ensaio II / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido e absorvância para água bruta e efluentes do FAP e FRD	110

Tabela 35 - Resumo do Ensaio III / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; PH, alcalinidade, turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD	112
Tabela 36 - Resumo do Ensaio IV / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, número e distribuição de partículas	114
Tabela 37 - Resumo do Ensaio V / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, <i>E. coli</i> , número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD	116
Tabela 38 - Resumo do Ensaio VI / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, <i>E. coli</i> , número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD	118
Tabela 39 - Resumo do Ensaio VII / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, número e distribuição de partículas para	120
Tabela 40 - Resumo do Ensaio VIII / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH e turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD.....	122
Tabela 41 - Resumo do Ensaio IX / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH e turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD.....	124
Tabela 42 - Resumo do Ensaio X c/ 3 DFIs / Taxa de filtração, tempo de operação na execução das DFIs, duração da carreira, condições de coagulação química; pH e turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD.....	126
Tabela 43 - Resumo do Ensaio XI / Taxa de filtração, tempo de operação na execução das DFIs, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, <i>E. coli</i> , número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD	128
Tabela 44 - Resumo dos valores de turbidez nos Ensaios I a XI / Taxas de filtração no FAP e FRD, dosagem de alumínio e valores de turbidez nos efluentes do FAP e FRD	131
Tabela 45 - Remoção de partículas nos ensaios I, V, VII e XI / Distribuição das faixas de tamanho de (2 a 4); (6 a 12); (12 a 24) μm na água bruta, % remoção no FAP e FRD,.....	132

Tabela 46 - Resumo dos valores de cor verdadeira, absorvância, carbono orgânico dissolvido, coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos nos ensaios I, II, IV, V, VI, VII e XI	133
Tabela 47 - Duração das carreiras de filtração nos Ensaios I a XI / Taxa de filtração no FAP e FRD, perda de carga inicial no meio granular do filtro FAP, dosagem de alumínio, duração da carreira e perda de carga no meio granular nos filtros FAP e FRD	135
Tabela 48 - Taxas de filtração nos filtros FAP e FRD empregadas nos ensaios da Fase-II	136
Tabela 49: Resultados dos cálculos efetuados para a determinação do índice de produção efetiva de água / Parâmetros das operações de lavagens dos filtros FAP e FRD, taxa de filtração, duração da carreira, número de lavagens, produção total e efetiva de água filtrada e	140
Tabela 50 - Especificações do alcalinizante: Carbonato de Sódio em pó / Massa específica aparente, teor mínimo, umidade máxima, insolúveis máximo	142
Tabela 51 - Parâmetros de mistura rápida, de filtração direta e de controle empregados nos ensaios para determinação das condições de coagulação no ensaio XII / Tempo e gradiente de velocidade médio de mistura rápida, dosagens de sulfato de alumínio, de alumínio e de carbonato de sódio, tempos de coleta das amostras e parâmetros de controle	143
Tabela 52 - Resultados dos ensaios de laboratório utilizando FLA e FLP, com baixas dosagens de coagulante químico e águas com diferentes valores de turbidez / Turbidez da água de estudo, dosagem de sulfato de alumínio, turbidez remanescente	146
Tabela 53 - Resumo dos dados e resultados dos ensaios realizados em laboratório para determinação das condições de coagulação no ensaio XII / Turbidez da água de estudo, padrão de areia do FLA, tamanho dos grãos, dosagens de alumínio e carbonato de sódio e resultados selecionados.....	146
Tabela 54 - Resumo do Ensaio XII / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, concentração de alumínio residual, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD.....	149

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CINARA	- Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Água
CMR	- Câmara de Mistura Rápida
CNC	- Câmara de Nível Constante
DF	- Descarga de Fundo
DFF	- Descarga de Fundo Final
DFI	- Descarga de Fundo Intermediária
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
FAP	- Filtro Ascendente em Pedregulho
FDAAG	- Filtração Direta Ascendente em Areia Grossa
FDAP	- Filtração Direta Ascendente em Pedregulho
FHP	- Filtração de Pedregulho com Escoamento Horizontal
FiMe	- Filtração em Múltiplas Etapas
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;
PFDi	- Pré-Filtro Dinâmico
PFHP	- Pré-Filtração de Pedregulho com Escoamento Horizontal
PFVP	- Pré-Filtração de Pedregulho com Escoamento Vertical
SDF	- Sistema de Dupla Filtração
Tmr	- Tempo de mistura rápida
USP	- Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

AB	- Água Bruta
ABS	- Absorvância
AC	- Água Coagulada
CD	- Coeficiente de Desuniformidade
COD	- Carbono Orgânico Dissolvido
CU	- Coeficiente de Uniformidade
DAI	- Dosagem de Alumínio
DCS _{pc}	- Dosagem de Carbonato de Sódio do produto comercial
DSA	- Dosagem de Sulfato de Alumínio sólido
pH	- Potencial Hidrogeniônico
SDT	- Sólidos Dissolvidos Totais
SFD	- Sólidos Dissolvidos Fixos
SFS	- Sólidos Suspensos Fixos
SFT	- Sólidos Fixos Totais
SSed	- Sólidos Sedimentáveis
SST	- Sólidos Suspensos Totais
ST	- Sólidos Totais
SVD	- Sólidos Dissolvidos Voláteis
SVS	- Sólidos Suspensos Voláteis
SVT	- Sólidos Voláteis Totais
TE / D ₁₀	- Tamanho Efetivo do material

RESUMO

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

Este trabalho consiste na avaliação do desempenho do sistema composto por filtração direta ascendente em pedregulho seguida da filtração rápida descendente. A investigação experimental foi realizada em instalação piloto, variando-se a taxa de filtração nos filtros ascendente (60 a $240 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}$) e descendente (100 a $240 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}$) 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 , cor verdadeira entre 19 e 50 uH e alcalinidade entre $6,7$ e $10 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$. Adicionalmente, verificou-se o comportamento da instalação, para uma condição simulada de ocorrência de pico de turbidez de 380 uT , com curta duração. Em função dos resultados obtidos foi possível realizar considerações com relação à ocorrência de desprendimento / carreamento contínuo de flocos no filtro ascendente e constatar as influências da execução de descargas de fundo intermediárias, com produção de efluentes de melhor qualidade e carreiras de filtração mais prolongadas. O filtro ascendente com taxa de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. foi capaz de absorver o pico de turbidez de 380 uT , produzindo efluente pré-filtrado com valores de turbidez entre $0,3$ e $5,7 \text{ uT}$, e o filtro descendente, com taxa de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$., produziu efluente final com valores consistentemente menores que 1 uT , e na maior parte do tempo menores que $0,1 \text{ uT}$.

Palavras-chave: filtração direta ascendente; dupla filtração; filtração direta ascendente em pedregulho.

ABSTRACT

KURODA, E. K. (2002). Evaluation of direct upflow filtration in gravel as pretreatment in double filtration systems. São Carlos, 2002. 237 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work consists of a performance evaluation of the system composed by direct upflow filtration in gravel followed by rapid downflow filtration in sand. The experimental investigation was accomplished in pilot installation, being varied the filtration rate in the upflow (60 to 240 m³/m²d.) and downflow (100 to 240 m³/m²d.) filters with and without execution of intermediate downflushes in the first one. The raw water was provided from a superficial source with pH between 6,5 to 7,5, turbidity values between 8,5 and 21 UT, visible colour between 19 and 50 uH and alkalinity between 6,7 and 10 mg CaCO₃/L. In addition, the behavior of the installation was verified, for a simulate condition of turbidity peak occurrence of 380 uT, with short duration. From the obtained results it was possible to accomplish considerations concerning the detachment occurrence / continuous flowing of flakes in the upflow filter and to verify the influences of the execution of intermediate downflushes, with production of better quality effluents and longer filter runs. The upflow filter with filtration rate of 120 m³/m²d. was able to attenuate the turbidity peak of 380 uT, producing prefiltered effluent with turbidity values between 0,3 and 5,7 uT, and the downflow filter, with filtration rate of 180 m³/m²d. produced final effluent with consistently values lower than 1 uT and in most of time lower than 0,1 uT.

Keywords: direct upflow filtration; double filtration; direct upflow filtration in gravel.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de água e conseqüente poluição dos mananciais superficiais, decorrentes da urbanização desordenada e crescimento populacional, revelam a necessidade de avaliarmos com mais seriedade, as medidas tomadas com relação à questão da saúde pública. No caso específico dos sistemas de tratamento de águas para consumo humano, as Estações de Tratamento de Águas – ETAs são responsáveis por produzir, através da aplicação de processos de tratamento adequados, água que atenda ao Padrão de Potabilidade, regulamentado no Brasil, pela Portaria 1469 de dezembro de 2000 do Ministério da Saúde.

A tecnologia de tratamento por ciclo completo, composta por coagulação, floculação, sedimentação e filtração rápida, apesar de ser a mais difundida no Brasil, nem sempre se constitui como alternativa mais adequada. A necessidade de mão-de-obra especializada, mecanização de processos, proximidade aos fornecedores de produtos químicos e elevado custo operacional entre outros fatores, pode introduzir dificuldades operacionais e acarretar sérios prejuízos à qualidade da água produzida, especialmente em pequenas e médias cidades, nos quais os recursos são limitados, e os problemas decorrentes de uma escolha inadequada de tecnologia são mais dificilmente contornados.

Baseado nos dados estatísticos do IBGE (2001), considerando a população para pequenas e médias cidades da ordem de 200.000 habitantes, a porcentagem dessas cidades no Brasil correspondente a 98% (figura 1).

Figura 1 - Porcentagem e número de cidades em função de faixas de população
Fonte: IBGE (2001)

Nesse contexto, é de fundamental importância o desenvolvimento e domínio de diferentes tecnologias de tratamento de águas para consumo humano, ou combinações destas, que resultem em tecnologias alternativas mais apropriadas às diversas condições de qualidade de águas existentes na atualidade.

As investigações realizadas sobre a pré-filtração em pedregulho, com introdução prévia de coagulação química, têm apresentado resultados que revelam o grande potencial que esta tecnologia possui, especialmente, por permitir o tratamento de águas com características que dificultam a aplicação dos processos e operações, envolvidos nos sistemas de tratamento que empregam a tecnologia de ciclo completo ou filtração lenta.

Na Bolívia, por ocasião da reabilitação de um sistema existente, composto por pré-filtração em pedregulho com escoamento horizontal – PFHP seguida da filtração lenta - FL, WEGELIN et. al. (1996) constataram que a transformação das unidades de PFHP em duas unidades de filtração direta ascendente em camadas – FDAPC antecedendo a FL, apresentou boa eficiência no tratamento de águas com elevados valores de turbidez (300 a 600 uT) e concentrações de ferro total (3 a 15 mg/L).

Com o objetivo de desenvolver uma tecnologia de tratamento intermediária para pequenas cidades que recebem água com elevada turbidez, e que necessitam de efluentes adequados ao tratamento subsequente, geralmente realizado pela filtração lenta ou rápida, AHSAN et. al. (1996) realizaram estudos sobre o desempenho da PFHP porém, recebendo uma dosagem típica de coagulante (da ordem de 1mg Al/L). Os resultados permitiram concluir que o desempenho da filtração direta em pedregulho com escoamento horizontal - FDHP foi sistematicamente superior ao da PFHP, pela eficiência na remoção de partículas,

(200 a 400 uT) e por operar sob taxas de filtração mais elevadas (72 a 168 m³/m².d.) que a PFHP (12 a 24 m³/m².d.).

CRUZ VELEZ et al. (1998) realizou um diagnóstico sobre o emprego da tecnologia de filtração rápida realizada em comunidades colombianas, tendo concluído que a combinação da pré-filtração dinâmica - PFDi seguida da FPAC, constitui uma opção viável de pré-tratamento à filtração rápida, sobretudo em países tropicais, devido às variações bruscas na qualidade da água durante o período de chuvas, requerendo nestes casos um rigoroso controle técnico e de operação, condição nem sempre disponível em pequenas cidades e em regiões em desenvolvimento.

Assim, águas que apresentam, temporariamente, baixa turbidez e altos ou moderados níveis de matéria dissolvida, ou ainda, variações bruscas de qualidade, podem também ser eficientemente tratadas, com razoável simplicidade operacional e custos significativamente menores, adequadas às pequenas e médias cidades, sobretudo, sob o aspecto social.

A filtração vertical em pedregulho com escoamento ascendente apresenta vantagens sobre as outras concepções, por apresentar maior capacidade de retenção de sólidos no fundo do filtro, de onde podem ser mais facilmente removidos através da execução de descargas de fundo - DFs, além de resultar em durações de carreiras mais prolongadas.

A aplicação da filtração direta ascendente em pedregulho – FDAP, como pré-tratamento à filtração rápida descendente - FRD, compõe uma variação do sistema de dupla filtração – SDF e tem merecido a atenção de pesquisadores da área (MEGDA, 1999; CEZAR, 2000; GUSMÃO, 2001; AMARAL et. al., 2001), principalmente como alternativa ao tratamento por ciclo completo em pequenas e médias cidades. Há necessidade, porém, da realização de estudos adicionais quanto ao desempenho desta tecnologia, considerando principalmente as taxas de filtração nos filtros ascendente e descendente, a granulometria do material do filtro ascendente, as condições variadas de qualidade de água bruta, o número de descargas de fundo intermediárias no filtro ascendente, os métodos operacionais de limpeza e lavagem, bem como de execução de descarga de fundo, sendo enquadrado nesta linha de pesquisa, o presente trabalho.

2 OBJETIVOS

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo geral de avaliar o comportamento com relação à duração da carreira de filtração, produção efetiva de água e qualidade dos efluentes produzidos por uma instalação piloto de dupla filtração, constituída por filtração ascendente em pedregulho seguida de filtração rápida descendente em areia, para água proveniente de manancial superficial, variando-se:

- as taxas de filtração nos filtros ascendente e descendente;
- o número e o método de execução das descargas de fundo intermediárias no filtro ascendente;

Adicionalmente, este trabalho objetivou verificar o comportamento da instalação citada, para uma condição simulada de ocorrência de pico de turbidez de 380 uT com curta duração, mediante aplicação das condições de coagulação previamente determinadas em ensaios de laboratório.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo contempla os principais aspectos e a revisão de investigações e estudos realizados sobre os processos básicos e as tecnologias de tratamento que fundamentam o tema proposto: Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho - FDAP em sistemas de dupla filtração - SDFs. São abordadas, preliminarmente, a coagulação química, a filtração direta ascendente – FDA e a filtração em pedregulho, e em seguida, os processos envolvidos em SDFs usuais: filtração direta ascendente em areia grossa – FDAAG e filtração rápida descendente – FRD. Finalizando, são apresentados alguns estudos realizados com relação à FDAP como pré-tratamento à FRD que direcionaram a realização deste trabalho.

3.1 Considerações Iniciais

Dentre as tecnologias tradicionais de tratamento visando tornar a água potável, há aquelas em que a coagulação química se faz necessária, e as que prescindem deste processo, embora ambas requeiram, na maioria dos casos, a etapa de filtração, que pode ser rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração empregada. Segundo DI BERNARDO (1993a), somente nessa etapa é que ocorre a remoção, de quase sua totalidade, das partículas coloidais, suspensas e microrganismos em geral, de forma que a desinfecção final seja efetiva para a produção de água que atenda ao padrão de potabilidade.

Nas tecnologias sem necessidade de coagulação química, às custas de baixas taxas de filtração e qualidade restritiva de água bruta, a filtração é governada pelas ações físicas e biológicas, como na filtração lenta; enquanto nas outras, a coagulação química desempenha papel fundamental para que os processos físico-químicos, visando a desestabilização e ou aglutinação das partículas, possibilite o emprego de taxas de filtração da ordem de 50 vezes mais elevadas, mesmo para águas de pior qualidade. Desta forma, subentende-se que em tecnologias que requerem a coagulação química, este processo desempenha papel importantíssimo, pois dele depende a eficiência das outras etapas do tratamento.

No decorrer dos anos, esforços no sentido de superar as limitações e dificuldades das tecnologias existentes, frente às diferentes qualidades de água bruta, deram origem às inúmeras tecnologias de tratamento ou combinações destas, de forma a possibilitar aplicações alternativas apropriadas, de acordo com as diversas condições locais, considerando os aspectos técnicos, econômicos e sociais.

Apresentam-se, na figura 2, as tecnologias usuais de tratamento de água para consumo humano, não sendo, portanto, consideradas as tecnologias reconhecidamente sofisticadas para países em desenvolvimento, tais como aquelas em que são empregados membranas, oxidantes alternativos ou carvão ativado.

Figura 2 - Fluxograma das tecnologias usuais de tratamento de água para consumo humano
 Adaptado de DI BERNARDO (1993a)

Algumas particularidades sobre essas tecnologias merecem ser citadas.

No tratamento em ciclo completo, a etapa intermediária de sedimentação constitui uma forma simples e eficiente de remoção do material suspenso presente na água. O uso da flotação por ar dissolvido como alternativa à sedimentação é recomendado para o caso de águas que apresentem baixa turbidez e elevadas concentrações de substâncias húmicas ou algas, cujos flocos formados após coagulação, são caracterizados em geral, por baixas

velocidades de sedimentação, dificultando a sua remoção nos decantadores e provocando a rápida colmatação do meio filtrante.

Embora o emprego da filtração lenta - FL não seja muito difundido no Brasil, esta tecnologia dispensa a adição de coagulante e tem se mostrado eficiente desde que devidamente aplicada. Caracterizada por baixas taxas de filtração em meio filtrante de granulometria fina, favorece a formação do "Schmutzdecke", camada no topo do meio filtrante onde ocorre intensa atividade biológica, responsável pela elevada eficiência na remoção de microrganismos como bactérias, vírus e cistos de *Giardia*.

A filtração direta descendente - FDD surgiu, principalmente, da dificuldade no tratamento de águas com turbidez e cor verdadeira relativamente baixas, em estações de tratamento de água - ETAs do tipo ciclo completo, em que a coagulação, mesmo que predominantemente realizada no mecanismo de varredura, resultava na formação de flocos com baixa velocidade de sedimentação e, portanto, de difícil remoção nos decantadores. Com a coagulação realizada predominantemente no mecanismo de adsorção - neutralização de cargas para aquelas águas, e eliminação da etapa de decantação, a FDD mostrou-se eficiente e mais econômica, comparada à tecnologia de tratamento por ciclo completo, devido ao menor consumo de produtos químicos, menor área e custos requeridos para implantação.

A filtração direta ascendente - FDA destaca-se fundamentalmente por proporcionar a diminuição do tamanho dos vazios intergranulares no sentido do escoamento, resultando em utilização efetiva da camada como meio filtrante, redução da taxa de desenvolvimento de perda de carga no meio granular durante a filtração, devido à remoção de quantidade substancial de impurezas, na porção do meio filtrante de maior granulometria, e conseqüentemente, na produção de carreiras com durações mais prolongadas.

A implementação de um método eficiente para a execução de descargas de fundo - DF, com remoção dos sólidos retidos na camada de maior granulometria, permitiram a aplicação desta tecnologia em águas de pior qualidade, podendo requerer tratamento complementar através da filtração rápida descendente - FRD, compondo assim o sistema de dupla filtração - SDF. Nesse caso, a granulometria do filtro ascendente pode ser maior que a usada quando se tem somente a FDA, uma vez que a turbidez de seu afluente pode ser superior a 1uT.

O sucesso obtido através da utilização da pré-filtração em pedregulho antecedendo a filtração lenta - FL, compondo a filtração em múltiplas etapas - FiMe, especialmente com relação à capacidade de retenção de sólidos, ao tratamento de águas que apresentam

variações bruscas de qualidade e às facilidades operacionais na execução da limpeza e lavagem, levaram à realização de estudos, considerando a adição de coagulação química e combinações diversas de tratamento complementar, destacando-se a filtração direta ascendente em pedregulho – FDAP aplicada em sistemas de dupla filtração - SDF, objeto de pesquisa deste trabalho.

A escolha de uma alternativa de tratamento à outra está essencialmente relacionada às características da água a ser tratada. Apresentam-se na tabela 1 os valores limites dos parâmetros de qualidade da água bruta e de projeto e operação, recomendados para o emprego das tecnologias de Filtração Lenta – FL, Filtração Direta Descendente – FDD, Filtração Direta Ascendente – FDA e os sistemas de dupla filtração – SDF compostos por Filtração Direta Ascendente em Areia Grossa seguida da Filtração Rápida Descendente – FDAAG - FRD e Filtração Direta Ascendente em Pedregulho seguida da Filtração Rápida Descendente – FDAP – FRD, segundo resultados de pesquisas realizadas nos últimos 25 anos na Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água bruta, de projeto e operação recomendados para o emprego das tecnologias de FL, FDD, FDA, FDAAG - FRD e FDAP – FRD

Adaptada de DI BERNARDO & ISAAC (2001)

Parâmetros		FL	FDD	FDA	FAAG - FRD	FAP - FRD
Turbidez (uT)	90 % do tempo ≤	-	-	25	50	100
	95 % do tempo ≤	10	25(*)	50	100	150
	100 % do tempo ≤	25	100(*)	100	150	200
Cor verdadeira (uH)	90 % do tempo ≤	-	-	20	50	100
	95 % do tempo ≤	5	25(*)	50	100	150
	100 % do tempo ≤	10	50(*)	100	150	200
SST (mg/L)	95 % do tempo ≤	10	50	-	-	-
	100 % do tempo ≤	25	150	-	-	-
DBO5 (mg/L)		-	-	5	10	10
COT (mg/L)		-	5	2	5	5
Concentração de algas (UPA/mL)		500	1000	500	2000	2500
E.Coli (NMP/100mL)		500	500	1000	5000	5000
Coliformes totais (NMP/100mL)		1000	2500	5000	20000	20000
Taxa filtração ascendente (m/d)		-	-	120 a 240	120 a 240	24 a 144
Taxa filtração descendente (m/d)		3 a 6	200 a 600	-	200 a 400	200 a 400
Número de descargas de fundo durante a carreira		-	-	≥1	≥4	≥4
Taxa de aplicação de água na interface durante a descarga		-	-	≥600	≥600	≥600

(*) : os valores limites de turbidez e cor verdadeira não devem ocorrer simultaneamente. Há autores que consideram o valor limite eventual de turbidez igual a 200 uT, admissível quando a cor verdadeira for inferior a 10 uC, enquanto outros, recomendam o valor limite eventual de cor verdadeira de 100 uC desde que a turbidez seja inferior a 5 uT.

3.2 Coagulação Química

Dependendo das condições climáticas, hidrológicas, geológicas, pedológicas, morfológicas e do grau de poluição, as águas superficiais contêm em geral, partículas coloidais e suspensas, substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas, além de microrganismos e outras impurezas, apresentando em grande parte, cargas superficiais negativas, predominando, assim, as forças de repulsão e favorecendo a permanência estável dessas impurezas no meio. 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 mecanismo ou outro está intimamente relacionada às condições de coagulação, que por sua vez dependem da tecnologia de tratamento a ser utilizada.

Quando sais de alumínio ou ferro são adicionados à água, sob condições particulares de dosagem de coagulante 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 neutralização de cargas ou desestabilização da partícula.

Figura 3 - Esquema da coagulação química com sulfato de alumínio nos mecanismos de adsorção-neutralização de cargas e varredura Adaptado de AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)

O diagrama de coagulação desenvolvido por AMIRTHARAJAH & MILLS (1982), para águas sintéticas e naturais com turbidez relativamente alta comparada à cor verdadeira, foi baseado no diagrama de solubilidade do alumínio, e nas condições de pH e dosagem de sulfato de alumínio, delimitando as regiões ou condições para a efetiva desestabilização de partículas, através dos diferentes mecanismos de coagulação (figura 4).

Figura 4 - Diagrama de coagulação com sulfato de alumínio e potencial zeta Fonte: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)

Para o diagrama mostrado, observa-se que uma dosagem de 10 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ produz duas condições de neutralização de cargas correspondente à mobilidade eletroforética nula. A primeira é devido 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 $\text{pH}=6,8$. A segunda 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 seção 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.

Com o intuito de determinar a influência das condições de mistura rápida (parâmetros de projeto e operação) na cinética da coagulação dos vários mecanismos, AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) realizaram ensaios com água apresentando turbidez inicial de 17 a 27 uT e alcalinidade de 80 mg/L de CaCO_3 . A dosagem do coagulante químico variou de 1 a 40 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16 \text{H}_2\text{O}$, e o pH de coagulação de 4 a 9 sendo que, para cada dosagem de sulfato de alumínio, foram estudados 4 a 5 valores de pH, e testados três modos diferentes de mistura rápida: um agitador de lâmina plana com gradiente de velocidade médio de mistura rápida $G_{mr} = 300 \text{ s}^{-1}$ e tempo de mistura rápida $T_{mr} = 60 \text{ s}$; um agitador de hélice com $G_{mr} = 1.000 \text{ s}^{-1}$ e tempo $T_{mr} = 20 \text{ s}$; e um misturador tipo hélice helicoidal com $G_{mr} \cong 16.000 \text{ s}^{-1}$ e tempo $T_{mr} = 1 \text{ s}$. Em seguida, a amostra era floculada com gradiente de velocidade médio de floculação $G_{floc} = 25 \text{ s}^{-1}$ e tempo de floculação $T_{floc} = 20 \text{ min}$, sendo a turbidez do sobrenadante medida em intervalos de 15 min por um período de 2 h.

Uma amostra representativa dos resultados obtidos com dosagens de 1, 5 e 30 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16 \text{H}_2\text{O}$ é mostrada na figura 5.

Dentre as principais conclusões, pode-se destacar:

- Tanto na região de coagulação com predomínio do mecanismo de varredura (figura 5 / E) quanto da combinação (figura 5 / A), houve pouca diferença entre as três intensidades de mistura rápida, embora a turbidez final tenha apresentado melhores resultados para coagulação no mecanismo de varredura;
- A elevada intensidade de mistura rápida ($G_{mr} = 16000 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 1 \text{ s}$) resultou em significativa diferença, somente na região corona ao redor da zona de reestabilização, onde predomina o mecanismo de neutralização (figura 5 / C e F);
- Na região de reestabilização (figura 5 / B), não houve diferenças substanciais na coagulação, associadas às condições de mistura rápida;
- Pela figura 5 / D, observa-se que na região de neutralização abaixo da zona de reestabilização, caracterizada pelas baixas dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 16 \text{H}_2\text{O}$, os resultados mostram uma melhora na turbidez, mas os processos são lentos porque algumas partículas estão ainda carregadas negativamente.

Figura 5 - Influência das condições de mistura rápida na sedimentação Fonte: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)

DIBERNARDO (1993a) apresenta os valores de parâmetros usualmente utilizados para projeto de unidades de mistura rápida (tabela 2) ressaltando, porém, que os mesmos devem ser especificamente determinados em ensaios de laboratório.

Tabela 2- Parâmetros para projeto de unidade de mistura rápida			
Fonte: DIBERNARDO (1993a)			
Coagulante	Gmr (s-1)	Tmr (s)	mecanismo
Sulfato de alumínio	3000 a 6000	≤ 5	neutralização de cargas
Cloreto férrico			
Sulfato férrico	500 a 1200	≤ 60	varredura
Sulfato ferroso			

MENDES (1985) investigou o efeito da coagulação por varredura e por neutralização de cargas em instalação piloto, no desempenho da filtração direta ascendente - FDA com taxas de filtração entre 120 e 240 m³/m².d.. No filtro F1, foi utilizada água coagulada na ETA de São Carlos – ETASC, que emprega a tecnologia de ciclo completo, e no F2, dosagens inferiores às da ETASC, tendo observado que:

- as durações das carreiras resultaram inversamente proporcionais às dosagens empregadas;
- as dosagens utilizadas na ETASC não eram adequadas para aplicação na FDA, devido à ocorrência prematura do transpasse de impurezas;
- a aplicação de menores dosagens de coagulante, de até 25 % das utilizadas na ETASC e menores valores de pH, apresentou melhor desempenho com relação à qualidade do efluente e duração da carreira de filtração, além de poder eventualmente dispensar o uso de alcalinizante, dependendo da alcalinidade da água.

Apresenta-se na figura 6 um resultado típico desta investigação.

Figura 6 - 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)

A figura 7 mostra os resultados de uma investigação experimental realizada por AMIRTHARAJAH (1989) sobre as condições químicas aplicadas à tecnologia de filtração direta. Observa-se a superioridade da coagulação realizada predominantemente no mecanismo de neutralização, através da turbidez do filtrado de várias profundidades da camada, após 420 minutos de carreira, com dosagens de sulfato de alumínio de 5 e 8 mg/L e condições variadas de pH.

Figura 7 - Turbidez da água filtrada ao longo da profundidade em função do pH para as dosagens de 5 e 8 mg/L de sulfato de alumínio incluindo seções do diagrama de coagulação Fonte: AMIRTHARAJAH (1989)

Com o objetivo de superar algumas das limitações da pré-filtração em pedregulho com escoamento horizontal – PFHP, para tratamento posterior com filtração lenta ou rápida, e torná-la mais adequada à aplicação urbana, AHSAN et. al. (1996) investigaram, em instalação piloto, a aplicação de coagulante químico antecedendo a PFHP. Para tanto, ensaios preliminares laboratoriais foram desenvolvidos, resultando em um diagrama de coagulação similar ao apresentado por AMIRTHARAJAH & MILLS (1982), porém para águas com elevada turbidez (200 uT).

De acordo com este diagrama, para a dosagem de 2 mg/L de Al_{III} , o mecanismo predominante foi o de varredura, e ocorreu uma excelente remoção de partículas. Para a dosagem de 1 mg/L de Al_{III} , a turbidez do efluente foi mais alta (2 a 6 uT), e para 0,5 mg/L de Al_{III} , as partículas foram insuficientemente desestabilizadas e resultaram em menor eficiência (figura 8). Assim, as dosagens empregadas sugerem, que o mecanismo de coagulação mais apropriado para a filtração direta em pedregulho com escoamento horizontal – FDHP consiste na combinação da varredura e neutralização, mostrando-se similares às utilizadas na filtração direta (entre 0,5 e 1,5 mg/L de Al_{III}) para este tipo de água, tendo sido efetivos para ampla faixa de variação do pH (entre 6,5 e 9,0), conforme figura 9.

Figura 8 - Variação dos valores de turbidez efluente e tempo de filtração em função da dosagem de Al para turbidez inicial = 200 uT, pH = 8,1, comprimento do FDHP = 8 m e taxa de filtração = 120 m³/m²d. Adaptado de AHSAN et.al. (1996)

Figura 9 - Variação dos valores de turbidez efluente e tempo de filtração em função do pH de coagulação para turbidez inicial = 200 uT, dosagem de Al_{III} = 1 mg/L, comprimento do FDHP = 8 m e taxa de filtração = 120 $m^3/m^2.d$. Adaptado de AHSAN et.al. (1996)

Para as condições do estudo, considerando a eficiência de remoção de impurezas do filtro e duração de carreira, o valor de gradiente de velocidade médio de mistura rápida – G_{mr} mais adequado variou entre 200 e 300 s^{-1} , com tempo de mistura rápida T_{mr} = 1 min. A análise de partículas mostrou que para G_{mr} = 100 a 300 s^{-1} , o tamanho médio das partículas da água coagulada era de 9 μm e foi reduzido para 5 μm , para G_{mr} = 1000 s^{-1} .

Uma importante contribuição dada por WAGNER & HUDSON (1982), foi a apresentação de um ensaio simples de bancada utilizando o jarteste para a realização da mistura rápida, seguida da filtração da água coagulada em filtro de laboratório em papel – FLP (whatman 40), possibilitando a determinação da dosagem de coagulante mais adequada.

Com base no trabalho de WAGNER & HUDSON, DI BERNARDO (1985) ao investigar a potencialidade de aplicação da FDA à água de uma represa, comparou os resultados obtidos em ensaios de bancada utilizando FLP (whatman 40), e em instalação piloto, para as mesmas condições de pH, dosagem de coagulante e taxa de filtração de 180 $m^3/m^2.d.$, tendo observado que, decorrido cerca de 30 min. de filtração na instalação piloto, os resultados eram melhores ou iguais àqueles obtidos em FLP. A água estudada apresentava as seguintes características: turbidez = 2,5 uT, cor aparente = 2,5 a 5,0 uH, pH = 6,5, alcalinidade total = 4 mg $CaCO_3/L$, temperatura = 21°C. Recomendou, porém, que após a constatação da aplicabilidade da filtração direta, fosse realizada investigação em instalação piloto de escoamento contínuo para a obtenção dos parâmetros de projeto em escala real.

Segundo DI BERNARDO et. al. (2000), a avaliação preliminar da potencialidade do emprego da FDD ou FDA pode ser realizada através da determinação da dosagem de

coagulante, requerida para o tratamento de águas dos mananciais em estudo, na época de chuvas, utilizando FLP (whatman 40), desde que os valores máximos de alguns parâmetros não superem os sugeridos a seguir: turbidez = 25 uT, cor verdadeira = 50 uH, algas filamentosas ou concentração total de algas = 100 ind./mL, concentração protozoários, rotíferos e metazoários = 500 ind./L. Caso contrário, os resultados produzidos utilizando o FLP (whatman 40), podem diferir daqueles que conduzem aos melhores resultados nos meios filtrantes usualmente empregados para esta tecnologia.

Considerando as limitações apresentadas, e tendo em vista a existência, no Brasil, de muitas ETAs de pequeno e médio porte, que empregam a tecnologia da FDD ou FDA, sem a existência de instalação piloto de escoamento contínuo para a determinação dos parâmetros de coagulação mais apropriados, foi desenvolvido um sistema de filtros de pequenas dimensões contendo areia como meio filtrante, a serem acopladas ao equipamento de Jarteste, possibilitando a avaliação das condições de coagulação nestes casos.

Nos estudos realizados, foram comparados os resultados da filtração em filtros de laboratório em areia - FLAs e FLPs, variando-se a qualidade da água e o tipo de coagulante, tendo sido observado maior coerência nos resultados obtidos pela filtração em FLA. O sistema de FLAs mostrou ser de grande utilidade por:

- permitir a rápida determinação das condições de coagulação, utilizando-se vários coagulantes químicos;
- possibilitar a realização do controle das condições de coagulação em ETAs, na ausência de instalação piloto de escoamento contínuo;
- permitir a avaliação do processo de coagulação realizada em ETAs que empregam a tecnologia de ciclo completo.

Apresentam-se nas figuras 10 e 11, fotos do sistema de filtros de laboratório em areia – FLAs acoplados ao equipamento de jarteste.

Figura 10 - Foto - Sistema de FLAs acoplado ao equipamento de jarteste
Fonte: DI BERNARDO et. al. (2000)

Figura 11 - Foto - FLA durante a filtração
Fonte: DI BERNARDO et. al. (2000)

3.3 Filtração Direta Ascendente

A filtração direta ascendente – FDA consiste, basicamente, na passagem de água coagulada com escoamento ascendente, primeiramente por uma camada de pedregulho com espessura de 0,6 m a 0,8 m, e em seguida por uma camada de areia de espessura da ordem de 1,6 m a 2,0 m, geralmente com tamanho dos grãos entre 0,59 e 2,0 mm, tamanho efetivo – TE entre 0,8 e 0,85 e coeficiente de desuniformidade - CD menor que 1,6. Recomenda-se para a aplicação da FDA, que a coagulação da água ocorra, predominantemente, no mecanismo de neutralização de cargas, e a operação seja realizada com taxas de filtração entre 120 e 240 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, com execução de descargas de fundo intermediárias – DFIs e introdução simultânea de água na interface pedregulho-areia, sob taxa de aplicação igual ou superior a 600 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$. Os valores limites dos parâmetros de qualidade da água bruta e de projeto e operação, visando a aplicação desta tecnologia, segundo DI BERNARDO & ISAAC (2001), são apresentados na tabela 1.

A FDA destaca-se 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 porção do meio filtrante de maior granulometria e conseqüentemente, em duração de carreiras de filtração mais longas;

- empregar menor quantidade de coagulante por m³ de água tratada, pois como a floculação ocorre na camada suporte, onde fica retida grande parte das impurezas, não há necessidade da formação prévia de flocos grandes e densos;
- requerer menores área e custo para implantação da estação pela 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 suporte, com produção de efluentes de melhor qualidade e duração de carreiras mais prolongadas;
- resultar em custos de operação e manutenção significativamente menores quando comparados aos de uma instalação na qual são usados a coagulação, floculação, decantação e filtração, devido à redução do consumo de energia, do emprego de mão-de-obra, da quantidade de coagulante utilizado e conseqüentemente da produção de lodo.

Apresenta-se a seguir, um breve histórico da evolução da tecnologia de FDA, destacando-se as inovações alcançadas no sentido de superar suas limitações, sendo as características específicas dos principais trabalhos, resumidos nas tabelas 4, 5 e 6.

A idéia da filtração ascendente não é nova, segundo HAMANN & McKINNEY (1968), em 1827 em Greenock, na Escócia, foi construída a primeira instalação municipal utilizando a filtração ascendente. Mas de acordo com CALISE & HOMER (1958), foi a partir da metade do século XX, que um grande impulso foi dado pelos soviéticos, com o desenvolvimento dos chamados “clarificadores de contato”, ou filtros russos, obtendo-se qualidade similar àquela tratada em plantas de ciclo completo.

Diversas vantagens relacionadas à aplicação da FDA foram apontadas, desde então, por uma série de autores, destacando-se a combinação da coagulação e a clarificação em um único processo, o que dispensa as unidades de floculação e decantação precedendo a filtração. Outra vantagem é a filtração no sentido decrescente da granulometria, que resulta em melhor aproveitamento da camada filtrante, devido à maior capacidade de retenção de sólidos na camada de maior granulometria, e produção de carreiras de duração mais prolongadas.

No final da década de sessenta, surgiram alguns trabalhos de abordagem mais científica como o de HAMANN & McKINNEY (1968), sobre o tratamento da água do rio Kansas, o de MILLER (1972), para o tratamento do rio Tâmbisa e o de HANEY & STEIMLE

(1974), para o rio Mississippi, no qual é feita a primeira menção à execução de descarga de fundo - DF antes da operação de lavagem.

Segundo GRINPLASTCH (1971), baseados nos parâmetros de projeto apresentados por HAMANN & McKINNEY (1968), a tecnologia foi aplicada no Brasil pela primeira vez, pela Fundação de Serviços de Saúde Pública (SESP), nas cidades de Colatina (ES) e Ponta Grossa (PR). Posteriormente, GRINPLASTCH & WASNIEWSKI ¹ apud DI BERNARDO (1993b), publicaram os resultados dos experimentos realizados no período de um ano na unidade de Colatina, que fundamentaram a implantação da ETA de Ponta Grossa. O custo da construção da instalação de FDA, para atender uma população de 170.000 habitantes, resultou cerca de 2,5 vezes menor que o de uma estação de tratamento de ciclo completo.

Baseado nas experiências russas e inglesas, AZEVEDO NETO (1974) apresentou as características de projeto do clarificador de contato no início da década de 70.

ARBOLEDA ² apud TEIXEIRA (1986) discorreu sobre a ocorrência da fluidificação parcial da camada superior do meio filtrante e classificou os filtros ascendentes em filtros terminais, quando recebem água decantada, e em filtros de contato, quando recebem água coagulada, realizando em uma só unidade, a floculação, a sedimentação e filtração.

RICHTER (1977) concluiu que a fluidificação para meio filtrante constituído de areia com densidade igual a $2,65 \text{ N/m}^3$ e porosidade de 0,42, ocorreria para uma perda de carga de aproximadamente 0,95 L, sendo L, a altura total do leito. Recomendou por segurança, que não fosse ultrapassado o valor de 0,75 L. Fez também a importante consideração de que a altura de lâmina de água sobre a superfície do meio filtrante não influi na fluidificação, bastando-se ter altura mínima de lâmina para uniformizar o fluxo do sistema de coleta.

No início dos anos oitenta, DI BERNARDO et.al. (1982), apresentaram os resultados de um trabalho teórico e experimental, desenvolvido com o intuito de otimizar os critérios de projeto de instalações de filtração ascendente no Brasil. Dentre as principais conclusões, destacam-se:

- para areia com tamanho dos grãos entre 0,59 e 2,4 mm, a velocidade mínima de fluidificação foi calculada para os menores grãos, com base na equação de WEN & YU

¹ GRINPLASTCH, B.S. & WASNIEWSKI, W. I. (1974). Clarificadores de contato para grandes comunidades. *Revista SESP*, vol. 19, n.2, p. 32 – 46, Fev., Rio de Janeiro, Brasil

² ARBOLEDA, J. V. (1977). Filtros de flujo ascendente: aspecto de proyecto. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977. Anais. Minas Gerais. v.3, P. 108-117.

apresentada por AMIRTHARAJAH (1971), e resultou igual a $276 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, considerando grãos esféricos e temperatura da água igual a 20°C ;

- a altura de água sobre o topo da camada de areia deveria ser ligeiramente superior àquela resultante da expansão desejada durante a lavagem, tendo como consequência, alturas bem menores para a caixa do filtro e para a câmara de distribuição de água coagulada aos filtros;
- a coagulação na varredura foi responsável pela ocorrência de transpasse na maioria das carreiras;
- a camada suporte foi responsável por 20 a 80% da remoção de turbidez, sendo observado aumento da perda de carga de 2 a 85 cm;
- com relação à granulometria, observou-se que somente cerca de 0,4 a 0,6 m (de um total de 1,60 m) foi responsável por 60 a 90 % da perda de carga total, indicando que, ou a espessura da camada filtrante poderia ser menor, ou poderiam ser utilizados grãos maiores.

A partir da constatação da importância da camada suporte, na remoção de impurezas durante a filtração ascendente, DI BERNARDO & RAZABONI (1984) realizaram um trabalho experimental para investigar a influência da execução de DFI junto à camada suporte, durante a carreira de filtração, para taxas de filtração de 120, 180 e $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. com e sem aplicação de auxiliar de floculação (amido de batata). As DFs eram realizadas com a abertura abrupta do registro de DF, e escoamento no sentido descendente da água existente no filtro, até cerca de 10 cm acima do topo da camada de areia., causando arraste parcial dos sólidos retidos na camada suporte e camadas inferiores de areia. Constataram a validade de serem executadas DFIs, com recuperação parcial da carga hidráulica, e obtenção de carreiras de filtração mais longas em relação à operação sem a execução de DFs. Porém, foi observada também a ocorrência de picos de turbidez no efluente filtrado logo após a execução de DFIs, sendo menores os picos na água com auxiliar de floculação.

Posteriormente, TEIXEIRA (1986) investigou, experimentalmente, a influência das espessuras da camada suporte e de areia, na operação com taxas entre 120 e $280 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. e execução de DFIs, com relação à qualidade do efluente filtrado (físico-química e bacteriológica), à taxa de crescimento de perda de carga e duração da carreira de filtração. Foram utilizados três filtros com as seguintes composições granulométricas: filtro F1 com 0,4 m de pedregulho e 2,0 m de areia; F2 com 0,8 m de pedregulho e 1,6 m de areia; F3 com 1,2 m de pedregulho e 1,2 m de areia. O tamanho do pedregulho variou de 2,0 a 31,7 mm e a

areia teve as seguintes características: tamanho dos grãos = 0,59 a 1,68 mm; TE = 0,84 mm; CU = 1,6. O afluente aos filtros utilizado era água coagulada (na varredura) na ETA convencional de São Carlos.

Dentre as principais conclusões do autor, destacam-se:

- a maior espessura da camada de areia resultou em melhor qualidade do efluente (para uma taxa de filtração específica, o transpasse ocorreu nos filtros F2 e F3, mas não no F1) e duração de carreira de filtração mais longa, recomendando para a areia utilizada, a adoção de espessura de camada entre 1,6 e 2,0 m;
- a maior retenção de impurezas ocorreu junto à interface pedregulho - areia e no início da camada de areia (cerca de 40 cm), colmatando o meio e dificultando a lavagem, além de favorecer a ocorrência de eventuais rupturas nessa região, quando a perda de carga encontrava-se próxima do seu limite;
- constatou-se maior eficiência da FDA na remoção de microrganismos quando era produzido efluente com turbidez até 1,0 uT, resultando em NMP de coliformes por 100 mL consistentemente abaixo de 100; acima desse valor de turbidez, este índice de coliformes aumentava consideravelmente, comprovando-se a necessidade da produção de efluente com baixa turbidez na FDA, a fim de que a desinfecção final seja efetiva (figura 12).

Figura 12 - Variação do NMP colif. totais / 100 mL em função da turbidez do afluente e efluente Fonte: TEIXEIRA (1986)

PATERNIANI (1986) investigou os efeitos da realização de 1, 2, 4, 6 e 8 DFIs na qualidade bacteriológica da água filtrada, mantendo-se constante a taxa de filtração em 200 m³/m².d. Foi constatada a ocorrência de aumento significativo do NMP de coliformes totais, além do pico de turbidez, no efluente após a execução de DFIs, tendo este efeito sido atenuado com o aumento do número de DFIs. Observou-se, também, que durante a execução

da DFI, a água escoava mais rapidamente na camada de pedregulho que na de areia, formando uma bolsa de ar na região próxima à interface pedregulho – areia, e desta forma, quando era reiniciada a filtração, a bolsa de ar ascendia, causando perturbações sensíveis no meio granular e carreando impurezas que prejudicavam a qualidade do efluente.

Seguindo a recomendação dada por PATERNIANI (1986), DI BERNARDO & YATSUGAFU (1987) estudaram, para taxas de filtração entre 160 e 280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, a influência do número (até 16) de DFIs e do NMP de coliformes totais no afluente (mediante adição de esgoto para atingir concentrações de até 20.000 NMP/100mL de coliformes totais) na eficiência da FDA. Constataram que o aumento do número de DFIs atenuava os picos de turbidez e de NMP de coliformes totais, que apresentaram valores mais elevados no final da carreira. Apresenta-se na figura 13, os resultados de operação de dois filtros pilotos de uma instalação de FDA, com taxa de filtração de 240 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, sendo o F1 com execução de 16 DFIs e F2 s/ execução de DFIs.

Figura 13 - Variação da perda de carga, turbidez, NMP coliformes totais e colônias em placa do afluente e dos efluentes em função do tempo de funcionamento para taxa de filtração igual a 240 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$. (F1:16 DFIs; F2:s/ DFIs) Fonte: DIBERNARDO & YATSUGAFU (1987)

Muitos avanços já haviam sido alcançados, mas persistia o problema da ocorrência de ruptura na interface areia grossa - pedregulho fino, e de picos de turbidez após a execução de DFIs. Com o intuito de superar estas limitações, FERNANDES (1987), utilizando água

coagulada predominantemente no mecanismo de neutralização de cargas, avaliou o desempenho da FDA com a introdução de água na interface, para evitar a formação de subpressão e conseqüente deterioração da qualidade da água filtrada, além do emprego de composições granulométricas diferentes da camada suporte, conforme tabela 3, para criar uma transição mais suave na interface pedregulho – areia. Foram testados quatro métodos de execução de DFIs: sem aplicação de água na interface; com aplicação de parte do volume acima da camada de areia, na interface; com aplicação de água tratada acima da camada de areia; com aplicação de água tratada na interface proveniente de fonte externa, sendo este último o que apresentou melhor desempenho com relação à qualidade do efluente filtrado e duração de carreira.

A taxa de aplicação de água na interface, para promover a limpeza satisfatória na camada suporte, no decorrer da carreira, variou entre 600 e 1000 m³/m².d., com duração de 5 a 25 s. A inversão do tamanho do pedregulho na camada suporte (F3) conduziu à obtenção de melhores resultados e reduziu os efeitos de compactação.

Tabela 3 - Composições granulométricas da camada suporte utilizada por Fernandes (1987)

Filtro F1		Filtro F2		Filtro F3	
Espessura (cm)	Espessura (cm)	Espessura (cm)	Tamanho (mm)	Espessura (cm)	Tamanho (mm)
15	31,7 – 25,4	10	31,7 – 25,4	7,5	31,7 – 25,4
15	25,4 – 15,9	10	25,4 – 15,9	7,5	25,4 – 15,9
15	15,9 – 9,5	10	15,9 – 9,5	10	15,9 – 9,5
17,5	9,5 – 4,8	15	9,5 – 4,8	12,5	9,5 – 4,8
17,5	4,8 – 2,4	20	4,8 – 2,4	20	4,8 – 2,4
total=80		15	9,5 – 4,8	12,5	9,5 – 4,8
		total = 80		10	15,9 – 9,5
				total = 80

Figura 14 - Variação dos valores de turbidez, perda de carga e NMP/100 mL de coliformes totais em função do tempo de funcionamento para taxa de filtração igual a $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

Fonte: FERNANDES (1987)

CRUZ VELEZ (1993) e LARA PINTO (1994) estudaram a viabilidade de se aplicar taxas de filtração mais elevadas (de até $480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$) do que aquelas normalmente recomendadas na FDA, sem e com execução de DFIs, respectivamente. As principais conclusões dos autores foram:

- ocorrência de uma etapa de amadurecimento no início da carreira de filtração, cuja duração mostrou-se intimamente ligado à taxa de filtração e à dosagem de coagulante, tendo o efluente após esta etapa, apresentado valores de turbidez e cor aparente inferiores a 1 uT e 5 uC respectivamente, e qualidade bacteriológica condizente com a desinfecção eficiente, para todas as taxas de filtração estudadas;
- o aumento da taxa de filtração para as carreiras sem a execução de DFIs acarretou em maior distribuição das impurezas no meio filtrante, sem tendência à ocorrência de transpasse final, para uma carga hidráulica disponível de 2,0 m;
- não foi observada tendência à fluidificação dos grãos de areia mais finos da subcamada superior, mesmo para taxas de filtração relativamente altas;
- para as condições granulométricas e grau de mistura do meio filtrante empregados, a velocidade experimental de início de fluidificação do meio filtrante obtida, é significativamente maior que a calculada para a fluidificação do menor grão, devido ao

efeito de obstrução dos grãos maiores durante o processo de fluidificação; por outro lado, a velocidade experimental de completa fluidificação do meio, resultou menor que a calculada para o maior grão, pois os menores grãos exerciam efeito lubrificante nos maiores grãos, favorecendo a fluidificação;

- como era previsto, a retenção substancial de impurezas ocorreu na camada de pedregulho e em cerca de 50 cm da camada de areia, demonstrando a importância da camada suporte no desempenho da FDA;
- para todas as taxas de filtração estudadas, a execução de DFIs proporcionou aumentos significativos na duração da carreira de filtração, sem causar prejuízo substancial na qualidade da água filtrada, no que se refere aos valores de picos de turbidez e presença de microrganismos, na reinicialização da filtração.

Posteriormente, CASTILLA MIRANDA (1997) e ISAAC (1997) desenvolveram um estudo abordando seis condições de estratificação do meio filtrante (tamanho do grão = 0,59 a 2,0 mm; TE = 0,84 mm; CU = 1,6; espessura = 1,95 m). A areia do filtro F1 era estratificada e a do filtro F6, completamente misturada; a areia dos filtros F2, F3, F4, F5 estava inicialmente misturada e antes do início da investigação, foram produzidos diferentes graus de expansão para promover diferentes graus de mistura dos grãos (80% no filtro F2, 65% no filtro F3, 50% no F4 e 35% no F5). Para água bruta apresentando turbidez e cor aparente abaixo de 30 NTU e 120 CU, respectivamente, os autores concluíram que:

- ocorreu uma grande mistura dos grãos de areia de todos os tamanhos durante a lavagem simultânea com ar e água, independentemente da disposição inicial (estratificação ou mistura completa), sendo que, para a condição de maior mistura dos grãos de areia, resultaram em taxas de crescimento de perda de carga menos elevadas e carreiras de maior duração;
- a água filtrada, após etapa inicial, atendeu ao Padrão de Potabilidade dado pela Portaria 36/GM, independentemente da disposição inicial dos grãos de areia e taxas estudadas;
- não foi observada fluidificação da areia para nenhum dos filtros, mesmo para taxas acima de $520 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$;
- a velocidade mínima de fluidificação observada foi maior na condição em que os grãos estavam misturados, devido ao efeito de obstrução por parte dos grãos maiores;

De acordo com DI BERNARDO & ISAAC (2001), a aplicação da FDA foi limitada por muito tempo devido às dificuldades com relação:

- às restrições à qualidade da água bruta;
- à fluidificação dos grãos mais finos presentes no topo da camada filtrante;
- à ocorrência de ruptura em planos transversais da camada de areia, causada pela elevada perda de carga devido à retenção de sólidos;
- ao elevado consumo de água para a execução da lavagem, devido à espessura da camada filtrante;
- ao risco sanitário representado pela concepção de saída comum de água de lavagem e água filtrada.

Porém, nas últimas décadas, com a introdução de novos conceitos e métodos operacionais, muitos dos quais apresentados nesta revisão, pode-se dizer que tais dificuldades foram minimizadas ou mesmo completamente superadas. Estima-se haver mais de 300 instalações desse tipo em funcionamento no Brasil, condição conquistada devido ao constante aprimoramento dessa tecnologia.

Tabela 4 - Características das principais investigações citadas, utilizando a FDA Adaptada de CASTILLA MIRANDA (1997)

Autor ou experimento	ano	taxa filtr.	afluente	efluente	instalação	material granular		lavagem
						pedregulho	areia	
Clarificadores de contato	1950	120 a 180	turb. =6,4 a 9,8 c/ picos de 120 a 150	turb. =0,4 a 1,5		espes.=0,35 a 0,6 e tam.=4 a 30	espes.=2,0 a 2,5; tam.=0,5 a 2,0; TE=0,55 a 0,65 e CD=2,5	água (tx=750 a 1300);
Rio Kansas EUA	1968	120 a 500	turb.=17 a 460	turb.=2	diâm.=0,15	espes.=0,3 e tam.=4,2 a 19	espes.=0,6; 0,9 e 1,2; tam.= 0,42 a 2,4; TE=0,55; CD=2,5 e n=0,41	ar e água (tx=1300);
Rio Tâmis Inglaterra	1972	100 a 300	turb.<50		diâm.=0,75	filtro terminal: tam.=(0,7 a 1,4); (1,0 a 2,0); (0,7 a 2,0); filtro 2 estágios: tam.=0,5 a 2,0; espes.=1,5;		
Rio Mississipi EUA	1974	350	turb.=10,5 a 280 e col.tot.= 170 a 4160	turb.=0,1 a 1,0; col.tot. <35	diâm.=0,12 e alt.=2,0	espes.=0,3 e tam.=9,5 a 38	subcam.1: espes.=1,0; TE= 0,95; CD=1,26; subcam.2: espes.=1,0; TE=1,8 e CD=1,11	DF, ar e água
Colatina (ES) - BR	1971	160	turb.<150	turb.<0,1	área=16; alt.=4,6	espes.=0,6 e tam.=2,4 a 25,4	espes.=2,0; tam.= 0,5 a 2,4; TE=0,7; CD=2,5	DF
P. Grossa (PR) - BR	1974	120	turb.<5; cor=60 a 160 uH	turb.<1; cor<2,5 uH				água bruta por 5 a 10 min.
AZEVEDO NETTO	1973	120 a 150	turb.<50		alt.=4,2 a 5,0;	espes.=0,4 a 0,6 e tam.= 4,0 a 30	espes.=2,0 a 2,5; tam.= 0,7 a 2,0; TE=0,7 a 0,8; CD<2,0; n.a. acima da cam.=1,8 a 2,4	água (tx= 1000 a 1300) por 6 a 8 min.
ARBOLEDA	1977	120 a 150	turb.<100 c/ picos de 250	0,4 a 1,5		espes.=0,45 a 0,6	espes.=1,55 a 1,95; tam.= 0,5 a 2,0; TE=0,7; CD=2,5	DF, ar e água
RICHTER	1979		turb.<10; cor<40				tam.= 0,7 a 2,0; TE=0,7 a 0,8; CD=1,7	ar e água (tx=1000);
DI BERNARDO et.al.	1982	120 a 240		turb.<5	área=400	espes.=0,45; tam.=2,0 a 63,5	espes.=1,6; 1,8; 2,0; tam.=(0,42 a 0,84); (0,59 a 1,41); (0,59 a 1,68);	

taxa filtr.: $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; taxa de filtração em turb.: turbidez em uT; turb.: turbidez em mg/L; col.tot.: coliformes totais em NMP/ 100mL; diâm.: diâmetro em m; alt.: altura em m; área: área da base em cm^2 ; espes.: espessura em m; subcam.: subcamada; cam.: camada filtrante; tam.: tamanho dos grãos em mm; TE: tamanho efetivo; CD: coeficiente de desuniformidade; n: porosidade; tx: taxa de lavagem com água em $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; DF: descarga de fundo.

Tabela 5 - (contin.) Características das principais investigações citadas, utilizando a FDA Adaptada de CASTILLA MIRANDA (1997)

Autor ou experimento	ano	taxa filtr.	afluente	efluente	mec	Instal.	material granular		lavagem
							Pedregulho	areia	
RAZABONI	1984	120 a 240		turb.<5	varr	area=400	espes.=0,45 tam.=2,0 a 63,5	espes.=2,0; tam.=(0,71 a 1,68); (0,71 a 1,41); TE=0,88; CD=1,4; coloc. estratificada	
MENDES	1985	120 a 240	turb.<30	turb.<2,0	varr neu	area=64; alt.=3,55	espes.=0,45 tam.=2,0 a 63,5	espes.=2,0; tam.=(0,71 a 1,68); TE=0,88; CD=1,4; colocação estratificada	DF; 3min. ar; 10min. de água
TEIXEIRA	1986	160 a 280	turb.<30; cor=15 a 30; col.tot.=40 a 1600	turb.<2,0 c/picos 5,0; cor <2,5; col.tot.=55 a 210	varr	area=400; alt.=3,0	espes.=0,4; 0,8;1,2; tam.=2,0 a 31,7	espes.=2,0; 1,6; 1,2; tam.=0,59 a 1,68; TE=0,85; CD=1,6; colocação estratificada	DF; 5min. de ar; 15 a 25min. água
PATERNIANI	1986	200	turb.<30 c/pico 200; col.tot.=200 a 10000	turb.<2,0 c/picos 100; col.tot.<2400	varr	area=64; alt.=3,55	espes.=0,8 tam.=2,0 a 31,7	espes.=1,6; tam.=0,59 a 2,0; TE=0,88; CD=1,5; colocação estratificada	DF; 3min. ar; 15 a 25min.água
YATSUGAFU	1987	160 a 280	turb.<30; cor=20 a120; col.tot.=100 a 15000	turb.<2,0 c/picos <15; cor<2,5; col.tot.<1100	varr	area=64; alt.=3,55	espes.=0,8 tam.=2,0 a 31,7	espes.=1,6; tam.=0,59 a 2,0; TE=0,88; CD=1,5; colocação estratificada	DF; 3 a 5 min. ar; 20 a 30min. água
FERNANDES	1987	160 a 280	turb.<25 c/pico 70; cor= 20 a 150; col. tot.=150 a 4600	turb.<0,5 c/picos <1,0; cor<2,5; col.tot.<100	neu	area=400; alt.=3,0	espes.=0,8; 3 composições ≠ s	espes.=1,6; tam.=0,59 a 1,68; TE=0,85; CD=1,6; colocação estratificada	DF c/ água; 3 a min.ar; 1 min. água
CRUZ VELEZ	1993	160 a 480	turb.<15 c/pico 30; cor= 50 a 120; col. tot. [#] = 300 a 1200	turb.<0,5 cor<2,5; col.tot. [#] <52,6	neu	area=400; alt.=3,0	espes.=0,8; composição segundo Fernandes	espes.=1,6; tam.=0,59 a 2,0; TE=0,8 a 0,85; CD<1,65; colocação misturada	DF c/ água; 3 a min.ar; 10 a 1 min. água

taxa filtr.: m³/m².d; taxa de filtração em turb.: turbidez em uT; turb.: turbidez em mg/L; col.tot.: coliformes totais em NMP/ 100mL; col.tot.[#]: unidades colônias em placas (UFC/100mL); mec.: mecanismo de coagulação; diâm.: diâmetro em m; alt.: altura em m; área: área da base em cm²; espes.: espessura em m; subcam.: subcamada; cam.: camada filtrante; tam.: tamanho dos grãos em mm; TE: tamanho efetivo; CD: coeficiente de desuniformidade; n: porosidade; tx: taxa de aplicação em m³/m².d; DFI: descarga de fundo intermediária.

Tabela 6 - (contin.) Características das principais investigações citadas, utilizando a FDA

Autor ou experimento	ano	taxa filtr.	afluente	efluente	mec	Instal.	material granular		lavagem
							Pedregulho	areia	
LARA PINTO	1994	240 a 480	turb.<30 c/pico 70; cor= 20 a 150; col. tot. [#] = 1800 a 2000	turb.<0,5 c/pico<1,0; cor <2,5; col.tot. [#] <100	neu	area= 400; alt.=3,0	espes.=0,8; composição segundo Fernandes	espes.=1,6; tam.=0,59 a 2,0; TE=0,8 a 0,85; CD<1,65; colocação misturada	DF c/ água; 3 a 5min.ar; 10 a 15min. água
CASTILLA MIRANDA & ISAAC	1997	160 a 320	turb.<25 e cor<140 ;	turb.<0,1 c/pico<1,0; cor<2,5	neu	area=64 alt.=3,5	espes.=0,6 tam.=2,4 a 31,7	espes.=1,95; tam.=0,59 a 2,0; TE=0,8; CD=1,5; colocação: estratificada (F1) e misturada (F2 a F5) seguida de expansão p/ promover diferentes graus de mistura	DF c/ água; 3 a 5 min.ar; 10 a 15 min. água

taxa filtr.: m³/m².d; taxa de filtração em turb.: turbidez em uT; turb. : turbidez em mg/L; col.tot.: coliformes totais em NMP/ 100mL; col.tot.[#]: unidades colônias em placas (UFC/100mL); mec.: mecanismo de coagulação; diâm.: diâmetro em m; alt.: altura em m; área: área da base em cm²; espes.: espessura em m; subcam.: subcamada; cam.: camada filtrante; tam.: tamanho dos grãos em mm; TE: tamanho efetivo; CD: coeficiente de desuniformidade; n: porosidade; tx: taxa de aplicação em m³/m².d; DFI: descarga de fundo intermediária.

3.4 Filtração em Pedregulho

A filtração em pedregulho tem sido empregada em condições diversas de pré-tratamento apresentando resultados satisfatórios em vários países, incluindo o Brasil.

Dentre as principais tecnologias de pré-tratamento em pedregulho, destacam-se a pré-filtração dinâmica - PFDi e a pré-filtração com escoamento vertical ou horizontal, podendo esta, dependendo da qualidade da água bruta e do tipo de tratamento, ser precedida de coagulação química ou ainda da associação pré-filtração dinâmica – coagulação química.

Apresenta-se na figura 15, um fluxograma contendo as possíveis alternativas de pré-tratamento e na figura 16, os esquemas dos filtros de pedregulho que permitem a introdução prévia da etapa de coagulação química.

Figura 15 - Fluxograma das alternativas de pré-tratamento utilizando filtros em pedregulho
Fonte: DI BERNARDO et.al. (1999)

Figura 16 - Concepções alternativas de filtros em pedregulho que permitem a introdução prévia da etapa de coagulação química Fonte: DI BERNARDO et. al.(1999)

Dentre as várias alternativas de filtros em pedregulho, a filtração vertical com escoamento ascendente apresenta vantagens sobre as outras concepções, por apresentar maior capacidade de retenção de sólidos no fundo do filtro, de onde podem ser mais facilmente removidos através da execução de descargas de fundo - DFs, além de resultar em durações de carreiras mais prolongadas.

O sentido ascendente do escoamento pode reduzir as interferências geradas pela temperatura ou diferenças de densidade da água, evitando a formação de zonas mortas, melhorando o comportamento hidráulico da unidade e otimizando, assim, os processos de tratamento (GALVIS et. al. ³apud CINARA, IRC., 1999).

Na Bolívia, por ocasião da reabilitação de um sistema de tratamento para abastecimento de uma população de 3500 habitantes, composto por pré-filtros de pedregulho com escoamento horizontal - PFHPs e filtros lentos - FLs, operado sob taxas de filtração de 36 m³/m²d. e 0,96 m³/m²d., respectivamente, WEGELIN et al. (1996) conduziu estudos, primeiramente, com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema empregado. A água bruta desta localidade apresentou turbidez entre 150 e 1300 uT, com valores mais freqüentes entre 300 e 600 uT, e valores de ferro total entre 3 e 15 mg/L.

O sistema era constituído por duas unidades de PFHPs com 5 m de largura e 1,5 m de espessura do meio filtrante. Em cada unidade eram distribuídas, no sentido do escoamento, as quatro porções de pedregulho, com tamanhos médios de 20, 15, 10 e 5 mm, totalizando 18 m de comprimento. Os efluentes dos PFHPs eram encaminhados a dois FLs, cada um com 260 m² de área superficial. Os resultados do monitoramento realizado no sistema foram insatisfatórios, tendo apresentado eficiências da ordem de apenas 40 % sob taxa máxima de filtração de 9,6 m³/m²d., como melhor desempenho, indicando, assim, que mesmo para baixas taxas de filtração no PFHP, a qualidade do efluente produzido não era compatível para aplicação na filtração lenta, sendo necessária, a introdução das etapas de coagulação e floculação.

Os ótimos resultados obtidos nos ensaios de laboratório, com aplicação prévia de alcalinizante e dosagens de coagulante da ordem de 60 mg/L, levaram à realização de um estudo em instalação piloto com o objetivo de transformar os PFHPs em filtros de pedregulho com escoamento ascendente em série - FAPS. Neste estudo, a água bruta

³ GALVIS, G.; LATORRE, J.; OCHOA, A. E. AND VISSCHER, J.T. (1996). Comparison of Horizontal and Upflow Roughing Filtration. / Apresentado à CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA. Cali, Colombia.

apresentou turbidez variando entre 350 e 2000 uT, pH entre 6,5 a 6,7 e alcalinidade entre 25 e 40 mg/L de CaCO_3 . A instalação piloto era constituída por três FAPs em série, contendo pedregulho com tamanhos médios de 20, 15 e 5 mm, respectivamente, sendo o coagulante químico aplicado ao efluente do primeiro FAP. Ensaio adicionais, variando-se a dosagem de coagulante em instalação piloto, revelaram que seria possível trabalhar com dosagens menores que as obtidas no ensaio de laboratório.

Dentre as principais conclusões, destacam-se:

- A eficiência na remoção de turbidez no primeiro FAP resultou muito baixa (1,5 a 2%), podendo-se, assim, prescindir desta etapa;
- O sistema composto por dois FAPs em série resultou muito eficiente, mesmo para água bruta com elevados valores de turbidez;
- Para a operação de instalações em escala real em que é empregada esta tecnologia, pode-se considerar como critério para lavagem dos FAPs, turbidez do efluente igual a 25 uT para o primeiro FAP e igual a 5 uT para o segundo.

A aplicação da coagulação química em efluentes de pré-filtros dinâmicos, seguida da filtração com escoamento vertical ou horizontal, têm apresentado grande potencial como alternativa de pré-tratamento às tecnologias que utilizam a FRD.

CRUZ VELEZ et al. (1998) avaliaram o emprego da tecnologia de filtração rápida em comunidades Colombianas e constataram que a aplicação, em pequenas e médias ETAs (para abastecimento de população menor ou igual a 30.000 habitantes), das tecnologias convencionais de tratamento com a filtração rápida, comprovadas em grandes centros urbanos, tem apresentado dificuldades, especialmente com relação ao manejo das condições variáveis de qualidade de água dos rios andinos. Apresenta-se na figura 17, um gráfico representando a variação da demanda de coagulante em uma ETA convencional, durante a ocorrência de chuvas, onde os valores de turbidez (1000 uT) e, possivelmente de sólidos suspensos ultrapassam a capacidade recomendada para este sistema de tratamento (Kawamura, 1991). Dados relativos à qualidade de seis fontes representativas da bacia do Rio Cauca durante um ano são apresentados na figura 18.

O diagnóstico permitiu identificar as principais limitações das tecnologias com FR em pequenas e médias comunidades:

- dificuldades para a dosagem de coagulante durante as rápidas variações da qualidade da água;

- limitada capacidade para tratar a crescente deterioração da qualidade da água dos rios (contaminação microbiológica, material em suspensão e matéria orgânica dissolvida);
- limitada capacidade de gestão de pessoal administrativo e falta de pessoal com capacitação operacional;
- inadequada seleção ou adaptação de tecnologias às condições locais;
- deterioração de equipamento mecânico empregado.

Figura 17 - Variação dos valores de turbidez da água bruta e da dosagem de coagulante em função do tempo ETA convencional de Vijes / Acuvall. Fonte: CRUZ VELEZ et al. (1998)

Figura 18 - Valores de turbidez média e máxima, duração das variações de qualidade de água em seis fontes superficiais do Vale do rio Cauca. Fonte: CRUZ VELEZ et al. (1998)

Dando prosseguimento à pesquisa, com o objetivo de investigar a aplicação da FAP como condicionamento e pré-tratamento à FRD, CRUZ VÉLEZ et. al. (1998) utilizaram o efluente de um pré-filtro dinâmico, submetido à coagulação com sulfato de alumínio, como afluente ao filtro FAP constituído por quatro subcamadas de 0,3 m cada, tamanho de pedregulho variando entre 38 a 2,4 mm e taxas de filtração de 72, 144 e 288 m³/m².d, tendo verificado que a qualidade do efluente em termos de material em suspensão é diretamente afetada pela taxa de filtração. Remoções superiores a 90 % para uma taxa de filtração de 24 m³/m².d. foram reduzidas em até 50% com o aumento da taxa de filtração para 72 m³/m².d.. A turbidez da água afluente ao FAP variou entre 150 a 200 uT e para perda de carga máxima no meio granular, devido à retenção de impurezas, igual a 0,4 m, as durações das carreiras resultaram de 74 h para a carreira em que foi empregada taxa de filtração de 288 m³/m².d., 144 h para a de 144 m³/m².d. e após 168 h de operação, a perda de carga no meio granular era de apenas 0,18 m para a taxa de filtração de 72 m³/m².d..

CRUZ VÉLEZ et. al. (1998) avaliaram, também, o efeito da dosagem de coagulante com valores de pH de coagulação representando condições orientadas a otimizar a remoção de matéria orgânica dissolvida (pH de $5,7 \pm 0,1$) e material em suspensão (pH de $6,4 \pm 0,1$), na aplicação da combinação PFDi – FAP como pré-tratamento à FRD conforme figura 19. As unidades produziram, consistentemente, efluente com turbidez menor que 5 uT, durante as 65 primeiras horas, quando operadas à taxa de filtração de 24 m³/m².d., comprovando ser uma opção viável de pré-tratamento à FRD, no tratamento de águas superficiais de países tropicais.

Figura 19 - Variação dos valores de turbidez em função do tempo de operação Fonte: CRUZ VÉLEZ et al. (1998)

Dependendo da qualidade da água bruta, pode-se ter como pré-tratamento apenas a pré-filtração com escoamento vertical (ascendente ou descendente) ou a horizontal, precedida ou não da coagulação química.

Com o objetivo de desenvolver uma tecnologia de tratamento intermediária para pequenas cidades que recebem água com elevada turbidez, e que necessitam de efluentes com valores de turbidez entre 2 e 5 uT para o tratamento subsequente geralmente realizado pela filtração lenta ou rápida, AHSAN et. al. (1996) realizaram estudos sobre a filtração direta em pedregulho com escoamento horizontal - FDHP e a pré-filtração em pedregulho com escoamento horizontal PFHP para água de estudo com turbidez igual a 200 uT. Dentre as variações realizadas com relação aos parâmetros físicos de projeto, a unidade de FDHP, com aproximadamente 8 m de comprimento e constituída por 2 compartimentos, sendo o primeiro com 4 a 5 m de comprimento e grãos entre 15 e 25 mm, e o segundo com 3 a 4 m de comprimento e grãos menores entre 8 e 13 mm, sob taxas de filtração de 120 a 168 m³/m².d., mostrou ser capaz de produzir efluentes com turbidez entre 2 e 3 uT, resultando em perda de carga reduzida (12 a 18 cm) e duração de carreira razoável (3 a 5d).

Os resultados dos estudos permitiram concluir, ainda, que o desempenho da FDHP com dosagem típica de coagulante da ordem de 1mg/L de Al_{III} foi sistematicamente superior à PFHP, pela eficiência na remoção de partículas e na produção de efluente de boa qualidade ($\cong$ 2 uT), para água bruta de turbidez média à alta (200 a 400 uT) e por operar sob taxas de filtração mais elevadas (72 a 168 m³/m².d.) que a PFHP (12 a 24 m³/m².d.). Também foi ressaltado que a eficiência da FDHP necessita ser profundamente investigada.

CRUZ VELEZ & DI BERNARDO (2000) fizeram algumas considerações com respeito aos diversos estudos realizados na Universidade do Valle (Cali, Colômbia) nos últimos anos, mais especificamente, sobre a aplicação da clarificação utilizando filtros de pedregulhos com escoamento ascendente, como alternativa aos processos convencionais com coagulação, para o tratamento de águas que apresentam temporariamente baixa turbidez, e altos ou moderados níveis de matéria dissolvida e às tecnologias que empregam a FL no tratamento de águas que apresentam fortes e rápidas variações de qualidade de água bruta.

Vários aspectos foram abordados nestes estudos, destacando-se os efeitos da coagulação química, condições hidrodinâmicas, influências das taxa de filtração e granulometria utilizada sobre os mecanismos da FAP, além de estudos comparativos da floculação realizada entre reatores estáticos e estes filtros e aspectos econômicos relativos à sua implantação em escala real.

Segundo os autores, estas unidades operam de forma similar às unidades clarificadoras de manto de lodos, onde o conteúdo de sólidos da água é filtrado por uma rede de flocos previamente formados, resultando em uma combinação de espaços e canais de diferentes tamanhos e formas, que combinados ao fluxo vertical ascendente, facilitam a aglomeração e o arraste de flocos para o fundo da unidade, de onde podem ser dinâmica e continuamente retirados e substituídos.

As principais conclusões obtidas destes estudos foram:

- a remoção de matéria orgânica dissolvida depende principalmente das condições de coagulação e não de parâmetros de projeto ou operação do clarificador;
- a otimização do funcionamento do FDAP requereu uma etapa de pré-tratamento, podendo ser realizada por PFDi como acondicionamento e para remoção de material flutuante e grosseiro da água bruta;
- dependendo da quantidade de sólidos presente na água bruta, taxa de filtração empregada e granulometria utilizada, o período de maturação pode ter duração de minutos;
- a retenção e a acumulação de sólidos nos poros da camada de pedregulho resultam maiores, quando a coagulação é realizada predominantemente na varredura, com produção de um grande volume de flocos;
- a frequência da realização de descargas de fundo para remover parcialmente os depósitos, depende da quantidade de sólidos, taxa de filtração e tamanho de pedregulho, porém deve ser de no mínimo uma por semana;
- os filtros ascendentes em pedregulho apresentam eficiências hidráulicas significativamente superiores aos floculadores e sedimentadores tradicionais, obtendo-se mesma eficiência com cerca de 20 % do tempo de retenção;
- recomenda-se espessura máxima de pedregulho igual a 1,2m;
- a taxa de filtração deve ser menor que $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$ para águas que apresentem picos de turbidez acima de 1000 uT.

MONDRAGÓN⁴ (1998) apud CRUZ VELEZ & DI BERNARDO (2000) analisou os custos de investimento inicial envolvidos na implantação de diferentes tecnologias de

⁴ MONDRAGON, L. (1998). Estimación preliminar de costos de inversión inicial al nivel de planeación en sistemas de potabilización de agua en la región cafetera de Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico, Viceministerio de saneamiento y agua potable. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

tratamento, tendo concluído que para vazões maiores que 10 L/s, os custos de investimento inicial para a FiME resultaram progressivamente superiores ao de outras alternativas, tendo a filtração direta e a combinação de filtração em pedregulho e filtração rápida apresentado custos significativamente inferiores às demais. Apresenta-se na figura 20 um gráfico contendo os resultados da análise realizada.

Figura 20 - Custos de investimento inicial em função da vazão para diferentes alternativas tecnológicas na região da cafeteira Fonte: MONDRAGON (1998)

3.5 Dupla Filtração

O sistema de dupla filtração - SDF consiste na aplicação da FDA, com o objetivo de melhorar qualitativamente as características do afluente e adequá-lo ao tratamento subsequente realizado pela FRD.

Apesar de requerer maiores custos de implantação, operação e manutenção que a filtração direta ascendente, a dupla filtração 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 maior remoção global de microrganismos;
- dispensar o descarte de água filtrada do filtro ascendente no início da carreira de filtração.

Segundo DI BERNARDO (1993b), o sistema de dupla filtração é recomendado para os casos nos quais, embora a água bruta apresente valores de turbidez, cor verdadeira ou concentração algal adequados à aplicação da FDA, o NMP de coliformes totais é elevado ou existe risco da presença de outros organismos altamente resistentes à desinfecção com cloro. A dupla filtração pode também ser aplicada com sucesso para água bruta que apresente apenas temporariamente, valores de turbidez, cor verdadeira ou concentração algal superiores àqueles que tornariam possível seu tratamento, apenas por meio da FDA.

Os valores limites dos parâmetros de qualidade da água bruta e de projeto e operação, visando a aplicação desta tecnologia, segundo DI BERNARDO & ISAAC (2001), foram apresentados na tabela 1.

Em SDFs, a FDA pode ser realizada em areia ou pedregulho. No caso da filtração ascendente em areia, além de permitir o uso de menor espessura da camada filtrante, a granulometria pode também ser maior que a usada quando se tem somente a FDA, uma vez que a turbidez efluente pode apresentar valores de turbidez maiores que 1 uT. DI BERNARDO (1993b) recomenda espessura da camada filtrante entre 1,2 e 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 - FDAAG é, geralmente, operada com taxas de filtração variando entre 120 e 240 m³/m².d., com execução de DFIs e introdução simultânea de água na interface pedregulho-areia sob taxa de aplicação igual ou superior a 600 m³/m².d.. O número de DFIs deve ser estabelecido considerando as características da água bruta, a carga hidráulica disponível para retenção de impurezas, a perda de carga no meio granular limpo, a evolução da perda de carga no meio granular e as condições operacionais existentes.

3.6 Dupla Filtração utilizando a Filtração Direta Ascendente em Pedregulho

A aplicação da filtração direta ascendente em pedregulho – FDAP, como pré-tratamento à FRD, compõe uma variação do sistema de dupla filtração – SDF e tem merecido a atenção de pesquisadores da área, principalmente como alternativa ao tratamento por ciclo completo em pequenas e médias comunidades.

Esta tecnologia dispõe das vantagens inerentes à FDA (tais como, possibilidade de filtração no sentido decrescente da granulometria, emprego de menor dosagem de coagulante, área e custos para implantação, operação e manutenção reduzidos) e à filtração ascendente em pedregulho - FAP (com métodos operacionais de limpeza e lavagem simplificados, menor carga hidráulica requerida, maior capacidade de retenção de sólidos),

possibilitando o tratamento de águas que apresentam condições variadas de qualidade, assegurada pelo tratamento subsequente realizado pela FRD.

A aplicação da FDAP em SDF consiste, basicamente, na passagem de água coagulada no sentido ascensional, por várias subcamadas de pedregulho, com tamanho variável entre 25,4 e 2,4 mm e disposição granulométrica decrescente no sentido do escoamento, totalizando espessura mínima de camada igual a 1,2 m.

No Brasil, RICHTER⁵ e RICHTER & MOREIRA⁶ apud CRUZ VELEZ & DI BERNARDO (2000) realizaram estudos em escala piloto e concluíram que um tempo de floculação de 3 min. em camadas de pedregulho, operando com fluxo ascendente, equivale a 15 minutos de floculação em equipamentos de laboratório e a 25 minutos em unidades de floculação de ETAs não compartimentadas. Utilizaram uma camada de pedregulho que variava entre 1,5 e 3 m e empregaram velocidades de $288 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$. A floculação em camadas de pedregulho provou ser simples, de baixo custo e um método efetivo em várias estações pequenas de tratamento de águas no Brasil, tratando águas superficiais com picos de turbidez superiores a 300 uT (SANEPAR, 1979).

MEGDA (1999) estudou a aplicação da FDAP como pré-tratamento à FRD em instalação piloto, utilizando água proveniente de manancial de superfície como afluente e sulfato de alumínio como coagulante. Foram aplicadas taxas de filtração de 12, 36, 60, 90 e $115 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no filtro ascendente e de $250 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ no filtro descendente. As características do material granular utilizado são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 - Características do Material Granular utilizado por MEGDA (1999)		
FAP		FRD
Tamanho dos grãos (mm)	Espessura da subcamada (mm)	Tamanho dos grãos = 0,42 a 1,41 mm TE $\cong$ 0,54 mm CD $\cong$ 1,57 Espessura da camada = 0,7 m
31,0 a 19,0	300	
15,9 a 9,6	300	
9,6 a 4,8	300	
4,8 a 2,4	300	

O encerramento de um ensaio foi ditado por uma das seguintes condições: perda de carga na camada de pedregulho no filtro ascendente igual 0,4 m, ou perda de carga na camada de areia do filtro descendente igual a 2,0 m. O filtro ascendente era limpo através da

⁵ RICHTER C. A. (1980). Fundamentos teóricos da floculação em meio granular. *Rev. Engenharia Sanitária*. vol. 429, p. 20 – 24. Brasil.

introdução de água de abastecimento na parte superior do filtro e execução de 3 a 5 descargas de fundo - DFs, e o filtro descendente era lavado com ar por 3 min. (taxa da ordem de 15 L/s.m²), seguida de água com velocidade ascensional para produzir expansão de 30 a 40 % da camada de areia.

Apresentam-se na figura 21 os valores de turbidez dos afluentes e efluentes, obtidos nos ensaios, em função do tempo de operação.

⁶ RICHTER, C. A.; BARRO MOREIRA, R de (1981). Floculadores de pedras: experiência em filtro piloto. Reportagem interna SANEPAR. Paraná, Brasil.

Figura 21 - Variação dos valores de turbidez do afluente e efluentes em função do tempo de operação Adaptado de MEGDA (1999)

MEGDA (1999) concluiu principalmente que:

- o filtro FAP demonstrou ter capacidade de absorver picos de turbidez para água bruta com valores compreendidos entre 6 e 71 uT;
- a eficiência do sistema na remoção de partículas (tamanhos entre 1 e 40 μ m) foi praticamente a mesma para todas as carreiras;

- quanto mais elevadas as taxas de filtração, mais curtas resultaram as carreiras;
- pequenas variações de turbidez no efluente foram freqüentemente acompanhadas de variações significativas no número de partículas ou distribuição de tamanhos;
- para a água bruta estudada, foi obtido efluente final com qualidade satisfatória, apresentando em geral turbidez inferior a 1 uT, cor aparente menor que 5 uT, teor de ferro inferior a 0,1 mg/L e NMP de coliformes totais menor que 5 ufc/100mL, independentemente da qualidade da água bruta e da taxa de filtração empregada.

A pesquisadora recomendou a realização de estudos adicionais para condições diferenciadas de qualidade de água bruta e taxas de filtração, além do emprego de outras granulometrias e execução de DFIs no filtro FAP.

Baseado na comparação dos resultados obtidos por RORIZ ⁷ apud CEZAR et. al. (2000), em que obteve remoção de 55% de algas e 75% de turbidez, utilizando a flotação por ar dissolvido – FAD em testes de bancada, para água bruta apresentando em média 8 uT e 43 µg / L e por MELLO⁸ apud CEZAR et. al. (2000), em que obteve remoção de 68% de algas e 65% de turbidez, utilizando pré-filtro ascendente de pedregulho – PFAP, para água bruta apresentando turbidez de 3,7 a 19,7 uT e teor de clorofila de 3,5 a 61,4 µg/L, CEZAR et. al. (2000) investigaram a (pré-)filtração em pedregulho, como condicionamento para águas com presença significativa de algas, para diferentes taxas de filtração (12, 24 e 60 m³/m².d.) e tratamento posterior com a FRD, para taxa de filtração igual a 300 m³/m².d..

A instalação foi constituída por um sistema de captação de água bruta, uma unidade de mistura rápida, 2 FAPs operando em paralelo e 2 filtros FRDs, com características granulométricas diferentes. Apresenta-se na tabela 8 as principais características do material granular utilizado.

⁷ RORIZ, P. A. (1998). Avaliação da aplicabilidade da flotação por Ar Dissolvido no tratamento da água do Lago Paranoá – Desenvolvimento dos testes de bancada. *Relatório Parcial PIBIC 98*.

⁸ MELLO, O.M.T. (1998). *Avaliação do Desempenho da Filtração em Múltiplas Etapas no Tratamento de Águas com Elevadas Concentrações de Algas*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

Tabela 8 - Características do Material Granular utilizado por CEZAR et. al. (2000)

FAP		FRD
Tamanho dos grãos (mm)	Espessura da subcamada (mm)	Tamanho dos grãos = 0,42 a 1,41 mm TE = 0,5 mm CD = 1,4 Espessura da camada = 0,9 m Porosidade = 0,4
1,4 a 3,2	300	
3,2 a 6,4	300	
9,6 a 15,9	300	
19,0 a 25,4	300	
31,4 a 50,0	300	

Apresentam-se na tabela 9, as principais características da água bruta captada do Lago Paranoá em Brasília – DF, observados durante os ensaios, e na tabela 10, um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 9 - Características da água bruta observadas nos ensaios realizados por CEZAR et. al. (2000)

Taxa de filtração (m ³ /m ² .d.)	12	24	60
Turbidez (uT)	2,5 a 40,0	2,8 a 8,0	2,3 a 13,0
Clorofila-a (µg/L)	4,9 a 40,8	6,0 a 11,8	2,2 a 16,9

Tabela 10 - Valores de eficiência média de remoção de turbidez e clorofila-a e duração da carreira de filtração nos PFAP e FDAP obtidos por CEZAR et. al. (2000)

Unidade	Taxa de filtração (m ³ /m ² .d)	Remoção de turbidez (%)	Remoção de algas (%)	Duração da carreira de filtração (h)*
PFAP (s/ coagulação)	12	81,8	85,7	**
	24	71,0	85,0	**
	60	63,6	71,6	**
FDAP (c/ coagulação)	12	76,5	80,1	456
	24	87,3	94,1	64
	60	86,6	96,0	5

* Considerando perda de carga limite de 60 cm;

** Não atingiu perda de carga limite de 60 cm para carreiras de filtração superior a 36 dias.

Durante a investigação, pôde-se observar que:

- ao contrário do ocorrido com a FDAP, o aumento da taxa de filtração provocou significativa redução da eficiência no PFAP, em termos de remoção de turbidez e algas;
- ao contrário do ocorrido com a FDAP, o aumento da taxa de filtração provocou significativa redução da eficiência no PFAP, em termos de remoção de turbidez e algas;

- o FAP apresentou turbidez efluente sempre inferior a 0,8 uT, com valor médio em torno de 0,4 uT e valores de clorofila-a consistentemente baixos, e na sua grande maioria, inferiores a 1µg/L;
- as taxas de crescimento de perda de carga no FAP foram maiores nas subcamadas 3, 4 e 5. Contrariando a expectativa de que a maior perda de carga ocorreria na subcamada de menor granulometria, a subcamada 4 apresentou as maiores taxas de perda de carga em todos os ensaios realizados;
- a limpeza do FAP, através da execução de DFs, não foi efetiva na remoção das impurezas retidas no meio granular, tendo apresentado, no decorrer dos ensaios realizados, elevações sucessivas dos valores de perda de carga inicial e prejudicado, sensivelmente, a avaliação quanto a duração das carreiras de filtração, que se mostraram reduzidas (tabela 10).
- independentemente da taxa de filtração empregada e do ponto de aplicação de coagulante químico (antes e depois do FAP), os FRDs apresentaram água filtrada de boa qualidade com turbidez variando entre 0,2 e 0,3 uT e teor de clorofila-a próximo de zero;
- a sequência de tratamento, composta por coagulação, FAP – FRD, constitui uma boa alternativa de tratamento para águas contendo algas em concentrações elevadas, sendo necessária, a realização de investigações de faixas granulométricas mais apropriadas, e de combinações de taxas de filtração entre o filtro ascendente e o descendente, de forma a obter aumento da duração das carreiras de filtração no FAP.

GUSMÃO (2001) investigou, em instalação piloto, dois sistemas de dupla filtração, um (Sistema S01) constituído por filtração direta ascendente em areia grossa – FDAAG e outro (Sistema S02), por filtração direta ascendente em pedregulho – FDAP, ambos seguidos da filtração rápida descendente – FRD, para o tratamento de água superficial natural, com valores baixos de turbidez e cor, variando-se as taxas de filtração e execução de DFIs. Apresenta-se na tabela 11 as principais características do material granular utilizado.

Tabela 11 - Características do Material Granular utilizado por GUSMÃO (2001)

FAP		Cam. Suporte FAAG		FAAG	FRD
Tamanho dos grãos (mm)	Espessura Subcam. (mm)	Tamanho dos grãos (mm)	Espessura Subcam. (mm)	Tamanho dos grãos = 1,0 a 2,38 mm TE = 1,2 mm CD = 1,51 Espessura camada = 1,6 m	Tamanho dos grãos = 0,42 a 1,41 mm TE = 0,54 mm CD = 1,57 Espessura camada = 0,7 m
		15,9 – 9,6	7,5		
		9,6 – 4,8	7,5		
4,8 a 2,4	300	4,8 – 2,4	15,0		
9,6 a 4,8	300	9,6 – 4,8	7,5		
15,9 a 9,6	300	15,9 – 9,6	7,5		
31,7 a 19,1	300	25,4 – 15,9	7,5		
		31,7 – 25,4	7,5		

Foram realizados, no total, dez ensaios de filtração, organizados em dois grupos de acordo com os valores de turbidez observados para a água bruta, segundo tabela 12.

Tabela 12 - Programação dos ensaios realizados por GUSMÃO (2001)

Grupo	Ensaio	Taxas de filtração S01			Taxas de filtração S02		
		FAAG	Nº. DFI	FRD	FAP	Nº. DFI	FRD
A	A1	360	4	240	80	-	240
	A2	360	4	240	80	2	240
	A3	---	-	---	110	-	240
	A4	---	-	---	110	3	240
	A5	360	4	240	190	2	240
B	B1	---	-	---	190	-	240
	B2	360	6	180	190	-	180
	B3	---	-	---	190	2	180
	B4	200	4	300	190	-	120
	B5	360	4	480	---	-	---

Como coagulante, foi utilizado solução comercial de sulfato de alumínio. A determinação e o ajuste das dosagens de coagulante foram realizados através de filtração da água coagulada na própria instalação, em filtro de laboratório de areia – FLA, contendo 15 cm de espessura de areia, com tamanho dos grãos entre 0,3 e 0,42 mm, tendo sido consideradas apropriadas, as dosagens responsáveis pela produção de efluente com turbidez menor ou igual a 1 uT, após 30 minutos de filtração.

A lavagem do filtro FAAG consistiu em aplicação de água com velocidade ascensional suficiente para produzir expansão da ordem de 30 % por 10 min., enquanto no filtro FAP, a limpeza foi realizada por meio de execução de DFs consecutivas, com taxas de 800 a 1000 m³/m².d. e limitando-se o rebaixamento da lâmina de água até 10 a 20 cm acima do topo do meio granular. Desta forma, o meio granular era mantido sempre imerso, evitando-se a penetração de ar e a formação de bolhas em seu interior. Nos filtros FRDs, a

lavagem foi realizada injetando-se primeiramente, ar comprimido durante 5 min., limitando-se a expansão do meio granular em 70%, para evitar perda de material, seguida da aplicação de água com velocidade ascensional, de modo a produzir expansão do meio filtrante da ordem de 30 %, durante 10 min.

Destacam-se, a seguir, as principais conclusões deste trabalho.

- Embora a aplicação das dosagens determinadas pelo teste em FLAs tenha levado à produção de efluente de boa qualidade, 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 carga;
- Para o filtro FAAG, foi observada nos ensaios do Grupo – A 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 (ensaio A1 e A5 da figura 22). Já nos ensaios do Grupo – B, não foi observado a ocorrência deste fenômeno (ensaio B2 e B5 da figura 22).
- Em geral, a qualidade do efluente do filtro FAP foi sempre inferior à do filtro FAAG, tendo apresentado, nos ensaios, grande concentração de flocos no efluente do filtro FAP, resultando em valores de turbidez e cor aparente da ordem de 1,6 a 7,2 uT e 15 a 40 uH, respectivamente (ensaio A4, B2, B3 e B4 da figura 23). Não foi constatada a ocorrência de desprendimento de flocos, nos ensaios com execução de DFIs, sob taxas de filtração de 80 e 110 m³/m².d. (ensaio A4 da figura 23);
- A FRD mostrou-se necessária como tratamento complementar, para garantir a produção de água com qualidade condizente ao Padrão de potabilidade, em todos os ensaios do sistema S01 e nos ensaios do Grupo – A do sistema S02 (figura 23);
- No sistema S01, o crescimento da perda de carga no meio granular resultou mais intenso no filtro FAAG que no filtro FRD, enquanto no sistema S02 foi menos intenso no filtro FAP que no filtro FRD. Por esses motivos, as carreiras de filtração, encerradas pelo critério de perda de carga limite, foram determinadas no sistema S01, pelo filtro FAAG (durações de 27 a 48 h e 88 h para a taxa de filtração de 200 m³/m².d.) e no sistema S02, pelo filtro FAP (durações de 14 a 35 h, nos ensaios sem DFI, e de 16 a 25 horas nos ensaios com DFI);
- A execução de DFI, com taxa de escoamento entre 800 e 1000 m³/m².d no filtro FAP, provocou redução média da ordem de 90 % no valor da perda de carga, devido à retenção de impurezas no meio granular.

Recomendou-se a realização de experimentos adicionais com sistemas de dupla filtração semelhantes aos estudados, para avaliar seu desempenho: (i) no tratamento de águas com valores mais elevados de turbidez, concentração de partículas, cor verdadeira, ferro e manganês totais; (ii) frente a variações expressivas e repentinas na qualidade da água bruta; (iii) quando aplicadas taxas de filtração mais elevadas que as observadas nesta pesquisa; (iv) quando o filtro FAP for operado sem interrupções para lavagem de seu meio granular, mas com execução de descargas de fundo intermediárias, durante períodos superiores a uma semana.

Apresentam-se, nas figuras 22 e 23, alguns dos resultados obtidos utilizando a FDAAG e a FDAP, respectivamente.

Figura 22 - Variação dos valores de perda de carga e turbidez da água bruta e efluentes do sistema S01 em função do tempo de funcionamento Fonte: GUSMÃO (2001)

Figura 23 - Variação dos valores de perda de carga e turbidez da água bruta e efluentes do sistema S02 em função do tempo de funcionamento Fonte: GUSMÃO (2001)

BRIGANO et. al.⁹ apud CRUZ VELEZ & DI BERNARDO (2000) avaliaram um sistema pré-fabricado nos Estados Unidos, composto por FDAP seguida da FRD, que tratava água para uma comunidade rural com valores de turbidez entre 1 e 23 uT, tendo produzido água com valor de turbidez inferior a 0,5 UNT, a um custo de implantação 42% menor do que o custo estimado para uma ETA de ciclo completo, para o local em específico.

Baseado nos resultados obtidos por MEGDA (1999) e CEZAR et. al. (2000), AMARAL et. al. (2001) investigou, em instalação piloto, variações das faixas granulométricas e das taxas de filtração no filtro FAP, aplicado em SDF, para águas com baixa turbidez e presença de algas.

Apresentam-se na tabelas 13 e 14, as características do material granular empregado e as taxas de filtração utilizadas.

Tabela 13 - Composições granulométricas e taxas de filtração / FAPs utilizadas por AMARAL et. al. (2001)

Composição granulométrica	Cam.	FAP1 (4C)		FAP2 (3C)		FAP2 (4C)	
		Espessura (m)	tam.grãos (mm)	Espessura (m)	tam.grãos (mm)	Espessura (m)	tam.grãos (mm)
	4	0,3	3,2 a 6,4	-	-	0,15	6,4 a 9,6
	3	0,3	9,6 a 15,9	0,3	9,6 a 15,9	0,3	9,6 a 15,9
	2	0,3	19 a 25,4	0,3	19 a 25,4	0,3	19 a 25,4
	1	0,3	31,4 a 50	0,3	31,4 a 50	0,3	31,4 a 50
Taxas filtração (m ³ /m ² .d.)		48, 72 e 148		48 e 72		110 e 120	

Tabela 14 - Características granulométricas / FRDs utilizadas por AMARAL et. al. (2001)

Características	FRD1	FRD2	FRD3
Tamanho efetivo (mm)	1,2 a 1,3	0,5 a 0,55	1,8
Tam. dos grãos (mm)	1,19 a 1,69	0,42 a 1,41	1,6 a 2,0
porosidade	0,4	0,4	0,4

Os FRDs foram operados com taxa de filtração constante e igual a 300 m³/m².d..

Durante a realização dos experimentos, a turbidez da água bruta variou na faixa de 2,2 a 4,6 uT e o teor de clorofila-a, na faixa de 3,0 a 23,4 µg/L.

A variação das taxas de filtração de 24, 48 e 72 m³/m².d., nos filtros FAP1(4C) e FAP2(3C), não resultou em variação significativa na eficiência de remoção de turbidez e clorofila-a nessas unidades. Porém, quando operadas com mesma taxa de filtração, houve

⁹ BRIGANO, F. A.; McFARLAND, J. P.; SHANAGAHIAN, P. E.; BURTON, B. (1994). *Dual-stage filtration proves – cost-effective*. J. Am. Wat. Wks. Ass., vol. 86, n.º. 5, p. 75 – 88.

redução substancial no desempenho do FAP2(3C), podendo-se concluir que a quarta camada é responsável por grande parte da retenção de impurezas;

A disparidade entre as durações das carreiras de filtração, dos FAPs e FRDs, levou à consideração de uma composição granulométrica intermediária aos filtros FAP1(4C) e FAP2(3C), resultando na adição de uma quarta camada de 15 cm, passando a ser identificado como FAP2(4C). As carreiras de filtração, realizadas com o filtro FAP2(4C) e taxa de 120 m³/m².d., apresentaram elevada eficiência global de remoção, com razoável equilíbrio entre as durações das carreiras dos filtros FAP2(4C) e FRD1, tendo no FRD2, resultado durações inaceitavelmente curtas. Assim, foi realizado um novo ensaio em condições similares, utilizando porém, os filtros FRD1 e FRD3, no tratamento final, resultando em valores semelhantes de turbidez e menor perda de carga no FRD3.

Uma análise comparativa dos resultados sugere que melhores eficiências poderiam ser obtidas, se a quarta camada do FAP2 tivesse 30 cm e a taxa de filtração fosse mais elevada.

Contrariando a expectativa, o aumento da taxa de filtração, não acarretou redução significativa na eficiência da remoção de impurezas. Segundo os autores, este fato pode estar associado à qualidade da água bruta utilizada, que muito se difere das águas usualmente empregadas nas investigações, com presença de turbidez de origem predominantemente mineral.

Tendo em vista o potencial demonstrado pela dupla filtração composta por pedregulho-areia, recomendaram a continuidade das pesquisas com relação à avaliação de novos arranjos granulométricos nos filtros FAPs e FRDs, compatibilizando-os com taxas de filtração apropriadas e ao desenvolvimento de métodos rápidos e eficientes de limpeza dos FAPs.

3.6.1 Filtração Rápida Descendente

Similarmente ao que ocorre no tratamento por ciclo completo, a filtração rápida descendente – FRD é introduzida no sistema de dupla filtração, como tratamento complementar, com a finalidade de remover as partículas suspensas e coloidais e microrganismos em geral, que não tenham sido retidos nas etapas anteriores, de forma que após desinfecção, o efluente produzido atenda ao padrão de potabilidade.

Pode-se definir a filtração como sendo a ação conjunta de três mecanismos: transporte aderência e desprendimento. Esses mecanismos surgiram da tentativa de explicar

o fenômeno da filtração, onde partículas coloidais, de dimensões da ordem de 0,01 a 10 μm , são removidas, segundo PÁDUA (1999), sob as seguintes condições: tamanho efetivo da areia da ordem de 500 μm , dimensão dos poros igual a 35 a 50 μm e distância de interação para ocorrer aderência frequentemente menor que 1 μm . O transporte de partículas no interior do meio depende basicamente das condições físicas e hidráulicas tais como taxa de filtração, granulometria, tamanho, densidade das partículas e temperatura, enquanto a aderência está relacionada às interações eletrostáticas e químicas de superfície, resultantes do processo de coagulação química. No decorrer da carreira de filtração, o acúmulo de partículas nos vazios intergranulares faz com que as forças cisalhantes, que atuam sobre as partículas depositadas, aumentem, ocasionando o carreamento dessas partículas às camadas inferiores do filtro.

De acordo com DI BERNARDO (1993b), na FRD, em geral, a camada filtrante pode ser constituída por camada única de areia convencional ou camada dupla de antracito-areia ou ainda camada única de areia uniforme e deve estar disposta sobre uma camada suporte de pedregulho, cuja constituição e disposição depende fundamentalmente do sistema de drenagem e método de lavagem do filtro. As características granulares dos meios filtrantes citados são apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Características granulares dos meios filtrantes comumente utilizados na FRD Adaptada de DI BERNARDO (1993b)				
Característica	areia convencional	Camada dupla		areia uniforme
		antracito	areia	
Tamanhos dos grãos (mm)	0,42 a 1,41	0,59 a 2,0	0,42 a 1,41	0,84 a 1,68
Tamanho efetivo (mm)	0,45 a 0,55	0,90 e 1,10	0,40 e 0,60	0,9 a 1,3
Coef. de desuniformidade	$\leq 1,6$	$\leq 1,6$	$\leq 1,6$	$\leq 1,2$
Espessura (m)	0,6 a 0,8	0,45 e 0,6	0,2 a 0,3	$\geq 1,0$
Taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$)	≤ 200	≤ 400		≤ 360

A lavagem do meio filtrante é usualmente realizada com introdução de água no sentido ascendente, com velocidade (da ordem de 0,8 a 1,0 m/min) suficiente para produzir expansão maior ou igual a 30 % da camada de areia, durante 7 a 10 min, com o objetivo de liberar as impurezas retidas no meio durante a filtração. A lavagem com água pode ser precedida pela aplicação de ar, durante um período de 2 a 5 min., com taxa de 10 a 20 L/s.m^2 ou ainda, pela aplicação simultânea de ar e água, com taxas de aplicação de 4 a 8 L/s.m^2 e 0,15 a 0,30 m/min. respectivamente, por um período de 2 a 5 min.

3.7 Considerações Finais sobre a Revisão da Literatura

Os resultados das investigações realizadas sobre a pré-filtração em pedregulho, com introdução prévia de coagulação química, revelam o grande potencial que esta tecnologia possui, especialmente, por permitir o tratamento de águas com características que dificultam a aplicação dos processos e operações, envolvidos nos sistemas de tratamento que empregam a tecnologia de ciclo completo ou filtração lenta (WEGELIN et al., 1996; AHSAN et al., 1996; CRUZ VELEZ et al., 1998). Assim, águas que apresentam, temporariamente, baixa turbidez e altos ou moderados níveis de matéria dissolvida, ou ainda, variações bruscas de qualidade podem também ser eficientemente tratadas, com razoável simplicidade operacional e custos significativamente menores, adequadas às pequenas e médias cidades, sobretudo, sob o aspecto social.

Diante deste fato, é imprescindível a realização de investigações das reais potencialidades, neste caso, da FDAP como pré-tratamento à FRD, sob condições diferenciadas de aplicação (MEGDA, 1999; CEZAR, 2000; GUSMÃO, 2001; AMARAL et al. 2001), enquadrando-se nesta linha de pesquisa o presente trabalho. Com base na revisão da literatura apresentada, pôde também verificar a necessidade da realização de estudos adicionais com relação ao desempenho desta tecnologia:

- para o tratamento de águas que apresentem características diferenciadas das já estudadas, tais como valores de turbidez e ou cor verdadeira elevados, presença de algas de um modo geral e inclusive de cianobactérias e seus subprodutos, em elevadas concentrações;
- para condições variadas de taxa de filtração e composição granulométrica, avaliando a influência destas, sobre os mecanismos que ocorrem no FAP;
- abordando variados métodos operacionais de limpeza e lavagem dos FAPs, bem como de execução das DFIs.

Outro aspecto que merece ser considerado, diz respeito às condições de coagulação química empregadas nos estudos apresentados, tendo apresentados variações que sugerem a realização de uma melhor investigação quanto a metodologia a ser utilizada para sua determinação, sobretudo para os casos em que a água apresente características, cujos valores máximos superam os recomendados por DI BERNARDO et al. (2000), para o emprego dos FLPs.

Apresenta-se na tabela 16 as características específicas dos principais trabalhos abordados, utilizando a filtração em pedregulho como pré-tratamento.

Tabela 16 - Características das principais investigações citadas, utilizando a filtração em pedregulho como pré-tratamento

Autor ou experi- mento	ano	taxa filtro pedreg.	afluente	resultados	coagul. química	tratamento em pedregulho		Tratam final
						instal.	material granular	
WEGELIN et al.	1996	7,7; 10; 12,7 s/ DFI	turb.=350 a 1300; pH= 6,5 a 6,7; alcalin.=25 a 40	duraç.= 20 a 60	Varred. c/ DSA=60	2 FAPs em série c/ área = 250.000	FAP1: espes.=1,2; tam.=15 + Suporte (espes.= 0,2; tam.=20) FAP2: espes.=1,2; tam.=5 + Suporte (espes.= 0,2; tam.=15)	2FL
AHSAN et. al.	1996	120 a 168 s/DFI	turb.=200	2< turb.<3; duraç.= 72 a 96	Combin. c/ DSA=11	2FHPs em série c/ área = 8.000	FHP1: tam.=15 a 25; FHP2: tam.=8 a 13	FRD ou FL
CRUZ VELEZ et al.	1998	72; 144; 268 s/DFI	Efluente de PFDi c/ turb. ≅20	duraç.= 168; 144 e 74	-	1FAP	FAP: espess.=4x0,3; tam.=2,4 a 38	FRD
MEGDA	1999	12; 36; 60; 90;115 s/DFI	turb.=6 a 71; cor ap.=75 a 425	turb.<5; duraç.=20 a 350	c/ sulfato de Al	1FAP c/ área = 5.000	FAP: espess.= 4 x 0,3; tam.=(31 a 19); (15,9 a 9,6); (9,6 a 4,8); (4,8 a 2,4)	FRD c/ txfiltr.= 250
CEZAR et.al.	2000	12; 24; 60 s/DFI	turb.=3,7 a 20; clorofila-a= 3,5 a 61,4	turb.<0,8 Rem. algas.= 80,1 a 96; duraç.= 5 a 456	c/ DSA= 4 a 9	1FAPc/ DSA	FAP: espess.= 5 x 0,3; tam.=(31 a 50); (19 a 25,4); (9,6 a 15,9); (3,2 a 6,4); (1,4 a 3,2)	FRD c/ txfiltr.= 300
GUSMÃO	2001	80; 110; 190 c/DFI	turb.=8,45 a 16,7; cor ap.=75 a 160	turb.=1,66 a 7,24; cor ap.=15 a 55; duraç.=17,1 a 87,8	Neutr. parc. DSA=3,3 a 7,4	1FAP c/ área = 5.000	FAP: espess.= 4 x 0,3; tam.=(31 a 19); (15,9 a 9,6); (9,6 a 4,8); (4,8 a 2,4)	FRD txfiltr.= 120 a 240
AMARAL et.al.	2001	48; 72; 110; 120; 148;s/DFI	turb.=2,2 a 4,6; clorof-a = 3,0 a 23,4	Rem. turb.35 a 81; Rem. algas.= 53 a 100;	c/ DSA= 3 a 6	3FAPs	F1 / tam.= (3,2 a 6,4)+F2; F2 / tam.=(9,6 a 50); F3 / tam.=(6,4 a 9,6)+F2	FRD c/ txfiltr.= 300

taxa filtr.: taxa de filtração em $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turb.: turbidez em uT ; alcalin.: alcalinidade em $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$; cor ap.: coar aparente em uH ; clorofila-a em $\mu\text{g/L}$;
duraç.: duração da carreira em h; coagul. quím.:coagulação química; DSA: dosagem de sulfato de alumínio em mg/L ; área: área da base em cm^2 ;
espes.: espessura em m; tam.: tamanho dos grãos em mm; DFI: execução de descargas de fundo intermediárias

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados, primeiramente, a descrição e funcionamento da instalação piloto de dupla filtração – IPDF, sendo em seguida, descritas as atividades realizadas na fase de pré-operação, incluindo as dificuldades encontradas e adaptações efetuadas, com o objetivo de assegurar a qualidade dos resultados produzidos. É apresentada a programação da investigação experimental e relacionados os parâmetros de interesse, monitorados em função dos ensaios programados, além dos critérios adotados na investigação. São também descritos os procedimentos relacionados ao ensaio com ocorrência de pico de turbidez.

4.1 Água Bruta Utilizada

Foi utilizada água bruta proveniente do Ribeirão do Feijão, um dos mananciais que abastece a cidade de São Carlos. Segundo dados fornecidos pelo SAAE - 2001, a água bruta apresentou, no período de dezembro / 1999 a dezembro / 2000, as seguintes características:

- Turbidez: valores inferiores a 100 uT em 95 % dos dias, inferiores a 200 uT em 97 % dos dias, e inferiores a 300 uT em 99 % dos dias;
- Cor Aparente: valores inferiores a 250 uH em 98 % dos dias;
- pH: 6,4 a 7,0; Temperatura: 16 a 26° C.
- Alcalinidade: 6 a 19 mg/L CaCO₃;
- Coliformes Totais: 220 a 90000 NMP/100 mL;
- *E.coli*: 17 a 9000 NMP/100 mL;

4.2 Instalação Piloto de Dupla Filtração – IPDF

A IPDF foi montada no período de janeiro a abril de 2001, nas dependências da ETA 2 de São Carlos, localizada no Distrito Industrial da cidade – CEAT. É constituída, basicamente, pelos sistemas de recalque e, de regularização da vazão de água bruta, de mistura rápida e coagulação química, de distribuição de água coagulada, de dupla filtração, de lavagem e limpeza dos filtros e de aplicação da suspensão de argila.

Apresenta-se na figura 24, o fluxograma de captação e distribuição de água na IPDF.

Figura 24 - Fluxograma de captação e distribuição de água na IPDF

Nas figuras 25 e 26 são apresentadas, respectivamente, fotos da vista externa da casa e da IPDF. Na vista externa é mostrada a torre, onde estão localizadas as câmaras de nível constante - CNC e de mistura rápida - CMR, e o dispositivo de distribuição de água coagulada ao sistema de filtração.

Figura 25 - Foto - Vista externa da IPDF

Figura 26 - Foto - Vista interna da IPDF

4.2.1 Recalque de Água Bruta

O recalque de água bruta do poço da ETA 2 para a câmara de nível constante – CNC foi realizado por um sistema elevatório, composto por uma bomba centrífuga instalada no próprio poço de água bruta (figura 27), que bombeava uma vazão da ordem de 500 L/h por meio de uma tubulação de 19mm de diâmetro.

Essa tubulação era provida de derivação com registro de esfera, para retorno de parcela da água recalcada ao poço (figura 27), e de um rotâmetro para medida da vazão bombeada de água bruta (figura 28), com capacidade máxima de 2000 L/h, permitindo os ajustes necessários para o funcionamento adequado do sistema.

O conjunto elevatório apresentava as seguintes especificações: bomba centrífuga com rotor periférico da marca Calpeda, modelo NTM 61, motor indução de 2 pólos, 60 Hz, rotação de 3450 RPM, potência de 0,45 HP, monofásico 110 ou 220 V.

Figura 27 - Foto - Sistema elevatório

Figura 28 - Foto - Rotâmetro para água bruta

4.2.2 Regularização da Vazão de Água Bruta

Devido às interferências causadas, principalmente, por variações de tensão e do nível no poço de água bruta e acionamento do sistema de bombeamento da ETA 2, ocorreram variações bruscas da vazão bombeada de água bruta, sendo necessário efetuar sua regularização através da adaptação de uma câmara de nível constante – CNC. Era constituída por tubulação de entrada de água bruta de 19 mm de diâmetro, extravasor de água bruta de dimensões relativamente grandes a fim de atenuar as variações de nível de água na CNC,

tubulação de saída de água bruta para a CMR, de 38 mm de diâmetro, provido de dispositivo de distribuição de vazão e de visor externo para controle do nível de água na câmara.

O extravasor de água bruta com largura de vertedor relativamente grande foi obtido através da adaptação, na extremidade afogada do extravasor, de duas reduções excêntricas superpostas de diâmetros: 100 para 50 mm e de 150 para 100 mm, fixando o nível de água na CNC a 25 cm acima do fundo.

O dispositivo de regularização de vazão consistia na adaptação de um cap roscável com um furo central de 12,7 mm à extremidade afogada da tubulação de saída de água bruta, permitindo a realização de ajustes da lâmina líquida sobre o furo para obtenção das vazões requeridas pelo sistema, uma vez que o nível permanecia praticamente constante. Para a vazão de 500 L/h, a lâmina líquida requerida foi de aproximadamente 17 cm, valor muito próximo do calculado, considerando a equação da lei dos orifícios e coeficiente de vazão C_d (para orifícios circulares de parede fina) igual a 0,6, conforme é apresentado na figura 30. Apresenta-se na figura 29, a foto da vista superior da CNC e na figura 30, o esquema da CNC e na figura.

Figura 29 - Foto - Interior da Câmara de Nível Constante – CNC

Figura 30 - Esquema da CNC, CMR e dispositivo de sifonamento (dimensões em mm)

Figura 31 - Foto - Câmara de Mistura Rápida - CMR

4.2.3 Mistura Rápida e Coagulação Química

Da CNC, a água bruta com vazão aproximadamente igual a 500 L/h, era encaminhada à tubulação de entrada da câmara de mistura rápida – CMR de 76,2 mm de diâmetro, onde recebia soluções de alcalinizante (se necessário) e de coagulante químico. A CMR era provida de um agitador com paleta plana que funcionava continuamente com rotação da ordem de 450 rpm, para promover a mistura das soluções na água bruta e de extravasor de água coagulada. Para a vazão de 500 L/h, o tempo de mistura rápida empregado foi da ordem de 50 s. Dispunha também, de uma placa divisória fixa com oito orifícios de 25,4 mm, distribuídos na largura superior, a fim de diminuir a turbulência na região próxima ao sistema de distribuição de água coagulada. A CMR é esquematizada na figura 30 e pode ser visualizada na foto da figura 31.

O coagulante químico utilizado foi o sulfato de alumínio ferroso líquido comercial, produzido por Produtos Guaçu, cujas especificações contidas no laudo técnico são apresentadas na tabela 17.

Tabela 17 - Especificações do coagulante químico	
Massa específica da solução (g/cm ³)	1,32
Concentração Al ₂ (SO ₄) ₃ . 14,3 H 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 anidro em pó (Na₂CO₃), comercialmente, conhecido como barrilha, tendo sido empregado apenas no ensaio XII (com ocorrência de pico de turbidez), devido às elevadas dosagens de coagulante requeridas. Nos demais ensaios, foi dispensada a aplicação do alcalinizante, em função da água coagulada (com dosagens de alumínio – DA_l, entre 0,381 e 0,533 mgAl/L), ter apresentado geralmente valores de pH entre 6,2 e 7,1.

4.2.3.1 Condições da coagulação química

A determinação em laboratório, das condições de coagulação química mais adequadas, era realizada antecedendo cada ensaio, primeiramente, por meio de ensaios de coagulação em reatores estáticos (jarteste), variando-se a dosagem de coagulante e, conseqüentemente, o pH de coagulação. Inicialmente, era medida a turbidez, pH e alcalinidade da água bruta. A mistura rápida foi realizada com gradiente de velocidade

médio $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ e tempo $T_{mr} = 60 \text{ seg.}$. A concentração da solução de coagulante foi preparada, considerando os valores das dosagens testadas, de forma que resultasse na precisão desejada. Em geral, utilizou-se concentração igual a $383,2 \text{ mgAl/L}$.

Terminada a mistura rápida, determinava-se o pH de coagulação de cada amostra. Após descarte inicial da amostra, iniciava-se o ensaio de filtração direta, primeiramente, em filtros de laboratório em papel – FLP, com duas coletas consecutivas de no mínimo 25 mL (volume suficiente para a leitura de turbidez) e em seguida, em filtros de laboratório em areia – FLA. O FLP utilizado apresentava as seguintes características: marca Whatman 40, tamanho médio dos poros de $8\mu\text{m}$, espessura de 0,2 mm e diâmetro de 125 mm.

O sistema de FLAs era constituído por seis filtros, cada um contendo corpo em acrílico transparente ou em pvc de 19 mm de diâmetro, 40 cm de altura e possuía areia aderida na parede interna, de modo a evitar formação de correntes preferenciais durante a filtração. A cota de saída de água filtrada foi posicionada, aproximadamente, 1cm acima do topo da camada de areia, a fim de evitar pressões negativas no decorrer da filtração. A espessura da camada de areia era de 15 cm e a granulometria variou em função das características da água a ser filtrada, tendo sido utilizadas três granulometrias diferentes, conforme critério apresentado na tabela 18. Apresenta-se na figura 32 um esquema contendo as principais características do FLA e na figura 33, uma foto do sistema de FLAs acoplado ao jarreste.

Tabela 18 - Critérios para escolha da granulometria do FLA		
Turbidez da água bruta (uT)	FLA	Tamanho dos grãos (mm)
< 25	1	0,3 a 0,59
25 a 100	2	0,42 a 0,84
>100	3	0,59 a 1,41

A taxa de filtração utilizada nos FLAs foi mantida aproximadamente constante através de ajustes manuais, entre $60 \text{ e } 100 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, o que possibilitava filtração de 1 litro de água coagulada entre aproximadamente 50 e 80 minutos. Em geral, a coleta no FLA foi realizada após 15, 20, 25 e 30 min de filtração, sendo a escolha da dosagem de coagulante e respectivo pH de coagulação, feita em função da qualidade do filtrado ($\text{turbidez} \leq 0,5 \text{ uT}$).

Figura 32 - Esquema do FLA

Figura 33 - Foto - Sistema de FLAs acoplados no jarreste

Baseado em GUSMÃO (2001), para o preparo dos FLAs, foram adotados os seguintes procedimentos:

1. Transferir para um béquer de 500 mL, toda a areia (suja) contida em um FLA;
2. Encher o béquer com água de diluição (água filtrada sem cloração) até aproximadamente 300 mL, de maneira que a areia fique totalmente submersa;

3. Agitar a areia utilizando uma espátula de plástico, por meio de movimentos circulares alternando o sentido do movimento;
4. Deixar o béquer contendo areia em repouso por 5 min.;
5. Medir a turbidez do sobrenadante e repetir os procedimentos 2, 3, 4 e 5 até que a turbidez do sobrenadante resulte menor que 5 uT;
6. Transferir a areia, agora limpa, para o FLA com auxílio de uma piceta, através de pequenos jatos de água de diluição;
7. Compactar o meio filtrante por meio de leves pancadas, distribuídas simetricamente na lateral superior do FLA;
8. Repetir o mesmo procedimento para todos os FLAs.

4.2.3.2 Preparação das soluções de coagulante e alcalinizante e ajustes finais

Para o preparação e aplicação das soluções de coagulante químico e alcalinizante na CMR, dispunha-se para cada tipo de reagente, de dois tanques graduados com volume útil de 50 L cada, providos de bomba dosadora por pulsos, motoredutor e agitador, possibilitando o preparo antecipado e armazenamento das soluções de reposição. As bombas dosadoras apresentavam as seguintes especificações: marca ProMinent, modelo CONB 1601, 230 V, 60/60 Hz 16 W, 1 A, com amplitude de dosagem de até 1,0 L/h e altura manométrica de 16 m.c.a. É apresentada na figura 34, uma foto dos tanques de produtos químicos.

Figura 34 - Foto - Tanques de produtos químicos providos de bomba dosadora, motoredutor e agitador

A preparação da solução de sulfato de alumínio ou de carbonato de sódio foi realizado, diluindo-se a solução ou o pó (produto comercial), em água filtrada da ETA 2 sem cloração, de forma a obter concentrações adequadas à duração da carreira, precisão desejada para realização de ajustes das dosagens empregadas e vazões correspondentes ao bom desempenho da bomba dosadora (entre 0,2 a 0,8 L/h), considerando a vazão afluyente à CMR e a dosagem preestabelecida.

Na maioria dos ensaios, a solução de coagulante foi preparada com concentração igual a 766,4 mgAl/L. No ensaio XII (com ocorrência de pico), a solução de alcalinizante foi preparada com concentração de 10000 mg/L do produto comercial (carbonato de sódio anidro em pó), e a solução de coagulante com concentrações de 1593,3 mgAl/L.

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

Após a diluição, a solução de sulfato de alumínio ou carbonato de sódio era agitada por aproximadamente 10 min.; em seguida, a tubulação de recalque era desconectada e, com a bomba em funcionamento, extraíam-se as bolhas ar, eventualmente, retidas na tubulação. Por fim, era efetuado o ajuste da vazão a ser bombeada, sendo as medidas volumétricas, realizadas por meio de uma pipeta no ponto de aplicação do coagulante ou de alcalinizante e efetuado os ajustes necessários.

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

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

em que:

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

q_b = vazão da bomba dosadora (L/h);

DAI = dosagem de coagulante (mgAl/L);

Q_{ab} = vazão de água bruta que entra na CMR.

Assim, para dosagens de coagulante DAI entre 0,381 e 0,533 mgAl/L, concentração da solução de coagulante C_{sol} igual a 766,4 mgAl/L e vazão de água bruta igual a 500 L/h, foram requeridas para a bomba dosadora, vazões entre 0,249 e 0,348 L/h, apropriadas ao desempenho da bomba em questão.

4.2.3.3 Teste em FLA utilizando água coagulada na IPDF

Como a vazão máxima utilizada no sistema de dupla filtração – SDF era, propositadamente, sempre inferior à de entrada na CMR, uma parcela da água coagulada era extravasada, continuamente, por uma tubulação junto ao SDF, permitindo a realização de testes e ajustes das condições de coagulação. Antes do início de cada carreira de filtração, eram efetuados testes em FLAs, utilizando água coagulada na própria IPDF, mediante a aplicação das condições de coagulação obtidas conforme item 4.2.3.1. Assim como nos ensaios para determinação das condições de coagulação, a granulometria da areia utilizada no FLA era escolhida em função dos valores de turbidez da água bruta, conforme critério apresentado na tabela 18.

O FLA, devidamente preparado conforme item 4.2.3.1, era acoplado na derivação existente na extremidade do extravasor de água coagulada junto aos filtros, que continha uma pinça regulável fixada à mangueira de silicone de 5 mm de diâmetro, com o objetivo de possibilitar o ajuste da taxa de filtração entre 60 e 100 m³/m²d. Foram efetuadas coletas de amostras de água filtrada a partir de 15 min. de filtração a cada 5 min.. A dosagem de coagulante e respectivo pH de coagulação eram considerados satisfatórios, se resultasse turbidez do efluente menor que 1 uT em até 30 min.

Somente após ser constatada a condição desejável de coagulação, a água coagulada era encaminhada ao filtro ascendente de pedregulho - FAP. Iniciada a operação, o controle da coagulação era realizado em intervalos de 6 h, ou quando a qualidade do afluente ou efluente produzido, apresentasse variações. Antes do início da operação, a solução de coagulante era agitada novamente por cerca de 10 min. e durante a carreira de filtração, em intervalos de 6 h por aproximadamente 3 min.. Apresenta-se na figura 35, o dispositivo para a realização do teste em FLA e na figura 36, uma foto dos FLAs, para as três granulometrias utilizadas.

Figura 35 - Foto - Dispositivo para teste em FLA no extravasor de água coagulada da IPDF

Figura 36 - Foto - FLAs para os três tipos de granulometria

4.2.4 Distribuição de água coagulada

A alimentação de água coagulada foi realizada por um dispositivo de sifonamento, cujo controle e ajuste da vazão requerida pelo sistema, eram efetuados através da variação da carga (altura) e diâmetro da mangueira flexível de silicone em 5, 7 e 10 mm, devidamente graduada. Os esquemas da CMR e o sistema de distribuição de água coagulada por sifonamento foram apresentados na figura 29 e podem ser visualizados na foto da figura 31.

4.2.5 Sistema de Filtração

4.2.5.1 Unidades Filtrantes

O Sistema de Dupla Filtração era composto pelos filtros FAP e FRD, montados pela superposição adequada de segmentos de tubos cilíndricos, com diâmetros externos iguais a 153 mm (DI = 141 mm) e 100 mm (DI = 92 mm), respectivamente, além de placas de fundo e placas perfuradas para uniformização da distribuição da vazão de entrada e saída, construídos em acrílico transparente. A disposição desses componentes além de outros detalhes, podem ser observados na figura 38. A estanqueidade do conjunto foi garantida pela colocação de anéis de vedação (de borracha) entre os flanges de cada segmento de tubo, sendo estes, devidamente conectados por meio de parafusos de latão com porca tipo borboleta. Na figura 37 é apresentado uma foto contendo os filtros FRD e FAP.

Figura 37 a - Foto - Filtro FAP

Figura 37 b - Foto - Filtro FRD

O FAP possuía altura total de 1,97 m e foi apoiado sobre outro segmento de tubo de 1,5 m de altura. O material granular era composto por quatro subcamadas de pedregulho de 30 cm de altura cada, com granulometria variando entre 1,41 e 25,4 mm, dispostos, estratificadamente, sobre uma placa perfurada, em ordem decrescente no sentido do escoamento. As faixas granulométricas do FAP são relacionadas na tabela 19 e podem ser visualizados nas fotos da figura 39.

Tabela 19 - Características do Material Granular do FAP	
Tamanho dos grãos (mm)	Espessura da subcamada (mm)
19,0 a 25,4	300
9,6 a 15,9	300
3,2 a 6,4	300
1,41 a 2,4	300

Figura 38 - Detalhes das unidades filtrantes do SDF composto por FAP - FRD

a) 1ª. Camada: 19,0 a 25,4 mm

b) 2ª. Camada: 9,6 a 15,9 mm

c) 3ª. Camada: 3,2 a 6,4 mm

d) 4ª. Camada: 1,41 a 2,4 mm

Figura 39 - Fotos das camadas granulares do FAP

O FRD possuía altura total de 3,42 m e dispunha de uma tela metálica com abertura de malha de, aproximadamente, # 0,2 mm apoiada sobre a placa perfurada, o que possibilitou a disposição do material filtrante, constituído unicamente de areia, diretamente sobre a mesma, dispensando, assim, o uso de camada suporte. As características do meio filtrante são apresentadas na tabela 20. Na figura 42 é apresentada a curva de distribuição granulométrica resultante da areia do FRD.

Tabela 20 - Características do Material Granular do FRD	
Tamanho dos grãos (mm)	0,3 a 1,41
Tamanho efetivo (mm)	0,42 a 0,45
Coefficiente de desuniformidade	1,7
Coefficiente de esfericidade	0,75 a 0,8
Espessura da camada (m)	0,7

Figura 40 - Curva granulométrica da areia do FRD

4.2.5.2 Piezômetros

Ao longo da altura dos filtros, foram instaladas tomadas para medida de pressão, adaptando-se pequenos espigões em latão de 3,2 mm de diâmetro interno, onde eram conectadas as mangueiras de cristal com 5,0 mm de diâmetro, para compor os quadros piezométricos dos filtros, devidamente graduados. Os espigões eram providos de uma tela metálica com abertura de malha de # 0,2 mm disposta, transversalmente, a fim de evitar possíveis perdas de material filtrante na retirada de ar das mangueiras.

Foram adaptadas quatro tomadas piezométricas no FAP e três no FRD, permitindo, desta forma, verificar a penetração de impurezas no meio granular dos filtros e controlar as operações de descargas de fundo intermediárias – DFI no FAP. A localização exata dos pontos de tomadas piezométricas pode ser verificada na figura 38. Na figura 41 é mostrada a foto do quadro piezométrico do FRD.

Figura 41 - Foto - Quadros de Piezômetros

4.2.5.3 Turbidímetro de escoamento contínuo

O SDF foi provido de derivações nas tubulações de água bruta e de saída dos filtros ascendente e descendente a fim de conduzir água aos turbidímetros de escoamento contínuo, através da adaptação de mangueiras de cristal de 5 mm de diâmetro, com vazões previamente ajustadas por pinças reguláveis entre 15 e 45 L/h. Os turbidímetros (figura 42) utilizados foram da HACH modelo 1720 C.

Com o objetivo de diminuir as interferências de possíveis variações das vazões de entrada e saída do equipamento, as mangueiras de cristal e as extremidades dos drenos dos equipamentos foram, devidamente, fixadas conforme figura 42.

Durante a realização das carreiras de filtração, os turbidímetros de escoamento contínuo foram calibrados periodicamente, segundo metodologia apresentada no manual do equipamento, utilizando o padrão preparado a partir da diluição da solução de formazina 4000 NTU.

Figura 42 - Foto - Turbidímetros de processo

4.2.5.4 Controle e Ajuste das Taxas de Filtração

O controle da vazão afluyente ao FAP era realizado no dispositivo de sifonamento, através da graduação existente nas mangueiras de silicone e referencial devidamente adotado, sendo o ajuste efetuado, variando-se a altura da mangueira e pressionando-a, levemente, causando o desprendimento de flocos, eventualmente aderidos na parede interna da mesma. A vazão afluyente ao FRD era medida por meio de rotâmetro e ajustada por meio de registro de agulha, adaptado à tubulação de desvio, previamente, instalado na tubulação.

Adicionalmente, eram realizadas medidas volumétricas, utilizando-se provetas graduadas de volumes adequados e cronômetro, nas tubulações de desvio de água pré-filtrada, de saídas do turbidímetro de escoamento contínuo e efluente filtrado, para efeito de controle das taxas empregadas, uma vez que, no decorrer da carreira de filtração, essas vazões terminais apresentavam pequenas variações em função do acúmulo de impurezas na parede interna da tubulação.

4.2.6 Sistema de Descarga de Fundo

Inicialmente, as DFs no FAP eram realizadas com taxa média de escoamento de $800 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ e duração da ordem de 40 s, limitando-se o nível da água em aproximadamente 10 cm do topo da última subcamada (superior) do meio granular, porém, logo após o reinício, o efluente do FAP apresentava turbidez relativamente alta, com picos da ordem de 30 a 50 uT. O FRD foi capaz de absorver tais picos, tendo produzido consistentemente efluente com turbidez menor ou igual a 1 uT, porém, tinha os valores de perda de carga substancialmente

alterados, especialmente no primeiro piezômetro no sentido do fluxo. Assim, as DFs no FAP passaram a ser realizadas com esvaziamento total do filtro e taxa média de escoamento entre 800 e 1200 m³/m².d com duração de 1 a 1,5 min., sempre que fosse atingida a perda de carga limite no meio granular de 0,5 a 0,6 m, antecedendo a lavagem, ou ainda o acréscimo de perda de carga entre DFIs.

Para uma determinada taxa de filtração (i), o acréscimo de perda de carga entre DFIs ($\Delta H_{DFI,i}$) era calculado em função do valor de perda de carga no meio granular limpo ($H_{0,i}$), número de DFIs (N) e valor limite de perda de carga no meio granular previsto (0,5 m), segundo:

- Medir a perda de carga no meio granular limpo: ($H_{0,i}$);
- Subtrair o valor da perda de carga inicial da perda de carga limite prevista: ($0,5 - H_{0,i}$);
- Dividir o valor obtido no item b) por ($N+1$), resultando o valor do acréscimo de perda de carga entre DFIs:

$$\Delta H_{DFI,i} = \frac{0,5 - H_{0,i}}{N + 1}$$

Uma DF era realizada de acordo com o seguinte procedimento:

- Suspensão da operação de filtração do FRD;
- Desvio de água coagulada do SDF;
- Fechamento das tomadas piezométricas;
- Execução da DF abrindo-se o registro de esfera (até a marca referente à taxa pré-fixada) até esvaziamento total do filtro;
- Encaminhamento de água coagulada ao FAP;
- Prosseguimento da operação de filtração do FRD;
- Abertura das tomadas piezométricas.

4.2.7 Lavagem dos Filtros

O sistema de lavagem dos filtros foi composto por uma bomba centrífuga (figura 43), reservatório de água para lavagem provida de bóia (figura 44) e alimentada pela rede de distribuição, tubulação principal de 25,4 mm de diâmetro com ramificações e registros de esfera contendo gabaritos com marcações, permitindo o controle da taxa de introdução de

água para lavagem, além de tubulações para coleta de água de lavagem, ligadas ao sistema de drenagem da instalação. A bomba centrífuga utilizada possuía as seguintes características: bomba centrífuga monoestágio da série MB-12 (para água limpa), modelo M0B-12X, potência de 0,25 HP, capacidade de bombear até 4,8 m³/h a altura manométrica máxima de 21 m.c.a, motor Weg.

Figura 43 - Foto - Bomba centrífuga / água para lavagem

Figura 44 - Foto - Reservatório de água para lavagem

O sistema de aplicação de ar para lavagem auxiliar era composto por motocompressor de ar, tubulação principal provida de rotâmetro e ramificações dessa tubulação, adaptadas na parte inferior dos filtros, abaixo da placa perfurada, cujas vazões eram controlados por registros de agulha. A distribuição do ar dentro dos filtros era efetuado por um tubo em cobre de, aproximadamente, 3 mm de diâmetro, contendo orifícios distribuídos ao longo do seu comprimento.

No decorrer dos ensaios, foram realizados testes com o objetivo de investigar métodos mais apropriados de execução de lavagens do FAP, definindo combinações de taxas de aplicação de ar e água, bem como formas de controle dessas taxas, através da adaptação de gabaritos com marcações numeradas aos registros instalados, de rotâmetros para medida das vazões de ar e água (figura 45) e de referenciais nas paredes dos filtros, limitando o grau de expansão do meio granular (figura 46).

Figura 45 - Foto - Rotômetro com gabarito

Figura 46 - Foto - Referencial de expansão 0%

No FAP, a limpeza foi efetuada primeiramente com execução de 1 DF, seguida da introdução simultânea de ar com taxa de aplicação da ordem de 10 L/s.m^2 e água com velocidade ascensional de $0,5 \text{ m/min}$. durante 5 min.; a operação era finalizada com aplicação de água com velocidade ascensional de aproximadamente $1,4 \text{ m/min}$ por 5 min, ou durante o período necessário para que a turbidez do efluente resultasse inferior a 5 uT.

No FRD, a lavagem foi realizada por meio de insuflação de ar durante 3 min., com taxa de aplicação da ordem de 15 L / s.m^2 , seguida de água para promover expansão de, aproximadamente, 30 % na camada de areia, correspondente à velocidade ascensional de aproximadamente $0,6 \text{ m/min}$ ou taxa de aplicação de $850 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, durante cerca de 7 min. ou período necessário para que a turbidez do efluente resultasse inferior a 5 uT.

Na figura 47 é apresentado um esquema geral da IPDF.

Figura 47 - Esquema geral da IPDF com FDAP

4.3 Pré-operação

A fase de pré-operação corresponde às atividades relacionadas à adequação de procedimentos, verificação da estabilidade do sistema, calibração e aferição dos equipamentos e execução das adaptações necessárias, de forma a assegurar a confiabilidade dos resultados produzidos. São descritas a seguir as principais atividades.

4.3.1 Calibração dos equipamentos de bancada

A calibração dos equipamentos foi realizada segundo método apresentado nos manuais específicos de cada equipamento ou por solicitação de assistência técnica especializada.

4.3.2 Preparo do material filtrante do FRD

Para o preparo do material granular do FRD, foram realizados, primeiramente, a retirada da amostra através de quarteamento e a análise de distribuição granulométrica, com o objetivo de verificar a conformidade das características do material filtrante, segundo as especificações do pedido. Os resultados obtidos apresentaram valores de tamanho efetivo superiores ($D_{10} = 0,46$ mm) ao especificado ($D_{10} = 0,42$ a $0,45$ mm), tendo sido necessário, ajustar a composição da areia, adicionando-se 5 % de areia fina com tamanho dos grãos entre 0,3 e 0,42 mm, disponíveis na ocasião.

A composição da areia foi realizada em porções de aproximadamente 3 Kg, e a análise granulométrica para cada porção era efetuada retirando-se, aproximadamente, 1 Kg da areia já ajustada e devidamente misturada, até a obtenção do volume necessário para preenchimento do FRD. As análises granulométricas foram realizadas por peneiramento manual, sendo descartadas as porções do material, eventualmente, retidas na peneira de # 1,41 mm ou passadas na # 0,3 mm. Na figura 48, é apresentada a curva de distribuição granulométrica das areias comprada e ajustada do FRD. Para evitar a compactação do meio filtrante, o preenchimento do FRD foi realizado com o filtro parcialmente cheio de água.

Figura 48 - Curva de distribuição granulométrica da areia do FRD

4.3.3 Calibração dos turbidímetros de escoamento contínuo

Após revisão, manutenção e calibração dos turbidímetros de processo, efetuada por empresa especializada, durante os ensaios de pré-operação, foram coletadas amostragens horárias dos efluentes e medidas em turbidímetro de bancada da marca HACH / 2100 P e 2100 N, com o intuito de verificar a confiabilidade dos resultados obtidos pelo turbidímetro de processo e a influência das vazões transferidas aos turbidímetros, pois, nem sempre foi possível obter a vazão de 30 L/h, vazão apropriada ao desempenho do equipamento.

Foram observados durante esses ensaios, valores de turbidez relativamente baixos quando comparados aos amostrados nos turbidímetros de bancada, previamente, calibrados, principalmente com relação aos baixos valores de turbidez (no caso, efluente filtrado), chegando a apresentar valores negativos no display de saída. Assim, após solicitação de revisão técnica, concluiu-se que, provavelmente, a calibração zero efetuada nestes turbidímetros, havia sido feita com água destilada com turbidez maior que a da água produzida no SDF (que apresentavam valores de turbidez da ordem de 0,04 uT no turbidímetro portátil 2100 P). Após nova calibração, este problema não voltou a acontecer e o resultado da comparação foi satisfatória, tendo os resultados do turbidímetro de bancada 2100 P, apresentado valores muito próximos dos de processo.

4.3.4 Regularização da vazão de água bruta

No início da fase de pré-operação, a água bruta era recalçada diretamente à CMR contendo o extravasor de água coagulada. O monitoramento da vazão distribuída ao sistema foi realizado, fechando-se o registro de entrada de água coagulada ao FAP, sendo a vazão total de entrada na CMR, encaminhada ao extravasor de água coagulada. Durante o monitoramento, foram observadas variações de vazão, mesmo em medidas sucessivas. Assim, foram tomadas providências com relação à precisão dessas medidas, substituindo-se a proveta plástica de 1000 mL por um garrafão plástico de 4000 mL com o topo afunilado e graduado e aumentando, o diâmetro da tubulação do extravasor de água coagulada de 31 para 50 mm, produzindo um escoamento mais regular.

Vale ressaltar que a determinação da vazão da bomba dosadora está relacionada à vazão afluyente à CMR, devendo esta, apresentar-se estável a fim de assegurar as condições de coagulação preestabelecidas.

Após as adaptações realizadas, foi constatado que as medidas sucessivas apresentaram-se praticamente estáveis, porém, em determinados horários (das 16:00 às 20:00 h, das 22:00 às 01:00 h e das 6:00 às 8:00 h), ocorriam variações de até 60 % da vazão média prevista para operação, ora aumentando, ora diminuindo. Após muitas investigações, chegou-se à conclusão de que as variações de vazão observadas naqueles horários poderiam estar relacionadas às variações de tensão na rede, devido às atividades das indústrias locais (a ETA 2 é localizada em um parque industrial de São Carlos), à proximidade ao sistema de captação que abastece as duas ETAs da cidade, à variação do nível de água bruta no poço de chegada da ETA 2 e acionamento do sistema de bombeamento da própria ETA2.

Com o intuito de controlar as interferências observadas naqueles horários, foi instalada uma caixa retangular contendo uma bóia de latão, antecedendo a CMR, conforme é apresentado no esquema da figura 49. Porém, as variações de vazão eram excessivas para a regulação da bóia e, pedriscos eram retidos no bocal de regulação da bóia requerendo manutenção freqüente. Finalmente, este problema foi solucionado, substituindo este dispositivo de controle com bóia por um extravasor de grande diâmetro, conforme apresentado na descrição da IPDF (item 4.2.2).

A fim de facilitar a verificação da vazão recalçada pela bomba, foi também instalado um rotâmetro com capacidade de medida de até 2000 L/h, na tubulação de recalque de água bruta. No decorrer da realização das carreiras, observou-se que embora a vazão recalçada continuasse apresentando variações, devido às interferências já citadas, o nível de água monitorado através do visor acoplado na CNC, manteve-se praticamente constante.

Figura 49 - Esquema da CNC com bóia (dimensões em mm)

4.3.5 Aferição das bombas dosadoras

A aferição das vazões das bombas dosadoras foi realizada com o intuito de estabelecer os valores limites de vazões para cada condição de regulação e tanque de produto químico. Esses dados auxiliaram na escolha da concentração adequada das soluções de coagulante e de alcalinizante durante a realização dos ensaios, especialmente no ensaio XII (com ocorrência de pico de turbidez), em que as dosagens variaram significativamente, tendo sido necessário o preparo de soluções com diferentes concentrações. Apresentam-se na tabela 21 os resultados da aferição realizada para a faixa ótima de desempenho da bomba dosadora.

Tabela 21 - Vazões correspondentes aos limites de regulação das bombas dosadoras (L/h)						
Tanque	Regulagens da bomba dosadora					
	II / 30	II / 50	II / 70	III / 30	III / 50	III / 70
Tq coagulante 1	0,208	0,337	0,504	0,408	0,676	1,01
Tq coagulante 2	0,180	0,297	0,475	0,344	0,600	0,998
Tq alcalinizante 1	0,160	0,264	0,418	0,305	0,526	0,990
Tq alcalinizante 2	0,176	0,301	0,473	0,338	0,572	1,01

Para a realização dos ajustes no início e durante a carreira, a medição das vazões das bombas dosadoras pelo método volumétrico era, rapidamente realizada através de uma pipeta de 10 mL, pré-fixada nos pontos de aplicação do coagulante ou alcalinizante, provida de um conector de silicone.

4.3.6 Aferição dos rotâmetros de água e ar

Para a aferição do rotâmetro de ar foi empregado um equipamento utilizado em laboratórios químicos chamado bolhometro. Este equipamento era constituído de vidro e possuía entrada para bolhas de sabão na parte inferior e ar na lateral, o que permitiu a determinação da taxa de ar aplicada, medindo-se a velocidade ascensional das bolhas. Para o controle dessas medidas durante a operação, foi acoplado ao registro do compressor de ar, um gabarito com marcações enumeradas.

A aferição dos rotâmetros de água foi facilmente realizada, devido à adaptação prévia de luvas de união, permitindo a medição pelo método volumétrico.

4.4 Programação dos Ensaios

Na Fase - I da investigação experimental, foi programada a realização de nove ensaios (ensaio I a IX), com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema com aplicação de variadas combinações de taxas de filtração entre o FAP e FRD, resultando no estabelecimento de limites de aplicação desta tecnologia para as condições em que foi realizada esta investigação. As combinações das taxas de filtração são relacionadas na tabela 22.

Baseado nos resultados obtidos na primeira fase, para a execução dos ensaios referentes à Fase - II (ensaios X e XI), foram selecionadas combinações de taxas de filtração (tabela 23) com o intuito de avaliar as influências causadas pela execução de DFIs.

Considerando os dados relativos às características da água bruta, apresentadas no item 4.1e a razoável frequência da incidência de chuvas intensas em mananciais superficiais de abastecimento, favorecendo a ocorrência de picos de elevada turbidez de curta duração (tempo menor que 12 horas), foi programada a realização do ensaio XII, cujas taxas de filtração empregadas são apresentadas na tabela 24.

Essa condição de qualidade de água bruta é caracterizada pela introdução de dificuldades no tratamento, especialmente, com relação ao controle da coagulação química,

requerendo procedimentos adequados para assegurar a qualidade da água produzida. Assim, a Fase - III da investigação experimental teve como objetivos:

- determinar condições de coagulação (dosagens de coagulante e alcalinizante) em ensaios de laboratório para águas de estudo representativas de uma situação simulada de ocorrência de pico de turbidez de 350 uT;
- avaliar o comportamento do sistema de dupla filtração – SDF para a situação simulada de água com pico de turbidez de aproximadamente 350 uT, mediante a aplicação das condições apropriadas de coagulação obtidas nos ensaios de laboratório.

Nas figuras 50 e 51 são apresentadas as fotos da estação de captação do Ribeirão do Feijão nas épocas de estiagem e de ocorrência de chuvas.

Figura 50 - Foto - Ribeirão do Feijão em época de estiagem

Figura 51 - Foto - Ribeirão do Feijão em época de ocorrência de chuvas

Devido às particularidades apresentadas para esta fase de investigação (Fase - III), os materiais e as metodologias empregados são apresentados separadamente no item 4.5.

Tabela 22 - Taxas de filtração Fase-I: ensaios sem DFI		
Ensaio	FAP (m ³ /m ² .d)	FRD (m ³ /m ² .d)
I	60	100
II	120	120
III	120	180
IV	180	120
V	180	180
VI	180	240
VII	240	120
VIII	240	180
IX	240	240

Tabela 23 - Taxas de filtração Fase-II: ensaios com DFI		
Ensaio	FAP (m ³ /m ² .d)	FRD (m ³ /m ² .d)
X (c/ 3 DFIs)	180	240
XI (c/ 4 DFIs)	240	240

Tabela 24 - Taxas de filtração Fase-III: ensaios com DFI e pico de turbidez de 350 uT		
Ensaio	FAP (m ³ /m ² .d)	FRD (m ³ /m ² .d)
XII (c/ pico)	120	180

4.5 Preparo do Ensaio XII

4.5.1 Programação do pico de turbidez

Após a realização de um levantamento junto ao SAAE de São Carlos, dos valores de turbidez medidos neste manancial, e a duração desses valores nos últimos dois anos referentes aos meses de janeiro e fevereiro, quando geralmente ocorrem valores elevados de turbidez, pôde-se programar o desenvolvimento do pico de turbidez conforme é apresentado na figura 52.

Figura 52 - Programação do pico de turbidez

4.5.2 Preparação da água de estudo

Com a colaboração de especialistas do Departamento de Geotecnia – SGS e Transportes - STT da EESC-USP, foram investigadas, primeiramente, as possíveis fontes de material argiloso, através do acesso aos dados de análise de distribuição granulométrica de solos da região, possibilitando a escolha dentre os solos amostrados, do que continha maior quantidade de material argiloso, correspondente a uma área localizada no Km 153 na estrada que liga São Carlos a Ribeirão Bonito (figura 53).

Figura 53 - Fonte do material argiloso: Km153 / São Carlos – Ribeirão Bonito

O método de análise de distribuição granulométrica para solos argilosos, denominado ANÁLISE GRANULOMÉTRICA CONJUNTA (NBR 6502) consistiu de duas partes: a) Separação das partículas maiores que $75\ \mu\text{m}$ (# 200) através de peneiramento manual; b) separação das menores, utilizando o processo de sedimentação em água destilada, pois o limite superior do tamanho de partículas de argila é igual a $2\ \mu\text{m}$. O material escolhido apresentou porcentagem em peso passada na peneira # 200 igual a 73,9%, sendo 55,1%, a porcentagem de partículas menores que $2,5\ \mu\text{m}$, caracterizando o solo como argiloso. Apresentam-se nas figuras 54 e 55 o laudo técnico da análise granulométrica conjunta e a curva de distribuição granulométrica referente ao material utilizado.

Curva de Distribuição Granulométrica - Ribeirão Bonito Km153

Figura 54 - Curva de distribuição granulométrica do solo argiloso

Para aumentar a porcentagem de material argiloso, manteve-se, primeiramente, o solo submerso em água filtrada por dois dias, e em seguida foi realizado peneiramento manual do solo na peneira # 200, introduzindo-se jatos de água filtrada e auxiliando com os dedos em movimentos circulares contra a malha, sendo descartado o material retido. Desta forma, obteve-se suspensão composta por, aproximadamente, 75 % de material argiloso (partículas menores que $2,5 \mu\text{m}$) e 25 % de material siltoso, conforme figura 56.

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					ρ_s (g/cm ³)	2,989	
PONTO:	1					DATA:	11/04/2001	
PROF.:	- m					BLOCO n°:	-	
CLASSIF.:						AM n°:		
					OPER.:	Indira		
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 DE SÓDIO		
30	0,42	0,8	0,8	99,2	TIPO :	Solução		
50	4,28	8,6	9,5	90,5	VOLUME (cm ³) :	125		
100	5,52	11,1	20,6	79,4				
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 55 - Laudo técnico do solo argiloso

Curva de Distribuição Granulométrica - Ribeirão Bonito Km153

Figura 56 - Curva de distribuição granulométrica do solo argiloso peneirado na # 200

Para concentrar a suspensão de argila, o volume filtrado era decantado em tanques de aproximadamente 100 L, e após sedimentação das partículas, sifonava-se o sobrenadante. Foram peneirados aproximadamente 200 Kg de solo para o preparo da suspensão concentrada de argila (figura 57). Apresenta-se na tabela 25 os resultados da análise de sólidos da suspensão concentrada de argila.

Figura 57 - Suspensão concentrada de argila / reservatório de 1000 L

Tabela 25 - 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	198400	177935	20465	25476	23587	1889

Para a obtenção das águas de estudo foram preparadas, inicialmente, duas suspensões de argila (A e B) com diferentes concentrações que, misturadas à água bruta em proporções pré-definidas, resultavam as seis condições de águas de estudo (25; 65; 85; 160; 235; 350 uT), de acordo com a programação do pico de turbidez, apresentada na figura 52.

A suspensão A foi preparada diluindo-se a suspensão concentrada de argila, previamente homogeneizada, em água bruta na proporção de 1:500, resultando em suspensão com turbidez da ordem de 530 a 556 uT. A partir da suspensão A eram obtidas as águas de estudo com 25, 65, 85 e 160 uT. Para a suspensão B, a diluição foi realizada na proporção de 1:300, resultando em suspensão com turbidez da ordem de 900 a 1000 uT. A partir da suspensão B eram obtidas as águas de estudo com 235 e 350 uT.

4.5.3 Determinação das condições de coagulação

A determinação das condições de coagulação para esta condição de qualidade de água bruta, quando o tratamento é realizado por meio de alguma tecnologia que envolve a filtração direta realizada, empregando-se o filtro de papel - FLP (whatman 40) apresenta limitações, pois elevadas dosagens de produtos químicos, aliadas às altas concentrações de sólidos suspensos, provocam a rápida colmatação superficial dos poros do papel, podendo resultar condições que não condizem com o comportamento da filtração em meio granular.

Desta forma, para a determinação das condições de coagulação (dosagens de coagulante e alcalinizante) neste ensaio, foram preparadas, inicialmente, as águas de estudo, de acordo com o procedimento descrito no item 4.5.2. Em seguida, eram realizados ensaios de coagulação em reatores estáticos, tendo sido testados vários tipos de alcalinizante (hidróxido de sódio, carbonato de sódio anidro em pó e carbonato de sódio decahidratado). No ensaio de filtração direta foram utilizados FLAs, com diferentes granulometrias segundo critério apresentado na tabela 18, acoplados ao Jartest, além do uso de FLPs whatman 40 para efeito de comparação de resultados.

4.5.4 Aplicação da suspensão de argila

A aplicação da suspensão de argila foi realizada por meio de uma tubulação flexível de 12,7 mm de diâmetro que descarregava, livremente, a suspensão de argila na tubulação de entrada da CMR, sendo interligada a um sistema composto por 2 tanques de 200 L, providos de visor externo de nível, agitador e bomba centrífuga (figura 58). A bomba centrífuga utilizada apresentava as seguintes especificações: bomba centrífuga monoestágio da série MB-12, modelo M0B-12X, potência de 0,25 HP, capacidade de bombear até 4,8 m³/h a altura máxima de 21 m.c.a, motor Weg.

Após a definição das proporções de mistura das suspensões A ou B à água bruta, de forma a obter as águas de estudo conforme a programação do pico de turbidez apresentada na figura 52, foram realizados testes de pré-operação, efetuando-se marcações nos registros do sistema de aplicação de argila para as variadas vazões de bombeamento e tipo de suspensão.

Foram previamente separados em garrafas plásticas, volumes definidos da suspensão concentrada, a serem adicionados, no decorrer da carreira, ao tanque reserva para a obtenção das suspensões A e B. A água bruta utilizada na diluição da suspensão concentrada foi armazenada em um tanque de 1500 L.

Figura 58 - Tanques para aplicação da suspensão de argila

4.6 Parâmetros de Controle

De acordo com o planejamento inicial, dada a localização da IPDF (aproximadamente 15 Km distante da cidade), foi prevista basicamente, a realização de medições que poderiam ser efetuadas na própria instalação, tais como vazão, turbidez, perda de carga nos meios granulares, pH e temperatura. Porém, no decorrer da realização dos ensaios, foram adicionados, em alguns ensaios, outros parâmetros de controle, a fim de possibilitar melhor avaliação do desempenho da tecnologia em questão. Foram introduzidos os seguintes parâmetros de controle:

- distribuição de tamanhos de partículas como possível forma de controle da presença de organismos como giardia e criptosporídio, dado o risco sanitário que representam, devido à difícil detecção, quantificação e remoção nos filtros de ETAs, além de apresentar elevada resistência aos métodos tradicionais de desinfecção. Desta forma foram selecionadas as faixas de tamanho de 2 a 4 μm e de 6 a 12 μm , tamanhos médios apresentados pelo criptosporídio e giardia, respectivamente;
- cor verdadeira - CV, carbônico orgânico dissolvido - COD e absorvância no comprimento de onda igual a 254 nm – ABS, dado o aumento da ocorrência de problemas relacionados à formação de subprodutos organoclorados após a desinfecção;
- potencial zeta e concentração de alumínio residual, a fim de possibilitar o controle do processo de coagulação química;
- teores de sólidos nos efluentes de DF e água de lavagem, pela inexistência de dados de referência disponíveis na literatura, sendo necessários para os cálculos de projetos de recuperação de águas de ETAs.

Desta forma, as amostras eram devidamente coletadas em horários considerados críticos, e preservadas para serem posteriormente encaminhadas e analisadas pelo Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Na tabela 26 são relacionados os parâmetros de controle e respectivas frequências para os ensaios especificados, considerando os seguintes pontos de coleta:

- ponto de coleta A: tubulação de água bruta antes da entrada à CNC;
- ponto de coleta B: extravasor de água coagulada;
- ponto de coleta C: efluente ao FAP;
- ponto de coleta D: efluente ao FRD;

- ponto de coleta E: efluente de DF;
- ponto de coleta F: efluente de lavagem.

Tabela 26 - Parâmetros de Controle e Frequência

Parâmetros	Frequência	Pontos de coleta	Ensaios
Vazão (L / h)	1h	A, B, C e D	I a XII
Perda de carga (mm)	1h	4 FAP e 3 FRD	I a XII
Turbidez (uT)	contínua	A, C e D	I a XII
Temperatura (°C)	1h	A	I a XII
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	6 h	A	II a VI; XI, XII
Potencial Zeta	2 / carreira	A e B	I; IV; V a VII; XI; XII
pH	6h	A e B	I a XII
Alumínio residual (mg/L)	2 / carreira	D	XII
Cor aparente e verdadeira (uH)	2 / carreira	A, C e D	I; II; V a VII; XI; XII
COD (mg/L)	2 / carreira	A, C e D	I; II; IV; V a VII; XI; XII
Absorvância	2 / carreira	A, C e D	I; II; IV; V a VII; XI; XII
Partículas (tamanho e distribuição) (n/mL)	2 / carreira	A, C e D	I; IV; V a VII; XI; XII
Coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP/100mL)	2 / carreira	A, C e D	I; V; VI; XI
Sólidos totais, suspensos totais (mg/L)	DFs e lav.	E e F	V; VI; XI; XII
Coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP/100mL)	DFs e lav.	E e F	V; VI; XI

No ensaio XI, com o objetivo de avaliar a influência das DFIs na qualidade dos efluentes produzidos, a coleta e análise foi realizada em função das amostras tomadas, imediatamente, antes e depois da execução de DFIs.

Após o estabelecimento dos parâmetros adequados relativos à execução de DFs e lavagens dos filtros, foram realizadas medidas das durações dessas operações, com o objetivo de avaliar alguns dos aspectos econômicos e operacionais destacando-se a produção efetiva de água.

Com o intuito de avaliar as possíveis causas relacionadas à ocorrência de alguns fenômenos observados no FAP, mais precisamente, no topo da última subcamada do meio granular, foi realizado o monitoramento visual das condições dessa subcamada.

Os exames e as análises das amostras foram realizados segundo os métodos indicados no APHA (1995). São apresentadas na tabela 27 as especificações dos equipamentos utilizados e os métodos adotados na determinação dos parâmetros citados.

Tabela 27 - Métodos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros de controle

Parâmetros	Método e Equipamentos
Vazão (L / h)	Método volumétrico: provetas plásticas e baldes graduados; cronômetro
Perda de carga (mm)	Leitura no quadro piezométrico
Turbidez (uT)	Turbidímetro nefelométrico Hach / 1720C; 2100P; 2100N
Temperatura (°C)	Leitura no termômetro de mercúrio
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	Titulação potenciométrica com ácido sulfúrico: Bureta automática; potenciômetro Orion / 420A; Agitador magnético
Potencial Zeta	Medida de mobilidade eletroforética: Zetamaster particle electrophoresis analyser / Malvern Instruments Ltd.
pH	Potenciômetro Orion / 420A ; Agitador magnético
Alumínio residual (mg/L)	Espectrofotômetro Hach / DR 2000
Cor aparente e verdadeira (uH)	Espectrofotômetro Hach / DR 4000
COD (mg/L)	Filtração a vácuo; Combustão; Radiação infra-vermelha: Total organic carbon analyser Shimadzu / TOC 5000 A
Absorvância	Espectrofotômetro UV/ visível
Partículas (tamanho e distribuição) (n/mL)	3000A Liquid Syringe Sample; MicroCount 05 Sensor; 8000A Counter
Coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Método DST utilizando reagente Colilert; Quanta-Tray / 2000
Sólidos totais, suspensos totais (mg/L)	Evaporação em forno de secagem; Balança analítica
Coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Método DST utilizando reagente Colilert; Quanta-Tray / 2000

4.7 Encerramento da Carreira de Filtração

O encerramento da carreira dos filtros foi determinado pelo critério de perda de carga limite no meio granular, do FAP, de a 0,5 a 0,6 m e no FRD igual a 2,1 m ou por ocorrência de transpasse quando a turbidez do efluente do FRD superasse 1 uT.

O encerramento do ensaio, por sua vez, foi condicionado à conclusão de pelo menos uma carreira do filtro FAP e duas do FRD, permitindo uma avaliação mais adequada, devido aos seguintes aspectos:

- A análise comparativa de desempenho sob condições variadas são realizadas considerando carreiras completas, aspecto importante pois, em geral, 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 apresentadas e discutidas de forma generalizada as Fases I e II da investigação experimental, contendo considerações pertinentes a cada ensaio realizado com relação ao desempenho do sistema, abordando especificamente, os fenômenos relacionados ao comportamento do FAP, a qualidade dos efluentes produzidos, duração das carreiras de filtração, execução de DFIs e produção efetiva de água. Em seguida, são apresentados e discutidos os resultados obtidos na Fase-III da pesquisa.

A Fase-I correspondeu aos ensaios I a IX, realizados sem execução de DFIs, e a Fase-II, aos ensaios X e XI com execução de 3 e 4 DFIs, respectivamente. A Fase-III consistiu de duas etapas:

- determinação das condições de coagulação (dosagens de coagulante e alcalinizante) em ensaios de laboratório para uma situação simulada, de água com ocorrência de pico de turbidez de 350 uT;
- aplicação dessas condições no ensaio para a situação simulada, de água com ocorrência de pico de turbidez de 350 uT.

Nos ANEXOS A a L, são apresentadas as planilhas de controle utilizadas nas carreiras de filtração, contendo os valores de turbidez da água bruta e efluentes produzidos e de perda de carga nos filtros FAP e FRD, além dos resultados das análises e exames efetuados em função do tempo de operação. No ANEXO L são também apresentados os resultados dos ensaios de laboratório realizados para a determinação das condições de coagulação no ensaio XII.

5.1 Fases I e II

5.1.1 Regularização e distribuição de vazão

No decorrer da realização dos ensaios na IPDF, observou-se através do rotâmetro instalado na tubulação de água bruta que, embora a vazão bombeada continuasse apresentando variações de até 40 %, devido às interferências citadas, o nível de água monitorado pelo visor acoplado à CNC manteve-se praticamente inalterado. Constatou-se assim, que o sistema de regularização de vazão – CNC adaptado, mostrou-se eficiente, sendo recomendável sua utilização, inclusive na distribuição de água coagulada uma vez que a manutenção da taxa de filtração no sistema de distribuição realizada por sifonamento em mangueira de silicone foi prejudicada devido a retenção de flocos na parede interna, requerendo cuidados freqüentes durante a carreira.

5.1.2 Mistura Rápida e Coagulação Química

Para a vazão de água bruta e a CMR utilizada, o tempo de mistura rápida resultou da ordem de 50 s., não tendo sido possível estimar o valor do gradiente de velocidade médio aplicado, dado à forma irregular da CMR. Portanto, é recomendável adequar estes parâmetros às condições de mistura rápida, que favorecem a coagulação no mecanismo de neutralização de cargas (AMIRTHARAJAH & MILLS, 1982; DI BERNARDO, 1993a).

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 por isso, mostrou ser adequado à realização do monitoramento da coagulação química. Pela simplicidade e facilidade de operação, este dispositivo pode, na ausência de instalação piloto de escoamento contínuo, ser empregado em ETAs para determinação e monitoramento das condições de coagulação.

Durante a realização dos ensaios I a XI, a água bruta apresentou valores de turbidez entre 8,5 e 21,0 uT, cor aparente entre 61 e 215 uH, cor verdadeira entre 19 e 50 uH, alcalinidade entre 6,7 e 10 mg CaCO₃/L, potencial zeta entre - 22,9 e - 10,1 mV e pH entre 6,5 e 7,5.

Pequenas e rápidas variações dos valores de turbidez, durante a realização dos ensaios, foram decorrentes do acionamento do sistema de bombeamento no poço de água bruta da ETA 2. Nessas ocasiões, o FAP foi sempre capaz de absorver esses picos de turbidez, independentemente, da taxa de filtração aplicada.

A solução de sulfato de alumínio foi preparada com concentração da ordem de 766,4 mgAl/L, não tendo sido necessária a adição de alcalinizante. As dosagens de alumínio - DAI foram de 0,381 a 0,533 mgAl/L e os valores de pH de coagulação resultaram entre 6,2 e 7,1.

Apresenta-se na tabela 28 um resumo dos parâmetros de controle relacionados às condições de coagulação química nos ensaios I a XI.

Tabela 28 - Resumo das condições de coagulação química nos ensaios de I a XI / Valores de turbidez, pH, temperatura, potencial zeta e alcalinidade da água bruta e de dosagem de alumínio, pH e potencial zeta na água coagulada									
Ensaio	água bruta					água coagulada			
	Turbidez (uT)	pH	Temp (°C)	PZ (mV)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	DAI (mgAl/L)	DSA (mg/L)	pH	PZ (mV)
I	9,6	6,5	18	-21,9	-	0,533	5,9	6,4	-3,2
	a	a	a	a				a	a
	15	7,1	18,8	-16,6				6,79	-2,2
II	11,3	6,9	19,1	-	9,2	0,533	5,9	6,4	-
	a	a	a		a			a	
	18,5	7,2	21		9,9			6,8	
III	12,3	6,8	17	-	7,82	0,533	5,9	6,4	-
	a	a	a					a	
	18,5	7,3	18					6,9	
IV	11,4	6,6	17,5	-22,9	8,2	0,533	5,9	6,4	-8,2
	a	a	a	a	a			a	a
	20,9	7,1	19	-16,9	8,6			6,9	-2,4
V	8,6	6,9	17,5	-21,0	7,4	0,381	4,2	6,7	-8,2
	a	a	a	a	a			a	a
	11,5	7,4	19	-10,1	7,8			7,0	-15,5
VI	8,6	6,9	17,5	-14,8	6,7	0,381	4,2	6,6	-11,7
	a	a	a	a				a	a
	13,6	7,3	18,5	-13,8				7,1	-15,1
VII	12	6,9	16,8	-22,1	-	0,533	5,9	6,2	-0,16
	a	a	a	a				a	a
	13,4	7,1	17,5	-21,4				6,8	-0,9
VIII	11,8	6,8	17,5	-	-	0,533	5,9	6,6	-
	a	a	a					a	
	19,7	7,1	19,5					6,8	
IX	15,9	6,6	18	-	-	0,533	5,9	6,3	-
	a	a	a					a	
	19,1	7,1	20					6,7	
X	8,6	6,8	17,2	-	-	0,381	4,2	6,65	-
	a	a	a					a	
	12,2	7,2	19					6,83	
XI	9,5	6,9	18,5	-14,9	8,6	0,381	4,2	6,8	-6,3
	a	a	a	a				a	a
	11,9	7,3	20	-12,8				6,9	-15,6

(-): parâmetro não analisado; PZ (mV): potencial zeta; DAI (mgAl/L): dosagem de alumínio; DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃.14.3 H₂O).

Durante a realização dos ensaios V, VI, X e XI, em que a água bruta apresentou os menores valores de turbidez, e por decorrência, foram empregadas as menores dosagens de coagulante $DAI = 0,381 \text{ mgAl/L}$, os valores de potencial zeta da água coagulada resultaram negativos, sendo mantidas essas dosagens em função dos seguintes aspectos:

a) *Correspondência com os resultados obtidos nos ensaios de laboratório para determinação das condições de coagulação química.*

Primeiramente, averiguou-se a existência de possíveis interferências, com relação ao tempo decorrido após a coagulação até a realização da medição do potencial zeta (dada à localização da IPDF, 16 Km distante do laboratório). Para tanto, foram transportados 20 L de água bruta da ETA 2 ao laboratório de análises, onde foram realizados os ensaios de coagulação em reatores estáticos e de filtração direta em FLP, para a determinação das condições de coagulação. As leituras de potencial zeta para as águas coaguladas foram efetuadas imediatamente após a mistura rápida.

A água bruta apresentou valores de turbidez igual a 13,3 uT, de pH igual a 7,06 e de potencial zeta igual a -21,8 mV e foram obtidos valores de potencial zeta da ordem de - 8,1 a -9,5 mV para as águas coaguladas correspondentes às dosagens escolhidas em função da qualidade do filtrado, conforme tabela 29.

Tabela 29 - Determinação das condições de coagulação para o ensaio VI / Valores de dosagem de alumínio, pH de coagulação e potencial zeta da água coagulada e turbidez da 1ª. e 2ª. coleta do filtrado em FLP							
Filtro		F1	F2	F3	F4	F5	F6
DSA (mg/L)		2,613	3,45	4,23	5,12	6,06	6,897
DAI (mgAl/L)		0,236	0,31	0,381	0,461	0,546	0,621
pH de coagulação		6,51	6,63	6,59	6,48	6,38	6,2
Potencial zeta (mV)		-16,2	-9,5	-8,1	-2,5	0,6	+6,6
Turb. filtrado FLP (uT)	1ª col. 3min	1,23	0,23	0,3	0,36	0,92	0,74
	2ª col. 6 min	1,43	0,12	0,17	0,12	0,28	0,29

DAI (mgAl/L): dosagem de alumínio;

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$).

Verificação similar foi obtido por Williams (1965) (tabela 30), que aplicou a mesma dosagem de sulfato de alumínio (aproximadamente 40 mg/L) em amostras de 12 mananciais diferentes, obtendo-se valores de turbidez dos efluentes filtrados satisfatórios para águas coaguladas com diversos valores de PZ.

Tabela 30 - Valores de pH, Turbidez, ME e PZ das amostras de água bruta de diferentes mananciais e de água coagulada obtidos por Williams (1965)

Amostra	Água Bruta				Água coagulada		Água Filtrada	
	pH	Turbidez (uT)	ME ($\mu\text{m.cm/s.V}$)	PZ (mV)	ME ($\mu\text{m.cm/s.V}$)	PZ (mV)	pH	Turbidez (uT)
1	7,9	10	-1,55	-18,9	+1,09	+14,0	6,9	0,5
2	7,8	10	-1,47	-19,1	+1,14	+14,8	6,7	0,8
3	7,7	12	-1,32	-17,2	+1,03	+13,4	6,6	0,5
4	7,7	10	-1,04	-13,5	+1,16	+14,1	6,5	0,5
5	8,2	20	-1,32	-17,2	-0,37	-4,8	7,1	0,5
6	8,5	10	-1,41	-18,3	-0,47	-6,1	7,2	0,1
7	8,0	8	-1,36	-17,7	-0,29	-3,8	7,1	0,5
8	7,6	8	-1,43	-18,6	-1,14	-14,8	7,1	1,5
9	7,4	12	-1,57	-20,4	-1,53	-19,9	7,1	2,5
10	7,5	10	-1,7	-22,1	+0,85	+11,0	6,6	0,5
11	7,9	6	-2,09	-27,2	+0,68	+8,8	6,7	0,5
12	8,6	8	-1,53	-18,9	-0,8	-10,4	7,3	0,1

CE: Condutividade Elétrica; ME: Mobilidade Eletroforética; PZ: Potencial Zeta.

b) *Melhor desempenho com relação à qualidade do efluente produzido e duração de carreira na IPDF.*

Comparando-se os resultados de desempenho do sistema nos ensaios IV, V e VI, pôde-se observar que, para o ensaio IV, em que foi empregada a dosagem de 0,533 mgAL/L, obtendo-se valores de potencial zeta próximos a zero, os valores de turbidez do efluente pré-filtrado resultaram mais elevados e, contrariando a expectativa, a duração da carreira de filtração do FRD foi menor. Na tabela 30, são apresentados os resultados dessa comparação.

Tabela 31 - Comparação dos resultados de desempenho do sistema nos ensaios IV, V e VI / Valores de taxas de filtração no FAP e FRD, dosagem de alumínio, potencial zeta, turbidez efluentes do FAP e FRD, duração da 1ª. carreira do FRD

Ensaio	IV	V	VI
Taxa de filtração no FAP ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$)	180	180	180
Taxa de filtração no FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$)	120	180	240
DSA (mg/L)	5,9	4,2	4,2
DAI (mgAl/L)	0,533	0,381	0,381
Potencial zeta (mV)	-8,2 a -2,4	-8,2 a -15,5	-
Turbidez do efluente do FAP (uT)	0,9 a 7,2	0,22 a 7,5	0,27 a 7,4
Turbidez do efluente do FRD (uT)	0,03 a 1,2	0,03 a 1,07	0,03 a 0,81
Duração da 1ª. carreira de filtração FRD (h)	23,5	42,3	32,7

(-): parâmetro não analisado; DAI (mgAl/L): dosagem de alumínio;

Estes resultados sugerem que a escolha dos parâmetros de coagulação baseada somente no critério da medida do potencial zeta da água coagulada próxima de zero

apresenta restrições, sendo fundamental a realização de ensaios de filtração direta em FLP ou FLA, adequados às características da água bruta em questão.

5.1.3 Desempenho do Sistema FAP-FRD

5.1.3.1 Fenômenos relacionados ao comportamento do FAP

Durante a realização dos ensaios, foi observada a ocorrência de alguns fenômenos no FAP, dependendo do grau de colmatação do meio granular, da taxa de filtração empregada e da qualidade da água bruta. Tais fenômenos serão mencionados, posteriormente, em função dos reflexos produzidos no desempenho do sistema e, portanto, merecem ser definidos.

a) Carreamento: carreamento contínuo de flocos, caracterizando a ocorrência da operação de floculação em meio granular, com tamanho inicialmente menor e crescente com o decorrer do tempo, podendo inclusive sedimentar sobre o topo do meio granular e formar uma espécie de “manta”, quando os flocos resultam excessivamente grandes; como consequência, este fenômeno é acompanhado da ocorrência de crescente deterioração da qualidade do efluente pré-filtrado;

b) Desprendimento: desprendimento de flocos que estavam retidos no meio granular, podendo em função da intensidade das forças de cisalhamento, ocasionar o carreamento da “manta” formada no topo da última subcamada resultando na ocorrência de picos de turbidez, além de provocar recuperações substanciais de carga para retenção de impurezas;

c) Fissuras: formação de fissuras (seções em que as forças cisalhantes, devido à perda de carga elevada, superam o peso do material granular submerso, situado acima destas) ao longo da última subcamada do meio granular, podendo com o decorrer do tempo, apresentar aumento da abertura das fissuras com consequente “elevação” da subcamada;

d) Ruptura: ruptura no plano transversal médio entre as duas últimas subcamadas causando elevação da subcamada superior (como bloco compacto), sendo neste caso encerrado o ensaio.

Quanto ao carregamento contínuo de flocos, foi constatada sua ocorrência, para todas taxas de filtração empregadas no FAP, com exceção da taxa de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$ (ensaio I) mesmo com a utilização de toda a carga hidráulica disponível para a retenção de impurezas (60 cm).

No ensaio VI, em foi empregada a taxa de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, foi observado o início do carregamento de flocos, decorridos 22,2 h de carreira, enquanto no ensaio XI, em foi empregada a taxa de filtração de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, mesmo com a execução de 1 DFI, este início foi observado após 10 h de operação. Os dois ensaios foram realizados sob condições similares de qualidade de água bruta e dosagem de coagulante. Pôde-se verificar dessa forma, que quanto maior a taxa de filtração empregada, mais rapidamente se pronuncia este fenômeno.

No início do carregamento, estes flocos eram pequenos e com o decorrer do tempo ganhavam proporções cada vez maiores chegando a apresentar flocos com cerca de 2 mm. Já no final da carreira, a “manta” formada atingia espessuras da ordem de 10 mm (figuras 59 e 60).

No ensaio VIII, com taxa de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, após 16 h de operação, situação em que a perda de carga no meio granular no FAP encontrava-se próxima do limite (50 cm), ocorreu o carregamento da manta formada, tendo o efluente pré-filtrado apresentado neste instante, valores de turbidez de até 40 uT. Este fato teve como reflexo, a recuperação parcial de carga hidráulica para retenção de impurezas (13 cm).

No ensaio II, decorridos 40,7 h após o início de operação, constatou-se a ocorrência de desprendimento de grande quantidade de flocos, com pico de turbidez da ordem de 10 uT. Foi realizada nesta ocasião uma DFI, mantendo-se o nível de água a aproximadamente 10 cm do topo da última subcamada, com descarte do efluente pré-filtrado logo após sua execução.

Em geral, foi observada a ocorrência de desprendimentos de flocos para todas as taxas de filtração empregadas, sendo variável o tempo de operação de início da ocorrência, em função da taxa de filtração empregada e do grau de colmatação do FAP;

No ensaio I em que foi empregada a taxa de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, o primeiro desprendimento de flocos ocorreu após 21,4 h de operação, tendo o efluente pré-filtrado apresentado valor máximo de turbidez igual a 2,5 uT. Já no ensaio IV, V e VI, em que foi empregada maior taxa de filtração ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$), foi constatada a ocorrência de desprendimento de flocos a partir de, aproximadamente, 19 h, com valores de turbidez no efluente entre 1,6 e 7,4 uT. Com base no exposto constatou-se que, quanto maior a taxa de filtração empregada, mais elevados resultam os picos de turbidez.

No ensaio V, com taxa de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, constatou-se a formação de fissuras e elevação da última subcamada (cerca de 1 cm), após 37 h de operação (figura 59), chegando a apresentar no final da carreira, aberturas de fissura da ordem de 2 mm e elevação de até 5 cm (figura 60). Neste ensaio, mesmo após a perda de carga no meio granular ter atingido o limite previsto (50 cm) com 29 h de operação, a carreira de filtração foi mantida por mais 34,7 h, devido à ocorrência de significativa recuperação de carga hidráulica (7,3 cm) causada pelo desprendimento de flocos, tendo como resultado, a ocorrência da ruptura da subcamada.

Figura 59 - Topo da última subcamada do meio granular do FAP
"manta" em formação s/ fissuras

Figura 60 - Topo da última subcamada do meio granular do FAP
"manta" formada c/ fissuras

Tabela 32 - Tempo de início da ocorrência dos fenômenos no FAP nos ensaios I, IV, V, VI, VIII, X e XI / taxa de filtração, DSA, tempo de operação em que foi observado o início da ocorrência de carreamento e desprendimento de flocos, formação de fissuras e ruptura, pico de turbidez devido ao desprendimento

Ensaio	Taxa FAP (m³/m².d)	DAI (mgAl/L)	T (h) CARR	T (h) DESP	Pico de Turbidez devido ao DESP (uT)	T (h) FISS	T (h) RUP
I	60	0,533	NO	21,4	1,1 a 2,6	NO	NO
IV	180	0,533	-	18,6	2,0 a 7,2	18,6	NO
V	180	0,381	-	18,8	1,7 a 6,7	37	63,7
VI	180	0,381	22,2	19	1,6 a 7,4	40	NO
VIII	240	0,533	-	16	40	NO	NO
X (c/3DFIs)	180	0,381	22	NO	-	NO	NO
XI (c/4 DFIs)	240	0,381	10	32	1,3 a 2,3	NO	NO

DAI: dosagem de alumínio (mgAl/L); (-): parâmetro não monitorado; NO: não ocorrência;

5.1.3.2 Qualidade dos efluentes produzidos e duração das carreiras de filtração

São apresentados nas tabelas 33 a 44, os resumos dos resultados obtidos referentes aos exames e análises realizados, e nas figuras 61 a 72, 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, para os ensaios de I a XI. Em seguida são feitas as considerações pertinentes a cada ensaio realizado.

Tabela 33 - Resumo do Ensaio I / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, *E. coli*, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 60 m³/m².d. e tx FRD = 100 m³/m².d.

Duração da carreira: FRD: 46,9 h e FAP: 83 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,533 mgAl/L; pH de coagulação = 6,37 a 6,79; potencial zeta da água coagulada = -3,2 a -2,2 mV; temperatura = 18 a 18,8 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,52	7,1	-	-	-	-
Potencial Zeta (mV)	-21,9	-16,6	-2,3	-1,9	-2,1	-0,94
Turbidez * (uT)	9,6	15	0,3	2,6	0,03	1,4
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 1,5	-	≤ 0,03
Cor Aparente (uC)	97	160	10	18	1	7
Cor Verdadeira (uC)	19	50	<1	14	<1	7
COD (mgC/L)	0,132	0,944	0,047	0,462	0,098	0,495
Absorvância 254 nm	0,035	0,047	0,001	0,004	0,001	0,005
Coliformes Totais (NMP/100ml)	4884	10462	32,1	38,9	2	10,1
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	98	265	0	1	0	0
Nº. total partículas/mL	2351,1	11400	110,1	11274,9	52,5	4502,5
Nº. partículas (2 a 4)/mL	1123,6	4138,1	40,9	3440,5	11,9	1603,9
Nº. partículas (6 a 12)/mL	469,9	4041,5	10,3	3729,1	7,7	402,9
Nº. partículas (12 a 24)/mL	153,5	2091,4	10,3	69,6	10,5	18,2

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 61 - Ensaio I / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 34 - Resumo do Ensaio II / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido e absorvância para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$ e tx FRD = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$

Duração da carreira: FAP: 40,7 h e FRD: 50 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,533 mgAl/L; pH de coagulação = 6,43 a 6,81;

temperatura = 19,1 a 21 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,85	7,15	6,4	6,48	6,42	6,62
Alcalinidade (mg $\text{CaCO}_3/\text{L mV}$)	9,17	9,87	6,51	6,65	6,1	6,18
Turbidez * (uT)	11,3	18,5	0,3	7,8	0,03	0,14
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 4	-	$\leq 0,03$
Cor Aparente (uC)	131	215	3	29	2	3
Cor Verdadeira (uC)	44	74	<1	4	<1	1
COD (mgC/L)	0,099	1,698	0,099	1,14	0,895	1,888
Absorvância 254 nm	0,058	0,078	0,012	0,018	0,01	0,019

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 62 - Ensaio II / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 35 - Resumo do Ensaio III / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; PH, alcalinidade, turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$ e tx FRD = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$

Duração da carreira: FRD: 31,4 h e FAP: 38 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,533 mgAl/L; pH de coagulação = 6,4 a 6,85; temperatura = 17 a 18 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,78	7,25	-	-	-	-
Alcalinidade (mg CaCO_3/L)	-	7,82				
Turbidez * (uT)	12,3	18,5	0,2	6,4	0,03	0,06
Turbidez ** (uT)	-	-	-	-	-	$\leq 0,034$

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 63 - Ensaio III / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 36 - Resumo do Ensaio IV / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$ e tx FRD = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$

Duração da carreira: FRD: 23,5 h; FRD: 25,2 h e FAP: 48,7 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,533 mgAl/L; pH de coagulação = 6,4 a 6,9; potencial zeta da água coagulada = -2,4 a -8,2 mV; temperatura = 17,5 a 19 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,6	7,1	-	-	-	-
Potencial Zeta (mV)	-16,9	-22,9	-	-	-	-
Alcalinidade (mg CaCO_3/L)	8,19	8,61	-	-	-	-
Turbidez * (uT)	11,4	20,9	0,9	7,2	0,03	1,2
Turbidez ** (uT)	-	-	-	$\leq 2,0$	-	$\leq 0,035$
Cor Aparente (uC)	120	177	-	-	-	-
Cor Verdadeira (uC)	44	65	-	-	-	-
COD (mgC/L)	1,359	1,594	0,79	0,938	0,629	0,93
Absorvância 254 nm	0,054	0,056	0,022	0,026	0,006	0,008
Nº. total partículas/mL	8295,9	11733,7	700,7	5408,6	85,7	9837,5
Nº. partículas (2 a 4)/mL	3747,3	4972	348,3	1910,9	21,3	3566,1
Nº. partículas (6 a 12)/mL	1682,5	2928,6	119,7	1645,9	12,7	2871,6
Nº. partículas (12 a 24)/mL	644,9	1039,9	29,3	410,8	12,1	26,5

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 64 - Ensaio IV / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 37 - Resumo do Ensaio V / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, *E. coli*, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 180 m³/m².d. e tx FRD = 180 m³/m².d.

Duração da carreira: FRD: 42,3 h; FRD: 21,4 h e FAP: 63,7 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,381 mgAl/L; pH de coagulação = 6,7 a 7,0; potencial zeta da água coagulada = -8,2 a -15,5 mV; temperatura = 17,5 a 19 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,9	7,4	-	-	-	-
Potencial Zeta (mV)	-21	-10,1	-15,1	-2,2	-2,2	-2,0
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	7,35	7,77	-	-	-	-
Turbidez * (uT)	8,6	11,5	0,22	7,5	0,03	1,07
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 3,0	-	≤ 0,05
Cor Aparente (uC)	61	93	2	38	<1	3
Cor Verdadeira (uC)	23	33	1	3	<1	1
COD (mgC/L)	1,218	3,015	0,544	1,994	1,79	0,395
Absorvância 254 nm	0,054	0,056	0,022	0,026	0,006	0,008
Coliformes Totais (NMP/100ml)	669	1793	15,8	214,3	2	11
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	63	135	1	23,1	0	3,1
Nº. total partículas/mL	2012,4	10211,5	113,3	6108,4	43,3	139,9
Nº. partículas (2 a 4)/mL	1037,9	4880,3	37,1	2830,7	15,9	56,7
Nº. partículas (6 a 12)/mL	354,1	2398,2	14,9	1393,9	7,1	25,9
Nº. partículas (12 a 24)/mL	64,4	716,3	12,4	251,5	5,7	15,7

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 65 - Ensaio V / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 38 - Resumo do Ensaio VI / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, *E. coli*, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 180 m³/m².d. e tx FRD = 240 m³/m².d.

Duração da carreira: FRD: 32,7 h; FRD: 17,6 h e FAP: 50,3 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,381 mgAl/L; pH de coagulação = 6,6 a 7,1; potencial zeta da água coagulada = -11,7 a -15,1 mV; temperatura = 17,5 a 18,5 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,9	7,3	-	-	-	-
Potencial Zeta (mV)	-14,8	-13,8	-4,9	-2,1	-2,2	-2,1
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	-	6,72	-	-	-	-
Turbidez * (uT)	8,6	13,5	0,27	7,4	0,03	0,81
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 2,5	-	≤ 0,05
Cor Aparente (uC)	83	65	4	15	<1	1
Cor Verdadeira (uC)	33	25	<1	4	<1	1
COD (mgC/L)	1,059	1,782	1,303	2,051	1,763	1,878
Absorvância 254 nm	0,037	0,046	0,009	0,022	0,011	0,025
Coliformes Totais (NMP/100ml)	160	4352	<1	235,9	<1	12,2
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	52	132	<1	24,3	<1	<1
Nº. total partículas/mL	2571,6	13160,7	94,3	3960,5	74,5	3260,6
Nº. partículas (2 a 4)/mL	1442,1	6050,3	36,5	2,29	26,6	1728,5
Nº. partículas (6 a 12)/mL	388,2	2425,7	14,1	800,6	12,1	444,9
Nº. partículas (12 a 24)/mL	62,1	251,5	10,3	186,8	7,3	9,9

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 66 - Ensaio VI / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 39 - Resumo do Ensaio VII / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 240 m³/m².d. e tx FRD = 120 m³/m².d.

Duração da carreira: FRD: 11,5 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,533 mgAl/L; pH de coagulação = 6,2 a 6,8; potencial zeta da água coagulada = -0,156 a -0,9 mV; temperatura = 16,8 a 17,5 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,9	7,1	-	-	-	-
Potencial Zeta (mV)	-21,4	-22,1	-21	-	-2,1	-
Turbidez * (uT)	12	13,4	3,4	6,9	0,048	0,23
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 5,0	-	≤ 0,08
Cor Aparente (uC)	114	119	36	-	0	-
Cor Verdadeira (uC)	42	51	0	-	0	-
COD (mgC/L)	0,728	1,044	0,529	-	1,238	-
Absorvância 254 nm	0,044	0,046	0,007	-	0,008	-
Nº. total partículas/mL	6562,9	-	2928,8	-	32,5	-
Nº. partículas (2 a 4)/mL	3208,1	-	1700,8	-	8,8	-
Nº. partículas (6 a 12)/mL	1336,7	-	401,8	-	4,9	-
Nº. partículas (12 a 24)/mL	405,3	-	45,5	-	5,9	-

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 67 - Ensaio VII / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 40 - Resumo do Ensaio VIII / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH e turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 240 m³/m².d. e tx FRD = 180 m³/m².d.

Duração da carreira: FRD: 16,7 h; FAP: 22 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,533 mgAl/L; pH de coagulação = 6,65 a 6,8;
temperatura = 17,5 a 19,5 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,8	7,1	-	-	-	-
Turbidez * (uT)	11,8	19,7	1,12	40	0,033	0,86
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 4,5	-	≤ 0,08

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 68 - Ensaio VIII / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 41 - Resumo do Ensaio IX / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH e turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 240 m³/m².d. e tx FRD = 240 m³/m².d.

Duração da carreira: FRD: 13,5 h; FAP: 17,5 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,533 mgAl/L; pH de coagulação = 6,3 a 6,72;

temperatura = 18 a 20 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,6	7,1	6,12	6,6	6,1	6,64
Turbidez * (uT)	15,9	19,1	0,3	9,5	0,04	0,54
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 8,5	-	≤ 0,07

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 69 - Ensaio IX / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 42 - Resumo do Ensaio X c/ 3 DFIs / Taxa de filtração, tempo de operação na execução das DFIs, duração da carreira, condições de coagulação química; pH e turbidez para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$ e tx FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$

DFIs: DFI1, DFI2 e DFI3 com 10,25; 24,5 e 40,2 h de operação respectivamente

Duração da carreira: FRD: 47,4 h; FAP: 56,4 h; FRD: 24 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,381 mgAl/L; pH de coagulação = 6,65 a 6,83;

temperatura = 17,2 a 19 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,75	7,17	6,54	6,92	6,53	6,89
Turbidez * (uT)	8,61	12,2	0,21	3,7	0,03	0,55
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 1,8	-	≤ 0,06

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 70 - Ensaio X c/ 3 DFIs / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no FAP e FRD em função do tempo de operação

Tabela 43 - Resumo do Ensaio XI / Taxa de filtração, tempo de operação na execução das DFIs, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, alcalinidade, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, coliformes totais, *E. coli*, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 240 m³/m².d. e tx FRD = 240 m³/m².d.

DFIs: DFI1, DFI2, DFI3 e DFI4 com 6; 14; 25,4 e 36,8 h de operação respectivamente

Duração da carreira: FRD: 41 h e FAP: 43 h

Coagulação química: dosagem de Al = 0,381 mgAl/L; pH de coagulação = 6,8 a 6,9; potencial zeta da água coagulada = -6,3 a -15,6 mV; temperatura = 18,5 a 20 °C;

Parâmetros	Água bruta		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,9	7,29	6,6	6,8	6,7	6,8
Potencial Zeta (mV)	-14,9	-2,8	-3,6	-2,1	-2,7	-1,9
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	8,61	-	-	-	-	-
Turbidez * (uT)	9,53	11,9	0,3	7,7	0,034	1,0
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤ 3,0	-	≤ 0,05
Cor Aparente (uC)	74	97	3	54	<1	5
Cor Verdadeira (uC)	26	30	1	7	<1	1
COD (mgC/L)	1,063	3,599	0,710	2,137	0,715	2,74
Absorvância 254 nm	0,046	0,06	0,009	0,024	0,008	0,019
Coliformes Totais (NMP/100ml)	686,7	2419,2	23,8	214,3	1	41,6
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	63,3	191,8	10,9	21,6	0	4,1
Nº. total partículas/mL	1824,9	8187,5	95,9	8290,6	55	165,7
Nº. partículas (2 a 4)/mL	910,4	3881,8	41,9	2863,5	20,7	65,3
Nº. partículas (6 a 12)/mL	393,9	1981,2	16,6	2736,4	10,9	37,7
Nº. partículas (12 a 24)/mL	97,4	822,8	7,1	446,2	6,0	22,9

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 71 - Ensaio XI / Variação dos valores de turbidez da água bruta e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

São discutidos a seguir, alguns aspectos com relação à qualidade dos efluentes produzidos e duração das carreiras de filtração. Para tanto, deve-se considerar que durante a realização dos ensaios I a XI, a água bruta apresentou as seguintes características:

- Turbidez: 8,5 a 21,0 uT;
- Cor aparente: 61 a 215 uH;
- Cor verdadeira: 19 a 50 uH;
- Alcalinidade: 6,7 a 10 mg CaCO₃/L;
- Potencial zeta: - 22,9 a - 10,1 mV;
- pH: 6,5 a 7,5;
- Coliformes totais: 160 a 4884 NMP/100mL;
- *E.coli*: 52 a 265 NMP/100mL.

a) Turbidez, cor aparente e número de partículas

Conforme é apresentado na tabela 44, nos ensaios sem execução de DFIs, o FAP foi capaz de produzir efluentes com valores de turbidez adequados ao tratamento complementar com a FRD (≤ 5 uT) para taxas de filtração inferiores ou iguais a 180 m³/m².d.. Foram produzidos, efluentes com turbidez $\leq 1,5$ uT para a taxa de filtração igual a 60 m³/m².d.; $\leq 5,0$ uT para a taxa de filtração igual a 120 m³/m².d. e $\leq 3,0$ uT para a taxa de filtração igual a 180 m³/m².d.. O menor valor de turbidez para a taxa de filtração de 180 m³/m².d., pode ser resultado da qualidade de água bruta no período em que foi realizado o ensaio.

Nos ensaios sem execução de DFIs e FAP com taxa de filtração de 240 m³/m².d., embora o FRD tenha sido capaz de absorver os picos de turbidez, decorrentes do carreamento e desprendimento de flocos no FAP, o seu desempenho foi considerado insatisfatório.

De maneira geral, o filtro FRD garantiu a produção de efluente final com qualidade condizente com o padrão de potabilidade, inclusive atendendo ao valor de turbidez (0,5 uT), enfaticamente, recomendado quando o tratamento é realizado por filtração direta.

Tabela 44 - Resumo dos valores de turbidez nos Ensaios I a XI / Taxas de filtração no FAP e FRD, dosagem de alumínio e valores de turbidez nos efluentes do FAP e FRD

Ensaio	Taxa FAP (m3/m2.d.)	Taxa FRD (m3/m2.d.)	DAI (mgAl/L)	Turb.(*) FAP (uT)	Turb. (**) FAP (uT)	Turb.(*) FRD (uT)	Turb. (**) FRD (uT)
I	60	100	0,579	0,3 a 2,6	≤ 1,5	0,03 a 1,4 ^d	≤ 0,03
II	120	120	0,579	0,3 a 7,8	≤ 4	0,03 a 0,14 ^b	≤ 0,03
III	120	180	0,579	0,2 a 6,4	≤ 5	0,03 a 0,06 ^b	≤ 0,034
IV	180	120	0,579	0,9 a 7,2	≤ 2	0,03 a 1,2 ^d	≤ 0,035
V	180	180	0,405	0,22 a 7,5	≤ 3	0,03 a 1,07 ^d	≤ 0,05
VI	180	240	0,405	0,27 a 7,4	≤ 2,5	0,03 a 0,81 ^d	≤ 0,05
VII	240	120	0,579	3,4 a 6,9	≤ 5	0,048 a 0,23 ^b	≤ 0,08
VIII	240	180	0,579	1,12 a 40	≤ 4,5	0,033 a 0,86 ^b	≤ 0,08
IX	240	240	0,579	0,3 a 9,5	≤ 8,5	0,04 a 0,54 ^b	≤ 0,07
X (c/3DFIs)	180	240	0,405	0,21 a 3,7	≤ 1,8	0,03 a 0,55 ^d	≤ 0,06
XI (c/4 DFIs)	240	240	0,405	0,3 a 7,7 ^a	≤ 3	0,034 a 1,0 ^{c,d}	≤ 0,05

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e de ocorrência de carreamento e desprendimento de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

O valor limite de turbidez (*), indicado pela letra “a”, no ensaio XI (c/ 4 DFIs), está associado ao período em que ocorreram problemas com a bomba dosadora;

Nos ensaios II, III, VII, VIII e IX, não foi possível acompanhar a leitura no turbidímetro de escoamento contínuo logo após as operações de lavagens no filtro FRD, sendo os valores limites de turbidez (*) indicados pela letra “b”, inferiores aos que realmente ocorrem nesse período, e os indicados pela letra “d”, decorrentes da água de lavagem remanescente no sistema de filtração após a lavagem;

No ensaio XI (c/ 4 DFIs), o valor limite de turbidez (*), indicado pela letra “c”, corresponde ao período em que ocorreram problemas com a bomba dosadora, resultando no encerramento da carreira por transpasse do filtro FRD;

Os valores de cor aparente nos efluentes variaram no FAP entre 3 e 54 uH e no FRD, entre <1 e 7 uH, não sendo expressiva a variação desses valores, com o aumento da taxa de filtração empregada, nem com a execução de DFIs nos ensaios realizados. Pode-se verificar que, com relação à cor aparente, o sistema foi capaz de produzir efluente final em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano (dado pela Portaria 1469 de dezembro de 2001), cujo valor máximo permitido – VMP é igual a 15 uH.

A ocorrência de carreamento e desprendimento de flocos no FAP foi acompanhada de crescente deterioração da qualidade dos efluentes produzidos, especialmente com relação à distribuição de partículas, tendo os resultados dos exames realizados, apresentado grande variabilidade.

Para os ensaios I, V e VII (sem execução de DFIs), os resultados obtidos indicaram que, o aumento da taxa de filtração no FAP provocou sensível redução na porcentagem removida de partículas nas faixas especificadas, mesmo desconsiderando os resultados correspondentes às amostras coletadas nos períodos em que ocorreram desprendimentos de flocos (tabela 45).

Tabela 45 - Remoção de partículas nos ensaios I, V, VII e XI / Distribuição das faixas de tamanho de (2 a 4); (6 a 12); (12 a 24) μm na água bruta, % remoção no FAP e FRD, antes e depois da execução de DFIs						
Ensaio	Faixas de tamanho (μm)	Água bruta (%)	Remoção FAP (%)		Remoção FRD (%)	
I C/ 8 coletas	2 a 4	22,6 a 41,8	82,9 a 98,4		24,6 a 96,2	
	6 a 12	21,1 a 35	85,6 a 99,7		15,4 a 99,4	
	12 a 24	6,5 a 18,3	85,8 a 99,5		16 a 98,8	
V C/ 7 coletas	2 a 4	42,5 a 52	42 a 99,1		49,6 a 99,1	
	6 a 12	17,5 a 23,5	27,7 a 99,1		37,5 a 99,2	
	12 a 24	3 a 7	41,7 a 95,7		41,1 a 97,5	
VII C/ 1 coleta	2 a 4	48,9	47		99,5	
	6 a 12	20,4	69,9		98,8	
	12 a 24	6,9	89,9		87	
Ensaio	Faixas de tamanho (μm)	Água bruta (%)	Antes das DFIs		Depois das DFIs	
			Rem.FAP (%)	Rem.FRD (%)	Rem.FAP (%)	Rem.FRD (%)
XI C/ 10 coletas	2 a 4	39,8 a 55,3	68,1 a 98,1	46,4 a 98,3	63,2 a 93,8	76,4 a 97,8
	6 a 12	16,1 a 24,2	53 a 97,8	38,9 a 98,1	38,4 a 94,6	51,8 a 98,8
	12 a 24	2,3 a 10	44,7 a 97,7	28,4 a 90,9	31 a 93,9	33,3 a 94,7

Obs: Para esta análise, foram descartados os resultados correspondentes às amostras coletadas nos períodos em que ocorreram desprendimentos de flocos.

b) Cor verdadeira, absorvância, carbono orgânico dissolvido, coliformes totais e E. coli

Os valores de cor verdadeira - CV, absorvância 254 nm – ABS 254 nm e carbono orgânico dissolvido - COD nos efluentes variaram respectivamente, no FAP entre 1 e 14 uH; 0,001 e 0,026 e 0,0476 e 2,137 mgC/L, e no FRD, entre <1 e 7 uH; 0,001 e 0,025 e 0,098 e

2,74 mgC/L (tabela 45). Os resultados obtidos com relação aos valores de cor verdadeira, foram satisfatórios, no entanto, os valores de absorvância e carbono orgânico dissolvido apresentaram inconsistências em função do tempo de operação (com valores superiores após o período de maturação do FAP) e do próprio processo (apresentando valores para o efluente do filtro FAP, menores que os obtidos no efluente do filtro FRD).

Como relatado na análise de distribuição de partículas, a grande variabilidade desses resultados pode estar associada à ocorrência de carreamento e ou desprendimento de flocos.

Foram produzidos efluentes com concentrações de coliformes totais e *E. coli* que variaram respectivamente de <1 a 235,9 NMP/100mL e <1 a 24,3 NMP/100mL no FAP e de <1 a 41,6 NMP/100mL e <1 a 4,1 NMP/100mL no FRD, conforme tabela 46.

Tabela 46 - Resumo dos valores de cor verdadeira, absorvância, carbono orgânico dissolvido, coliformes totais e <i>E. coli</i> obtidos nos ensaios I, II, IV, V, VI, VII e XI										
Ensaio	CV (uH)		ABS 254 nm		COD (mgC/L)		Colif. Totais (NMP/100 mL)		<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	
	FAP	FRD	FAP	FRD	FAP	FRD	FAP	FRD	FAP	FRD
I	<1	<1	0,001	0,001	0,047	0,098	32,1	2	<1	<1
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
	14	7	0,004	0,005	0,462	0,495	38,9	10,1	1	
II	<1	<1	0,012	0,01	0,099	0,895	-	-	-	-
	a	a	a	a	a	a				
	4	1	0,018	0,019	1,14	1,888				
IV	-	-	0,022	0,006	0,79	0,629	-	-	-	-
			a	a	a	a				
			0,026	0,008	0,938	0,93				
V	1	<1	0,025	0,005	0,544	1,79	15,8	2	1	0
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	3	1	0,005	0,02	1,994	0,395	214,3	11	23,1	3,1
VI	<1	<1	0,009	0,011	1,303	1,463	<1	<1	<1	<1
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	4	1	0,022	0,025	2,051	1,878	235,9	12,2	24,3	<1
VII	<1	<1	0,007	0,008	0,529	1,238	-	-	-	-
XI	<1	<1	0,009	0,008	0,71	0,715	23,8	1	10,9	<1
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	2	1	0,024	0,019	2,137	2,74	214,3	41,6	21,6	4,1

CV (uH): cor verdadeira; ABS 254 nm: absorvância no comprimento de onda 254 nm; COD (mgC/L): carbono orgânico dissolvido

c) Duração das carreiras de filtração e perda de carga no meio granular

Fazendo uma análise comparativa dos resultados obtidos, verificou-se que quando foi empregada no FAP, a taxa de filtração igual a $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, a duração da carreira foi de 82,4 h. Com o aumento da taxa de filtração para $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, as durações das carreiras foram reduzidas significativamente, resultando entre 38 a 40 h. Desta forma, era de se esperar, que para a taxa de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, as durações das carreiras fossem ainda mais reduzidas. No entanto, com a ocorrência de sucessivos desprendimentos de flocos e recuperações de perdas de cargas, o crescimento de perda de carga nesse período foi retardado (figuras 64, 65 e 66) e as carreiras de filtração foram mantidas, o que resultou no encerramento dos ensaios com duas carreiras consecutivas do FRD, totalizando tempos de operação do FAP da ordem de 50 a 60 h. De uma maneira geral, observou-se que a duração da segunda carreira de filtração do FRD resultou relativamente curta comparada à primeira, provavelmente, devido à qualidade do efluente do FAP que se apresentava bastante deteriorada.

Em princípio, foi convencionado que os ensaios seriam encerrados com a conclusão de pelo menos uma carreira do FAP e duas do FRD. Porém, para os ensaios em que foi empregada a taxa de filtração igual a $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, com durações das carreiras entre 17 e 25 h, estes ensaios foram encerrados com apenas uma carreira do FRD, devido às instabilidades apresentadas com relação à ocorrência de desprendimento de flocos, com picos de turbidez da ordem de 7 a 10 uT, tornando o efluente impróprio ao tratamento complementar com a FRD, além de carreamento da “manta” formada no topo da última subcamada do meio granular (ensaio VIII).

Constatou-se também, que com o aumento da taxa de filtração no FAP, as durações das carreiras do FRD obtidas foram gradativamente mais reduzidas (tabela 47).

Comparando-se os valores de perdas de cargas iniciais nos ensaios IV, V e VI (tabela 47), verificou-se que o aumento da dosagem de coagulante resultou em perdas de cargas iniciais mais elevadas e carreiras de durações mais curtas.

As considerações pertinentes aos ensaios X e XI são apresentadas no item de 5.1.3.3.

Tabela 47 - Duração das carreiras de filtração nos Ensaios I a XI / Taxa de filtração no FAP e FRD, perda de carga inicial no meio granular do filtro FAP, dosagem de alumínio, duração da carreira e perda de carga no meio granular nos filtros FAP e FRD

Ensaio	Taxa filtração (m ³ /m ² .d.)		Perda carga inicial	DAI (mg Al/L)	Filtro (duração carreira) (h)	Perda carga (cm)	Filtro (duração carreira) (h)	Perda carga (cm)
	FAP	FRD	FAP (cm)					
I	60	100	1,9	0,579	FRD (46,9)	210	FAP (83)	60
II	120	120	2,8	0,579	FRD (50) ^g	212,5	-	-
III	120	180	3,5	0,579	FRD (31,4)	210,3	FAP (38)	49,9
IV	180	120	8,6	0,579	FRD (23,5)	210,2	FRD (25,2) ^a	210,1
V	180	180	5,6	0,405	FRD (42,3)	208,3	FRD (21,4) ^b	209,9
VI	180	240	3,5	0,405	FRD (32,7)	210	FRD (17,6) ^c	210
VII	240	120	7,6	0,579	FRD (11,25) ^d	212,1	-	-
VIII	240	180	7,4	0,579	FRD (16,7)	210,6	FAP (22) ^e	43,4
IX	240	240	7,3	0,579	FRD (13,5)	209,6	FAP (17,5)	47
X (3DFIs)	180	240	2,9	0,405	FRD (47,2) FRD (24)	209,7 211	FAP (56,4)	60,6
XI (4DFIs)	240	240	5,5	0,405	FRD (41)	210	FAP (43) ^f	46,5

(a): Perda de carga no meio granular do filtro FAP = 46,7cm, após 48,7 h de operação;

(b): Perda de carga no meio granular do filtro FAP = 50,2cm, após 63,7 h de operação;

(c): Perda de carga no meio granular do filtro FAP = 45,4cm, após 51,3 h de operação;

(d): Perda de carga no meio granular do filtro FAP = 24,1cm;

(e): Com ocorrência de carregamento da “manta” e recuperação de carga hidráulica no tempo de operação = 16,5 h;

(f): Encerramento da carreira do filtro FAP por transpasse decorrente de problemas no sistema de coagulação;

(g): Com ocorrência de carregamento da “manta” e execução de DFI no tempo de operação = 40,7 h.

5.1.3.3 Execução de DFIs

Com base nos resultados obtidos nos ensaios sem execução de DFIs, para a realização dos ensaios referentes à Fase - II (ensaios X e XI), foram selecionadas duas combinações de taxas de filtração (tabela 48) que se mostraram apropriadas à execução de DFIs. São apresentados a seguir alguns aspectos de interesse verificados durante a realização dos ensaios com execução de DFIs.

Tabela 48 - Taxas de filtração nos filtros FAP e FRD empregadas nos ensaios da Fase-II		
Ensaio	FAP (m ³ /m ² .d)	FRD (m ³ /m ² .d)
X (c/ 3 DFIs)	180	240
XI (c/ 4 DFIs)	240	240

No início da realização da investigação experimental, as DFs eram realizadas com taxa média de escoamento de 800 m³/m².d e duração da ordem de 40 s., limitando-se o nível da água em aproximadamente 10 cm do topo da última subcamada do meio granular. No entanto, logo após o reinício da carreira, o efluente do filtro FAP apresentava turbidez relativamente alta com picos da ordem de 30 a 50 uT, devido ao arraste provocado pela inversão do escoamento da água passando pelo meio filtrante, de parte do material que não foi removido na DF, mas que se desprende do meio em que estava retido. Nesse caso era realizado o descarte inicial do efluente do FAP.

Apesar do FRD ter sido capaz de absorver tais picos de turbidez, tinha os valores de perda de carga substancialmente alterados, dificultando a análise com relação às durações das carreiras de filtração. Assim, as DFs no FAP passaram a ser realizadas com esvaziamento total do filtro e taxa média de escoamento entre 800 e 1200 m³/m².d com duração de DF entre a 1 a 1,5 min., sempre que fosse atingida a perda de carga limite no meio granular de 0,5 a 0,6 m, antecedendo a lavagem, ou ainda o acréscimo de perda de carga entre DFIs. O acréscimo de perda de carga foi calculado segundo método apresentado no item 4.2.6.

São apresentadas na figura 72, as fotos sequenciais da execução de uma DF, com esvaziamento total do filtro.

FAP – Antes da execução de DF

Meio filtrante do
FAP antes da
execução de DF

FAP – Durante a execução de DF

FAP – Após a execução de DF

Meio Filtrante do
FAP após a
execução de DF

Figura 72 - Fotos sequenciais da execução de uma DF no FAP

Durante a realização dos ensaios com execução de DFIs, verificou-se que:

- a) o número de DFIs executadas no FAP foram insuficientes, dada a ocorrência de carregamento contínuo de flocos, antecedendo a execução de cada DFI. Porém, mesmo com o número de DFIs menor que o requerido, a qualidade dos efluentes produzidos resultou significativamente superior nos ensaios com execução de DFIs;
- b) a execução de DFIs melhorou a qualidade do efluente do filtro FAP para as taxas de filtração empregadas, especialmente com relação:
 - b.1) à ocorrência dos fenômenos observados no filtro FAP, conforme tabela 31:
 - para a taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$: nos ensaios IV a VII, com tempo de operação em que se pronunciou a ocorrência de desprendimento de flocos entre 16 e 19 h e valores de picos de 1,6 a 7,4 uT; não sendo observada a ocorrência deste fenômeno no ensaio X c/ 3 DFIs;
 - para a taxa de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$: no ensaio VIII, com tempo de operação em que se pronunciou a ocorrência de desprendimento de flocos igual a 16 h e valores de picos de até 40 uT, enquanto no ensaio XI c/ 4 DFIs, estes valores passaram para 32 h e (1,3 a 2,3) uT, respectivamente;
 - b.2) aos valores resultantes de turbidez no efluente do FAP, desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens, conforme tabela 43:
 - para a taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$: nos ensaios IV e VII, inferiores aos limites de 2, 3 e 2,5 uT respectivamente, e no ensaio X c/ 3 DFIs, inferiores a 1,8 uT,;
 - para a taxa de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$: nos ensaios VII a IX, inferiores aos limites de 5, 4,5 e 8,5 uT respectivamente, e no ensaio XI c/ 4 DFIs, inferiores a 3 uT,.
- c) através da coleta de amostras realizada antes e imediatamente após a execução de DFIs no ensaio XI, ocorreram em todas as faixas analisadas, sensíveis variações na eficiência de remoção de partículas, conforme tabela 44;
- d) foram obtidas durações das carreiras do FRD mais longas, devido à qualidade dos efluentes pré-filtrados nos ensaios com execução de DFIs, conforme tabela 46:
 - para a taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$: com durações das carreiras iguais a 32,7 e 17,6 h no ensaio VI e iguais a 47,2 e 24 h no ensaio X c/ 3 DFIs;
 - para a taxa de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$: com duração da carreira igual a 13,5 h no ensaio IX e igual a 41 h no ensaio XI c/ 4 DFIs;

e) As somas das cargas hidráulicas parciais recuperadas com a execução de 3 e 4 DFIs, resultaram em 56,9 cm e 70,4 cm, respectivamente, valores que corresponderam em até 1,4 vezes o valor estabelecido para carga hidráulica disponível (50 cm) para o FAP.

5.1.3.4 Índice de Produção Efetiva de Água

O índice de produção efetiva de água de um sistema representa a eficiência da produção de água filtrada, considerando essencialmente, o aspecto quantitativo, num determinado período de funcionamento, sendo portanto, calculado pela razão entre o volume de água filtrada, efetivamente produzido e o obtido, através da multiplicação da taxa de filtração pelo tempo de operação.

O índice de produção efetiva de água foi calculado considerando aspectos operacionais condizentes com o que acontece nas ETAs em escala real, uma vez que a realização de investigações é fundamentada na aplicabilidade dos resultados adquiridos.

Assim, foram assumidas as seguintes hipóteses:

- i) o sistema 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 em filtro durante um determinado período, 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.*

São relacionados os passos do cálculo realizado para a determinação do índice de produção efetiva de água:

- a) calcular o volume total produzido pela multiplicação da taxa de filtração no FAP pelo tempo de operação considerado;
- b) subtrair o volume de água tratada utilizado para execução das lavagens dos filtros do valor obtido em a) no período considerado;
- c) dividir o valor obtido em b) pelo valor obtido em a).

A realização dos cálculos requer a determinação dos parâmetros de operação de lavagem, apresentados no item 4.2.7.

Apresentam-se na tabela 49 os parâmetros utilizados na lavagem e os resultados dos cálculos efetuados para a determinação do índice de produção efetiva de água.

Tabela 49: Resultados dos cálculos efetuados para a determinação do índice de produção efetiva de água / Parâmetros das operações de lavagens dos filtros FAP e FRD, taxa de filtração, duração da carreira, número de lavagens, produção total e efetiva de água filtrada e índice de produção efetiva de água											
Parâmetros operacionais	Taxa de aplicação (m ³ /m ² .d)			Duração/operação (min)			Consumo/operação (m ³ /m ²)				
Lavagem com ar e água no FAP	720			5			2,5				
Lavagem com água no FAP	2057			5			7,1				
Lavagem com água no FRD	864			7			4,2				
Ensaio	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X*	XI*
Taxa de filtração FAP (m ³ /m ² .d)	60	120	120	180	180	180	240	240	240	180	240
Taxa de filtração FRD (m ³ /m ² .d)	100	120	180	120	180	240	120	180	240	240	240
Duração da carreira de filtração considerada (h)	81,8	50,0	38,0	48,7	63,7	51,3	11,3	22	17,5	71,4	43
Número de lavagens do FAP	1,00	1,23	1,00	0,76	1,00	0,81	0,51	1,00	0,80	1,27	0,86
Número de lavagens do FRD	1,76	1,00	1,21	2,00	2,00	2,00	1,00	1,32	1,30	2,00	1,05
Prod. total de água filtrada (m ³ /m ² .d)	204,5	250,0	190,0	365,3	477,8	384,8	112,5	220,0	175,0	535,5	430,0
Prod. efetiva de água filtrada (m ³ /m ² .d)	187,5	233,9	175,3	349,5	459,7	368,6	103,4	204,8	161,9	514,9	417,3
Índice de produção efetiva de água (%)	91,7	93,6	92,3	95,7	96,2	95,8	91,9	93,1	92,5	96,2	97,0

(*): Ensaios com execução de DFIs;

Foi constatada a influência da execução das DFIs na eficiência da produção de água, tendo resultado em valores de índice de produção efetiva de água superiores aos obtidos nos ensaios sem a execução de DFIs, devido principalmente, à produção de carreiras de durações mais longas.

5.2 Fase III

5.2.1 Determinação das Condições de Coagulação para o Ensaio XII

Para a determinação das condições de coagulação (dosagens de coagulante e alcalinizante) foram preparadas inicialmente (segundo método descrito no item 4.5.2), 30 litros de cada uma das seis águas de estudo. Como a água bruta apresentava valores de turbidez próximos a 15 uT na época de execução dos ensaios, resultaram 7 ensaios de determinação das condições de coagulação, segundo a programação do pico de turbidez apresentada na figura 52. A seguir, são descritas as etapas seqüenciais desenvolvidas para cada água de estudo.

Ensaio da Série A

1. Medição ou leitura de turbidez, pH, temperatura e alcalinidade da água de estudo;
2. Definição das dosagens de coagulante (DAI) a serem estudadas com base nas características da água de estudo;
3. Determinação da dosagem máxima dos alcalinizantes associadas à dosagem máxima de coagulante pré-definida:
 - 3.1 Foram testados três tipos de alcalinizante: hidróxido de sódio, carbonato de sódio anidro em pó (barrilha da ETA) e carbonato de sódio decahidratado (barrilha comprada). Para tanto, separavam –se três volumes de 0,5 L da água de estudo, uma para cada tipo de alcalinizante.
 - 3.2 Aplicava-se nos três volumes, a dosagem máxima de coagulante previamente definida, e media-se o pH;
 - 3.3 Para cada volume, ajustava-se o pH para valores em torno de 6,5 e eram obtidas assim, as dosagens máximas de cada tipo de alcalinizante.
 - 3.4 Escolha do alcalinizante em função da eficiência observada no ajuste do pH; O alcalinizante escolhido foi o carbonato de sódio anidro em pó (barrilha da ETA), cujas especificações são apresentadas na tabela 50. (As especificações do coagulante químico foram apresentadas na tabela 17).
4. Definição das dosagens combinadas de coagulante e alcalinizante;
5. Realização da mistura rápida em Jarteste com tempo $T_{mr} = 60s$, gradiente de velocidade médio $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ e aplicação das dosagens combinadas de coagulante e alcalinizante;
6. Leitura do pH das águas coaguladas;

7. Realização do ensaio de filtração direta:

7.1 Descarte inicial da amostra;

7.2 Filtração em FLP Whatman 40 (tamanho médio dos poros de $8\mu\text{m}$, espessura de 0,2 mm e diâmetro de 125 mm) com duas coletas consecutivas de no mínimo 25 mL para leitura de turbidez;

7.3 Filtração em FLA com taxa de filtração compreendida entre 60 e $100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, efetuando-se ajustes manuais ou utilizando o dispositivo automático de abaixamento do tubos de saída dos jarros e coleta de água filtrada nos tempos de 15, 20, 25 e 30 min;

8. Escolha da dosagem de coagulante em função da qualidade do filtrado (turbidez $\leq 0,5 \text{ uT}$);

Ensaio da Série B

Após a escolha da dosagem de coagulante, era realizado um novo ensaio variando-se apenas as dosagens de alcalinizante (ajuste “fino” do pH), possibilitando assim, a escolha da sua dosagem e, conseqüentemente, das condições de coagulação apropriadas para a água de estudo.

Tabela 50 - Especificações do alcalinizante: Carbonato de Sódio em pó / Massa específica aparente, teor mínimo, umidade máxima, insolúveis máximo	
Massa específica aparente (g/cm^3)	450 a 550
Teor mínimo (%)	98
Umidade máxima (% peso)	1
Insolúveis máximo (%)	0,05

A solução de sulfato de alumínio foi preparada com concentração igual a $4383,2 \text{ mgAl/L}$ e a de carbonato de sódio, com concentração igual a 5000 mg/L do produto comercial (carbonato de sódio anidro em pó).

Destacam-se na tabela 51, os parâmetros utilizados nos ensaios realizados.

Tabela 51 - Parâmetros de mistura rápida, de filtração direta e de controle empregados nos ensaios para determinação das condições de coagulação no ensaio XII / Tempo e gradiente de velocidade médio de mistura rápida, dosagens de sulfato de alumínio, de alumínio e de carbonato de sódio, tempos de coleta das amostras e parâmetros de controle

Parâmetros de Mistura Rápida e Filtração		Parâmetros de Controle
Tempo de mistura rápida (s)	60	pH da água de estudo;
Gradiente de veloc. Médio de mistura rápida (s^{-1})	1000	Turbidez da água de estudo;
DSA (mg/L)	2,54 a 33,9	Alcalinidade da água de estudo;
DAI (mgAl/L)	0,229 a 3,05	pH de coagulação;
DCSpc (mg/L)	0 a 17	Turbidez dos efluentes filtrados
Tempos de coletas em FLP (min)	3 e 6	em 2 coletas nos FLP e 3 nos FLA
Tempos de coletas em FLA (min)	15, 20, 25 e 30	

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio sólido ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$);

DAI (mg/L): dosagem de alumínio;

DCSpc: dosagem de carbonato de sódio anidro (produto comercial);

Os resultados obtidos nos ensaios realizados para a determinação das condições de coagulação química para as seis águas de estudo e água bruta, com valores de turbidez variando entre 15,3 e 381 uT, resultaram em valores de DSA entre 7,62 a 25,4 mg/L de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$ (0,686 a 2,288 mgAl/L) e de DCSpc entre 0 a 12 mg/L do produto comercial.

Comparando-se os resultados obtidos utilizando a filtração em FLP e FLA, constatou-se que:

A aplicação do critério apresentado na tabela 18 para a escolha da granulometria a ser utilizada no FLA, em função das características da água, apresentou resultados satisfatórios, produzindo valores de turbidez remanescente, ligeiramente superiores aos obtidos por filtração em FLP (figura 73), onde são apresentados os resultados do ensaio 1 A, realizado para água bruta com turbidez igual a 15,3 uT. Porém, para águas com valores mais elevados de turbidez, os FLAs produziram resultados mais coerentes mostrando ser mais sensíveis às variações das condições de coagulação bem como das características da água de estudo (figuras 74 e 75), conforme recomendado por DI BERNARDO et al. (2000), indicando ser mais apropriada nesses casos a utilização de FLAs nos ensaios de filtração direta. Note que a escala do eixo das ordenadas é logarítmica.

Resultados similares foram obtidos por GUSMÃO (2001) que realizou estudos com o objetivo de avaliar o desempenho dos métodos de filtração em laboratório (em FLPs e FLAs), e definir qual deles seria o mais apropriado para apontar as dosagens do coagulante

mais adequadas nos ensaios de filtração direta. O autor constatou a maior sensibilidade do meio filtrante do FLA em relação à filtração em FLP à variação da dosagem do coagulante, o que proporcionou uma indicação mais precisa da melhor dosagem a ser utilizada, conforme a figura 76.

Apresenta-se na tabela 52 a compilação de alguns resultados que demonstram este fato.

Figura 73 - Ensaio de laboratório 1 A / Variação da turbidez remanescente e pH em função da DSA utilizando FLP e FLA para água bruta com turbidez igual a 15,3 uT

Figura 74 - Ensaio de laboratório 6 A / Variação da turbidez remanescente e pH em função da DSA utilizando FLP e FLA para água bruta com turbidez igual a 236 uT

Figura 75 - Ensaio de laboratório 7 A / Variação da turbidez remanescente e pH em função da DSA utilizando FLP e FLA para água bruta com turbidez igual a 351 uT

Figura 76 - Dosagem do coagulante e turbidez do efluente do FLA (em diferentes tempos de filtração) e do FLP Fonte: GUSMÃO (2001)

Tabela 52 - Resultados dos ensaios de laboratório utilizando FLA e FLP, com baixas dosagens de coagulante químico e águas com diferentes valores de turbidez / Turbidez da água de estudo, dosagem de sulfato de alumínio, turbidez remanescente após filtração em FLA e FLP

Turb. água estudo	DSA (mg/L)	Turb.FLP 2ª col.	Turb.FLA 20min
15,3	4,23	2,9	11
25	2,54	16	20,8
63,5	0	14,8	40,3
85,5	0	19,3	57,6
160	0	31	102
236	0	18,2	130
351	0	43,7	243

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio sólido ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$):

Na tabela 53 é apresentado um resumo contendo dados e resultados gerais dos ensaios realizados em laboratório, sendo os resultados e gráficos específicos de cada ensaio apresentadas no anexo L.

Tabela 53 - Resumo dos dados e resultados dos ensaios realizados em laboratório para determinação das condições de coagulação no ensaio XII / Turbidez da água de estudo, padrão de areia do FLA, tamanho dos grãos, dosagens de alumínio e carbonato de sódio e resultados selecionados

Ens.	Turb. água estudo (uT)	F L A	DAI (mg/L)	DCSpc (mg/L)	Resultados selecionados				
					DAI (mg/L)	DCSpc (mg/L)	pH	Turb. FLP 2ª col.	Turb. FLA 20min
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	1,525 a 2,669	7 a 15	1,525	8	6,59	0,24	0,22
5	160	2/ 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

(*): ensaio realizado para a água bruta coletada na ocasião da realização dos ensaios;

DSA (mg/L): dosagem de sulfato de alumínio sólido ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$); DAI (mg/L): dosagem de alumínio; DCSpc: dosagem de carbonato de sódio anidro (produto comercial);

5.2.2 Aplicação das Condições de Coagulação Química no Ensaio XII

Concluídas as fases de programação do pico de turbidez, preparo da água de estudo e determinação das condições de coagulação, foram realizados testes de pré-operação no sistema de aplicação da suspensão de argila. Dificuldades no controle da vazão de suspensão de argila, realizada por meio de ajustes nos registros (de esfera) da tubulação de retorno do tanque, resultaram na introdução 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 coletas de amostras da água coagulada.

Devido às dificuldades citadas, não foi possível regular o registro do sistema de aplicação de argila para a obtenção das águas (com valores próximos de turbidez) de 25 e 65 uT.

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 com concentração 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 sob condições instáveis de qualidade de água bruta e operação, tendo resultado valores entre 0,01 e 0,03 mg Al/L no efluente final, atendendo ao padrão de potabilidade (Portaria 1469), cujo limite é 0,2 mg Al/L.

O FAP mostrou ser capaz de absorver a ocorrência do pico de turbidez de 380 uT, mesmo encontrando-se no estado de maturação após a execução da DF11 (30 min), tendo produzido efluente pré-filtrado com valores de turbidez entre 0,3 e 5,7 uT, o que possibilitou a obtenção de efluente final com valores consistentemente menores que 1 uT, e na maior parte do tempo menores que 0,1 uT.

Apresentam-se na figura 78, fotos do FAP durante a realização do ensaio.

FAP com tempo de operação igual a 4 h e turbidez da água coagulada da ordem de 85 uT

FAP com tempo de operação igual a 6 h e turbidez da água coagulada da ordem de 160 uT

FAP com tempo de operação igual a 7,5 h e turbidez da água coagulada da ordem de 236 uT

Figura 77 - Fotos do FAP durante a realização do ensaio XII

É apresentado na tabela 54, o resumo dos resultados obtidos referentes aos exames e análises realizados, e na figura 77, os gráficos representando a variação da turbidez da água bruta e efluentes produzidos e a perda de carga, em função do tempo de operação, para o ensaio XII.

Tabela 54 - Resumo do Ensaio XII / Taxa de filtração, duração da carreira, condições de coagulação química; pH, potencial zeta, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido, absorvância, concentração de alumínio residual, número e distribuição de partículas para água bruta e efluentes do FAP e FRD

Taxas de filtração: tx FAP = 120 m³/m².d. e tx FRD = 180 m³/m².d.

Duração da carreira: FRD: 14 h (incompleta) e FAP: 14 h (incompleta)

Coagulação química: dosagens de Al entre 0,686 a 2,288 mgAl/L; pH da água bruta = 6,8 a 7,3; potencial zeta da água coagulada = -17 a -4,0 mV; alcalinidade da água bruta = 8,4 a 10,5 mg/L de CaCO₃; temperatura = 21,5 a 23,5 °C;

Parâmetros	Água coagulada		Efluente FAP		Efluente FRD	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
pH	6,5	6,8	6,3	6,7	6,1	6,7
Potencial Zeta (mV)	-17	-4	-2,4	-2,2	-2	-1,9
Turbidez * (uT)	15,4	384	0,33	5,7	0,02	1,27
Turbidez ** (uT)	-	-	-	≤5,7	-	≤0,03
Cor Aparente (uC)	-	-	5	17	1	7
Cor Verdadeira (uC)	-	-	<1	2	<1	1
COD (mgC/L)	3,36	-	1,821	3,9750	2,054	2,375
Absorvância 254 nm	0,02	-	0,012	0,019	0,011	0,033
Alumínio residual (mgAl/L)	-	-	-	-	0,01	0,03
Nº. total partículas/mL	17698,9	21180,8	48,3	350,3	77,5	344,7
Nº. partículas (2 a 4)/mL	249,6	1009,9	16,3	154	31,3	167,9
Nº. partículas (6 a 12)/mL	1237,6	3448,8	7,7	78,3	15,9	54,9
Nº. partículas (12 a 24)/mL	6484,7	8428,6	4,7	36	8,3	38,6

(*): Valores de turbidez considerando os períodos de maturação dos filtros após lavagens e ocorrência de desprendimentos de flocos durante a carreira;

(**): Valores de turbidez desconsiderando os períodos de maturação dos filtros após as lavagens;

(-): parâmetros não analisados.

Figura 78 - Ensaio XII c/ IDFI e pico de turbidez de 384 uT/ Variação dos valores de turbidez da água coagulada e efluentes do FAP e FRD e de perda de carga no meio granular no FAP e FRD em função do tempo de operação

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

❖ A determinação das condições de coagulação em função da qualidade do filtrado em FLP e ou FLA resultaram, para alguns ensaios, em água coagulada com valores negativos de potencial zeta, produzindo porém, ótimos resultados com relação à qualidade dos efluentes filtrados e duração da carreira. Este fato sugere que a escolha dos parâmetros de coagulação baseada somente no critério da medida do potencial zeta da água coagulada próxima de zero apresenta restrições, sendo fundamental a realização de ensaios de filtração direta em FLP ou FLA, adequados às características da água bruta em questão.

❖ A utilização do FLA com granulometria adotada de acordo com o critério utilizado (tabela 18), nos ensaios de laboratório para determinação das condições de coagulação química, produziu resultados satisfatórios, especialmente no ensaio XII, em que apresentou maior sensibilidade às variações das condições de coagulação e da qualidade da água, comparado ao FLP - whatman 40;

❖ 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 devido à simplicidade e facilidade de operação, este dispositivo pode, na ausência de instalação piloto de escoamento contínuo, ser empregado em ETAs para a determinação e controle das condições de coagulação química.

❖ No ensaio XII, a aplicação das condições de coagulação, obtidas nos ensaios de laboratório por coagulação em jarteste e de filtração direta em FLAs, produziu ótimos resultados, tendo, o FAP com taxa de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, sido capaz de absorver o

pico de turbidez de 380 uT, produzindo efluente pré-filtrado com valores de turbidez entre 0,3 e 5,7 uT; e o FRD com taxa de filtração de 180 m³/m².d. produzido efluente final com valores consistentemente menores que 1 uT, e na maior parte do tempo menores que 0,1 uT;

❖ Baseado na grande variabilidade dos resultados dos exames e análises realizados, foi constatado que o desempenho do sistema FAP – FRD, com relação à qualidade dos efluentes produzidos e durações das carreiras de filtração obtidas, é fortemente influenciado pelos efeitos dos fenômenos observados no filtro FAP, uma vez que a ocorrência de carreamento contínuo e ou desprendimento de flocos no FAP foi acompanhada de crescente deterioração da qualidade dos efluentes produzidos;

❖ Em geral, foi observada a ocorrência de desprendimentos de flocos para todas as taxas de filtração empregadas, sendo variável o tempo de operação de início da ocorrência deste fenômeno, em função da taxa de filtração empregada, do grau de colmatação do FAP, da dosagem de coagulante empregada e qualidade da água bruta;

❖ O método de DFI empregado (com esvaziamento total do filtro), apresentou recuperação de carga hidráulica e qualidade dos efluentes logo após a DFI, superiores ao método com esvaziamento até o topo do meio granular;

❖ Nos ensaios X e XI, realizados com execução de 3 e 4 DFIs e taxas de filtração de 180 m³/m².d. e 240 m³/m².d. respectivamente, os números de DFIs executadas no FAP mostraram-se insuficientes, devido à ocorrência de carreamento contínuo de flocos antecedendo a execução de cada DFI porém, mesmo com o número de DFIs menor que o requerido, foi constatado que:

- a qualidade do efluente produzido resultou significativamente superior;
- a ocorrência de desprendimentos de flocos e os valores dos picos de turbidez decorrentes desses desprendimentos foram significativamente reduzidos;
- as durações das carreiras do FAP resultaram mais longas, apresentando somas das cargas hidráulicas parciais recuperadas com a execução de 3 e 4 DFIs, iguais a 56,9 cm e 70,4 cm, respectivamente, valores que correspondem em até 1,4 vezes, a carga hidráulica disponível (50 cm) estabelecida para o FAP;
- as durações das carreiras do FRD resultaram mais longas, devido à qualidade dos efluentes pré-filtrados;

- os índices de produção efetiva de água resultaram superiores aos obtidos nos ensaios sem a execução de DFIs, devido principalmente, à produção de carreiras de durações mais longas;

❖ Nos ensaios sem execução de DFIs, o FAP foi capaz de produzir efluentes com valores de turbidez adequados ao tratamento complementar com a FRD, para taxas de filtração iguais ou inferiores a $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, tendo resultado em carreiras de durações entre 38 e 83 h.

❖ Embora o filtro FRD tenha sido capaz de absorver os picos de turbidez decorrentes do carreamento e desprendimento de flocos no filtro FAP, nos ensaios sem execução de DFIs e taxa de filtração de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d.}$, o seu desempenho foi considerado insatisfatório.

❖ A eficiência global do sistema de DF com FAP foi satisfatória tendo o efluente final apresentado turbidez durante a maior parte do tempo inferior a $0,1 \text{ uT}$ e cor verdadeira inferior a 1 uH independentemente da qualidade da água bruta e da taxa empregada; o FRD foi capaz de absorver as variações da qualidade de água pré-filtrada devido às execuções das DFIs, lavagens e ocorrências de desprendimentos de flocos;

❖ De maneira geral, o FRD garantiu a produção de efluente final com qualidade condizente com o padrão de potabilidade, inclusive atendendo ao valor de turbidez ($0,5 \text{ uT}$), enfaticamente, recomendado quando o tratamento é realizado por filtração direta.

Em função dos resultados obtidos neste trabalho, verificou-se a necessidade de estudos adicionais com relação:

- à granulometria do pedregulho a ser utilizada no FAP, especialmente da última subcamada;
- ao método de limpeza e lavagem do FAP, variando-se a carga hidráulica, empregando-se ar para lavagem auxiliar, etc;
- à frequência de DFIs;

às condições diferenciadas de qualidade da água bruta, tais como cor e turbidez, presença de algas e compostos inorgânicos.

ANEXOS

ANEXO A : ENSAIO I

Tabela A55 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, <i>E.coli</i> , distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 6 h / ensaio I								
Parâmetros			Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD		
Potencial Zeta (mV)			-21,9	-3,2	-2,1	-2		
Cor Aparente (uH)			100	-	18	1		
Cor Verdadeira (uH)			50	-	0	0		
COD (mgC/L)			-0,132	-	0,047	0,098		
Absorvância			0,042	-	0,001	0,001		
Coliformes Totais (NMP/100ml)			-	-	-	-		
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)			-	-	-	-		
Distribuição de partículas / Tempo de operação = 6 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4138,1	38,2	588	38,4	85,8	27,6	35,3	99,3
4 a 6	2841,2	26,2	401,27	26,2	85,9	11,467	14,7	99,6
6 a 8	1530,4	14,1	229,93	15,0	85,0	3,4	4,3	99,8
8 a 10	948,73	8,8	136,87	8,9	85,6	2,333	3,0	99,8
10 a 12	503,27	4,6	61,933	4,0	87,7	1,933	2,5	99,6
12 a 16	427,07	3,9	44,867	2,9	89,5	4,667	6,0	98,9
16 a 24	292,73	2,7	24,733	1,6	91,6	6,2	7,9	97,9
> 24	145,33	1,3	44,533	2,9	69,4	20,667	26,4	85,8
2 a 10	9961,7	92,0	1418,0	92,6	85,8	46,7	59,7	99,5
> 12	865,1	8,0	114,1	7,4	86,8	31,5	40,3	96,4
Total	10826,8	100,0	1532,1	100,0	85,8	78,3	100,0	99,3

Tabela A56 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 18 h / ensaio I

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-20	-3	-2,2	-2,1
Cor Aparente (uH)	113	-	14	3
Cor Verdadeira (uH)	48	-	0	0
COD (mgC/L)	0,944	-	-	-
Absorvância	0,047	-	-	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	8664	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	201	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 18 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	1978,7	37,5	117,33	43,1	94,1	11,933	22,7	99,4
4 a 6	1219,9	23,1	61,267	22,5	95,0	6,8	13,0	99,4
6 a 8	623,47	11,8	34,467	12,7	94,5	2,867	5,5	99,5
8 a 10	385,33	7,3	19	7,0	95,1	2,933	5,6	99,2
10 a 12	228,67	4,3	9,867	3,6	95,7	2,6	5,0	98,9
12 a 16	239,33	4,5	8,333	3,1	96,5	4,6	8,8	98,1
16 a 24	259,87	4,9	9,4	3,4	96,4	6,6	12,6	97,5
> 24	338,67	6,4	12,8	4,7	96,2	14,133	26,9	95,8
2 a 10	4436,1	84,1	241,9	88,8	94,5	27,1	51,7	99,4
> 12	837,9	15,9	30,5	11,2	96,4	25,3	48,3	97,0
Total	5273,9	100,0	272,5	100,0	94,8	52,5	100,0	99,0

Tabela A57 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 24 h / ensaio I

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-19,9	-3,1	-2,2	-1,9
Cor Aparente (uH)	103	-	15	3
Cor Verdadeira (uH)	20	-	1	0
COD (mgC/L)	0,236	-	0,462	0,192
Absorvância	0,038	-	0,004	0,005
Coliformes Totais (NMP/100ml)	5794	-	32,1	10,1
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	98	-	1	0

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 24 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	3125,4	33,2	79,467	51,2	97,5	1603,9	35,6	48,7
4 a 6	2263,1	24,0	33,667	21,7	98,5	2472,2	54,9	-9,2
6 a 8	1350,3	14,3	9,467	6,1	99,3	373,47	8,3	72,3
8 a 10	919	9,8	5,8	3,7	99,4	25,333	0,6	97,2
10 a 12	556,4	5,9	5,2	3,4	99,1	4,067	0,1	99,3
12 a 16	542,6	5,8	7,4	4,8	98,6	4,4	0,1	99,2
16 a 24	452,87	4,8	7,333	4,7	98,4	7,6	0,2	98,3
> 24	201,53	2,1	6,8	4,4	96,6	11,533	0,3	94,3
2 a 10	8214,2	87,3	133,6	86,1	98,4	4479,0	99,5	45,5
> 12	1197,0	12,7	21,5	13,9	98,2	23,5	0,5	98,0
Total	9411,2	100,0	155,1	100,0	98,4	4502,5	100,0	52,2

Tabela A58 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 30 h / ensaio I

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-19,1	-2,8	-2,1	-1,9
Cor Aparente (uH)	98	-	13	2
Cor Verdadeira (uH)	35	-	0	0
COD (mgC/L)	0,432	-	-	-
Absorvância	0,042	-	-	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	4884	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	109	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 30 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	1123,6	47,8	192,27	57,9	82,9	85,467	58,1	92,4
4 a 6	543,4	23,1	74,533	22,4	86,3	20	13,6	96,3
6 a 8	249,33	10,6	18,333	5,5	92,6	8	5,4	96,8
8 a 10	159,47	6,8	5,267	1,6	96,7	4,933	3,4	96,9
10 a 12	88,133	3,7	4,733	1,4	94,6	3,467	2,4	96,1
12 a 16	82,533	3,5	9,867	3,0	88,0	7,333	5,0	91,1
16 a 24	71	3,0	10,133	3,1	85,7	7,333	5,0	89,7
> 24	33,6	1,4	17,067	5,1	49,2	10,533	7,2	68,7
2 a 10	2163,9	92,0	295,1	88,8	86,4	121,9	82,9	94,4
> 12	187,1	8,0	37,1	11,2	80,2	25,2	17,1	86,5
Total	2351,1	100,0	332,2	100,0	85,9	147,1	100,0	93,7

Tabela A59 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 48 h / ensaio I

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-21,1	-3	-2	-1,4
Cor Aparente (uH)	160	-	12	6
Cor Verdadeira (uH)	35	-	0	0
COD (mgC/L)	0,732	-	0,333	0,495
Absorvância	0,038	-	0,002	0,004
Coliformes Totais (NMP/100ml)	10462	-	38,9	2
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	265	-	0	0

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 48 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	2573,7	22,6	40,867	50,3	98,4	30,8	37,4	98,8
4 a 6	2271,7	19,9	15,4	19,0	99,3	18,133	22,0	99,2
6 a 8	1684,7	14,8	5	6,2	99,7	6,4	7,8	99,6
8 a 10	1393,9	12,2	2,6	3,2	99,8	4,4	5,3	99,7
10 a 12	962,87	8,4	2,733	3,4	99,7	4,733	5,7	99,5
12 a 16	1093	9,6	4,2	5,2	99,6	7,267	8,8	99,3
16 a 24	998,4	8,8	6,067	7,5	99,4	6,533	7,9	99,3
> 24	422	3,7	4,333	5,3	99,0	4,133	5,0	99,0
2 a 10	8886,9	78,0	66,6	82,0	99,3	64,5	78,2	99,3
> 12	2513,4	22,0	14,6	18,0	99,4	17,9	21,8	99,3
Total	11400,3	100,0	81,2	100,0	99,3	82,4	100,0	99,3

Tabela A60 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 54 h / ensaio I

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-20,3	-2,9	-2,3	-2,1
Cor Aparente (uH)	-	-	-	-
Cor Verdadeira (uH)	-	-	-	-
COD (mgC/L)	-	-	-	-
Absorvância	-	-	-	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	-	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 54 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	2373,3	37,7	53,467	48,6	97,7	17,467	25,3	99,3
4 a 6	1500,5	23,8	20,4	18,5	98,6	11,6	16,8	99,2
6 a 8	784,93	12,5	8	7,3	99,0	5,133	7,4	99,3
8 a 10	514,07	8,2	5,133	4,7	99,0	3,733	5,4	99,3
10 a 12	314,4	5,0	3	2,7	99,0	3,867	5,6	98,8
12 a 16	306,87	4,9	6,4	5,8	97,9	6	8,7	98,0
16 a 24	295,2	4,7	5,467	5,0	98,1	7,6	11,0	97,4
> 24	203,13	3,2	8,2	7,5	96,0	13,667	19,8	93,3
2 a 10	5487,2	87,2	90,0	81,8	98,4	41,8	60,5	99,2
> 12	805,2	12,8	20,1	18,2	97,5	27,3	39,5	96,6
Total	6292,4	100,0	110,1	100,0	98,3	69,1	100,0	98,9

Tabela A61 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 66 h / ensaio I

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-18,9	-2,9	-2,1	-2
Cor Aparente (uH)	108	-	10	7
Cor Verdadeira (uH)	27	-	10	7
COD (mgC/L)	0,639	-	0,356	0,125
Absorvância	0,035	-	0,002	0,001
Coliformes Totais (NMP/100ml)	-	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 66 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	2945,6	34,4	217,6	81,1	92,6	19,2	34,0	99,3
4 a 6	2120,8	24,7	17	6,3	99,2	10,8	19,1	99,5
6 a 8	1183,9	13,8	6,333	2,4	99,5	4,6	8,2	99,6
8 a 10	795,6	9,3	3,4	1,3	99,6	3,4	6,0	99,6
10 a 12	475,73	5,5	3,267	1,2	99,3	3	5,3	99,4
12 a 16	462,67	5,4	5,533	2,1	98,8	4,8	8,5	99,0
16 a 24	392,27	4,6	6,933	2,6	98,2	5,667	10,0	98,6
> 24	196,53	2,3	8,267	3,1	95,8	4,933	8,7	97,5
2 a 10	7521,6	87,7	247,6	92,3	96,7	41,0	72,7	99,5
> 12	1051,5	12,3	20,7	7,7	98,0	15,4	27,3	98,5
Total	8573,1	100,0	268,3	100,0	96,9	56,4	100,0	99,3

Tabela A62 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 78 h / ensaio I

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-16,6	-2,2	-1,9	-0,94
Cor Aparente (uH)	97	-	14	3
Cor Verdadeira (uH)	19	-	14	3
COD (mgC/L)	-	-	-	-
Absorvância	-	-	-	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	6867	-	69,1	72,1
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	233	-	1	0

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 78 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	3064,8	41,8	3440,5	30,5	-12,3	129,07	64,4	95,8
4 a 6	1927,2	26,3	4089,7	36,3	-112,2	24,4	12,2	98,7
6 a 8	913,6	12,5	2787,9	24,7	-205,2	10,067	5,0	98,9
8 a 10	556	7,6	851,27	7,6	-53,1	5,733	2,9	99,0
10 a 12	299,07	4,1	89,933	0,8	69,9	6,267	3,1	97,9
12 a 16	264,8	3,6	8,933	0,1	96,6	10,667	5,3	96,0
16 a 24	214,6	2,9	5	0,0	97,7	7,533	3,8	96,5
> 24	90,733	1,2	1,667	0,0	98,2	6,6	3,3	92,7
2 a 10	6760,7	92,2	11259,3	99,9	-66,5	175,5	87,6	97,4
> 12	570,1	7,8	15,6	0,1	97,3	24,8	12,4	95,7
Total	7330,8	100,0	11274,9	100,0	-53,8	200,3	100,0	97,3

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: I

Taxa de filtração FAP ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 60Taxa de filtração FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 100

T.O. (h)	Turbidez (uT)			FAP										P4máx1= 93,9				FRD				P4máx2= 222,4			
	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1						
0,17	11,69	0,601	0,224	43,6	45	1,4	45,4	1,8	45,5	1,9	45,5	1,9													
0,33		1,146	0,361	43,6	45,1	1,5	45,5	1,9	45,6	2,0	45,6	2,0	12,1	22	9,9	32,8	20,7	41	28,9						
0,50		0,671	0,234	43,7	45,1	1,4	45,6	1,9	45,7	2,0	45,7	2,0	11,9	20,5	8,6	30	18,1	37,4	25,5						
0,67		0,751	0,169	43,7	45,3	1,6	45,8	2,1	45,9	2,2	45,9	2,2	12	20,3	8,3	29,5	17,5	37,4	25,4						
1,0				43,7	45,4	1,7	46	2,3	46,1	2,4	46,1	2,4	12	20,7	8,7	30,3	18,3	40	28,0						
2,0	11,3	1,938	0,042	43,7	45,7	2,0	46,4	2,7	46,5	2,8	46,5	2,8	12	20,5	8,5	30,1	18,1	43,3	31,3						
3,0	11,18	1,838	0,038	43,7	45,9	2,2	46,7	3,0	46,8	3,1	46,8	3,1	11,9	20,2	8,3	29,6	17,7	46,5	34,6						
4,0	10,96	2,224	0,038	43,7	46,1	2,4	47	3,3	47,1	3,4	47,2	3,5	11,9	20,3	8,4	30	18,1	52	40,1						
5,0	10,96	1,990	0,035	43,8	46,3	2,5	47,4	3,6	47,1	3,3	47,5	3,7	11,9	20,1	8,2	29,5	17,6	57,4	45,5						
6,0	10,71	1,721	0,034	43,8	46,5	2,7	47,7	3,9	47,9	4,1	48	4,2	11,9	20,3	8,4	29,8	17,9	62,6	50,7						
7,0	10,66	1,449	0,033	43,8	46,7	2,9	48,1	4,3	48,2	4,4	48,2	4,4	11,9	20,1	8,2	29,4	17,5	67	55,1						
8,0	10,52	1,435	0,032	43,8	46,9	3,1	48,5	4,7	48,6	4,8	48,7	4,9	11,9	20,5	8,6	30,3	18,4	72,4	60,5						
9,0	10,4	1,406	0,031	43,8	47,3	3,5	48,9	5,1	49	5,2	49,1	5,3	11,9	20,2	8,3	29,8	17,9	76,9	65,0						
10,0		1,216	0,031	43,8	47,3	3,5	49,2	5,4	49,3	5,5	49,4	5,6	11,7	20,2	8,5	29,8	18,1	80,6	68,9						
11,0	10,31	1,260	0,031	43,8	47,6	3,8	49,9	6,1	50	6,2	50	6,2	11,8	20,7	8,9	30,7	18,9	86,4	74,6						
12,0	10,2	1,025	0,031	43,9	47,8	3,9	50,3	6,4	50,4	6,5	50,5	6,6	11,8	20,3	8,5	30	18,2	89	77,2						
13,0	10,12	0,963	0,031	44,1	48,5	4,4	51,2	7,1	51,3	7,2	51,4	7,3	11,8	21,1	9,3	31,5	19,7	95,9	84,1						
14,0	10,21	0,770	0,031	44	48,6	4,6	51,4	7,4	51,6	7,6	51,7	7,7	11,8	20,6	8,8	30,5	18,7	96,2	84,4						
15,0	12,59	0,415	0,031	44	48,6	4,6	51,6	7,6	51,8	7,8	51,9	7,9	11,8	20,2	8,4	29,8	18,0	96	84,2						
16,0	12,81	0,820	0,034	44,1	49,1	5,0	52,4	8,3	52,6	8,5	52,8	8,7	11,8	20	8,2	29,5	17,5	97	85,2						
17,0	12,3	1,235	0,034	44,1	49,4	5,3	53,2	9,1	53,5	9,4	53,6	9,5	11,8	19,7	7,9	28,8	17,0	106	94,2						
18,0	12,1	1,347	0,034	44,1	49,9	5,8	53,3	9,2	53,9	9,8	53,7	9,6	11,8	19,8	8,0	29	17,2	105,6	93,8						
19,0	11,86	1,201	0,034	44,1	50	5,9	54,1	10,0	54,4	10,3	54,3	10,2	11,7	19,1	7,4	27,6	15,9	111,2	99,5						
20,0	11,98	1,226	0,033	44,1	50,7	6,6	55,1	11,0	54,4	10,3	54,4	10,3	11,7	19,9	8,2	28	16,3	119,8	108,1						
21,0	11,83	1,346	0,033	44,1	50,8	6,7	55,5	11,4	56	11,9	56,1	12,0	11,7	19,9	8,2	29,2	17,5	127	115,3						
21,417		2,50																							
22,0	11,53	1,406	0,032	44,1	51,1	7,0	56,1	12,0	56,5	12,4	56,6	12,5	11,7	19,6	7,9	28,6	16,9	131,2	119,5						
23,0	11,43	1,527	0,033	44	51,8	7,8	56,8	12,8	57,2	13,2	57,3	13,3	11,7	20	8,3	29,4	17,7	140,2	128,5						
24,0	11,23	1,528	0,033	44	51,8	7,8	57,2	13,2	57,6	13,6	57,7	13,7	11,7	19,8	8,1	29	17,3	141,6	132,9						
25,0	11,07	0,921	0,033	44	52,2	8,2	57,7	13,7	58,1	14,1	58,1	14,1	11,7	19,8	8,1	28,8	17,1	148,5	136,8						
26,0	10,88	1,051	0,033	44	52,3	8,3	58,1	14,1	58,5	14,5	58,6	14,6	11,7	19,9	8,2	29	17,3	153,1	141,4						
27,0	10,74	1,061	0,033	44	52,7	8,7	58,7	14,7	59,2	15,2	59,3	15,3	11,7	20,1	8,4	29,7	18,0	160,3	148,6						
28,0	10,55	0,996	0,034	44	53	9,0	59,2	15,2	59,6	15,6	59,7	15,7	11,7	20,2	8,5	30	18,3	164,8	153,1						
29,0	10,47	0,968	0,033	44	53,2	9,2	59,9	15,9	60,2	16,2	60,3	16,3	11,7	20,1	8,4	29,2	17,5	167,5	155,8						
30,0	10,36	0,877	0,033	44	53,6	9,6	60,5	16,5	60,9	16,9	61	17,0	11,7	20,3	8,6	30,1	18,4	175,2	163,5						
31,0	10,22	0,892	0,034	44	54,9	10,9	62	18,0	62,6	18,6	62,6	18,6	11,7	21,8	10,1	33,1	21,4	187,7	176,0						
32,0	10,14	0,896	0,034	44	55	11,0	62	18,0	62,9	18,9	62,9	18,9	11,7	21,2	9,5	32,1	20,4	188,2	176,5						
33,0		0,883	0,034	44	55,3	11,3	62,4	18,4	63	19,0	63,1	19,1	11,7	21,2	9,5	32,9	21,2	190,1	178,4						
34,0	10,1	0,760	0,033	44	55,3	11,3	63	19,0	64,5	20,5	64,6	20,6	11,7	21,5	9,8	30,2	18,5	191,4	179,7						
35,0	9,93	0,588	0,033	44	55,6	11,6	63,5	19,5	63,9	19,9	64	20,0	11,7	20,7	9,0	30,8	19,1	192,3	180,6						
35,133		2,50																							
36,0	9,843	0,494	0,032	44	55,9	11,9	63,7	19,7	64,2	20,2	64,3	20,3	11,7	20,2	8,5	30	18,3	193,5	181,8						
37,0	9,774	0,586	0,033	44	56,7	12,7	64,3	20,3	64,8	20,8	64,9	20,9	11,7	19,8	8,1	29,2	17,5	193,4	181,7						
38,0	9,643	0,614	0,031	44	57,1	13,1	65	21,0	65,6	21,6	65,7	21,7	11,7	20	8,3	29,5	17,8	200	188,3						
39,0	9,587	0,486	0,028	44	57,5	13,5	65,7	21,7	66,4	22,4	66,5	22,5	11,7	20	8,3	29,6	17,9	202,3	190,6						
40,0	12,23	0,466	0,025	44	58,6	14,6	67,3	23,3	68	24,0	68,1	24,1	11,7	21,2	9,5	32	20,3	214,4	202,7						
41,0		0,708	0,024	44	58,4	14,4	67	23,0	67,8	23,8	67,8	23,8	11,7	19,8	8,1	29	17,3	198,3	186,6						
42,0	15,02	0,581	0,023	44	58,7	14,7	67,7	23,7	68,5	24,5	68,6	24,6	11,7	19,4	7,7	28,1	16,4	204,8	193,1						
43,0		0,346	0,024	44	59,3	15,3	68,4	24,4	69,2	25,2	69,3	25,3	11,7	19,7	8,0	28,9	17,2	210,5	198,8						
43,167		2,50																							
44,0	13,23	0,570	0,024	44	59,9	15,9	68,9	24,9	69,8	25,8	69,9	25,9	11,7	19,5	7,8	27,4	15,7	211,1	199,4						
45,0		0,392	0,024	44	60,4	16,4	69,4	25,4	70,3	26,3	70,4	26,4	11,7	19,6	7,9	28,7	17,0	214,1	202,4						
46,0	12,6	0,590	0,028	44	61	17,0	70,2	26,2	71,1	27,1	71,1	27,1	11,7	19,5	7,8	28,4	16,7	215,6	203,9						
46,9	12,49	0,777	0,025	44	61	17,0	70,9	26,9	71,7	27,7	71,8	27,8	11,7	19,5	7,8	27,4	15,7	221,7	210,0						
47,0		0,781		44	61,1	17,1	71,1	27,1	71,9	27,9	72,1	28,1													
47,50	12,34	1,45	1,40																						
47,58	12,34	1,020	0,432																						
47,67		0,751	0,153																						
47,83		0,730	0,084																						
48,0	12,4	0,721	0,071	44	62,8	18,8	73,2	29,2	74,1	30,1	74,2	30,2	12	22,1	10,1	30,2	18,2	39,9	27,9						
49,0	12,32	0,768	0,055	44	62,2	18,2	72,5	28,5	73,7	29,7	73,5	29,5	11,9	21,2	9,3	29	17,1	39	27,1						
50,0	12,03	0,475	0,056	44	52,6	8,6	64,5	20,5	65,3	21,3	65,3	21,3	11,7	21,4	9,7	29,3	17,6	41	29,3						

Planilha A 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio I

(Continuação)

Sistema FAP - FRD

Ensaio N° : I

Taxa de filtração FAP ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$) =

60

Taxa de filtração FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$) =

100

T.O. (h)	Turbidez (uT)			FAP										P4máx1= 93,9				FRD				P4máx2= 222,4			
	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1						
49,0	12,32	0,768	0,055	44	62,2	18,2	72,5	28,5	73,7	29,7	73,5	29,5	11,9	21,2	9,3	29	17,1	39	27,1						
50,0	12,03	0,475	0,056	44	52,6	8,6	64,5	20,5	65,3	21,3	65,3	21,3	11,7	21,4	9,7	29,3	17,6	41	29,3						
50,33		2,60																							
50,67			0,253																						
51,0	11,73	1,41	0,117	44	60,1	16,1	67,9	23,9	68,9	24,9	68,9	24,9	11,7	21,4	9,7	29,2	17,5	44,7	33,0						
52,0	11,58	1,064	0,051	44	62	18,0	71,7	27,7	72,8	28,8	72,8	28,8	11,7	20,5	8,8	27,8	16,1	44,6	32,9						
53,0	11,43	0,779	0,035	44	62,6	18,6	73,4	29,4	74,8	30,8	74,8	30,8	11,7	20,8	9,1	28,4	16,7	48,6	36,9						
54,0		0,787	0,034	44	64,8	20,8	76,4	32,4	77,5	33,5	77,5	33,5	11,7	22	10,3	30,5	18,8	53,5	41,8						
55,0	11,2	0,781	0,034	44	65	21,0	77,1	33,1	78,3	34,3	79,3	35,3	11,7	21,7	10,0	30,4	18,7	55	43,3						
56,0	11,19	0,729	0,034	44	66,6	22,6	78,8	34,8	79,9	35,9	80	36,0	11,7	22,6	10,9	31,9	20,2	61	49,3						
57,0	11,04	0,677	0,032	44	66	22,0	78,7	34,7	79,9	35,9	79,9	35,9	11,7	21,5	9,8	29,5	17,8	59	47,3						
58,0		0,517	0,031	44	66,5	22,5	79,3	35,3	80,4	36,4	80,4	36,4													
59,0	10,87	0,374	0,030	44	66,5	22,5	79,4	35,4	80,5	36,5	80,5	36,5	11,7	20,6	8,9	28,1	16,4	58,9	47,2						
60,0		0,426	0,026	44	68	24,0	81,1	37,1	82,4	38,4	82,4	38,4	11,7	21,7	10,0	30	18,3	64	52,3						
61,0	10,7	0,436	0,025	44	67,8	23,8	81	37,0	82,2	38,2	82,2	38,2	11,7	21,2	9,5	29,2	17,5	63,5	51,8						
62,0	13,65	0,305	0,028	44	67,8	23,8	81	37,0	82,1	38,1	82,2	38,2	11,7	20,4	8,7	27,7	16,0	61,2	49,5						
63,0	13,4	0,417	0,026	44	68,7	24,7	82,4	38,4	83,7	39,7	83,8	39,8	11,7	21,1	9,4	29	17,3	65,5	53,8						
63,25		0,515	0,28																						
63,50		1,74	0,111																						
64,0		1,061	0,065	44	70	26,0	84,5	40,5	85,8	41,8	86	42,0	11,7	20	8,3	27,1	15,4	66,7	55,0						
65,0	13,3	0,487	0,026	44	70,5	26,5	85	41,0	86,5	42,5	86,5	42,5	11,7	20	8,3	27	15,3	68,2	56,5						
66,0		0,385	0,026	44	70,1	26,1	85	41,0	86,5	42,5	86,5	42,5	11,7	20,1	8,4	27,2	15,5	70,7	59,0						
67,0	13,1	0,441	0,025	44	71,7	27,7	87,1	43,1	88,7	44,7	88,7	44,7	11,7	21	9,3	28,7	17,0	74,7	63,0						
68,0	12,76	0,480	0,023	44	71,9	27,9	87,6	43,6	89	45,0	89,2	45,2	11,7	20,6	8,9	28	16,3	75,1	63,4						
69,0	12,02	0,509	0,023	44,1	72,5	28,4	88,3	44,2	89,6	45,5	89,9	45,8	11,7	20,6	8,9	28	16,3	76,5	64,8						
70,0	11,89	0,597	0,024	44	72,8	28,8	89	45,0	90,4	46,4	90,6	46,6	11,7	20,5	8,8	27,8	16,1	78,4	66,7						
71,0	11,45	1,065	0,028	44	74,6	30,6	91,1	47,1	92,7	48,7	92,7	48,7	11,7	21,7	10,0	30	18,3	88,4	76,7						
72,0	11,25	1,225	0,030	44	75,3	31,3	92,3	48,3	93,7	49,7	94	50,0	11,7	22,9	18,2	32,3	20,6	97,2	85,5						
73,0	11,11	1,270	0,031	44	78,9	34,9	95,1	51,1	96,3	52,3	96,4	52,4	11,7	22,4	10,7	31,5	19,8	99,2	87,5						
73,42		2,15																							
73,50			0,10																						
74,0	10,93	0,557	0,049	44	76,8	32,8	95,2	51,2	96,9	52,9	97,1	53,1	11,7	23,4	11,7	33,3	21,6	107,7	96,0						
75,0	10,72	0,849	0,029	44	78	34,0	97,3	53,3	98,3	54,3	98,3	54,3	11,7	23,7	12,0	33,6	21,9	115,7	104,0						
76,0	10,53	0,975	0,030	44	78	34,0	97,3	53,3	98,8	54,8	99	55,0	11,7	22,5	10,8	31,6	19,9	112	100,3						
78,0	10,45	0,777	0,032	44	77	33,0	95,9	51,9	97,2	53,2	97	53,0	11,7	20,3	8,6	27,7	16,0	106	94,3						
79,0	10,42	0,726	0,024	44	79	35,0	98,3	54,3	100	56,0	100	56,0	11,7	21,3	9,6	29,5	17,8	113	101,3						
80,0	10,29	0,695	0,030	44	79,3	35,3	99	55,0	100,5	56,5	100,6	56,6	11,7	21	9,3	28,9	17,2	114,8	103,1						
80,0	10,21	0,604	0,029	44	79,3	35,3	99,4	55,4	100,8	56,8	101	57,0	11,7	20,6	8,9	28,3	16,6	117	105,3						
81,0		0,586	0,029	44	80,2	36,2	100	56,0	101,7	57,7	102	58,0	11,7	20,5	8,8	28,1	16,4	117,3	105,6						
82,0	10,15	0,491	0,027	44	80,2	36,2	100,3	56,3	101,9	57,9	102,3	58,3	11,7	20,2	8,5	27,4	15,7	116,5	104,8						
82,4	10,15	0,576	0,028	44	81,4	37,4	102	58,0	103,8	59,8	104	60,0	11,7	21,2	9,5	29,5	17,8	126	114,3						
MÍNIMO	9,6	0,305	0,023	43,6	45,0	1,4	45,4	1,8	45,5	1,9	45,5	1,9	11,7	19,1	7,4	27,0	15,3	37,4	25,4						
MÁXIMO	15,0	2,600	1,400	44,1	81,4	37,4	102,0	58,0	103,8	59,8	104,0	60,0	12,1	29,9	18,2	33,6	21,9	221,7	210,0						

Planilha A 2 – (Continuação) Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio I

Figura A 79 -Variação da distribuição de partículas na água bruta e efluentes do FAP e FRD em função do tempo / ensaio I

ANEXO B : ENSAIO II

Tabela B 1 - Cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, pH, alcalinidade, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 6 h / ensaio II								
Parâmetros			Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD		
Cor Aparente (uH)			125,0	119,0	3,0	2,0		
Cor Verdadeira (uH)			58,0	1,0	-	<1		
COD (mgC/L)			2,134	2,048	2,140	1,895		
Absorvância			-	0,058	0,012	0,010		
pH			7,01	6,43	6,4	6,42		
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)			9,87	-	6,51	6,1		
Distribuição de partículas / Tempo de operação = 6 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	5161,7	41,5	66,867	23,9	98,7	128,73	17,4	97,5
4 a 6	3232,8	26,0	47,133	16,8	98,5	236,73	32,1	92,7
6 a 8	1599,3	12,9	47,867	17,1	97,0	304,33	41,2	81,0
8 a 10	952	7,7	39,467	14,1	95,9	42,067	5,7	95,6
10 a 12	508,07	4,1	12,467	4,5	97,5	3,8	0,5	99,3
12 a 16	474,73	3,8	8,133	2,9	98,3	3,267	0,4	99,3
16 a 24	357,87	2,9	14,733	5,3	95,9	6,067	0,8	98,3
> 24	143,87	1,2	43,067	15,4	70,1	13,333	1,8	90,7
2 a 10	10945,8	88,1	201,3	72,0	98,2	711,9	96,4	93,5
> 12	976,5	7,9	65,9	23,6	93,2	22,7	3,1	97,7
Total	12430,3	100,0	279,7	100,0	97,7	738,3	100,0	94,1

Tabela B 2 - Distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 12 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	5161,7	41,5	66,867	23,9	98,7	128,73	17,4	97,5
4 a 6	3232,8	26,0	47,133	16,8	98,5	236,73	32,1	92,7
6 a 8	1599,3	12,9	47,867	17,1	97,0	304,33	41,2	81,0
8 a 10	952	7,7	39,467	14,1	95,9	42,067	5,7	95,6
10 a 12	508,07	4,1	12,467	4,5	97,5	3,8	0,5	99,3
12 a 16	474,73	3,8	8,133	2,9	98,3	3,267	0,4	99,3
16 a 24	357,87	2,9	14,733	5,3	95,9	6,067	0,8	98,3
> 24	143,87	1,2	43,067	15,4	70,1	13,333	1,8	90,7
2 a 10	10945,8	88,1	201,3	72,0	98,2	711,9	96,4	93,5
> 12	976,5	7,9	65,9	23,6	93,2	22,7	3,1	97,7
Total	12430,3	100,0	279,7	100,0	97,7	738,3	100,0	94,1

Tabela B 3 - Distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 18 h

Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4456,1	40,5	21,333	43,0	99,5	6,533	21,4	99,9
4 a 6	2648,1	24,1	8,4	16,9	99,7	3,867	12,7	99,9
6 a 8	1289	11,7	3,067	6,2	99,8	1,933	6,3	99,9
8 a 10	796,8	7,2	1,733	3,5	99,8	1	3,3	99,9
10 a 12	463,73	4,2	1,467	3,0	99,7	0,6	2,0	99,9
12 a 16	506,53	4,6	2,333	4,7	99,5	0,8	2,6	99,8
16 a 24	538,13	4,9	3,267	6,6	99,4	3,2	10,5	99,4
> 24	304,27	2,8	8,067	16,2	97,3	12,533	41,1	95,9
2 a 10	9190,0	83,5	34,5	69,5	99,6	13,3	43,8	99,9
> 12	1348,9	12,3	13,7	27,5	99,0	16,5	54,3	98,8
Total	11002,7	100,0	49,7	100,0	99,5	30,5	100,0	99,7

Tabela B 4 - Distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 24 h

Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4432,7	43,6	749,87	45,5	83,1	29,733	22,5	99,3
4 a 6	2559,2	25,2	426,6	25,9	83,3	14,133	10,7	99,4
6 a 8	1196,7	11,8	195,53	11,9	83,7	5,933	4,5	99,5
8 a 10	681,07	6,7	112,07	6,8	83,5	4,933	3,7	99,3
10 a 12	377,93	3,7	54,467	3,3	85,6	3,333	2,5	99,1
12 a 16	363,07	3,6	46,267	2,8	87,3	4,867	3,7	98,7
16 a 24	357,93	3,5	38,2	2,3	89,3	13,6	10,3	96,2
> 24	197,67	1,9	24,8	1,5	87,5	55,467	42,0	71,9
2 a 10	8869,7	87,2	1484,1	90,1	83,3	54,7	41,5	99,4
> 12	918,7	9,0	109,3	6,6	88,1	73,9	56,0	92,0
Total	10166,3	100,0	1647,8	100,0	83,8	132,0	100,0	98,7

Tabela B 5 - Distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 30 h

Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4792,1	46,3	1838,3	41,4	61,6	8,333	18,9	99,8
4 a 6	2607,4	25,2	1146,1	25,8	56,0	5	11,3	99,8
6 a 8	1098,3	10,6	611,47	13,8	44,3	2,8	6,3	99,7
8 a 10	622,67	6,0	368,53	8,3	40,8	1,4	3,2	99,8
10 a 12	334,8	3,2	191,67	4,3	42,8	1,867	4,2	99,4
12 a 16	350,93	3,4	150,4	3,4	57,1	1,8	4,1	99,5
16 a 24	345,27	3,3	98,2	2,2	71,6	6,467	14,6	98,1
> 24	200,2	1,9	35,933	0,8	82,1	16,533	37,4	91,7
2 a 10	9120,5	88,1	3964,4	89,3	56,5	17,5	39,7	99,8
> 12	896,4	8,7	284,5	6,4	68,3	24,8	56,1	97,2
Total	10351,7	100,0	4440,6	100,0	57,1	44,2	100,0	99,6

Tabela B 6 - Cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, pH, alcalinidade, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 36 h / ensaio II

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Cor Aparente (uH)	133,0	131,0	28,0	3,0
Cor Verdadeira (uH)	48,0	3,0	<1	<1
COD (mgC/L)	1,099	2,460	1,099	2,888
Absorvância	0,01	0,063	0,017	0,013
pH	7,02	6,66	6,48	6,62
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	9,17	-	6,65	6,18

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 36 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4940,4	41,7	2175,7	40,9	56,0	8,4	17,5	99,8
4 a 6	2890,7	24,4	1358,1	25,5	53,0	4,4	9,2	99,8
6 a 8	1347,9	11,4	723	13,6	46,4	1,733	3,6	99,9
8 a 10	800,93	6,8	448	8,4	44,1	1,333	2,8	99,8
10 a 12	458,47	3,9	227,67	4,3	50,3	1,733	3,6	99,6
12 a 16	498,73	4,2	197,27	3,7	60,4	1,933	4,0	99,6
16 a 24	550,53	4,6	149,4	2,8	72,9	5,867	12,2	98,9
> 24	366,27	3,1	41,267	0,8	88,7	22,667	47,2	93,8
2 a 10	9979,9	84,2	4704,8	88,4	52,9	15,9	33,0	99,8
> 12	1415,5	11,9	387,9	7,3	72,6	30,5	63,4	97,8
Total	11853,9	100,0	5320,4	100,0	55,1	48,1	100,0	99,6

Tabela B 7 - Cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, pH, alcalinidade, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 42 h / ensaio II

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Cor Aparente (uH)	133,0	150,0	29,0	2,0
Cor Verdadeira (uH)	44,0	1,0	<1	<1
COD (mgC/L)	2,698	1,868	2,461	2,405
Absorvância	0,013	0,078	0,018	0,019
pH	6,97	6,68	-	-
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	-	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 42 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4940,4	4934,9	40,8	72,6	34,9	98,5	36,267	29,5
4 a 6	2890,7	3076,2	25,4	32,933	15,9	98,9	26,4	21,5
6 a 8	1347,9	1502,1	12,4	17,2	8,3	98,9	12	9,8
8 a 10	800,93	881,4	7,3	10,267	4,9	98,8	6,8	5,5
10 a 12	458,47	481,8	4,0	6,333	3,0	98,7	5,333	4,3
12 a 16	498,73	484,6	4,0	8,133	3,9	98,3	4,4	3,6
16 a 24	550,53	465,67	3,8	18,4	8,9	96,0	9,133	7,4
> 24	366,27	272,4	2,3	41,867	20,2	84,6	22,533	18,3
2 a 10	9979,9	10394,6	85,9	133,0	64,0	98,7	81,5	66,3
> 12	1415,5	1222,7	10,1	68,4	32,9	94,4	36,1	29,4
Total	11853,9	12099,1	100,0	207,7	100,0	98,3	122,9	100,0

Figura B 1 - Variação da distribuição de partículas na água bruta e efluentes do FAP e FRD em função do tempo / ensaio II

Sistema FAP - FRD

Ensaio N° : II

Taxa de filtração FAP (m³/m².d)= 120Taxa de filtração FRD (m³/m².d)= 120

T.O.	Turbidez (uT)			FAP										P4máx1= 104,0				FRD		P4máx2= 222,2					
(h)	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1						
0,0																									
0,2	13,52	1,6	0,140	44,0	45,9	1,9	46,6	2,6	46,7	2,7	46,8	2,8													
0,3		1,245	0,123	44,0	46,4	2,4	47,1	3,1	47,2	3,2	47,3	3,3													
0,5		1,455	0,116																						
0,8		1,214	0,078	44,0	46,7	2,7	47,5	3,5	47,6	3,6	47,7	3,7	12,2	24,8	12,6	35,0	22,8	48,3	36,1						
1,0	13,28	1,011	0,070	44,2	46,9	2,7	48,0	3,8	48,0	3,8	48,0	3,8	12,2	25,3	13,1	36,1	23,9	50,7	38,5						
2,0	13,00	0,690	0,036	44,1	47,2	3,1	48,7	4,6	48,8	4,7	48,9	4,8	12,1	25,0	12,9	35,7	23,6	52,4	40,3						
3,0	12,83	0,615	0,035	43,6	47,5	3,9	49,4	5,8	49,6	6,0	49,7	6,1	12,1	24,8	12,7	35,3	23,2	53,5	41,4						
4,0	12,70	0,534	0,034	44,1	47,9	3,8	50,1	6,0	50,3	6,2	50,4	6,3	12,1	24,4	12,3	34,6	22,5	53,9	41,8						
5,0	12,51	0,444	0,033																						
6,0	12,36	0,410	0,033	44,2	48,8	4,6	51,8	7,6	52,2	8,0	52,3	8,1	12,0	23,8	11,8	36,6	24,6	55,1	43,1						
7,0	12,26	0,393	0,032	44,2	48,3	4,1	52,5	8,3	52,8	8,6	52,9	8,7	12,0	24,2	12,2	34,2	22,2	56,8	44,8						
8,0		0,341	0,030	44,1	49,9	5,8	53,5	9,4	53,8	9,7	53,9	9,8	12,0	23,9	11,9	33,7	21,7	57,2	45,2						
9,0	11,99	0,294	0,031	44,2	50,2	6,0	54,1	9,9	54,5	10,3	54,6	10,4	12,0	23,5	11,5	33,1	21,1	55,7	43,7						
10,0	11,81	0,261	0,029	44,2	51,0	6,8	55,5	11,3	55,9	11,7	56,0	11,8	12,0	23,4	11,4	32,9	20,9	57,7	45,7						
11,0	16,24	0,253	0,030	44,2	51,4	7,2	56,3	12,1	56,7	12,5	56,9	12,7	12,0	22,6	10,6	31,5	19,5	55,6	43,6						
12,0	18,50	0,333	0,029	44,2	52,0	7,8	57,4	13,2	57,8	13,6	57,9	13,7	11,9	22,4	10,5	31,2	19,3	56,2	44,3						
13,0	15,03	0,369	0,037	44,2	53,0	8,8	58,9	14,7	59,4	15,2	59,5	15,3	11,9	22,3	10,4	30,8	18,9	57,4	45,5						
14,0	15,94	0,403	0,029	44,2	53,9	9,7	60,3	16,1	60,8	16,6	61,0	16,8	11,9	23,1	11,2	32,1	20,2	61,2	49,3						
15,0	15,11	0,428	0,028	44,2	54,5	10,3	61,3	17,1	61,8	17,6	62,0	17,8	11,9	23,1	11,2	32,2	20,3	62,2	50,3						
16,0	14,70	0,415	0,026	44,2	55,3	11,1	62,6	18,4	63,1	18,9	63,4	19,2	11,9	22,8	10,9	31,8	19,9	62,6	50,7						
17,0	14,32	0,466	0,027	44,2	56,3	12,1	64,1	19,9	64,6	20,4	64,8	20,6	11,9	22,5	10,6	31,3	19,4	63,5	51,6						
18,0	14,50	0,623	0,030	44,2	58,0	13,8	66,3	22,1	67,0	22,8	67,3	23,1	12,0	25,0	13,0	35,6	23,6	74,0	62,0						
19,0	13,87	0,579	0,036	44,2	59,3	15,1	68,2	24,0	68,8	24,6	69,0	24,8	12,0	24,8	12,8	35,4	23,4	76,5	64,5						
20,0	13,80	0,606	0,032	44,2	60,3	16,1	69,2	25,0	70,2	26,0	70,5	26,3	12,0	24,5	12,5	34,9	22,9	77,4	65,4						
21,0	13,48	0,641	0,031	44,2	61,3	17,1	71,0	26,8	71,7	27,5	71,9	27,7	12,0	23,8	11,8	33,7	21,7	77,1	65,1						
22,0	13,28	0,724	0,034	44,2	62,0	17,8	72,0	27,8	72,8	28,6	73,0	28,8	11,9	23,5	11,6	33,0	21,1	77,1	65,2						
23,0	12,99	0,820	0,034	44,2	62,7	18,5	73,3	29,1	74,2	30,0	74,3	30,1	11,9	22,8	10,9	32,9	21,0	76,5	64,6						
24,0		1,011	0,038	44,2	63,5	19,3	74,3	30,1	75,2	31,0	75,4	31,2	11,9	22,8	10,9	31,8	19,9	77,9	66,0						
25,0	12,54	1,596	0,037	44,2	64,8	20,6	76,2	32,0	77,0	32,8	77,2	33,0	11,9	23,1	11,2	32,4	20,5	80,8	68,9						
26,0	12,46	1,958	0,031	44,2	65,7	21,5	77,6	33,4	78,5	34,3	78,7	34,5	11,9	23,4	11,5	32,8	20,9	84,3	72,4						
27,0	12,29	2,458	0,032	44,2	66,8	22,6	79,0	34,8	79,9	35,7	80,1	35,9	11,9	24,1	12,2	34,1	22,2	90,1	78,2						
28,0	12,12	2,433	0,033	44,2	67,3	23,1	79,8	35,6	80,6	36,4	80,9	36,7	11,9	23,9	12,0	33,8	21,9	91,0	79,1						
29,0	12,05	2,741	0,033	44,2	68,4	24,2	81,4	37,2	82,3	38,1	82,4	38,2	11,9	23,6	11,7	33,3	21,4	93,7	81,8						
30,0	11,86	2,499	0,034	44,2	68,9	24,7	82,0	37,8	83,0	38,8	83,2	39,0	11,9	23,3	11,4	32,8	20,9	96,0	84,1						
31,0	11,75	2,689	0,034	44,2	69,7	25,5	83,0	38,8	84,0	39,8	84,2	40,0	11,9	23,1	11,2	32,5	20,6	97,0	85,1						
32,0		3,250	0,033	44,2	70,1	25,9	83,8	39,6	84,8	40,6	85,0	40,8	11,9	23,4	11,5	32,9	21,0	102,0	90,1						
33,0	11,56	3,511	0,030	44,2	71,1	26,9	85,4	41,2	86,5	42,3	86,7	42,5	11,9	22,7	10,8	31,8	19,9	102,4	90,5						
34,0	11,43	4,040	0,027	44,4	72,6	28,2	87,2	42,8	88,2	43,8	88,4	44,0	11,9	22,8	10,9	31,7	19,8	107,6	95,7						
35,0	14,69	3,536	0,027	44,3	73,3	29,0	88,4	44,1	89,5	45,2	89,8	45,5	11,9	24,0	12,1	33,9	22,0	119,2	107,3						
36,0	13,56	3,173	0,027	44,3	74,5	30,2	90,0	45,7	91,0	46,7	91,3	47,0	12,0	24,1	12,1	34,1	22,1	124,3	112,3						
37,0	13,59	3,500	0,027	44,3	75,4	31,1	91,2	46,9	92,4	48,1	92,6	48,3	12,0	23,7	11,7	33,5	21,5	127,3	115,3						
38,0	13,51	3,524	0,029	44,3	75,5	31,2	92,6	48,3	93,8	49,5	94,1	49,8	12,0	28,2	16,2	32,4	20,4	130,4	118,4						
39,0	13,04	3,424	0,027	44,3	77,4	33,1	93,8	49,5	95,0	50,7	95,3	51,0	12,0	22,3	10,3	31,0	19,0	133,2	121,2						
40,0	12,85	3,169	0,028	44,3	80,3	36,0	97,9	53,6	99,3	55,0	99,4	55,1													
40,7		7,843	0,029	44,3							103,1	58,8													
41,0	12,91	1,539	0,035	44,2	56,0	11,8	59,2	15,0	59,4	15,2	59,4	15,2	12,0	23,7	11,7	33,4	21,4	163,4	151,4						
42,0	12,53	1,391	0,029	44,3	57,5	13,2	60,5	16,2	61,8	17,5	61,8	17,5	12,0	23,2	11,2	32,4	20,4	168,5	156,5						
43,0	12,36	1,400	0,030	44,2	55,9	11,7	65,1	20,9	65,3	21,1	65,3	21,1	11,9	23,0	11,1	31,9	20,0	178,9	167,0						
44,0	12,20	1,578	0,034	44,2	61,9	17,7	67,9	23,7	68,2	24,0	68,2	24,0	11,9	22,8	10,9	31,8	19,9	189,3	177,4						
45,0	12,02	1,264	0,029	44,2	62,9	18,7	69,8	25,6	70,2	26,0	70,2	26,0	11,9	22,4	10,5	31,0	19,1	195,5	183,6						
46,0	11,88	0,914	0,029	44,2	64,0	19,8	71,4	27,2	71,8	27,6	71,8	27,6	11,9	22,2	10,3	30,8	18,9	203,3	191,4						
47,0	11,61	0,733	0,031	44,2	64,8	20,6	73,0	28,8	73,4	29,2	73,4	29,2	11,9	22,2	10,3	30,7	18,8	207,3	195,4						
48,0	11,49	0,616	0,030	44,2	65,1	20,9	74,0	29,8	74,3	30,1	74,3	30,1	11,9	22,3	10,4	30,8	18,9	213,1	201,2						
49,0	11,46	0,515	0,031	44,2	65,6	21,4	75,1	30,9	75,6	31,4	75,6	31,4	11,9	22,3	10,4	30,8	18,9	217,2	205,3						
50,0	11,29	0,510	0,031	44,2	66,9	22,7	77,3	33,1	77,3	33,1	77,9	33,7	11,9	23,2	11,3	32,2	20,3	224,4	212,5						
MÍNIMO	11,290	0,253	0,026	43,6	51,0	1,9	48,0	2,6	48,0	2,7	48,0	2,8	11,9	22,2	10,3	30,7	18,8	74,0	36,1						
MÁXIMO	18,500	7,843	0,140	44,4	80,3	36,0	97,9	53,6	99,3	55,0	103,1	58,8	12,0	28,2	16,2	35,0	24,6	224,4	212,5						

Planilha B 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio II

ANEXO C : ENSAIO III

Sistema FAP - FRD

Ensaio N° : III

Taxa de filtração FAP(m³/m².d)= 120Taxa de filtração FRD(m³/m².d)= 180

T.O. (h)	Turbidez (uT)			FAP										FRD				P4máx= 222,4			
	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1		
0,0	16,50	0,493	0,043	43,6	46,3	2,7	46,9	3,3	47,2	3,6	47,1	3,5	12,4	33,1	20,7	48,2	35,8	65,0	52,6		
1,0	16,45	0,432	0,046	43,8	46,8	3,0	47,9	4,1	48,3	4,5	48,3	4,5	12,4	33,8	21,4	49,4	37,0	68,0	55,6		
2,0	16,40	0,390	0,045	43,6	47,1	3,5	48,6	5,0	49,1	5,5	48,8	5,2	12,4	33,5	21,1	49,0	36,6	69,5	57,1		
3,0	16,10	0,325	0,044	43,6	47,7	4,1	49,8	6,2	50,1	6,5	50,1	6,5	12,4	33,5	21,1	49,0	36,6	70,0	57,6		
4,0	15,90	0,287	0,044	43,6	48,2	4,6	50,7	7,1	51,0	7,4	51,0	7,4	12,4	33,3	20,9	48,8	36,4	72,0	59,6		
5,0	15,80	0,264	0,044	43,6	48,7	5,1	51,5	7,9	52,0	8,4	52,0	8,4	12,4	33,3	20,9	48,8	36,4	73,0	60,6		
6,0	15,70	0,238	0,043	43,6	49,5	5,9	52,8	9,2	53,1	9,5	53,1	9,5	12,4	33,0	20,6	48,8	36,4	74,0	61,6		
7,0	15,60	0,225	0,044	43,9	50,0	6,1	53,5	9,6	54,0	10,1	54,0	10,1	12,4	33,0	20,6	48,0	35,6	74,7	62,3		
8,0	15,40	0,208	0,045	43,8	50,7	6,9	54,9	11,1	55,1	11,3	55,2	11,4	12,4	33,3	20,9	48,7	36,3	76,8	64,4		
9,0	15,30	0,201	0,043	43,8	51,7	7,9	56,3	12,5	56,6	12,8	56,6	12,8	12,4	33,5	21,1	49,1	36,7	78,3	65,9		
10,0	15,00	0,199	0,041	43,8	52,7	8,9	57,6	13,8	58,0	14,2	58,0	14,2	12,4	33,2	20,8	48,6	36,2	78,4	66,0		
11,0	14,70	0,410	0,038	43,8	53,5	9,7	58,8	15,0	59,3	15,5	59,3	15,5	12,4	33,0	20,6	48,2	35,8	78,4	66,0		
12,0	14,60	0,670	0,035	44,0	55,2	11,2	61,1	17,1	61,6	17,6	61,7	17,7	12,3	32,5	20,2	47,4	35,1	79,4	67,1		
13,0	14,30	1,045	0,034	44,0	56,0	12,0	62,4	18,4	62,9	18,9	63,1	19,1	12,3	32,6	20,3	47,5	35,2	82,3	70,0		
14,0	14,20	1,562	0,034	44,0	57,0	13,0	63,8	19,8	64,3	20,3	64,5	20,5	12,3	32,2	19,9	46,8	34,5	89,5	77,2		
15,0	15,60	2,000	0,033	44,0	58,1	14,1	65,4	21,4	66,0	22,0	66,1	22,1	12,3	32,2	19,9	46,8	34,5	89,5	77,2		
16,0	15,50	2,440	0,033	44,0	59,2	15,2	66,9	22,9	67,6	23,6	67,8	23,8	12,3	32,0	19,7	46,6	34,3	94,9	82,6		
17,0	15,70	2,516	0,032	44,0	59,8	15,8	68,0	24,0	68,6	24,6	68,8	24,8	12,3	32,0	19,7	46,6	34,3	97,2	84,9		
18,0	15,10	2,857	0,033	44,0	60,8	16,8	69,5	25,5	70,2	26,2	70,4	26,4	12,3	32,0	19,7	46,6	34,3	106,0	93,7		
19,0	14,40	3,255	0,033	44,0	62,0	18,0	71,3	27,3	71,9	27,9	72,1	28,1	12,3	31,6	19,3	45,9	33,6	115,0	102,7		
20,0	14,30	3,874	0,032	44,0	63,0	19,0	72,6	28,6	73,3	29,3	73,5	29,5	12,3	31,4	19,1	46,4	34,1	121,0	108,7		
21,0	14,30	3,660	0,033	44,0	63,8	19,8	73,5	29,5	74,3	30,3	74,5	30,5	12,3	32,2	19,9	46,7	34,4	127,6	115,3		
22,0	14,10	4,011	0,033	44,0	64,4	20,4	74,6	30,6	75,4	31,4	75,6	31,6	12,3	32,2	19,9	47,0	34,7	136,4	124,1		
23,0	13,90	4,544	0,033	44,0	65,7	21,7	76,5	32,5	77,3	33,3	77,6	33,6	12,3	33,6	21,3	49,2	36,9	155,8	143,5		
24,0	13,70		0,033	44,0	67,4	23,4	78,8	34,8	79,7	35,7	79,8	35,8	12,3	34,9	22,6	49,3	37,0	170,8	158,5		
25,0	13,40	4,587	0,033	44,0	68,0	24,0	79,6	35,6	80,5	36,5	80,6	36,6	12,3	32,5	20,2	49,3	37,0	175,0	162,7		
26,0	13,38	4,293	0,034	44,0	68,2	24,2	80,2	36,2	81,0	37,0	81,2	37,2	12,3	32,4	20,1	50,0	37,7	180,0	167,7		
27,0	13,37	4,678	0,034	44,0	68,8	24,8	80,8	36,8	81,7	37,7	81,9	37,9	12,3	32,2	19,9	50,7	38,4	188,3	176,0		
28,0	13,30	4,679	0,034	44,0	69,3	25,3	81,5	37,5	82,5	38,5	82,8	38,8	12,3	31,7	19,4	51,2	38,9	191,7	179,4		
29,0	13,20	4,630	0,034	44,0	69,7	25,7	82,2	38,2	83,3	39,3	83,5	39,5	12,2	31,4	19,2	51,9	39,7	201,4	189,2		
30,0	13,10	5,818	0,034	44,0	70,3	26,3	83,2	39,2	84,2	40,2	84,4	40,4	12,2	30,1	17,9	51,4	39,2	204,8	192,6		
31,0	12,80	5,116	0,031	44,0	71,3	27,3	84,5	40,5	85,5	41,5	85,7	41,7	12,1	30,5	18,4	53,5	41,4	219,0	206,9		
31,4		5,820	0,060										12,1					222,4	210,3		
32,0	12,60	6,400	0,062	44,0	73,4	29,4	86,8	42,8	87,8	43,8	88,1	44,1	12,4	34,8	22,4	50,6	38,2	71,4	59,0		
33,0	12,80	5,994	0,041	44,0	74,1	30,1	87,5	43,5	88,6	44,6	88,9	44,9	12,3	32,4	20,1	48,2	35,9	77,4	65,1		
34,0	12,80	5,660	0,038	44,0	74,5	30,5	88,2	44,2	89,3	45,3	89,6	45,6	12,3	32,4	20,1	47,9	35,6	90,2	77,9		
35,0	12,30	5,125	0,036	44,0	75,0	31,0	88,8	44,8	89,9	45,9	90,1	46,1	12,3	32,4	20,1	47,9	35,6	97,7	85,4		
36,0	15,80	5,461	0,036	44,0	75,8	31,8	90,0	46,0	90,9	46,9	91,3	47,3	12,3	31,5	19,2	46,6	34,3	108,9	96,6		
37,0	14,90	4,598	0,034	44,0	76,8	32,8	91,2	47,2	92,4	48,4	92,8	48,8	12,3	31,1	18,8	46,1	33,8	116,5	104,2		
38,0	14,10	4,138	0,033	44,0	77,4	33,4	92,3	48,3	93,5	49,5	93,9	49,9	12,3	30,8	18,5	45,9	33,6	126,2	113,9		
MÍNIMO	12,3	0,199	0,031	43,6	46,3	2,7	46,9	3,3	47,2	3,6	47,1	3,5	12,1	30,1	17,9	45,9	33,6	65,0	52,6		
MÁXIMO	16,5	6,400	0,062	44,0	77,4	33,4	92,3	48,3	93,5	49,5	93,9	49,9	12,4	34,9	22,6	53,5	41,4	222,4	210,3		

Planilha C 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio III

ANEXO D : ENSAIO IV

Tabela D 1 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 18 h / ensaio IV								
Parâmetros			Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD		
Potencial Zeta (mV)			-22,9	-5	-	-		
Cor Aparente (uH)			133	-	-	-		
Cor Verdadeira (uH)			65	-	-	-		
COD (mgC/L)			1,473	1,015	0,899	0,93		
Absorvância 254 nm			0,055	0,009	0,022	0,006		
Distribuição de partículas / Tempo de operação = 18 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4361,7	42,3	1456,3	45,3	66,6	21,333	24,9	99,5
4 a 6	2407,5	23,4	838,67	26,1	65,2	12,867	15,0	99,5
6 a 8	1073,5	10,4	387	12,0	63,9	5,667	6,6	99,5
8 a 10	685,73	6,7	221,47	6,9	67,7	4,4	5,1	99,4
10 a 12	468	4,5	117,07	3,6	75,0	2,6	3,0	99,4
12 a 16	526,73	5,1	93,933	2,9	82,2	3,733	4,4	99,3
16 a 24	513,2	5,0	52,267	1,6	89,8	8,4	9,8	98,4
> 24	268,53	2,6	47,6	1,5	82,3	26,667	31,1	90,1
2 a 10	8996,4	87,3	3020,5	94,0	66,4	46,9	54,7	99,5
> 12	1308,5	12,7	193,8	6,0	85,2	38,8	45,3	97,0
Total	10304,9	100,0	3214,3	100,0	68,8	85,7	100,0	99,2

Tabela D 2 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 24 h / ensaio IV								
Parâmetros			Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD		
Potencial Zeta (mV)			-21,5	-5				
Cor Aparente (uH)			127	-	-	-		
Cor Verdadeira (uH)			56	-	-	-		
COD (mgC/L)			1,359	1,673	0,938	0,629		
Absorvância 254 nm			0,056	0,01	0,026	0,008		
Distribuição de partículas / Tempo de operação = 24 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	3747,3	45,2	348,33	49,7	90,7	27,067	20,0	99,3
4 a 6	1881,3	22,7	170,73	24,4	90,9	16	11,8	99,1
6 a 8	825,6	10,0	67,8	9,7	91,8	8,533	6,3	99,0
8 a 10	520,6	6,3	34,8	5,0	93,3	4,933	3,7	99,1
10 a 12	336,27	4,1	17,067	2,4	94,9	4,067	3,0	98,8
12 a 16	394,87	4,8	14,2	2,0	96,4	6,4	4,7	98,4
16 a 24	389,13	4,7	15,067	2,2	96,1	12,8	9,5	96,7
> 24	200,8	2,4	32,667	4,7	83,7	55,267	40,9	72,5
2 a 10	7311,1	88,1	638,7	91,2	91,3	60,6	44,9	99,2
> 12	984,8	11,9	61,9	8,8	93,7	74,5	55,1	92,4
Total	8295,9	100,0	700,7	100,0	91,6	135,1	100,0	98,4

Tabela D 3 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 36 h / ensaio IV

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-21,7	-4,2	-	-
Cor Aparente (uH)	118	-	-	-
Cor Verdadeira (uH)	42	-	-	-
COD (mgC/L)	1,389	1,545	0,892	0,72
Absorvância 254 nm	0,054	0,013	0,026	0,006

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 36 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4972	48,2	862,53	48,8	82,7	3566,1	36,3	28,3
4 a 6	2606,1	25,3	423,53	23,9	83,7	3368,9	34,2	-29,3
6 a 8	1052,1	10,2	179,93	10,2	82,9	2072,8	21,1	-97,0
8 a 10	596,27	5,8	99,533	5,6	83,3	708,93	7,2	-18,9
10 a 12	349	3,4	62,4	3,5	82,1	89,867	0,9	74,3
12 a 16	364,2	3,5	60,467	3,4	83,4	6,733	0,1	98,2
16 a 24	280,67	2,7	53,533	3,0	80,9	6,467	0,1	97,7
> 24	98,933	1,0	27,333	1,5	72,4	17,667	0,2	82,1
2 a 10	9575,5	92,8	1627,9	92,0	83,0	9806,6	99,7	-2,4
> 12	743,8	7,2	141,3	8,0	81,0	30,9	0,3	95,9
Total	10319,3	100,0	1769,3	100,0	82,9	9837,5	100,0	4,7

Tabela D 4 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 48 h / ensaio IV

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-16,9	-2,4	-	-
Cor Aparente (uH)	115	-	-	-
Cor Verdadeira (uH)	42	-	-	-
COD (mgC/L)	1,594	0,883	0,79	0,645
Absorvância 254 nm	0,054	0,009	0,024	0,006

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 48 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4775,4	40,7	1910,9	35,3	60,0	187,87	39,3	96,1
4 a 6	3102,6	26,4	1385,2	25,6	55,4	116	24,3	96,3
6 a 8	1509,3	12,9	795,73	14,7	47,3	25,8	5,4	98,3
8 a 10	902,33	7,7	547,8	10,1	39,3	10,733	2,2	98,8
10 a 12	516,93	4,4	302,33	5,6	41,5	5,133	1,1	99,0
12 a 16	467,87	4,0	268,27	5,0	42,7	7,4	1,5	98,4
16 a 24	319,47	2,7	142,53	2,6	55,4	19,067	4,0	94,0
> 24	139,8	1,2	55,867	1,0	60,0	105,73	22,1	24,4
2 a 10	10806,6	92,1	4942,0	91,4	54,3	345,5	72,3	96,8
> 12	927,1	7,9	466,7	8,6	49,7	132,2	27,7	85,7
Total	11733,7	100,0	5408,6	100,0	53,9	477,7	100,0	95,9

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: IV

Taxa de filtração FAP (m³/m².d)= 180Taxa de filtração FRD (m³/m².d)= 120

T.O.	Turbidez (uT)			FAP				P4máx1= 104,1					FRD		P4máx2= 222,4					
(h)	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1	
0,0																				
0,17	20,9	3,213	0,191	44,1	48,9	4,8	52,4	8,3	50,6	6,5	52,7	8,6								
0,330	16,96	2,602	0,500																	
0,500	17	2,279	0,160	44,1	49,3	5,2	51,1	7,0	51,4	7,3	51,5	7,4	12,3	26,3	14,0	37,2	24,9	49	36,7	
0,750	16,8	2,043	0,096	44,1	49,8	5,7	51,7	7,6	52	7,9	52,1	8,0	12,2	26,5	14,3	37,7	25,5	51,4	39,2	
1,0	16,1	1,737	0,068	44,2	50,5	6,3	52,6	8,4	52,8	8,6	52,9	8,7	12,2	26,7	14,5	37,8	25,6	54,1	41,9	
2,0	16,5	1,620	0,052	44,2	51,6	7,4	54,5	10,3	54,8	10,6	55	10,8	12,2	26,4	14,2	37,6	25,4	59,3	47,1	
3,0	15,6	1,444	0,046	44,2	52,3	8,1	55,6	11,4	55,9	11,7	56	11,8	12,1	26,2	14,1	37,3	25,2	62,4	50,3	
4,0	15,46	1,226	0,041	44,2	53,1	8,9	57,0	12,8	57,4	13,2	57,5	13,3	12	25	13,0	35,1	23,1	63,1	51,1	
5,0	15,19	1,034	0,038	44,2	54,4	10,2	58,9	14,7	59,3	15,1	59,4	15,2	12	25	13,0	35,3	23,3	67,9	55,9	
6,0	14,87	1,129	0,036	44,2	55,8	11,6	60,8	16,6	61,3	17,1	61,4	17,2	12	25,2	13,2	35,5	23,5	72,4	60,4	
7,0	14,8	1,181	0,037	44,1	57,0	12,9	62,5	18,4	63,2	19,1	63,3	19,2	12	25,5	13,5	36,1	24,1	77,3	65,3	
8,0	14,62	1,176	0,036	44,1	58,3	14,2	64,5	20,4	65,1	21,0	65,2	21,1	12	25,2	13,2	35,6	23,6	80,4	68,4	
9,0	14,8	0,911	0,035	44,1	60,0	15,9	66,7	22,6	67,5	23,4	67,6	23,5	12	25,8	13,8	36,7	24,7	87,5	75,5	
10,0	14,01	1,202	0,035	44,1	61,7	17,6	69,0	24,9	69,7	25,6	69,9	25,8	12	25,7	13,7	36,6	24,6	90,7	78,7	
11,0	13,8	1,480	0,035	44,2	63,3	19,1	71,1	26,9	71,8	27,6	72	27,8	12	26,7	14,7	36,4	24,4	94,4	82,4	
12,0	13,58	1,600	0,035	44,2	65,0	20,8	73,3	29,1	74,2	30,0	74,3	30,1	12	25	13,0	35,4	23,4	97	85,0	
13,0	13,58	1,820	0,034	44,2	66,4	22,2	75,0	30,8	76,1	31,9	76,3	32,1	12	24,5	12,5	34,5	22,5	99,1	87,1	
14,0	13,6	2,950	0,034	44,2	69,5	25,3	79,3	35,1	80,3	36,1	80,6	36,4	12	24,1	12,1	33,6	21,6	108,5	96,5	
14,083				Topo do meio filtrante / FAP expansão = 1 cm e início da formação de manta																
15,0	14,96	3,900	0,033	44,1	72,3	28,2	82,4	38,3	83,5	39,4	83,8	39,7	12	24,1	12,1	33,8	21,8	119,8	107,8	
16,0	14,2	4,010	0,033	44,2	75,2	31,0	86,0	41,8	87,1	42,9	87,3	43,1	12	24,8	12,8	34,8	22,8	134,3	122,3	
17,0	14	2,773	0,035	44,2	78,1	33,9	89,5	45,3	90,7	46,5	91	46,8	12	25	13,0	35,5	23,5	148,4	136,4	
18,0		5,663	0,031	44,2	79,9	35,7	91,6	47,4	92,8	48,6	93,1	48,9	12	23	11,0	32	20,0	151,5	139,5	
18,617		7,200		Topo do meio filtrante / FAP expansão = 2 cm com aparecimento de fissuras																
18,667		2,000																		
19,0	13,4	1,226	0,030	44,3	64,5	20,2	75,2	30,9	76,8	32,5	76,8	32,5	11,9	23,8	11,9	33,5	21,6	161,5	149,6	
20,0	13,4	2,018	0,033	44,3	69,0	24,7	81,2	36,9	82,9	38,6	83	38,7	12	25,8	13,8	37	25,0	187	175,0	
21,0	13,4	1,977	0,034	44,3	70,1	25,8	82,0	37,7	83,6	39,3	83,8	39,5	11,9	24,6	12,7	35	23,1	191,2	179,3	
22,0	13,54	1,870	0,033	44,3	70,3	26,0	81,9	37,6	83,7	39,4	83,8	39,5	11,9	24,5	12,6	34,6	22,7	203,6	191,7	
23,0	13,29	2,054	0,033	44,3	70,0	25,7	82,1	37,8	83,8	39,5	84	39,7	11,9	25	13,1	35,5	23,6	218	206,1	
23,5		1,771	0,034	44,2	70,0	25,8	82,3	38,1	84,1	39,9	84,2	40,0	11,9	25	13,1	35,5	23,6	222,1	210,2	
23,750			1,200																	
23,767		2,990	0,130																	
23,833		2,245	0,737																	
23,917		1,638	0,289																	
23,967		1,738	0,189																	
24,0	12,8	1,930	0,140	44,2	70,0	25,8	82,5	38,3	84,3	40,1	84,4	40,2	12	26	14,0	35,1	23,1	45	33,0	
25,0	12,74	1,849	0,081	44,2	70,0	25,8	82,4	38,2	84,5	40,3	84,7	40,5	12	26	14,0	35,2	23,2	47,7	35,7	
26,0	12,63	1,856	0,063	44,2	70,0	25,8	83,0	38,8	84,7	40,5	84,9	40,7	12	25,9	13,9	35,1	23,1	52	40,0	
27,0	12,48	1,851	0,045	44,1	70,0	25,9	83,4	39,3	85,2	41,1	85,3	41,2	12	26,1	14,1	35,4	23,4	56,4	44,4	
				Topo do meio filtrante / FAP expansão = 3 cm com espessamento da manta																
28,0	12,37	1,969	0,051	44,1	70,0	25,9	83,8	39,7	85,7	41,6	85,9	41,8	12	28,9	16,9	40,1	28,1	69,4	57,4	
29,0	12,25	2,004	0,046	44,1	70,0	25,9	84,2	40,1	86,3	42,2	86,4	42,3	12	28,2	16,2	39,1	27,1	74	62,0	
30,0	12,16	1,730	0,010	44,1	70,0	25,9	84,5	40,4	86,4	42,3	86,5	42,4	11,9	27,8	15,9	38,4	26,5	80,1	68,2	
31,0	12,03	1,739	0,037	44,2	70,0	25,8	84,7	40,5	87	42,8	87,1	42,9	11,9	27,1	15,2	37,4	25,5	83,6	71,7	
32,0	11,92	1,866	0,035	44,1	70,0	25,9	85,1	41,0	87,2	43,1	87,4	43,3	12	26,6	14,6	36,5	24,5	88,5	76,5	
33,0	11,89	1,999	0,034	44,1	70,0	25,9	85,2	41,1	87,3	43,2	87,5	43,4	12	26,4	14,4	36,3	24,3	90	78,0	
34,0	11,78	1,891	0,034	44,1	70,5	26,4	86,0	41,9	88	43,9	88,2	44,1	12	28,1	16,1	39	27,0	104,1	92,1	
35,0	11,62	2,883	0,033	44,1	70,5	26,4	86,1	42,0	88,4	44,3	88,6	44,5	12	28,5	16,5	39,9	27,9	112	100,0	
36,0	11,61	2,528	0,035	44,1	70,2	26,1	86,4	42,3	88,5	44,4	88,9	44,8	12	28,5	16,5	39,9	27,9	118,2	106,2	
37,0	11,59	1,988	0,033	44,1	70,4	26,3	87,0	42,9	89,1	45,0	89,5	45,4	12	27,4	15,4	38	26,0	122,8	110,8	
38,0	11,42	2,189	0,033	44,1	70,4	26,3	86,2	42,1	89,3	45,2	89,9	45,8	12	27,5	15,5	38,2	26,2	128,6	116,6	
39,0	13,95	2,579	0,033	44,1	69,2	25,1	86,7	42,6	88,8	44,7	89,2	45,1	12	27,1	15,1	37,5	25,5	136,7	124,7	
40,0	13,85	2,424	0,035	44,1	70,0	25,9	87,8	43,7	90	45,9	90,2	46,1	12	27,4	15,4	38	26,0	147,9	135,9	
41,0	13,92	2,261	0,035	44,1	70,5	26,4	88,6	44,5	90,8	46,7	91,3	47,2	12	28,1	16,1	39,3	27,3	162,5	150,5	
42,0	13,24	2,117	0,034	44,1	70,4	26,3	88,9	44,8	91,1	47,0	91,6	47,5	12	27,4	15,4	38,1	26,1	168,8	156,8	
42,3		4,125	0,034	Topo do meio filtrante / FAP alargamento das fissuras e constantes expandidas com pico de aproximadamente 4 uT																
43,0	13,05	1,990	0,034	44,1	70,5	26,4	89,0	44,9	91,3	47,2	91,8	47,7	12	27,7	15,7	37,5	25,5	176,2	164,2	
44,0	12,96	2,041	0,034	44,1	70,4	26,3	89,5	45,4	91,8	47,7	92,3	48,2	12	27,8	15,8	38,9	26,9	183,4	171,4	
45,0	12,86	4,395	0,031	44,1	70,0	25,9	89,0	44,9	91,6	47,5	91,9	47,8	12	28,8	16,8	40,3	28,3	195,2	183,2	
46,0	12,65	1,856	0,031	44,1	70,8	26,7	90,5	46,4	92,8	48,7	93,3	49,2	12	28,8	16,8	39,1	27,1	200	188,0	
47,0	12,36	2,351	0,031	44,1	70,9	26,8	90,9	46,8	93	48,9	93,5	49,4	12	29,4	17,4	41,5	29,5	214	202,0	

Planilha D 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio IV

ANEXO E : ENSAIO V

Tabela E 1 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 6 h / ensaio V

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-18,2 ± 0,4	-12,5 ± 2,1	-2 ± 0,1	-2 ± 0,0
Cor Aparente (uH)	90	87	4	1
Cor Verdadeira (uH)	33	7	2	1
COD (mgC/L)	1,801	1,406	1,114	1,496
Absorvância 254 nm	0,043	0,009	0,008	0,009
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1793	-	15,8	7,4
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	135	-	1	3,1

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 6 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4666,1	52,0	45,733	40,4	99,0	56,667	40,5	98,8
4 a 6	2424,7	27,0	19,867	17,5	99,2	27,933	20,0	98,8
6 a 8	937,53	10,4	7,467	6,6	99,2	13,6	9,7	98,5
8 a 10	436,8	4,9	4,667	4,1	98,9	7,067	5,1	98,4
10 a 12	195,6	2,2	2,733	2,4	98,6	5,2	3,7	97,3
12 a 16	161,93	1,8	5,4	4,8	96,7	7,8	5,6	95,2
16 a 24	111,4	1,2	7	6,2	93,7	7,933	5,7	92,9
> 24	42,6	0,5	20,467	18,1	52,0	13,667	9,8	67,9
2 a 10	8465,1	94,3	77,7	68,6	99,1	105,3	75,3	98,8
> 12	315,9	3,5	32,9	29,0	89,6	29,4	21,0	90,7
Total	8976,7	100,0	113,3	100,0	98,7	139,9	100,0	98,4

Tabela E 2 - Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 12 h / ensaio V

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-14,6±1,6	-10,7±1,9	-2,2±0,0	-2,2±0,0
Cor Aparente (uH)	87	85	2	<1
Cor Verdadeira (uH)	32	10	1	<1
COD (mgC/L)	1,483	1,411	0,746	1,116
Absorvância 254 nm	0,043	0,014	0,005	0,005
Coliformes Totais (NMP/100ml)	-	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 12 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4145,5	48,3	37,1	27,8	99,1	18,7	24,5	99,5
4 a 6	2212,8	25,8	16,5	12,4	99,3	12,4	16,2	99,4
6 a 8	908,5	10,6	8,1	6,1	99,1	5,4	7,1	99,4
8 a 10	498,5	5,8	5,1	3,8	99,0	3,1	4,1	99,4
10 a 12	284,5	3,3	4,4	3,3	98,5	2,5	3,2	99,1
12 a 16	265,9	3,1	6,5	4,9	97,5	3,7	4,9	98,6
16 a 24	192,0	2,2	13,3	10,0	93,1	7,9	10,4	95,9
> 24	67,4	0,8	42,3	31,7	37,3	22,6	29,6	66,5
2 a 10	7765,3	90,6	66,7	50,1	99,1	39,6	51,9	99,5
> 12	525,3	6,1	62,1	46,6	88,2	34,3	44,9	93,5
Total	8575,2	100,0	133,2	100,0	98,4	76,3	100,0	99,1

Tabela E 3 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 18 h / ensaio V

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-21 ± 0,8	-13,2 ± 2,0	-2,2 ± 0,0	-2,2 ± 0,0
Cor Aparente (uH)	93	98	12	<1
Cor Verdadeira (uH)	32	5	2	<1
COD (mgC/L)	1,912	1,234	0,544	0,395
Absorvância 254 nm	0,041	0,008	0,007	0,005
Coliformes Totais (NMP/100ml)	-	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 18 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4338,7	42,5	810,0	43,8	81,3	15,9	36,6	99,6
4 a 6	2613,5	25,6	444,2	24,0	83,0	8,8	20,3	99,7
6 a 8	1241,4	12,2	206,9	11,2	83,3	3,6	8,3	99,7
8 a 10	732,9	7,2	137,3	7,4	81,3	2,1	4,8	99,7
10 a 12	423,9	4,2	88,5	4,8	79,1	1,5	3,4	99,7
12 a 16	395,5	3,9	80,9	4,4	79,6	2,5	5,7	99,4
16 a 24	320,9	3,1	54,9	3,0	82,9	3,3	7,5	99,0
> 24	144,7	1,4	28,5	1,5	80,3	5,8	13,4	96,0
2 a 10	8926,5	87,4	1598,4	86,3	82,1	30,3	70,0	99,7
> 12	861,1	8,4	164,3	8,9	80,9	11,5	26,6	98,7
Total	10211,5	100,0	1851,2	100,0	81,9	43,3	100,0	99,6

Tabela E 4 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 24 h / ensaio V

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-20 ± 1,7	-15,5 ± 1	+13,8 ± 0,8	-2,2 ± 0,0
Cor Aparente (uH)	91	92	20	1
Cor Verdadeira (uH)	31	6	2	1
COD (mgC/L)	3,015	1,049	0,806	0,582
Absorvância 254 nm	0,041	0,021	0,011	0,009
Coliformes Totais (NMP/100ml)	-	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-	-	-	-

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 24 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4420,9	47,3	1538,3	45,4	65,2	20,6	34,2	99,5
4 a 6	2415,3	25,9	803,2	23,7	66,7	11,4	18,9	99,5
6 a 8	1009,9	10,8	377,87	11,2	62,6	4,333	7,2	99,6
8 a 10	558,53	6,0	243	7,2	56,5	3,133	5,2	99,4
10 a 12	312,13	3,3	148,6	4,4	52,4	1,8	3,0	99,4
12 a 16	292,47	3,1	144,33	4,3	50,7	3,533	5,9	98,8
16 a 24	232,67	2,5	107,2	3,2	53,9	5,4	9,0	97,7
> 24	98,533	1,1	24,467	0,7	75,2	10,067	16,7	89,8
2 a 10	8404,6	90,0	2962,4	87,5	64,8	39,5	65,5	99,5
> 12	623,7	6,7	276,0	8,1	55,7	19,0	31,5	97,0
Total	9340,4	100,0	3387,0	100,0	63,7	60,3	100,0	99,4

Tabela E 5 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 30 h / ensaio V

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-18,4 ± 1,2	-15,5 ± 0,7	-5,6 ± 1,2	-2,1 ± 0,0
Cor Aparente (uH)	91	95	38	3
Cor Verdadeira (uH)	32	8	3	1
COD (mgC/L)	2,264	0,922	0,809	0,889
Absorvância 254 nm	0,045	-	-	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1160	-	21,6	11
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	110	-	2	1

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 30 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	4880,3	49,1	2830,7	46,3	42,0	24,067	37,0	99,5
4 a 6	2692,8	27,1	1637,3	26,8	39,2	12,333	19,0	99,5
6 a 8	1086	10,9	766,4	12,5	29,4	5,667	8,7	99,5
8 a 10	567,8	5,7	427,13	7,0	24,8	3,733	5,7	99,3
10 a 12	274,87	2,8	200,33	3,3	27,1	2,133	3,3	99,2
12 a 16	224,87	2,3	150,07	2,5	33,3	2,933	4,5	98,7
16 a 24	158	1,6	73,267	1,2	53,6	4,267	6,6	97,3
> 24	59,267	0,6	23,2	0,4	60,9	9,867	15,2	83,4
2 a 10	9226,9	92,8	5661,5	92,7	38,6	45,8	70,5	99,5
> 12	442,1	4,4	246,5	4,0	44,2	17,1	26,3	96,1
Total	9943,9	100,0	6108,4	100,0	38,6	65,0	100,0	99,3

Tabela E 6 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 60 h (fim do ensaio) / ensaio V

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-10,1±1	-8,2±1,3	-15,1±1,2	-2,1±0,0
Cor Aparente (uH)	61	-	17	<1
Cor Verdadeira (uH)	23	-	1	<1
COD (mgC/L)	1,311	-	1,994	1,790
Absorvância 254 nm	0,054	-	0,025	0,02
Coliformes Totais (NMP/100ml)	888	-	214,3	3,1
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	94	-	23,1	<1

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 60 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	1037,9	51,6	1288,6	41,6	-24,2	25,667	32,4	97,5
4 a 6	539,2	26,8	838,73	27,1	-55,6	16,467	20,8	96,9
6 a 8	196,47	9,8	425,53	13,7	-116,6	7	8,8	96,4
8 a 10	106,13	5,3	252,2	8,1	-137,6	4,667	5,9	95,6
10 a 12	51,533	2,6	129,53	4,2	-151,4	2,333	2,9	95,5
12 a 16	40,667	2,0	98,133	3,2	-141,3	4,867	6,1	88,0
16 a 24	23,733	1,2	49,4	1,6	-108,1	6,133	7,7	74,2
> 24	16,8	0,8	17,4	0,6	-3,6	12,2	15,4	27,4
2 a 10	1879,7	93,4	2805,1	90,5	-49,2	53,8	67,8	97,1
> 12	81,2	4,0	164,9	5,3	-103,1	23,2	29,2	71,4
Total	2012,4	100,0	3099,5	100,0	-54,0	79,3	100,0	96,1

Tabela E 7 - Análises bacteriológico e de sólidos da água de lavagem do FRD e água de DF do FAP para tempo de operação = 63,7h

Amostra	Água de lavagem / FRD	Água de DFF/ FAP
Coliformes Totais (NMP/100ml)	9880	26130
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	200	1730
Turbidez	134	1010
ST (mg/l)	134	1057
SST (mg/l)	130	959
SFS (mg/l)	93	711
SVS (mg/l)	37	246
SDT (mg/l)	4	100
SFD (mg/l)	2	32
SVD (mg/l)	2	68
STF (mg/l)	95	743
STV (mg/l)	39	314
SSed (ml/l)	-	-

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: V

Taxa de filtração FAP ($m^3/m^2.d$) = 180Taxa de filtração FRD ($m^3/m^2.d$) = 180

T.O.	Água bruta		Água coag.		FAP		FRD		FAP								P4máx1= 104,5				FRD		P4máx2= 222,3			
(h)	Tur	pH	°C	pH	Tur	pH	Tur	pH	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1		
0,08	9,366	7,14	18	6,8	1,366		0,959		44,2	46,9	2,7	49,4	5,2	49,8	5,6	49,8	5,6									
0,17	9,354				1,347		0,568		44,2	48,1	3,9	49,6		50		50										
0,25	9,333				1,233		0,382		44,3	48,2	3,9	49,8	5,5	50,2	5,9	50,2	5,9	12,4	32,2	19,8	49,4	37	69,4	57		
0,33	9,327				1,039		0,229		44,3	48,3	4,0	50,0	5,7	50,3	6	50,3	6	12,6	31,8	19,2	48,6	36	69	56,4		
0,42	9,364				0,923		0,131		44,3	48,5	4,2	50,1	5,8	50,5	6,2	50,5	6,2	12,7	31,8	19,1	48,7	36	69,6	56,9		
0,50	9,329				0,847		0,095		44,3	48,5	4,2	50,2	5,9	50,7	6,4	50,7	6,4	12,7	32,1	19,4	49,3	36,6	70,9	58,2		
0,58	9,3				0,788		0,082		44,3	48,6	4,3	50,5	6,2	50,9	6,6	50,9	6,6	12,6	32,1	19,5	49,3	36,7	71,2	58,6		
0,67	9,316				0,736		0,075		44,3	48,7	4,4	50,6	6,3	51,1	6,8	51,1	6,8	12,6	32,3	19,7	49,5	36,9	71,9	59,3		
0,75	9,3				0,688		0,072		44,3	48,7	4,4	50,8	6,5	51,2	6,9	51,2	6,9	12,6	32,5	19,9	50	37,4	73,1	60,5		
0,83	9,265				0,667		0,068		44,3	48,8	4,5	50,9	6,6	51,3	7	51,3	7	12,6	32,6	20	50,1	37,5	73,7	61,1		
0,92	9,299				0,643		0,066		44,3	48,9	4,6	51,0	6,7	51,4	7,1	51,4	7,1	12,6	32,8	20,2	50,6	38	74,4	61,8		
1,0	9,307	7,14	18	6,83	0,594		0,062		44,3	49,0	4,7	51,2	6,9	51,6	7,3	51,6	7,3	12,6	32,3	19,7	49,6	37	74,9	62,3		
2,0	9,25	7,2	18	6,97	0,450		0,052		44,3	49,7	5,4	52,6	8,3	53	8,7	53	8,7	12,5	32,4	19,9	50,1	37,6	77,3	64,8		
3,0	9,223		18		0,397		0,049		44,3	50,4	6,1	54,0	9,7	54,3	10	54,3	10	12,5	32,3	19,8	50	37,5	79,6	67,1		
4,0	9,213	7,13	18	6,91	0,366		0,050		44,3	51,3	7,0	55,5	11,2	55,8	11,5	55,9	11,6	12,5	32,8	20,3	50,9	38,4	83,4	70,9		
5,0	9,155		17,5		0,338		0,042		44,3	52,0	7,7	56,8	12,5	57,2	12,9	57,3	13	12,5	32,8	20,3	50,7	38,2	85,3	72,8		
6,0	9,102	6,92	17,5	6,87	0,309		0,049		44,3	52,7	8,4	58,0	13,7	58,4	14,1	58,5	14,2	12,4	31,5	19,1	48,5	36,1	83,4	71		
7,0	9,097		17,5		0,295		0,045		44,3	53,9	9,6	59,8	15,5	60,2	15,9	60,3	16	12,4	32,3	19,9	50	37,6	88	75,6		
8,0	9,052	6,91	18	6,85	0,271		0,044		44,4	54,5	10,1	60,9	16,5	61,4	17	61,6	17,2	12,3	30,7	18,4	47	34,7	84,1	71,8		
9,0	8,999		18		0,254		0,044		44,4	55,7	11,3	62,6	18,2	64,2	19,8	64,4	20	12,3	30,8	18,5	47,2	34,9	86,2	73,9		
10,0	8,97	6,87	18	6,75	0,257		0,044		44,5	56,7	12,2	64,8	20,3	65	20,5	65,1	20,6	12,3	30,8	18,5	46,9	34,6	86,1	73,8		
11,0	8,945		18		0,229		0,044		44,5	57,8	13,3	66,0	21,5	66,5	22	66,8	22,3	12,3	29,6	17,3	45	32,7	84,9	72,6		
12,0	11,19	7,01	18	6,9	0,221		0,046		44,5	59,2	14,7	67,8	23,3	68,5	24	68,7	24,2	12,3	28,2	15,9	42,6	30,3	80,6	68,3		
13,0	11,46		18		0,237		0,039		44,5	61,0	16,5	70,8	26,3	71,4	26,9	71,7	27,2	12,3	29,4	17,1	44,8	32,5	87,5	75,2		
14,0	10,85		18		0,262		0,038		44,5	62,4	17,9	72,7	28,2	73,5	29	73,7	29,2	12,3	29,4	17,1	44,7	32,4	88,8	76,5		
15,0	11,02	7,02	18	6,83	0,332		0,038		44,5	64,0	19,5	74,9	30,4	75,7	31,2	76	31,5	12,3	29,4	17,1	44,8	32,5	90,8	78,5		
16,0	10,99		18		0,491		0,052		44,5	64,5	20,0	75,7	31,2	76,6	32,1	76,8	32,3	12,3	30,1	46,2	46,2	33,9	94,5	82,2		
17,0	10,96	7,03	18	6,89	0,647		0,041		44,5	65,5	21,0	77,2	32,7	78,2	33,7	78,4	33,9	12,3	30,5	18,2	46,9	34,6	97,3	85		
18,0	10,68		18		1,057		0,046		44,5	67,3	22,8	79,3	34,8	80,7	36,2	81	36,5	12,3	32,3	20	50,1	37,8	107,8	95,5		
18,83					1,714																					
19,0	10,55	7,15	18	6,82	1,527		0,044		44,5	68,0	23,5	80,7	36,2	81,7	37,2	82	37,5	12,3	31,8	19,5	49	36,7	108	95,7		
20,0	10,42		18		1,652				44,5	69,7	25,2	83,2	38,7	89,1	44,6	89,4	44,9	12,3	32,8	20,5	51,1	38,8	119,6	107,3		
20,25					2,100																					
21,0	10,2	7,2	18	6,89	1,867		0,039		44,5	70,8	26,3	84,8	40,3	85,8	41,3	86,2	41,7	12,3	33	20,7	51,5	39,2	126,3	114		
22,0	10,03		18		1,934		0,038		44,5	72,0	27,5	86,5	42	87,6	43,1	88	43,5	12,3	30,2	17,9	46,4	34,1	126,4	114,1		
22,25					2,320				Fopo do meio filtrante / FAP expandido = 0,0 cm com início da formação da manta																	
23,0	9,909	6,96	18	6,85	2,151		0,038		44,5	73,1	28,6	87,9	43,4	89	44,5	89,3	44,8	12,2	30,7	18,5	47,3	35,1	129,3	117,1		
22,33	9,81		18		2,220				44,5	74,2	29,7	89,4	44,9	90,5	46	90,9	46,4	12,2	29,9	17,7	45,6	33,4	130,7	118,5		
25,0	9,777		18		2,337		0,039		44,5	75,2	30,7	90,9	46,4	92,1	47,6	92,5	48	12,2	30	17,8	45,1	32,9	138	125,8		
25,17					2,800																					
26,0	9,68	6,89	18	6,74	2,429		0,041		44,5	76,4	31,9	92,6	48,1	93,9	49,4	94,3	49,8	12,2	30,1	17,9	46,2	34	147,1	134,9		
26,5					3,063																					
27,0	9,658		18		2,711		0,039		44,5	77,5	33,0	94,2	49,7	95,5	51	96	51,5	12,2	30,1	17,9	47,6	35,4	157,4	145,2		
28,0	9,585	6,91	18	6,74	2,654		0,039		44,5	78,1	33,6	95,1	50,6	96,5	52	96,9	52,4	12,2	30,5	18,3	47	34,8	162,4	150,2		
29,0	9,551		18		2,694				44,5	79,0	34,5	96,5	52	97,8	53,3	98,1	53,6	12,2	30,4	18,2	46,8	34,6	168,7	156,5		
29,92					5,200				Fopo do meio filtrante / FAP expandido = 0,0 cm com manta mais espessa																	
30,0	9,548		18,2		1,201		0,036		44,5	77,1	32,6	89,0	44,5	90,7	46,2	90,8	46,3	12,2	30	17,8	45	32,8	173,7	161,5		
30,33					6,700				Fopo do meio filtrante / FAP expandido = 1,0 cm																	
31,0	9,512		18,5		0,225				44,5	64,9	20,4	78,3	33,8	80,1	35,6	80,2	35,7	12,2	30,5	18,3	48,6	36,4	186,8	174,6		
32,0	9,41	6,86	18,5	6,72	0,508				44,5	68,4	23,9	82,7	38,2	84,3	39,8	84,5	40	12,2	30,1	17,9	46,2	34	179,2	167		
33,0	9,352		18,5		0,821				44,5	70,4	25,9	84,2	39,7	85,7	41,2	86	41,5	12,2	29,7	17,5	45,2	33	178,6	166,4		
34,0	9,287	7,1	18,5	6,84	1,003		0,035		44,5	71,7	27,2	87,1	42,6	87,5	43	87,5	43	12,2	29,1	16,9	44,2	32	177,3	165,1		
34,17					1,850																					
35,0	9,29		18,8		1,072				44,5	71,1	26,6	85,0	40,5	86,8	42,3	87,2	42,7	12,2	29	16,8	44,5	32,3	180	167,8		
36,0	9,24	7,05	18,8	6,88	1,205		0,035		44,5	70,6	26,1	84,8	40,3	86,5	42	86,8	42,3	12,2	29,4	17,2	44,9	32,7	191,5	179,7		

(Continuação)

Sistema FAP - FRD

Ensaio N° : V

Taxa de filtração FAP (m³/m².d) =

180

Taxa de filtração FRD (m³/m².d) =

180

T.O.	Água bruta		Água coag.		FAP		FRD		FAP								P4máx1= 104,5				FRD				P4máx2= 222,3							
(h)	Tur	pH	°C	pH	Tur	pH	Tur	pH	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1								
37,0	9,191		19		1,229				44,5	70,5	26,0	85,0	40,5	86,3	41,8	87,1	42,6	12,2	29,2	17	44,4	32,2	193,7	181,5								
37,33					2,000				Topo do meio filtrante / FAP expandido = 2,0 cm com aparecimento de fissuras																							
38,0	9,165	7,2	19	6,85	1,227				44,5	70,2	25,7	85,0	40,5	86,9	42,4	87,2	42,7	12,2	29,3	17,1	44,9	32,7	199,3	187,1								
39,0	9,124		19		1,374		0,036		44,5	70,0	25,5	85,1	40,6	87,1	42,6	87,5	43	12,2	29,3	17,1	44,9	32,7	203,8	191,6								
40,0	9,137		19		1,378		0,034		44,5	70,0	25,5	85,3	40,8	87,2	42,7	87,6	43,1	12,2	29	16,8	44,5	32,3	206,6	194								
41,0	9,108	7,4	19	6,96	1,578		0,032	6,81	44,5	70,0	25,5	85,6	41,1	87,3	42,8	87,7	43,2	12,2	29,4	17,2	45,5	33,3	215,1	202,9								
42,33	9,044		18,8		1,790		0,032		44,5	69,9	25,4	85,8	41,3	87,6	43,1	87,9	43,4	12,2	29,2	17	45,5	33,3	220,5	208,3								
42,33								7,02																								
42,34								0,630	6,91																							
42,4					7,509	6,85	1,070	7,01																								
42,42					2,508	6,94	0,770	6,98																								
42,50					2,100	6,87	0,496	7,03																								
42,58					1,904		0,260																									
42,67					1,964	6,85	0,178	7,00																								
42,83					2,120	6,89	0,091	7,02																								
43,08	9,026				1,886	6,90	0,075	7,00	44,5	69,8	25,3	86,2	41,7	88,1	43,6	88,5	44	13,1	32,5	19,4	47,2	34,1	68,7	55,6								
43,33					1,127	6,92	0,071	7,03																								
44,00	8,998		18,5		1,768		0,070		44,5	69,9	25,4	86,3	41,8	88,2	43,7	88,6	44,1	12,3	33,6	21,3	50	37,7	80	67,7								
44,17					4,200				Topo do meio filtrante / FAP expandido = 2,7 cm																							
45,00	8,914	7,01	18,2	6,9	3,500	6,64		6,82	44,5	69,9	25,4	86,6	42,1	88,6	44,1	89	44,5	12,3	33,6	21,3	48,4	36,1	84,9	72,6								
46,00	8,888		18,2		2,331		0,056		44,5	69,8	25,3	86,7	42,2	88,7	44,2	89	44,5	12,3	34,5	22,2	51,6	39,3	100,1	87,8								
47,00	8,875	7,15	18,2	6,96	3,200				44,5	69,6	25,1	86,9	42,4	88,7	44,2	89,3	44,8	12,2	33,5	21,3	50	37,8	106	93,8								
48,00	8,904		18,2		2,420		0,051		44,5	69,8	25,3	87,1	42,6	89	44,5	89,6	45,1	12,2	32,6	20,4	48,4	36,2	112,8	100,6								
49,00	8,823	6,98	18,2	6,82	2,506		0,051		44,5	70,0	25,5	87,7	43,2	89,7	45,2	90,2	45,7	12,3	35	22,7	52,5	40,2	128,9	116,6								
50,00	8,841		18,1		2,230		0,048		44,5	70,0	25,5	87,8	43,3	89,8	45,3	90,3	45,8	12,2	33,5	21,3	50	37,8	132,2	120								
51,00	8,854		18		2,429		0,045		44,5	69,9	25,4	88,0	43,5	90,1	45,6	90,6	46,1	12,2	32,1	19,9	47,6	35,4	138,2	126								
52,00	8,81	6,93	18	6,8	2,378		0,043		44,5	70,0	25,5	88,5	44	90,4	45,9	91	46,5	12,2	34,5	22,3	51,7	39,5	158,5	146,3								
52,58									Topo do meio filtrante / FAP expandido = 3,8 cm com fissuras mais espaçadas																							
53,00	8,775		18		2,200				44,5	70,0	25,5	88,6	44,1	91,7	47,2	91,3	46,8	12,2	33,4	21,2	50	37,8	158,5	146,3								
54,00	8,758	6,85	18	6,66	2,173		0,042	6,70	44,4	70,0	25,6	88,6	44,2	90,8	46,4	91,2	46,8	12,2	32	19,8	47,3	35,1	158,6	146,4								
55,00	8,742		18		2,101		0,068		44,4	70,0	25,6	89,0	44,6	91,4	47	91,9	47,5	12,2	33,1	20,9	49,3	37,1	171,7	159,5								
56,00	8,673	7,27	18,2	7,03	2,301	6,91	0,058		44,4	70,1	25,7	89,1	44,7	91,5	47,1	92	47,6	12,2	32	19,8	45,9	33,7	168,1	155,9								
56,08									Topo do meio filtrante / FAP com presença de flocos grandes																							
57,00	8,673		18,2		4,700				44,5	70,4	25,9	89,5	45	91,8	47,3	92,3	47,8	12,2	31,8	19,6	46,9	34,7	179	166,8								
58,00	8,648	7,1	18,5	6,97	1,915		0,048	6,87	44,5	70,5	26,0	89,7	45,2	92,1	47,6	92,6	48,1	12,2	31,2	19	45,8	33,6	182,5	170,3								
59,00	8,657		19		2,300				44,5	70,7	26,2	90,0	45,5	92,3	47,8	92,9	48,4	12,2	31,2	19	45,8	33,6	189	176,8								
60,00	8,639	6,99	19	6,95	2,305		0,043		44,5	70,7	26,2	90,0	45,5	92,2	47,7	92,8	48,3	12,2	32,5	20,3	48,4	36,2	206,8	194,6								
60,08					4,182				Topo do meio filtrante / FAP expandido = 4,0 cm e flocos grandes																							
60,97					3,642																											
61,00	8,609		19		3,308		0,039		44,5	70,7	26,2	90,0	45,5	92,6	48,1	93,2	48,7	12,2	32,5	20,3	48,5	36,3	212	199,8								
62,00	8,565	7,1	19	6,98	2,152		0,039		44,5	70,7	26,2	90,8	46,3	93,4	48,9	94,2	49,7	12,2	32,5	20,3	48,4	36,2	217,1	204,9								
63,00	8,599		19		2,700				44,5	70,0	25,5	90,2	45,7	92,9	48,4	93,5	49	12,2	31,4	19,2	46,7	34,5	218,5	206,3								
63,17					2,830																											
63,70	8,586	6,98	19	6,92	2,233		0,031		44,5	70,7	26,2	91,4	46,9	94	49,5	94,7	50,2	12,2	31,1	18,9	46,5	34,3	222,1	209,9								
máximo	8,6	6,9	17,5	6,7	0,221	6,6	0,031	6,7	44,2	46,9	2,7	49,4	5,2	49,8	5,6	49,8	5,6	12,2	28,2	15,9	42,6	30,3	68,7	55,6								
Máximo	11,5	7,4	19,0	7,0	7,509	6,9	1,070	7,0	44,5	79,0	34,5	96,5	52,0	97,8	53,3	98,1	53,6	13,1	35,0	46,2	52,5	40,2	222,1	209,9								

Planilha E 2 – (Continuação) Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio V

ANEXO F : ENSAIO VI

Tabela F 1 – Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 6 h / ensaio VI

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-13,8± 0,7	-15,1± 0,9	-2,1± 0,0	-2,1± 0,0
Cor Aparente (uH)	65	-	4	1
Cor Verdadeira (uH)	25	-	4	1
COD (mgC/L)	1,664	-	1,627	1,785
Absorvância 254 nm	0,053	-	0,022	0,025
Coliformes Totais (NMP/100ml)	160	-	<1	<1
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	52	-	<1	<1

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 6 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	1442,1	56,1	36,533	38,7	97,5	58	44,8	96,0
4 a 6	665,27	25,9	18,467	19,6	97,2	34,533	26,7	94,8
6 a 8	228,47	8,9	7,867	8,3	96,6	13,6	10,5	94,0
8 a 10	105,93	4,1	4,2	4,5	96,0	6,267	4,8	94,1
10 a 12	53,8	2,1	2,067	2,2	96,2	4,067	3,1	92,4
12 a 16	38,133	1,5	3,267	3,5	91,4	5,133	4,0	86,5
16 a 24	24	0,9	7	7,4	70,8	4,667	3,6	80,6
> 24	13,933	0,5	14,933	15,8	-7,2	3,267	2,5	76,6
2 a 10	2441,8	95,0	67,1	71,1	97,3	112,4	86,8	95,4
> 12	76,1	3,0	25,2	26,7	66,9	13,1	10,1	82,8
Total	2571,6	100,0	94,3	100,0	96,3	129,5	100,0	95,0

Tabela F 2 – Potencial zeta , cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 33,7 h (antes da lavagem FRD) / ensaio VI

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-14,8± 4,4	-12,1± 1,1	-2,9± 0,9	-2,2± 0,0
Cor Aparente (uH)	77	-	14	<1
Cor Verdadeira (uH)	33	-	<1	<1
COD (mgC/L)	1,059	-	1,96	1,763
Absorvância 254 nm	0,037	-	0,009	0,011
Coliformes Totais (NMP/100ml)	4352	-	235,9	7,4
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	86	-	24,3	<1

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 33,7 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	6050,3	46,0	2129	53,8	64,8	26,6	35,7	99,6
4 a 6	4598,7	34,9	882,07	22,3	80,8	14,533	19,5	99,7
6 a 8	1922	14,6	429,07	10,8	77,7	6,467	8,7	99,7
8 a 10	438,2	3,3	258,73	6,5	41,0	2,867	3,8	99,3
10 a 12	65,467	0,5	112,8	2,8	-72,3	2,733	3,7	95,8
12 a 16	36,8	0,3	82,333	2,1	-123,7	3,267	4,4	91,1
16 a 24	28,333	0,2	44,533	1,1	-57,2	4,267	5,7	84,9
> 24	20,867	0,2	22	0,6	-5,4	13,8	18,5	33,9
2 a 10	13009,2	98,8	3698,9	93,4	71,6	50,5	67,7	99,6
> 12	86,0	0,7	148,9	3,8	-73,1	21,3	28,6	75,2
Total	13160,7	100,0	3960,5	100,0	69,9	74,5	100,0	99,4

Tabela F 3 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 36 h (após a lavagem FRD) / ensaio VI

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-	-	-	-
Cor Aparente (uH)	72	-	13	<1
Cor Verdadeira (uH)	26	-	<1	<1
COD (mgC/L)	1,782	-	1,303	1,851
Absorvância 254 nm	0,046	-	0,014	0,014
Coliformes Totais (NMP/100ml)	-	-	186	12,2
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-	-	13,5	<1

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 36 h (após a lavagem FRD)								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	3784	53,1	1038,6	48,5	72,6	1728,5	53,0	54,3
4 a 6	2024,8	28,4	498,8	23,3	75,4	1076,4	33,0	46,8
6 a 8	693,13	9,7	218,33	10,2	68,5	377,67	11,6	45,5
8 a 10	308,87	4,3	135,53	6,3	56,1	60,733	1,9	80,3
10 a 12	129,87	1,8	72,667	3,4	44,0	6,533	0,2	95,0
12 a 16	94,133	1,3	74,867	3,5	20,5	4,467	0,1	95,3
16 a 24	60,267	0,8	67,267	3,1	-11,6	2,8	0,1	95,4
> 24	28,067	0,4	37	1,7	-31,8	3,533	0,1	87,4
2 a 10	6810,8	95,6	1891,3	88,3	72,2	3243,3	99,5	52,4
> 12	182,5	2,6	179,1	8,4	1,8	10,8	0,3	94,1
Total	7123,1	100,0	2143,1	100,0	69,9	3260,6	100,0	54,2

Tabela F 4 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E.coli*, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 51,3 h (fim do ensaio) / ensaio VI

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-14,1± 1,3	-11,7± 1,1	-4,9± 0,3	-2,2± 0,0
Cor Aparente (uH)	83	-	15	1
Cor Verdadeira (uH)	27	-	<1	1
COD (mgC/L)	1,466	-	2,051	1,878
Absorvância 254 nm	0,045	-	0,016	0,017
Coliformes Totais (NMP/100ml)	2382	-	117,2	<1
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	132	-	8,6	<1

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 51,3 h (fim do ensaio)								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	3459,4	50,0	745,73	44,5	78,4	45,533	42,1	98,7
4 a 6	1853,1	26,8	347,87	20,8	81,2	25,4	23,5	98,6
6 a 8	741,4	10,7	162,8	9,7	78,0	11,2	10,4	98,5
8 a 10	389,47	5,6	113,27	6,8	70,9	6,733	6,2	98,3
10 a 12	186,93	2,7	76,467	4,6	59,1	4,467	4,1	97,6
12 a 16	150,33	2,2	90,667	5,4	39,7	5,467	5,1	96,4
16 a 24	101,2	1,5	96,133	5,7	5,0	4,4	4,1	95,7
> 24	42,533	0,6	43,333	2,6	-1,9	4,933	4,6	88,4
2 a 10	6443,4	93,1	1369,7	81,7	78,7	88,9	82,2	98,6
> 12	294,1	4,2	230,1	13,7	21,7	14,8	13,7	95,0
Total	6924,4	100,0	1676,3	100,0	75,8	108,1	100,0	98,4

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: VI

Taxa de filtração FAP (m³/m².d) =

180,0

Taxa de filtração FRD (m³/m².d) =

240

T.O. (h)	Água bruta		Água coag.		FAP		FRD		FAP								P4máx1= 104,5				FRD		P4máx2= 222,3								
	Tur	pH	°C	pH	Tur	pH	Tur	pH	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1							
0,08	8,61				2,589			0,079																							
0,17					1,391			0,574																							
0,25					1,830			0,386	44,4	46,7	2,3	47,8	3,4	47,9	3,5	47,9	3,5														
0,33					2,034			0,360										12,5	34,4	21,9	54,4	41,9	77,7	65,2							
0,42					1,573			0,403																							
0,50					1,374			0,315	44,5	47,0		48,2		48,3		48,3		12,5	35,4	22,9	56,3		81,3	68,8							
0,58					1,341			0,174																							
0,67					1,109			0,129																							
0,75					1,010			0,103	44,5	47,2	2,7	48,4	3,9	48,6	4,1	48,6	4,1	12,5	35,8	23,3	57,3	44,8	85,0	72,5							
0,83					0,978			0,098																							
0,92					0,926			0,094																							
1,0	8,57		18,5		0,856			0,088	44,5	47,4	2,9	48,8	4,3	49,0	4,5	49,0	4,5	12,4	35,9	23,5	57,4	45,0	86,8	74,4							
2,0	8,56	6,98	18,5	6,78	0,607	6,87		0,067	6,90	44,5	48,0	3,5	49,2	4,7	50,1	5,6	50,1	5,6	12,4	38,8	26,4	63,0	50,6	100,7	88,3						
3,0	8,65		18,5		0,504			0,059		44,5	48,7	4,2	51,0	6,5	51,3	6,8	51,2	6,7	12,5	39,2	26,7	63,2	50,7	101,0	88,5						
4,0	8,68	7,21	18,5	6,83	0,422	6,97		0,054		44,5	49,3	4,8	52,0	7,5	52,3	7,8	52,1	7,6	12,5	36,8	24,3	59,5	47,0	102,4	89,9						
5,0	8,67		18,5		0,398			0,053		44,5	49,9	5,4	52,8	8,3	53,1	8,6	53,0	8,5	12,5	37,0	24,5	60,0	47,5	105,3	92,8						
6,0	8,66	7,19	18,4	6,83	0,351			0,051		44,4	50,3	5,9	53,9	9,5	54,2	9,8	54,1	9,7	12,5	36,0	23,5	58,0	45,5	105,5	93,0						
7,0	8,64		18,4		0,339			0,050		44,4	51,1	6,7	55,1	10,7	55,5	11,1	55,5	11,1	12,5	37,1	24,6	60,2	47,7	111,8	99,3						
8,0	8,67		18,3		0,329			0,046		44,4	51,8	7,4	56,2	11,8	56,7	12,3	56,7	12,3	12,5	37,3	24,8	60,6	48,1	114,5	102,0						
9,0	8,65	7,16	18,0	6,79	0,319	6,77		0,050		44,4	52,8	8,4	57,7	13,3	58,2	13,8	58,2	13,8	12,5	38,1	25,6	62,3	49,8	120,0	107,5						
10,0	8,65		18,0		0,314			0,051		44,4	53,7	9,3	59,0	14,6	59,4	15,0	59,4	15,0	12,5	38,6	26,1	63,2	50,7	124,0	111,5						
11,0	8,63		18,0		0,314			0,050		44,4	54,7	10,3	60,5	16,1	61,1	16,7	61,1	16,7	12,5	39,3	26,8	64,7	52,2	129,4	116,9						
12,0	8,63		18,0		0,299			0,049		44,4	55,5	11,1	61,7	17,3	62,3	17,9	62,3	17,9	12,5	38,2	25,7	62,7	50,2	127,7	115,2						
13,0	8,59		18,0		0,282			0,047		44,4	56,5	12,1	63,2	18,8	63,8	19,4	63,8	19,4	12,5	37,2	24,7	60,9	48,4	127,0	114,5						
14,0	8,57	6,95	18,0	6,65	0,289			0,048	6,66	44,4	57,2	12,8	64,3	19,9	65,0	20,6	65,0	20,6	12,5	37,4	24,9	61,0	48,5	128,7	116,2						
15,0	8,56		18,0		0,272			0,042		44,4	58,2	13,8	65,7	21,3	66,4	22,0	66,4	22,0	12,5	35,6	23,1	58,7	46,2	126,4	113,9						
16,0	8,56		18,0		0,278			0,047		44,4	59,0	14,6	67,1	22,7	67,8	23,4	67,9	23,5	12,5	36,6	24,2	59,8	47,3	129,8	117,3						
17,0	11,60	6,98	18,0	6,60	0,285	6,81		0,045		44,4	60,3	15,9	68,8	24,4	69,7	25,3	69,9	25,5	12,5	36,7	24,2	60,0	47,5	130,1	117,6						
18,0	10,89		18,0		0,332			0,035		44,4	61,5	17,1	70,7	26,3	71,6	27,2	76,0	31,6	12,5	37,4	24,9	61,3	48,8	137,0	124,5						
19,0	11,18		18,0		0,460			0,030		44,4	62,5	18,1	72,3	27,9	72,8	28,4	73,2	28,8	12,5	37,2	24,7	61,2	48,7	132,2	119,7						
19,08					1,963																										
20,0	10,13	6,95	18,0	6,75	0,514			0,030	6,63	44,4	63,4	19,0	73,3	28,9	74,2	29,8	74,6	30,2	12,5	36,0	23,5	58,9	46,4	136,9	124,4						
21,0	10,12		18,0		0,711			0,030		44,5	64,6	20,1	75,1	30,6	76,1	31,6	76,4	31,9	12,5	36,4	23,9	59,4	46,9	142,0	129,5						
22,0	9,96		18,0		1,187			0,031		44,5	66,6	22,1	77,8	33,3	78,9	34,4	79,2	34,7	12,5	37,7	25,2	61,8	49,3	152,4	139,9						
22,33					1,600																										
23,0	9,77	7,12	18,0	6,78	1,460	6,66		0,033	6,62	44,5	67,6	23,1	79,3	34,8	80,3	35,8	80,6	36,1	12,6	39,1	26,5	64,5	51,9	163,7	151,1						
24,0	9,87		18,0		1,612			0,034		44,5	68,3	23,8	80,2	35,7	81,2	36,7	81,5	37,0	12,6	38,4	25,8	63,3	50,7	166,0	153,4						
25,0	9,73		18,0		1,775			0,033		44,5	69,0	24,5	81,0	36,5	81,2	36,7	82,5	38,0	12,5	38,3	25,8	63,1	50,6	171,2	158,7						
26,0	9,53	6,91	17,9	6,77	1,856	6,68		0,034	6,76	44,5	70,1	25,6	82,3	37,8	83,5	39,0	83,8	39,3	12,6	40,0	27,4	66,0	53,4	186,2	173,6						
26,7					3,721				Topo do meio filtrante / FAP expandido = 1,0 cm com presença de pequeníssimos floquinhos																						
27,0	9,33		17,9		1,729			0,033		44,5	70,2	25,7	82,7	38,2	84,0	39,5	84,2	39,7													
27,25					3,120																										
27,50					4,652																										
27,87					3,642																										
28,0	9,27		17,9		7,395			0,033																							
28,25					3,367																										
29,0	9,18		17,8		1,967			0,033		44,5	71,9	27,4	84,5	40,0	85,9	41,4	86,1	41,6	12,4	37,5	25,1	62,0	49,6	196,0	183,6						
29,33					3,201																										
29,78					3,198																										
30,0	9,10	6,99	17,5	6,82	2,141	6,74		0,033	6,76	44,5	72,6	28,1	85,5	41,0	86,9	42,4	87,2	42,7	12,5	36,9	24,4	61,3	48,8	201,5	189,0						

Planilha F 1 -Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio VI

(Continuação)

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: VI

Taxa de filtração FAP (m3/m2.d) = 189,0

Taxa de filtração FRD (m3/m2.d) = 240

T.O. (h)	Água bruta		Água coag.		FAP		FRD		FAP										FRD										P4máx2=				222,3
	Tur	pH	°C	pH	Tur	pH	Tur	pH	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1									
31,0	9,08		17,5		2,021		0,033		44,5	73,0	28,5	86,0	41,5	87,4	42,9	87,7	43,2	12,4	37,5	25,1	62,9	50,5	210,0	197,6									
32,0	9,01		17,5		1,699		0,032		44,5	72,0	27,5	85,1	40,6	86,6	42,1	86,7	42,2	12,4	37,4	25,0	63,8	51,4	216,0	203,6									
32,70					1,898		0,032		44,5	72,9	28,4	86,0	41,5	87,4	42,9	87,7	43,2	12,4	37,7	25,3	65,0	52,6	222,4	210,0									
33,00	8,98		17,5		1,768				44,5	72,9	28,4	86,0	41,5	87,5	43,0	87,8	43,3																
33,25					2,166	6,84	0,749	6,84																									
33,33					1,887	6,78	0,809	6,84																									
33,42					1,819		0,367																										
33,50					1,794	6,75	0,082	6,76																									
33,58					1,725		0,067											12,7	40,5	27,8	63,8	51,1	82,2	69,5									
33,67					1,947	6,75	0,063	6,75										12,7	40,5	27,8	63,8	51,1	82,6	69,9									
33,75					1,890	6,75	0,059	6,78										12,7	40,5	27,8	63,8	51,1	83,0	70,3									
33,83					1,695		0,058											12,7	40,5	27,8	64,0	51,3	83,8	71,1									
33,92					1,805		0,057											12,6	40,6	28,0	64,4	51,8	84,7	72,1									
34,00	8,91		17,5		1,971	6,73	0,056	6,76	44,5	72,3	27,8	85,4	40,9	86,7	42,2	87,2	42,7	12,6	41,0	28,4	64,7	52,1	87,2	74,6									
34,25					3,500				Topo do meio filtrante / FAP expansão =1,2 cm e início da formação de manta																								
35,0	8,88		17,5		1,966		0,050		44,5	71,7	27,2	85,2	40,7	86,9	42,4	87,0	42,5	12,6	41,2	28,6	65,3	52,7	96,5	83,9									
35,25					3,200				Topo do meio filtrante / FAP expansão =1,3 cm e formação de manta com 0,5 cm de espessura																								
36,0	8,76	7,20	17,5	6,89	1,871		0,049	6,58	44,4	70,7	26,3	84,6	40,2	86,3	41,9	86,5	42,1	12,7	42,4	29,7	67,6	54,9	110,6	97,9									
37,0	8,77		17,8		1,773		0,047		44,4	70,5	26,1	84,6	40,2	85,6	41,2	85,8	41,4	12,7	41,2	28,5	65,5	52,8	114,3	101,6									
38,0	8,74		17,8		1,524		0,046		44,4	70,3	25,9	84,6	40,2	86,2	41,8	86,4	42,0	12,6	40,0	27,4	65,2	52,6	118,2	105,6									
39,0	12,1	7,10	17,8	6,92	1,619	6,58	0,044	6,69	44,4	70,5	26,1	85,1	40,7	86,8	42,4	87,0	42,6	12,6	39,2	26,6	62,0	49,4	120,3	107,7									
40,0	10,7		17,8		1,563		0,039		44,4	70,2	25,8	85,0	40,6	86,7	42,3	87,0	42,6	12,6	40,0	27,4	63,6	51,0	131,0	118,4									
40,25					2,200				Topo do meio filtrante / FAP expansão =1,8 cm com aparecimento de fissuras																								
41,0	13,6		18,0		1,659		0,037		44,5	70,3	25,8	85,1	40,6	86,9	42,4	87,3	42,8	12,6	40,0	27,4	63,3	50,7	138,5	125,9									
42,0	12,8	7,01	18,0	6,93	1,819	6,79	0,036	6,88	44,5	70,4	25,9	85,2	40,7	87,1	42,6	87,4	42,9	12,6	40,2	27,6	63,7	51,1	145,0	132,4									
43,0	11,5		18,5		1,817		0,032		44,5	70,2	25,7	85,4	40,9	87,3	42,8	87,7	43,2	12,6	39,7	27,1	62,9	50,3	153,1	140,5									
43,37					4,700				Topo do meio filtrante / FAP expansão =2,2 cm e aumento do número de fissuras no meio filtrante																								
44,0	11,5		18,5		1,589		0,032		44,5	70,3	25,8	85,8	41,3	87,8	43,3	88,2	43,7	12,6	40,4	27,8	64,3	51,7	166,4	153,8									
44,33					2,300																												
45,0	11,2	7,10	18,5	6,99	1,085	6,78	0,032	6,73	44,5	70,2	25,7	85,0	40,5	87,9	43,4	88,3	43,8	12,6	39,8	27,2	63,2	50,6	170,0	157,4									
46,0	11,0		18,2		1,615		0,033		44,5	70,0	25,5	86,1	41,6	88,2	43,7	88,6	44,1	12,6	39,6	27,0	63,1	50,5	185,5	172,9									
47,0	10,9		18,2		1,535		0,033		44,5	70,0	25,5	86,4	41,9	88,5	44,0	88,8	44,3	12,5	40,0	27,5	63,8	51,3	185,1	172,6									
47,98					2,700				Topo do meio filtrante / FAP expansão =2,5 cm e manta cobrindo toda a área do FAP																								
48,0	10,7	7,26	18,0	7,07	2,400	6,76	0,033	6,67	44,5	70,2	25,7	86,8	42,3	88,8	44,3	89,2	44,7	12,5	40,4	27,9	65,0	52,5	196,3	183,8									
48,38					2,600				Topo do meio filtrante / FAP expansão =2,8 cm e presença de flocos maiores (3mm)																								
49,00	10,6		18,0		1,591		0,036		44,5	70,2	25,7	87,1	42,6	88,1	43,6	89,5	45,0	12,6	40,3	27,7	65,1	52,5	201,4	188,8									
50,0	10,4		18,0		1,764		0,036		44,5	70,1	25,6	87,3	42,8	89,2	44,7	89,7	45,2	12,5	40,0	27,5	65,2	52,7	208,6	196,1									
51,0	10,1	7,27	18,0	6,91	2,212	6,85	0,035	6,68	44,5	70,0	25,5	87,3	42,8	89,5	45,0	89,9	45,4	12,5	40,7	28,2	67,0	54,5	219,5	207,0									
51,3	10,1		18,0		1,603		0,035		44,5	70,0	25,5	87,3	42,8	89,5	45,0	89,9	45,4	12,4	40,7	28,3	67,3	54,9	222,4	210,0									
MÍNIMO	8,6	6,9	17,5	6,6	0,272	6,6	0,030	6,6	44,4	46,7	2,3	47,8	3,4	47,9	3,5	47,9	3,5	12,4	34,4	21,9	54,4	41,9	77,7	65,2									
MÁXIMO	13,6	7,3	18,5	7,1	7,395	7,0	0,809	6,9	44,5	73,0	28,5	87,3	42,8	89,5	45,0	89,9	45,4	12,7	42,4	46,2	67,6	54,9	222,4	210,0									

Planilha F 2 - (Continuação) Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio VI

Tabela F 5 - Análises bacteriológico e de sólidos da água de lavagem do FRD e água de DF do FAP para tempo de operação = 51,3 h	
Amostra	Efluente da DF / FAP
Coliformes Totais (NMP/100ml)	14210
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	717
ST (mg/l)	1071
SST (mg/l)	995
SSF (mg/l)	679
SSV (mg/l)	316
SDT (mg/l)	76
SDF (mg/l)	68
SDV (mg/l)	8
STF (mg/l)	747
STV (mg/l)	324
SSED (ml/l)	-

ANEXO G : ENSAIO VII

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: VII

Taxa de filtração FAP ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 240Taxa de filtração FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 120

T.O.	Água bruta		Água coag		FAP	FRD	FAP										FRD							
(h)	Tur	pH	pH	temp	Tur	Tur	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1		
0,00																								
0,17					6,812	0,048	44,3	50,0	5,7	50,1	5,8	51,9	7,6	51,9	7,6									
0,33					6,944	0,087																		
0,50					6,658	0,18																		
0,67					6,514	0,222																		
0,83					6,35	0,229																		
1,0				17,2	6,245	0,209	44,5	51,6	7,1	53,9	9,4	54,0	9,5	54,2	9,7	12,1	26,2	14,1	38,4	26,3	54,5	42,4		
2,0	13,42	6,93	6,17	17,2	5,541	0,123	44,4	53,8	9,4	56,3	11,9	56,6	12,2	56,8	12,4	12,0	26,6	14,6	39,6	27,6	69,8	57,8		
3,0	13,15	7,1	6,19	17	5,141	0,148	44,4	55,6	11,2	58,8	14,4	59,1	14,7	59,3	14,9	12,0	27,3	15,3	41,4	29,4	87,4	75,4		
4,0	12,9			16,9	4,816	0,072	44,4	57,8	13,4	61,3	16,9	61,6	17,2	61,8	17,4	11,8	24,7	12,9	36,9	25,1	96,0	84,2		
5,0	12,71	6,85	6,65	16,9	4,498	0,072	44,4	60,3	15,9	64,4	20,0	64,6	20,2	64,9	20,5	11,8	26,6	14,8	40,7	28,9	114,2	102,4		
6,0	12,57	6,88	6,68	16,9	4,346	0,071	44,4	63,8	19,4	68,3	23,9	69,1	24,7	69,3	24,9	11,9	27,8	15,9	43,4	31,5	136,5	124,6		
7,0	12,38	6,87	6,65	16,8	4,046	0,066	44,4	66,8	22,4	72,5	28,1	72,9	28,5	73,0	28,6	11,9	28,1	16,2	43,6	31,7	152,6	140,7		
8,0	12,16			16,8	3,358	0,06	44,4	70,0	25,6	76,4	32,0	77,8	33,4	78,0	33,6	11,9	27,8	15,9	43,8	31,9	166,8	154,9		
9,0	12,02	6,91	6,83	16,8	3,602	0,055	44,4	73,2	28,8	80,1	35,7	80,6	36,2	80,6	36,2	11,9	27,3	15,4	43,1	31,2	179,8	167,9		
10,0	11,99	6,92	6,72	17	4,332	0,078	44,4	77,6	33,2	85,4	41,0	85,8	41,4	86,0	41,6	11,9	27,0	15,1	42,8	30,9	195,3	183,4		
11,0				17,5	4,82	0,101	44,4	61,6	17,2	67,8	23,4	68,4	24,0	68,5	24,1	11,9	28,2	16,3	45,6	33,7	215,3	203,4		
11,3					4,68	0,107										11,9					224,0	212,1		
MÍNIMO	12,0	6,9	6,2	16,8	3,358	0,048	44,3	50,0	5,7	50,1	5,8	51,9	7,6	51,9	7,6	11,8	24,7	12,9	36,9	25,1	54,5	42,4		
MÁXIMO	13,4	7,1	6,8	17,5	6,944	0,229	44,5	77,6	33,2	85,4	41,0	85,8	41,4	86,0	41,6	12,1	28,2	16,3	45,6	33,7	224,0	212,1		

Planilha G 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio VII

ANEXO H : ENSAIO VIII

Sistema FAP - FRD

Ensaio N° : VIII

Taxa de filtração FAP (m³/m².d) = 240Taxa de filtração FRD (m³/m².d) = 180

T.O. (h)	Água bruta		Água coag.		FAP	FRD	FAP P4máx= 94,4			FRD P4máx= 222,8		
	Tur	pH	t°C	pH	Tur	Tur	P0	P4	P4-P0	P1	P4	P4-P1
0,25					2,900	0,858	44,3	51,7	7,4	13,2	79,0	65,8
1,0	12,93		18		3,470	0,073	44,3	50,9	6,6	12,8	85,3	72,5
2,0	12,8				2,888	0,062	44,3	54,1	9,8	12,8	97,5	84,7
3,0	12,73	6,8	18	6,65	2,280	0,051	44,3	56,0	11,7	12,5	98,8	86,3
4,0	12,44				1,505	0,041	44,3	60,4	16,1	12,4	108,7	96,3
5,0		6,9		6,74	1,356	0,039	44,3	64,7	20,4	12,4	118,5	106,1
6,0	12,23				1,317	0,038	44,3	66,5	22,2	12,4	123,0	110,6
7,0	12,12	6,97	18	6,77	1,411	0,036	44,3	68,8	24,5	12,4	127,8	115,4
8,0	11,98		18		2,124	0,036	44,3	72,9	28,6	12,4	137,6	125,2
9,0	11,96	6,95	17,5	6,8	2,482	0,036	44,3	75,8	31,5	12,4	146,8	134,4
10,0	11,77				2,784	0,035	44,3	79,0	34,7	12,4	153,4	141,0
11,0	14,14	6,89	18	6,69	2,805	0,035	44,3	81,6	37,3	12,4	157,9	145,5
12,0	15,63		18,5		3,512	0,035	44,3	84,7	40,4	12,4	173,8	161,4
13,0	16,36	6,87	19	6,79	3,877	0,033	44,3	87,5	43,2	12,4	182,1	169,7
14,0	19,7		19		4,507	0,033	44,3	90,6	46,3	12,4	188,7	176,3
15,0	15,93	6,88	19	6,67	4,554	0,033	44,5	92,1	47,6	12,4	197,2	184,8
16,0	14,85	6,88	19	6,73	4,531	0,033	44,5	94,6	50,1	12,4	211,8	199,4
16,5					40,0	Carreamento de impurezas acumuladas no topo do FAP						
16,7			19		1,122	0,036	44,5	81,6	37,1	12,4	223,0	210,6
16,8					2,173							
17,0	14,34				2,517							
17,20			19				44,4	85,1	40,7	12,4	65,7	53,3
18,0	14,1				3,072	0,080	44,4	86,5	42,1	12,4	71,5	59,1
19,0	13,84	7,1	19,5	6,71	3,230	0,051	44,4	86,6	42,2	12,4	90,7	78,3
20,0	13,87		19		3,425	0,049	44,4	86,8	42,4	12,4	96,4	84,0
21,0	13,44		19	6,67	4,450	0,041	44,4	87,4	43,0	12,3	114,2	101,9
22,0		6,98	19	6,7	3,850	0,040	44,4	87,8	43,4	12,3	122,9	110,6
MÍNIMO	11,8	6,80	17,5	6,65	1,122	0,033	44,3	50,9	6,6	12,3	65,7	53,3
MÁXIMO	19,7	7,10	19,5	6,80	40,0	0,858	44,5	94,6	50,1	13,2	223,0	210,6

Planilha H 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio VIII

ANEXO I : ENSAIO IX

Sistema FAP - FRD

Ensaio N° : IX

Taxa de filtração FAP ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 240Taxa de filtração FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 240

T.O. (h)	Turbidez (uT)			FAP										P4máx1= 94,3				FRD		P4máx2= 222,4					
	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1						
0,083	19,1	0,447	0,540	44,3	49,0	4,7	51,1	6,8	51,6	7,3	51,6	7,3	13,3	47,7	34,4	68,8	55,5	75,6	62,3						
0,167		0,660	0,190																						
0,333		1,240	0,130																						
0,500		0,850	0,190																						
0,750		0,270	0,210																						
1,0	19,10	0,440	0,100	44,3	50,0	5,7	52,9	8,6	53,3	9,0	53,3	9,0	13,0	43,1	30,1	62,1	49,1	88,3	75,3						
2,0	17,80	0,510	0,060	44,3	51,9	7,6	55,9	11,6	56,3	12,0	56,3	12,0	12,9	41,4	28,5	59,8	46,9	89,6	76,7						
3,0	18,20	0,799	0,057	44,3	54,4	10,1	59,6	15,3	60,1	15,8	60,2	15,9	12,9	40,8	27,9	63,7	50,8	93,0	80,1						
4,0	17,70	2,455	0,053	44,3	56,2	11,9	62,3	18,0	62,9	18,6	63,0	18,7	12,8	40,2	27,4	57,9	45,1	96,4	83,6						
5,0	17,80	3,590	0,052	44,3	58,7	14,4	65,8	21,5	66,5	22,2	66,6	22,3	12,8	40,6	27,8	58,7	45,9	107,1	94,3						
6,0	17,30	4,600	0,050	44,3	61,3	17,0	69,5	25,2	70,3	26,0	70,4	26,1	12,8	41,3	28,5	59,6	46,8	123,0	110,2						
7,0	17,40	5,470	0,050	44,3	63,2	18,9	72,3	28,0	73,1	28,8	73,2	28,9	12,8	41,8	29,0	60,4	47,6	136,4	123,6						
8,0	17,00	6,343	0,046	44,3	65,2	20,9	75,1	30,8	76,1	31,8	76,2	31,9	12,8	41,6	28,8	60,4	47,6	150,2	137,4						
9,0	17,10	6,446	0,045	44,3	67,3	23,0	78,0	33,7	78,8	34,5	79,1	34,8	12,8	41,5	28,7	61,6	48,8	165,2	152,4						
10,0	16,90	7,013	0,045	44,3	69,5	25,2	80,1	35,8	81,9	37,6	82,1	37,8	12,8	41,5	28,7	61,6	48,8	165,2	152,4						
11,0	16,50	7,430	0,044	44,3	71,7	27,4	84,0	39,7	85,0	40,7	85,1	40,8	12,8	41,5	28,7	65,0	52,2	195,5	182,7						
12,0	15,90	7,800	0,043	44,3	73,1	28,8	86,0	41,7	86,9	42,6	87,3	43,0	12,8	41,5	28,7	68,8	56,0	209,0	196,2						
13,0	15,90	7,700	0,039	44,3	74,4	30,1	87,9	43,6	88,8	44,5	89,2	44,9	12,8	41,5	28,7	70,5	57,7	215,3	202,5						
13,5		7,903	0,035										12,8					222,4	209,6						
14,0				44,3	78,3	34,0	92,4	48,1	93,5	49,2	94,0	49,7	12,8	44,9	32,1	67,0	54,2	91,3	78,5						
14,083		9,520	0,210																						
14,167		8,350	0,130																						
14,333		7,900	0,100																						
14,500		8,320	0,100																						
14,750			0,090																						
15,0	18,90	7,480	0,049	44,3	80,1	35,8	90,3	46,0	91,6	47,3	91,8	47,5	12,8	44,6	31,8	65,0	52,2	105,6	92,8						
16,0		8,100	0,040	44,3	76,1	31,8	89,0	44,7	90,5	46,2	90,7	46,4	12,8	40,5	27,7	59,3	46,5	126,4	113,6						
17,0		5,840	0,038	44,3	75,4	31,1	88,5	44,2	89,9	45,6	90,2	45,9	12,8	39,9		58,6	45,8	135,4	122,6						
17,5		6,328	0,036	44,3	75,1	30,8	89,4	45,1	91,0	46,7	91,3	47,0	12,8	40,6	27,8	61,3	48,5	166,8	154,0						
MÍNIMO	15,9	0,270	0,035	44,3	49,0	4,7	51,1	6,8	51,6	7,3	51,6	7,3	12,8	39,9	27,4	57,9	45,1	75,6	62,3						
MÁXIMO	19,1	9,520	0,540	44,3	80,1	35,8	92,4	48,1	93,5	49,2	94,0	49,7	13,3	47,7	34,4	70,5	57,7	222,4	209,6						

Planilha I 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio IX

ANEXO J : ENSAIO X (C/ 3 DFIS)

Sistema 1-2

Ensaio Nº: X

TfFAP (m3/m2.d)= 180

TfFRD (m3/m2.d)= 240

DSA (mg/L)= 4,2

NDFI= 3

P4 DFI 1= 63,3

P4 DFI 2= 76,9

P4 DFI 3= 90,6

				P4máx1= 104,5										FRD				P4máx2= 222,4			
H	TurAB	TurFAP	TurFRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1		
0,080	9,51	0,686	0,548	44,2	46,7	2,5	47,8	3,6	47,9	3,7	46,8	2,6									
0,247	9,51	1,830	0,507	44,3	46,9	2,6	48,2	3,9	48,3	4,0	47,2	2,9									
0,330	9,54	1,679	0,547										12,6	34,4	21,8	59,9	47,3	80,1	67,5		
0,413	9,50	1,314	0,324	44,3	47,1	2,8	48,4	4,1	48,6	4,3	48,5	4,2	12,8	40,3	27,5	61,8	49,0	83,8	71,0		
0,497	9,45	1,160	0,163																		
0,580	9,45	1,021	0,107	44,3	47,2	2,9	48,7	4,4	49,0	4,7	48,9	4,6	12,9	41,3	28,4	63,4	50,5	87,5	74,6		
0,663	9,46	0,940	0,093																		
0,747	9,48	0,893	0,085	44,3	47,4	3,1	48,9	4,6	49,2	4,9	49,1	4,8	12,9	42,7	29,8	65,8	52,9	92,0	79,1		
0,830	9,53	0,852	0,080																		
0,913	9,48	0,817	0,078	44,3	47,5	3,2	49,1	4,8	49,5	5,2	49,4	5,1	12,9	42,3	29,4	65,0	52,1	91,8	78,9		
1,0	9,39	0,726	0,069	44,3	47,5	3,2	49,4	5,1	49,7	5,4	49,6	5,3	12,8	41,3	28,5	63,3	50,5	89,8	77,0		
2,0	9,41	0,560	0,060	44,3	48,2	3,9	50,8	6,5	51,1	6,8	51,1	6,8	12,7	40,5	27,8	62,1	49,4	91,7	79,0		
3,0	9,26	0,441	0,051	44,3	49,0	4,7	52,6	8,3	52,7	8,4	52,7	8,4	12,7	42,2	29,5	65,1	52,4	100,6	87,9		
4,0	9,21	0,398	0,051	44,3	49,7	5,4	53,9	9,6	54,1	9,8	54,1	9,8	12,7	42,6	29,9	55,9	43,2	104,6	91,9		
5,0	9,23	0,362	0,050	44,4	50,2	5,8	54,9	10,5	55,0	10,6	55,1	10,7	12,6	41,0	28,4	63,4	50,8	102,9	90,3		
6,0	9,23	0,333	0,048	44,4	50,9	6,5	56,3	11,9	56,5	12,1	56,8	12,4	12,6	41,2	28,6	64,7	52,1	105,9	93,3		
7,0	9,21	0,318	0,045	44,4	52,0	7,6	58,0	13,6	58,3	13,9	58,5	14,1	12,6	41,7	29,1	64,7	52,1	110,0	97,4		
8,0		0,306	0,045	44,4	53,1	8,7	59,6	15,2	60,0	15,6	60,2	15,8	12,6	42,8	30,2	66,3	53,7	115,4	102,8		
9,0	9,18	0,282	0,048	44,4	53,7	9,3	60,9	16,5	61,4	17,0	61,5	17,1	12,6	40,5	27,9	62,7	50,1	111,3	98,7		
10,0		0,259	0,049	44,5	54,6	10,1	62,4	17,9	62,9	18,4	63,1	18,6	12,5	40,0	27,5	61,8	49,3	111,6	99,1		
10,250		0,259	0,049	Tx DFI 1 = 983,7 m/d e tempo DFI 1=1,5 min e reinício às 10,4 h (8 min após DFI 1)																	
10,417				44,3	48,9	4,6	51,2	6,9	51,3	7,0	51,3	7,0	(5 min após o reinício)								
10,450		2,141		Turbidez máxima do eflu. FAP após 4 min. do reinício = 2,141 uT																	
10,667			0,072	Turbidez máx do eflu. FRD após 15 min. do reinício = 0,072 uT																	
10,833			0,055	Recuperação de carga (cm) = 11,8																	
11,0	12,20	0,703	0,054	44,6	50,0	5,4	53,0	8,4	53,2	8,6	53,2	8,6	12,6	39,7	27,1	61,2	48,6	115,9	103,3		
12,0	11,76	0,500	0,044	44,5	50,7	6,2	55,0	10,5	55,4	10,9	55,4	10,9	12,6	39,7	27,1	61,3	48,7	120,1	107,5		
13,0	11,91	0,413	0,043	44,5	51,5	7,0	56,6	12,1	57,0	12,5	57,0	12,5	12,6	39,3	26,7	60,7	48,1	121,8	109,2		
14,0	11,23	0,351	0,042	44,5	52,5	8,0	58,5	14,0	58,9	14,4	59,0	14,5	12,5	38,2	25,7	58,7	46,2	121,2	108,7		
15,0	11,02	0,324	0,040	44,5	53,4	8,9	59,9	15,4	60,2	15,7	60,3	15,8	12,5	38,0	25,5	58,2	45,7	125,0	112,5		
16,0	10,92	0,290	0,040	44,5	54,3	9,8	61,8	17,3	62,3	17,8	62,4	17,9	12,5	37,7	25,2	58,0	45,5	124,2	111,7		
17,0	10,80	0,269	0,040	44,5	55,0	10,5	63,4	18,9	63,8	19,3	64,0	19,5	12,5	37,5	25,0	57,5	45,0	125,5	113,0		
18,0		0,255	0,039	44,5	56,1	11,6	65,6	21,1	66,1	21,6	66,3	21,8	12,5	38,0	25,5	58,0	45,5	130,0	117,5		
19,0	10,47	0,260	0,040	44,5	55,0	10,5	63,4	18,9	63,8	19,3	68,0	23,5	12,6	38,5	25,9	60,2	47,6	135,0	122,4		
20,0	10,34	0,254	0,040	44,5	58,2	13,7	69,1	24,6	69,7	25,2	70,0	25,5	12,6	39,7	27,1	61,4	48,8	139,2	126,6		
21,0	10,18	0,263	0,040	44,5	59,0	14,5	70,5	26,0	71,2	26,7	71,4	26,9	12,5	38,6	26,1	59,8	47,3	138,1	125,6		
22,0	10,07	0,304	0,040	44,5	60,1	15,6	72,2	27,7	72,9	28,4	73,1	28,6	12,5	38,6	26,1	59,8	47,3	139,8	127,3		
23,0	9,93	0,387	0,040	44,5	60,9	16,4	73,5	29,0	74,3	29,8	74,5	30,0	12,5	38,6	26,1	59,8	47,3	141,2	128,7		
24,0	9,79	0,532	0,040	44,5	62,0	17,5	75,3	30,8	76,1	31,6	76,3	31,8	12,4	38,3	25,9	59,2	46,8	143,0	130,6		
24,500		0,722	0,048	44,5							77,0	32,5	(5 min após o reinício)								
24,750				44,3	53,0	8,7	57,6	13,3	57,8	13,5	57,8	13,5	(5 min após o reinício)								
24,800		2,602		Tx DFI 2 = 894,5 m/d, tempo DFI 1=1,7 min, reinício às 24,7 h (12 min após DFI 2) e turbidez do efluente de DFI 2 = 2,602 uT																	
24,967		0,600	0,058	Turbidez máx do eflu. FAP após 6 min. do reinício = 2,602 uT e do eflu. FRD após 16 min. do reinício = 0,058 uT																	
25,000	9,73	0,569	0,060	44,3	53,9	9,6	59,0	14,7	59,3	15,0	59,3	15,0	12,5	39,4	26,9	60,9	48,4	153,4	140,9		
25,133			0,050	Recuperação de carga (cm) = 19,2																	
25,833		0,349																			
26,0	9,66	0,387	0,040	44,3	55,8	11,5	62,5	18,2	62,9	18,6	62,9	18,6	12,5	40,0	27,5	62,1	49,6	158,9	146,4		
27,0	9,60	0,332	0,040	44,4	56,1	11,7	65,2	20,8	65,5	21,1	65,5	21,1	12,5	40,5	28,0	63,2	50,7	164,3	151,8		
28,0	9,53	0,328	0,041	44,4	57,9	13,5	66,8	22,4	67,3	22,9	67,3	22,9	12,5	39,9	27,4	62,1	49,6	164,0	151,5		
29,0	9,55	0,295	0,042	44,4	53,9	9,5	68,9	24,5	69,5	25,1	69,5	25,1	12,5	38,3	25,8	59,4	46,9	160,4	147,9		
30,0	9,46	0,287	0,060	44,4	59,7	15,3	70,3	25,9	71,0	26,6	71,0	26,6	12,5	38,0	25,5	58,9	46,4	163,6	151,1		
31,0	9,46	0,293	0,041	44,4	60,8	16,4	72,7	28,3	73,3	28,9	73,3	28,9	12,5	39,8	27,3	62,0	49,5	172,4	159,9		
32,0	9,37	0,301	0,042	44,4	61,3	16,9	73,9	29,5	74,5	30,1	74,6	30,2	12,5	38,5	26,0	60,0	47,5	168,6	156,1		
33,0	9,31	0,354	0,042	44,4	62,4	18,0	75,8	31,4	76,4	32,0	76,5	32,1	12,5	38,6	26,1	60,1	47,6	171,5	159,0		
34,0	9,26	0,406	0,042	44,5	66,3	21,8	77,3	32,8	78,0	33,5	78,2	33,7	12,4	38,1	25,7	58,9	46,5	170,5	158,1		
35,0	9,20	0,590	0,041	44,5	65,3	20,8	80,4	35,9	81,1	36,6	81,3	36,8	12,5	40,3	27,8	63,0	50,5	182,5	170,0		
36,0	9,18	0,561	0,042	44,6	66,1	21,5	81,2	36,6	82,0	37,4	82,1	37,5	12,6	40,3	27,7	62,9	50,3	184,0	171,4		
37,0	9,18	0,656	0,041	44,7	67,2	22,5	83,2	38,5	84,1	39,4	84,3	39,6	12,6	39,7	27,1	62,0	49,4	183,5	170,9		
38,0	9,11	0,852	0,041	44,6	68,6	24,0	85,6	41,0	86,5	41,9	86,7	42,1	12,6	39,7	27,1	61,8	49,2	186,2	173,6		
39,0	9,11	0,926	0,041	44,6	69,6	25,0	87,4	42,8	88,3	43,7	88,6	44,0	12,5	39,5	27,0	57,2	44,7	176,8	164,3		
40,0	10,90	0,964	0,038	44,6	70,6	26,0	89,3	44,7	90,2	45,6	90,5	45,9	12,5	36,9	24,4	57,0	44,5	178,2	165,7		

Planilha J 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio X (c/ 3 DFIs)

(Continuação) Sistema 1-2

Ensaio Nº : X

TIFAP (m3/m2.d)= 180

TIFRD (m3/m2.d)= 240

DSA (mg/L)= 4,2

NDFI= 3

P4 DFI 1= 63,3

P4 DFI 2= 76,9

P4 DFI 3= 90,6

				P4 DFI 3= 30,6								FRD				P4máx2= 222,4							
H	TurAB	TurFAP	TurFRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1				
40,167		0,967	0,038	44,6							90,9	46,3											
40,417				44,4	58,0	13,6	64,6	20,2	65,0	20,6	65,0	20,6	(5 min após o reinício)										
40,450		2,946		Tx DFI 3 = 887,5 m/d e tempo DFI 3=1,4 min e reinício às 40,38 h (13 min após DFI3)																			
40,483		1,241		Turbidez máxima do eflu. FAP após 4 min. do reinício = 2,946 uT																			
40,517		0,958		Turbidez do efluente de DFI 3 = 592 uT																			
40,550		0,528	0,058	Turbidez máx. do eflu. FRD após 10,2 min. do reinício = 0,058 uT																			
40,583		0,483	0,041	Recuperação de carga (cm) = 25,9																			
40,750		0,390	0,050																				
40,917		0,362	0,040																				
41,0	10,78	0,348	0,037	44,4	60,2	15,8	68,7	24,3	68,7	24,3	68,7	24,3	12,5	32,2	19,7	55,6	43,1	184,4	171,9				
42,0	11,34	0,294	0,035	44,5	62,7	18,2	72,8	28,3	73,3	28,8	73,3	28,8	12,5	37,4	24,9	57,8	45,3	197,0	184,5				
43,0	10,21	0,288	0,031	44,5	64,4	19,9	76,2	31,7	76,8	32,3	76,7	32,2	12,5	37,7	25,2	58,3	45,8	201,5	189,0				
44,0	9,92	0,327	0,035	44,5	65,7	21,2	78,3	33,8	78,9	34,4	78,9	34,4	12,5	38,0	25,5	58,9	46,4	207,1	194,6				
45,0	9,75	0,388	0,036	44,5	66,8	22,3	80,4	35,9	81,0	36,5	81,0	36,5	12,5	38,3	25,8	59,4	46,9	211,3	198,8				
46,0	9,63	0,511	0,036	44,5	67,9	23,4	82,5	38,0	83,3	38,8	83,3	38,8	12,5	38,3	25,8	59,3	46,8	213,3	200,8				
47,0	9,51	0,590	0,037	44,5	69,0	24,5	84,6	40,1	85,1	40,6	85,2	40,7	12,5	39,0	26,5	60,7	48,2	220,2	207,7				
47,417			0,037										12,5					222,2	209,7				
48,0	9,30	0,677	0,074	44,4	70,1	25,7	86,7	42,3	87,4	43,0	87,5	43,1	12,9	39,1	26,2	59,7	46,8	83,0	70,1				
49,0	9,28	0,823	0,052	44,4	71,0	26,6	88,2	43,8	88,9	44,5	89,0	44,6	12,7	38,1	25,4	58,0	45,3	84,3	71,6				
50,0	9,18	0,889	0,050	44,4	71,9	27,5	90,0	45,6	90,7	46,3	90,9	46,5	12,6	38,0	25,4	58,0	45,4	90,0	77,4				
51,0	9,12	0,959	0,048	44,4	72,7	28,3	91,5	47,1	92,7	48,3	92,5	48,1	12,6	37,8	25,2	57,8	45,2	94,3	81,7				
52,0	9,07	1,110	0,047	44,4	73,8	29,4	93,5	49,1	94,3	49,9	94,5	50,1	12,6	38,1	25,5	58,2	45,6	101,2	88,6				
53,0	9,09	1,234	0,044	44,4	74,7	30,3	95,2	50,8	96,0	51,6	96,3	51,9	12,6	38,0	25,4	58,1	45,5	105,9	93,3				
54,0	9,04	1,350	0,047	44,4	75,9	31,5	96,9	52,5	97,8	53,4	98,1	53,7	12,6	38,1	25,5	58,2	45,6	112,4	99,8				
55,0	8,91	1,425	0,046	44,4	77,3	32,9	99,2	54,8	100,0	55,6	100,3	55,9	12,6	37,9	25,3	58,0	45,4	118,9	106,3				
56,0	8,91	1,712	0,046	44,4	79,0	34,6	102,2	57,8	103,1	58,7	103,4	59,0	12,6	37,7	25,1	57,7	45,1	125,8	113,2				
56,417		1,690	0,046	44,4	80,1	35,7	103,7	59,3	104,8	60,4	105,0	60,6											
56,917		2,104																					
56,958		3,700																					
57,000	8,85	1,768	0,050	44,5	47,5	3,0	48,8	4,3	49,0	4,5	49,0	4,5	12,6	39,5	26,9	61,0	48,4	139,8	127,2				
57,083		1,974	0,183																				
57,250		1,151	0,170																				
58,0	8,80	0,671	0,047	44,4	48,3	3,9	50,3	5,9	50,5	6,1	50,6	6,2	12,5	36,7	24,2	56,1	43,6	146,8	134,3				
59,0	8,77	0,498	0,048	44,6	48,9	4,3	51,4	6,8	51,7	7,1	51,7	7,1	12,6	38,5	25,9	59,4	46,8	158,7	146,1				
60,0	8,70	0,381	0,045	44,5	48,4	3,9	52,7	8,2	53,0	8,5	53,0	8,5	12,5	35,7	23,2	54,5	42,0	153,5	141,0				
61,0	8,70	0,345	0,044	44,6	50,1	5,5	54,0	9,4	54,3	9,7	54,4	9,8	12,5	37,1	24,6	56,9	44,4	163,0	150,5				
62,0	8,66	0,290	0,044	44,5	50,8	6,3	55,3	10,8	55,8	11,3	55,8	11,3	12,5	35,8	23,3	49,7	37,2	161,7	149,2				
63,0	8,63	0,280	0,044	44,5	51,4	6,9	56,4	11,9	56,9	12,4	56,9	12,4	12,5	36,6	24,1	56,2	43,7	168,8	156,3				
64,0	8,61	0,269	0,046	44,5	52,3	7,8	58,0	13,5	58,6	14,1	58,7	14,2	12,5	36,0	23,5	55,1	42,6	169,0	156,5				
65,0	11,49	0,257	0,047	44,5	53,1	8,6	59,4	14,9	60,0	15,5	60,1	15,6	12,5	35,5	23,0	54,2	41,7	170,0	157,5				
66,0	10,05	0,235	0,041	44,5	54,1	9,6	61,1	16,6	61,8	17,3	61,9	17,4	12,5	36,3	23,8	55,6	43,1	178,0	165,5				
67,0	10,44	0,230	0,035	44,5	54,9	10,4	62,6	18,1	63,3	18,8	63,3	18,8	12,5	36,5	24,0	55,9	43,4	182,0	169,5				
68,0	10,22	0,224	0,040	44,5	55,8	11,3	64,1	19,6	65,0	20,5	65,0	20,5	12,5	37,0	24,5	56,8	44,3	187,9	175,4				
69,0	10,04	0,218	0,040	44,5	57,0	12,5	66,0	21,5	66,8	22,3	70,0	25,5	12,5	37,1	24,6	57,1	44,6	191,6	179,1				
70,0	9,88	0,211	0,040	44,5	57,9	13,4	67,4	22,9	68,2	23,7	68,4	23,9	12,4	37,0	24,6	56,8	44,4	193,5	181,1				
70,400		0,214	0,046	44,5							68,6	24,1											
70,633		0,223	0,040	44,3	50,0		52,4		52,6		52,6		(6 min após reinício)										
70,650		1,800	0,040	Tempo DFI 1=1,3 min e reinício às 70,53 h (8 min após DFI3), porém foi efetuado descarte do eflu.FAP por 3 minutos																			
70,717		0,987	0,054	Turbidez máxima do eflu. FAP após 7 min. do reinício = 1,8 uT e do do eflu. FRD após 11 min. do reinício = 0,054 uT																			
70,833		0,759	0,040	Recuperação de carga (cm) = 16																			
71,0	9,78	0,627	0,041	44,5	50,6	6,1	53,7	9,2	53,9	9,4	53,9	9,4	12,4	36,2	23,8			217,0	204,6				
71,417	10,10	0,521	0,043										12,4	36,7	24,3	57,2	44,8	223,4	211,0				
MÍNIMO	8,61	0,211	0,031	44,2	46,7	2,5	47,8	3,6	47,9	3,7	46,8	2,6	12,4	32,2	19,7	49,7	37,2	80,1	67,5				
MÁXIMO	12,20	3,700	0,548	44,7	80,1	35,7	103,7	59,3	104,8	60,4	105,0	60,6	12,9	42,8	30,2	66,3	53,7	223,4	211,0				

Planilha J 2 - (Continuação) Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio X (c/ 3 DFIs)

ANEXO K : ENSAIO XI (C/ 4 DFIS)

Tabela K 1 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E. coli* e distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 0 h / ensaio XI (c/ 4 DFIS)

Parâmetros	Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-9,8±1,7	-7,7±1,2	-2,3±0,1	-2,3±0
Cor Aparente (uH)	96	-	18	1
Cor Verdadeira (uH)	30	-	1	1
COD (mgC/L)	2,837	-	1,911	2,005
Absorvância 254 nm	0,046	-	0,011	0,012
Coliformes Totais (NMP/100ml)	2419,2	-	77,1	0
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	191,8	-	12,1	0

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 0 h

Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	3261,1	39,8	236,1	62,5	92,8	22,5	36,3	99,3
4 a 6	1867,1	22,8	73,0	19,3	96,1	12,3	19,8	99,3
6 a 8	945,1	11,5	23,2	6,1	97,5	5,7	9,1	99,4
8 a 10	625,7	7,6	11,3	3,0	98,2	3,3	5,3	99,5
10 a 12	410,5	5,0	7,5	2,0	98,2	2,0	3,2	99,5
12 a 16	438,3	5,4	10,1	2,7	97,7	4,0	6,5	99,1
16 a 24	384,5	4,7	8,5	2,2	97,8	4,7	7,5	98,8
> 24	255,3	3,1	8,5	2,2	96,7	7,6	12,3	97,0
2 a 10	6698,9	81,8	343,5	90,9	94,9	43,7	70,5	99,3
> 12	1078,1	13,2	27,0	7,1	97,5	16,3	26,3	98,5
Total	8187,5	100,0	378,0	100,0	95,4	61,9	100,0	99,2

Tabela K 2 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E. coli* e distribuição de partículas da água bruta e efluentes antes e após a 1ª. DFI FAP / ensaio XI (c/ 4 DFIS)

Parâmetros	Antes da 1ª. DFI FAP Tempo de operação = 6 h				Após a 1ª. DFI FAP Tempo de operação = 6,5 h	
	Água bruta	Água coag.	Eflu. FAP	Eflu. FRD	Eflu. FAP	Eflu. FRD
Potencial Zeta (mV)	-14,8 ± 1,7	-10,4 ± 2,7	-2,3 ± 0	-2,3 ± 0	-3,6 ± 0,4	-2,7 ± 0,1
Cor Aparente (uH)	97	-	3	< 1	12	1
Cor Verdadeira (uH)	30	-	1	< 1	1	1
COD (mgC/L)	2,0	-	2,097	2,191	2,137	1,907
Absorvância	0,055	-	0,012	0,01	0,009	0,008
Coliformes Totais (NMP/100ml)	325,5	-	31,3	5,2	161,6	41,6
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	159,7	-	0	0	21,6	4,1

Distribuição de partículas / antes e após a 1ª. DFI FAP

Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Antes da 1ª. DFI FAP Tempo de operação = 6 h						Após a 1ª. DFI FAP Tempo de operação = 6,5 h					
			Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem	Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem
2 a 4	3274,5	45,5	61,3	37,4	98,1	32,9	34,0	99,0	294,9	49,1	91,0	58,8	35,5	98,2
4 a 6	1704,1	23,7	33,5	20,4	98,0	22,6	23,4	98,7	142,3	23,7	91,6	39,7	23,9	97,7
6 a 8	753,9	10,5	17,1	10,4	97,7	8,3	8,6	98,9	56,2	9,4	92,5	18,3	11,1	97,6
8 a 10	479,1	6,7	9,3	5,7	98,1	7,3	7,6	98,5	30,5	5,1	93,6	11,5	7,0	97,6
10 a 12	306,5	4,3	7,5	4,6	97,5	5,1	5,3	98,3	18,9	3,2	93,8	7,4	4,5	97,6
12 a 16	318,6	4,4	7,9	4,8	97,5	7,0	7,2	97,8	17,4	2,9	94,5	12,0	7,2	96,2
16 a 24	244,0	3,4	11,8	7,2	95,2	7,1	7,4	97,1	16,9	2,8	93,1	10,9	6,6	95,5
> 24	111,5	1,6	15,5	9,5	86,1	6,3	6,6	94,3	23,7	3,9	78,8	7,1	4,3	93,7
2 a 10	6211,6	86,4	121,3	73,9	98,0	71,1	73,5	98,9	523,9	87,2	91,6	128,3	77,5	97,9
> 12	674,1	9,4	35,3	21,5	94,8	20,5	21,2	97,0	57,9	9,6	91,4	29,9	18,1	95,6
Total	7192,3	100	164,1	100,0	97,7	96,7	100,0	98,7	600,7	100,0	91,6	165,7	100,0	97,7

Tabela K 3 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E. coli* e distribuição de partículas da água bruta e efluentes antes e após a 2ª. DFI FAP / ensaio XI (c/ 4 DFIs)

Parâmetros			Antes da 2ª. DFI FAP				Após a 2ª. DFI FAP			
			Tempo de operação = 14 h				Tempo de operação =14,3 h			
			Água bruta	Água coag.	Eflu. FAP	Eflu. FRD	Eflu. FAP		Eflu. FRD	
Potencial Zeta (mV)			-2,8±0,5	-6,3±1,5	-2,1±0	-2,1±0	-		-	
Cor Aparente (uH)			87	-	12	<1	9		<1	
Cor Verdadeira (uH)			26	-	1	<1	1		<1	
COD (mgC/L)			1,063	-	0,906	0,866	0,725		0,759	
Absorvância			0,047	-	0,012	0,01	0,012		0,012	
Coliformes Totais (NMP/100ml)			2247	-	214,3	1	90,5		-	
E. coli (NMP/100mL)			74	-	16	<1	5,2		-	

Distribuição de partículas / antes e após a 2ª. DFI FAP														
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Antes da 2ª. DFI FAP						Após a 2ª. DFI FAP					
			Tempo de operação = 14 h						Tempo de operação = 14,3 h					
			Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem	Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem
2 a 4	3391,7	48,0	555,3	57,1	83,6	63,5	40,9	98,1	210,0	48,6	93,8	49,5	34,7	98,5
4 a 6	1821,9	25,8	209,1	21,5	88,5	33,1	21,3	98,2	97,9	22,6	94,6	34,2	23,9	98,1
6 a 8	776,8	11,0	77,2	7,9	90,1	14,3	9,2	98,2	38,7	8,9	95,0	19,2	13,4	97,5
8 a 10	442,3	6,3	47,3	4,9	89,3	7,7	5,0	98,3	24,3	5,6	94,5	11,7	8,2	97,4
10 a 12	238,7	3,4	24,4	2,5	89,8	5,3	3,4	97,8	15,3	3,5	93,6	6,9	4,8	97,1
12 a 16	202,4	2,9	25,8	2,7	87,3	8,8	5,7	95,7	15,1	3,5	92,5	9,1	6,3	95,5
16 a 24	131,4	1,9	21,5	2,2	83,6	10,7	6,9	91,8	15,7	3,6	88,1	7,7	5,4	94,1
> 24	60,7	0,9	11,2	1,2	81,6	11,9	7,6	80,5	15,5	3,6	74,5	4,7	3,3	92,3
2 a 10	6432,7	91,0	888,9	91,5	86,2	118,5	76,3	98,2	370,9	85,8	94,2	114,6	80,2	98,2
> 12	394,5	5,6	58,5	6,0	85,2	31,4	20,2	92,0	46,3	10,7	88,3	21,5	15,0	94,6
Total	7065,9	100,0	971,9	100,0	86,2	155,3	100,0	97,8	432,5	100,0	93,9	142,9	100,0	98,0

Tabela K 4 - Análises bacteriológico e de sólidos das águas da 1ª. e 2ª. DFIs do FAP

Amostra	Água da 1ª.DFI / tempo de operação = 6,2h	Água da 2ª.DFI / tempo de operação = 14,1 h
Coliformes Totais (NMP/100ml)	21870	27550
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	2850	2987
ST (mg/l)	410	631
SST (mg/l)	366	485
SSF (mg/l)	262	340
SSV (mg/l)	104	145
SDT (mg/l)	44	146
SDF (mg/l)	36	102
SDV (mg/l)	8	44
STF (mg/l)	298	442
STV (mg/l)	112	189
SSED (ml/l)	40	68

Tabela K 5 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E. coli* e distribuição de partículas da água bruta e efluentes antes e após a 3ª. DFI FAP / ensaio XI (c/ 4 DFI's)

Parâmetros	Antes da 3ª. DFI FAP Tempo de operação = 25 h				Após a 3ª. DFI FAP Tempo de operação = 25,7 h	
	Água bruta	Água coag.	Eflu. FAP	Eflu. FRD	Eflu. FAP	Eflu. FRD
Potencial Zeta (mV)	-6,2 ± 0,4	-12,1 ± 1,9	-2,9 ± 0,6	-2,1 ± 0	-	-
Cor Aparente (uH)	86	-	20	<1	18	<1
Cor Verdadeira (uH)	26	-	1	<1	1	<1
COD (mgC/L)	1,111	-	0,71	0,715	0,752	2,09
Absorvância	0,047	-	0,013	0,012	0,024	0,019
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1203,3	-	201,4	11	186	6,3
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	71,7	-	15,8	1	14,6	1

Distribuição de partículas / antes e após a 3ª. DFI FAP

Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Antes da 3ª. DFI FAP Tempo de operação = 25 h						Após a 3ª. DFI FAP Tempo de operação = 25,7 h					
			Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem	Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem
2 a 4	3881,8	55,3	1237,1	49,4	68,1	20,7	37,3	99,5	1427,7	46,2	63,2	31,1	45,9	99,2
4 a 6	1828,7	26,0	630,7	25,2	65,5	12,1	21,8	99,3	841,1	27,2	54,0	13,0	19,2	99,3
6 a 8	664,7	9,5	284,7	11,4	57,2	5,2	9,4	99,2	384,2	12,4	42,2	5,8	8,5	99,1
8 a 10	315,3	4,5	167,4	6,7	46,9	2,9	5,3	99,1	212,1	6,9	32,7	3,6	5,3	98,9
10 a 12	147,9	2,1	78,1	3,1	47,2	4,3	7,7	97,1	98,9	3,2	33,1	2,6	3,8	98,2
12 a 16	105,0	1,5	57,8	2,3	45,0	5,5	9,8	94,8	72,2	2,3	31,2	2,4	3,5	97,7
16 a 24	58,8	0,8	32,7	1,3	44,3	2,7	4,9	95,4	40,8	1,3	30,6	3,6	5,3	93,9
> 24	20,9	0,3	13,6	0,5	34,8	2,1	3,7	90,1	12,1	0,4	41,9	5,7	8,4	72,5
2 a 10	6690,5	95,3	2319,9	92,7	65,3	41,0	73,8	99,4	2865	92,7	57,2	53,5	78,9	99,2
> 12	184,7	2,6	104,1	4,2	43,6	10,3	18,5	94,4	125,1	4,1	32,2	11,7	17,3	93,6
Total	7023,0	100,0	2502,2	100	64,4	55,5	100,0	99,2	3089	100	56,0	67,9	100,0	99,0

Tabela K 6 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E. coli* e distribuição de partículas da água bruta e efluentes antes e após a 4ª. DFI FAP / ensaio XI (c/ 4 DFI's)

Parâmetros	Antes da 4ª. DFI FAP Tempo de operação = 36,7 h				Após a 4ª. DFI FAP Tempo de operação = 37 h	
	Água bruta	Água coag.	Eflu. FAP	Eflu. FRD	Eflu. FAP	Eflu. FRD
Potencial Zeta (mV)	-6,9±0,3	-13,6±3	-2,1±0	-2,2±0	-	-
Cor Aparente (uH)	74	-	3	3	54	5
Cor Verdadeira (uH)	29	-	1	1	7	1
COD (mgC/L)	3,599	-	2,03	2,740	1,857	2,278
Absorvância	0,06	-	0,013	0,016	0,015	0,024
Coliformes Totais (NMP/100ml)	686,7	-	23,8	2	37,3	1
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	63,3	-	10,9	2	5,1	1

Distribuição de partículas / antes e após a 4ª. DFI FAP

Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Antes da 4ª. DFI FAP Tempo de operação = 36,7 h						Após a 4ª. DFI FAP Tempo de operação = 37 h					
			Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem	Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem
2 a 4	997,5	50,6	41,9	43,7	95,8	63,8	43,0	93,6	2863,5	34,5	-187,1	63,0	39,9	93,7
4 a 6	430,5	21,8	24,0	25,0	94,4	37,7	25,4	91,3	2230,3	26,9	-418,0	37,1	23,5	91,4
6 a 8	203,6	10,3	8,7	9,1	95,7	13,9	9,4	93,2	1366,0	16,5	-570,9	17,6	11,2	91,4
8 a 10	134,4	6,8	5,0	5,2	96,3	7,5	5,1	94,4	922,3	11,1	-586,3	9,1	5,8	93,2
10 a 12	83,7	4,2	2,9	3,0	96,6	5,5	3,7	93,5	448,1	5,4	-435,5	7,2	4,6	91,4
12 a 16	72,5	3,7	3,5	3,7	95,1	6,3	4,2	91,4	323,3	3,9	-345,7	9,9	6,3	86,3
16 a 24	39,3	2,0	3,6	3,8	90,8	7,1	4,8	81,9	122,9	1,5	-212,5	7,7	4,9	80,3
> 24	10,8	0,5	6,3	6,5	42,0	6,6	4,4	38,9	14,2	0,2	-31,5	6,1	3,9	43,2
2 a 10	1766,0	89,5	79,6	83,0	95,5	122,9	82,8	93,0	7382,1	89,0	-318,0	126,8	80,4	92,8
> 12	122,7	6,2	13,4	14,0	89,1	20,0	13,5	83,7	460,4	5,6	-275,3	23,8	15,1	80,6
Total	1972,3	100,0	95,9	100,0	95,1	148,4	100,0	92,5	8290,6	100	-320,3	157,8	100,0	92,0

Tabela K 7 - Análises bacteriológico e de sólidos das águas da 3ª. e 4ª. DFI's e da DFF do FAP

Amostra	Água da 3ª.DFI / tempo de operação = 25,4 h	Água da 4ª.DFI / tempo de operação = 36,8 h	Água da DFF / tempo de operação = 47,8 h
Coliformes Totais (NMP/100ml)	31300	241920	155310
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	3282	13880	5120
ST (mg/l)	590	576	566
SST (mg/l)	495	535	410
SFS (mg/l)	345	375	280
SVS (mg/l)	150	160	130
SDT (mg/l)	95	41	156
SFD (mg/l)	59	31	122
SVD (mg/l)	36	10	34
STF (mg/l)	404	406	402
STV (mg/l)	186	170	164
SSed (ml/l)	90	100	60

Tabela K 8 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, coliformes totais, *E. coli* e distribuição de partículas da água bruta e efluentes antes da DFF FAP / ensaio XI (c/ 4 DFI's)

Parâmetros	Antes da DFF FAP / Tempo de operação = 47,5 h			
	Água bruta	Água coag.	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-4,1 ± 0,5	-15,6 ± 3,2	-2,1 ± 0,1	-1,9 ± 0,1
Cor Aparente (uH)	77	-	37	17
Cor Verdadeira (uH)	33	-	11	9
COD (mgC/L)	2,693	-	2,518	2,394
Absorvância	0,056	-	0,022	0,021
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1732,9	-	30,1	6,3
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	142,3	-	25,6	3

Distribuição de partículas / antes da DFF FAP

Tamanhos (µm)	Antes da DFF FAP / Tempo de operação = 47,5 h							
	Água bruta	%	EfluFAP	%	% rem	EfluFRD	%	% rem
2 a 4	910,4	49,9	753,7	44,7	17,2	65,3	40,8	92,8
4 a 6	405,5	22,2	442,3	26,2	-9,1	37,5	23,4	90,7
6 a 8	195,3	10,7	229,7	13,6	-17,6	14,1	8,8	92,8
8 a 10	126,9	7,0	126,9	7,5	0,0	6,6	4,1	94,8
10 a 12	71,7	3,9	57,3	3,4	20,0	2,9	1,8	96,0
12 a 16	60,8	3,3	39,4	2,3	35,2	5,3	3,3	91,2
16 a 24	36,6	2,0	20,9	1,2	42,8	9,3	5,8	74,5
> 24	17,7	1,0	17,1	1,0	3,4	19,1	11,9	-8,3
2 a 12	1638,1	89,8	1552,5	92,0	5,2	123,6	77,1	92,5
> 12	115,1	6,3	77,4	4,6	32,7	33,8	21,1	70,6
Total	1824,9	100,0	1687,3	100,0	7,5	160,3	100,0	91,2

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: XI

Taxa de filtração FAP (m³/m².d) = 240

P4 DFI 1 = 62

Taxa de filtração FRD (m³/m².d) = 240

P4 DFI 2 = 72,1

NDFI = 4

P4 DFI 3 = 82,9

P4 DFI 4 = 93,7

T.O. (h)	Turbidez (uT)			FAP										FRD												
	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1							
0,17		2,104		44,5	48,2	3,7	49,8	5,3	50,0	5,5	50,0	5,5														
0,33		1,501	0,426	44,5	48,4	3,9	50,0	5,5	50,1	5,6	50,1	5,6														
0,50		0,866	0,102	44,5	48,6	4,1	50,3	5,8	50,5	6,0	50,5	6,0	12,9	46,2	33,3	61,9	49,0	73,6	60,7							
1,0	11,43	0,72	0,072	44,5	49,2	4,7	51,4	6,9	51,6	7,1	51,7	7,2	12,9	46,5	33,6	62,4	49,5	74,0	61,1							
2,0	10,92	0,611	0,055	44,6	50,0	5,4	52,5	7,9	52,7	8,1	52,8	8,2	12,9	46,2	33,3	62,0	49,1	74,6	61,7							
3,0	11,94	0,465	0,045	44,6	51,3	6,7	54,9	10,3	55,2	10,6	55,4	10,8	12,9	45,3	32,4	61,0	48,1	75,1	62,2							
4,0	11,74	0,409	0,041	44,6	52,8	8,2	57,0	12,4	57,4	12,8	57,6	13,0	12,9	45,8	32,9	61,8	48,9	77,8	64,9							
5,0	11,46	0,367	0,039	44,6	54,1	9,5	59,0	14,4	59,5	14,9	59,8	15,2	12,9	46,3	33,4	62,3	49,4	78,9	66,0							
6,0	11,18	0,347	0,037	44,6	55,6	11,0	61,2	16,6	61,8	17,2	62,0	17,4	12,9	46,3	33,4	62,3	49,4	80,9	68,0							
6,17		0,347	0,044	Tx DFI 1 = 1143,3 m/d e turbidez do efluente de DFI 1 = 465 uT																						
6,33		1,358	0,038	Tempo DFI 1=1,3 min e reinício às 6,37 h (12 min após DFI 1)																						
6,42		1,586	0,038	44,6	51,1		53,5		53,8		53,9	9,3	(5 min após reinício)													
6,50		1,102	0,05	Turbidez máxima do eflu. FAP após 5 min. do reinício = 1,586 uT																						
6,58		0,848	0,053	Turbidez máx. do eflu. FRD após 8 min. do reinício = 0,053 uT																						
6,67		0,79	0,047	Recuperação de carga (cm) = 8,1																						
6,75		0,724	0,042																							
6,83		0,702	0,04																							
7,0	11,02	0,657	0,039	44,6	52,6	8,0	56,0	11,4	56,4	11,8	56,4	11,8	12,9	47,9	35,0	65,0	52,1	87,1	74,2							
8,0	10,91	0,48	0,037	44,6	54,2	9,6	58,5	13,9	58,9	14,3	59,0	14,4	12,9	48,0	35,1	64,9	52,0	88,4	75,5							
9,0	10,72	0,4	0,034	44,6	55,7	11,1	60,9	16,3	61,3	16,7	61,5	16,9	12,9	46,8	33,9	63,4	50,5	89,4	76,5							
10,0	10,62	0,401	0,037	44,6	57,4	12,8	63,5	18,9	63,9	19,3	64,2	19,6	12,9	48,0	35,1	65,1	52,2	93,5	80,6							
11,0	10,52	0,475	0,037	44,6	58,5	13,9	65,3	20,7	65,7	21,1	66,0	21,4	12,8	47,1	34,3	63,9	51,1	93,3	80,5							
12,0	10,36	0,746	0,037	44,6	60,4	15,8	68,0	23,4	68,5	23,9	68,8	24,2	12,9	49,0	36,1	66,7	53,8	99,6	86,7							
13,0	10,20	0,937	0,036	44,6	61,3	16,7	69,6	25,0	70,2	25,6	70,4	25,8	12,9	48,8	35,9	66,4	53,5	101,1	88,2							
14,0	10,04	1,2	0,036	44,6	62,7	18,1	71,5	26,9	72,1	27,5	72,3	27,7	12,8	49,2	36,4	67,0	54,2	104,4	91,6							
14,17		1,268	0,042	Tx DFI 2 = 1351,6 m/d e turbidez do efluente de DFI 2 = 637 uT																						
14,25		1,265	0,033	Tempo DFI 2=1,02 min e reinício às 14,25 h (10 min após DFI 2)																						
14,32		3,18	0,038	Turbidez máxima do eflu. FAP após 4 min. do reinício = 3,18 uT																						
14,33		1,328	0,04	44,7	53,4		56,1		56,3		56,3	11,6	(5 min após reinício)													
14,50		0,851	0,052	Turbidez máx. do eflu. FRD após 15 min. do reinício = 0,052 uT																						
14,58		0,747	0,047	Recuperação de carga (cm) = 16,0																						
14,67		0,688	0,042																							
14,75		0,655	0,039																							
15,0	9,99	0,57	0,037	44,8	55,0	10,2	58,6	13,8	58,8	14,0	58,8	14,0	12,8	47,2	34,4	69,2	56,4	105,0	92,2							
16,0	9,91	0,48	0,036	44,8	57,2	12,4	61,9	17,1	62,4	17,6	62,4	17,6	12,8	50,2	37,4	68,7	55,9	114,5	101,7							
17,0	9,85	0,461	0,035	44,9	58,8	13,9	64,7	19,8	65,2	20,3	65,2	20,3	12,8	47,1	34,3	64,2	51,4	110,1	97,3							
18,0	9,80	0,589	0,034	44,9	60,7	15,8	67,7	22,8	68,2	23,3	68,2	23,3	12,8	49,3	36,5	67,5	54,7	117,5	104,7							
19,0	9,72	0,731	0,036	44,9	61,7	16,8	69,5	24,6	70,0	25,1	70,2	25,3	12,8	49,3	36,5	67,6	54,8	118,5	105,7							
20,0	9,68	0,923	0,034	44,8	63,2	18,4	72,0	27,2	72,5	27,7	72,7	27,9	12,8	47,7	34,9	65,2	52,4	118,5	105,7							
21,0	9,63	1,127	0,034	44,8	64,3	19,5	73,7	28,9	74,2	29,4	74,5	29,7	12,8	48,0	35,2	65,8	53,0	121,2	108,4							
22,0	9,64	1,312	0,037	44,8	66,0	21,2	76,1	31,3	76,8	32,0	77,0	32,2	12,7	47,7	35,0	65,1	52,4	123,8	111,1							
23,0	9,53	1,644	0,036	44,9	67,7	22,8	78,7	33,8	79,4	34,5	79,8	34,9	12,8	49,6	36,8	68,0	55,2	132,2	119,4							
24,0	9,60	1,809	0,037	44,7	68,8	24,1	80,4	35,7	81,1	36,4	81,4	36,7	12,8	49,1	36,3	67,3	54,5	133,9	121,1							
25,0	9,56	2,035	0,037	44,7	69,3	24,6	81,4	36,7	82,5	37,8	82,7	38,0	12,8	49,5	36,7	68,0	55,2	138,8	126,0							
25,40		2,128	0,037	44,7								83,0	38,3													
25,63		2,652	0,036	Tx DFI 3 = 1170,5 m/d e turbidez do efluente de DFI 2 = 635 uT																						
25,67		3,146	0,037	Tempo DFI 3=1,2 min e reinício às 25,58 h (10 min após DFI 3)																						
25,72		2,328	0,038	44,6	58,0		61,5		61,8		61,7	17,1	(5 min após reinício)													
25,75		1,256	0,045	Com execução de descarte do eflu. FAP durante 3 min																						
25,83		0,848	0,047	Turbidez máxima do eflu. FAP após 8 min. do reinício = 3,146 uT																						
25,88		0,827	0,056	Turbidez máx. do eflu. FRD após 18 min. do reinício = 0,056 uT																						
26	9,53	0,628	0,046	44,6	59,5		64,0		64,3		64,2		12,8	49,4		67,9		143,3								
26,17		0,585	0,04	Recuperação de carga (cm) = 21,3																						
26,33		0,567	0,038																							
26,50		0,55	0,038																							
27,0	9,56	0,543	0,038	44,6	61,5	16,9	67,1	22,5	67,6	23,0	67,5	22,9	12,8	48,4	35,6	66,7	53,9	145,0	132,2							
28,0	9,64	0,654	0,036	44,6	63,5	18,9	70,4	25,8	71,0	26,4	70,9	26,3	12,8	47,5	34,7	65,5	52,7	146,3	133,5							
29,0	9,61	0,813	0,036	44,6	64,7	20,1	72,6	28,0	73,3	28,7	73,2	28,6	12,8	47,6	34,8	65,6	52,8	148,7	135,9							
30,0	9,66	1,01	0,039	44,6	66,4	21,8	75,2	30,6	75,9	31,3	76,0	31,4	12,8	47,2	34,4	65,1	52,3	150,6	137,8							
31,0	9,82	1,235	0,041	44,6	68,0	23,4	77,8	33,2	78,5	33,9	78,6	34,0	12,8	47,0	34,2	65,0	52,2	152,4	139,6							
32,0	10,12	1,54	0,041	44,6	69,5	24,9	80,1	35,5	80,7	36,1	80,9	36,3	12,8	47,7	34,9	66,5	53,7	158,0	145,2							
33,0	10,52	1,84	0,047	44,5	71,3	26,8	82,5	38,0	83,3	38,8	83,5	39,0	12,8	48,7	35,9	67,2	54,4	162,2	149,4							

(Continuação)

Sistema FAP - FRD

Ensaio N° : XI

Taxa de filtração FAP ($m^3/m^2.d$) = 0,083

P4 DFI 1= 62

Taxa de filtração FRD ($m^3/m^2.d$) = 0,089

P4 DFI 2= 72,1

NDFI= 4

P4 DFI 3= 82,9

P4 DFI 4= 93,7

T.O. (h)	Turbidez (uT)			FAP									FRD							
	AB	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1	
34,0	10,51	2,12	0,051	44,6	73,1	28,5	85,0	40,4	85,7	41,1	86,0	41,4	12,8	48,3	35,5	68,5	55,7	167,4	154,6	
35,0	10,61	2,59	0,075	44,6	75,1	30,5	87,8	43,2	88,6	44,0	88,9	44,3	12,8	48,7	35,9	70,1	57,3	175,2	162,4	
36,0	10,81	2,75	0,071	44,6	77,2	32,6	90,4	45,8	91,2	46,6	91,6	47,0	12,8	49,2	36,4	71,6	58,8	180,6	167,8	
36,83		2,99	0,087	44,6	78,7		92,4		93,3		93,7	49,1								
37	11,03	3,04	0,092	Tx DFI 4 = 977,5 m/d e turbidez do efluente de DFI 4 = 674 uT																
37,05		5,14	0,083	Tempo DFI 4=1,4 min e reinício às 36,97 h (8 min após DFI 4)																
37,07		7,69	0,089	Turbidez máxima do eflu. FAP após 7 min. do reinício = 7,692 uT																
37,08		5,81	0,096	44,6	64,6		68,3		68,6		68,7	24,1	Com execução de descarte do eflu. FAP durante 3 min Turbidez máxima no descarte = 28,6 uT Turbidez máx. do eflu. FRD após 21 min. do reinício = 0,201 uT Recuperação de carga 10 min após reinício (cm) = 25,0 Valores em desabastecimento - operação com problemas na coagulação química							
37,17		2,72	0,103																	
37,25		1,67	0,17																	
37,3		1,49	0,201																	
37,33		1,41	0,197																	
37,5		1,35	0,161																	
38,0	11,49	1,55	0,195	44,6	67,3	22,7	73,2	28,6	73,7	29,1	73,6	29,0	12,8	48,9	36,1	72,8	60,0	191,6	181,8	
39,0	11,62	2,04	0,355	44,5	70,0	25,5	72,1	27,6	72,7	28,2	72,7	28,2	12,8	48,3	35,5	72,6	59,8	203,0	180,2	
40,0	11,62	2,40	0,42	44,5	72,5	28,0	80,7	36,2	81,1	36,6	81,1	36,6	12,8	48,9	36,1	74,2	61,4	213,1	200,6	
41,0	11,68	2,65	0,485	44,5	74,5	30,0	83,5	39,0	84,3	39,8	84,3	39,8	12,8	48,9	36,1	74,8	62,0	221,8	210,0	
42,0	11,65	4,12	0,782	44,5	76,6	32,1	85,6	41,1	86,3	41,8	86,2	41,7	12,8	49,6	36,8	75,0	62,2	222,8	210,0	
43,0	11,67	3,01	0,979	44,5	79,8	35,3	90,2	45,7	90,9	46,4	91,0	46,5	12,8	49,5	36,7	75,0	62,2	222,8	210,0	
MÍNIMO	4,0	0,35	0,033	44,5	0,1	3,7	49,8	5,3	8,1	5,5	50,0	5,5	12,7	39,5	26,7	59,0	46,2	73,6	60,7	
MÁXIMO	11,9	7,69	0,979	44,9	79,8	35,3	92,4	45,8	93,3	46,6	93,7	104,5	12,9	50,2	37,4	74,8	62,0	222,8	222,4	

Planilha K 2 - (Continuação) Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio XI (c/ 4 DFIs)

ANEXO L : ENSAIO XII (C/ PICO DE TURBIDEZ)

Tabela L 1 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, AL res., distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 2 h / ensaio XII (c/ pico de turbidez)								
Parâmetros			Água bruta	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD		
Potencial Zeta (mV)			-12,8	-5	-2,4	-1,9		
Cor Aparente (uH)			-	-	6	3		
Cor Verdadeira (uH)			-	-	1	<1		
COD (mgC/L)			-	-	1,821	2,120		
Absorvância			-	-	0,019	0,015		
Alumínio residual (mg Al/l)			-	-	-	-		
Distribuição de partículas / Tempo de operação = 2 h								
Tamanhos (µm)	Água bruta	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	5069,3	33,5	91,7	45,0	98,2	95,9	36,3	98,1
4 a 6	3746,7	24,8	46,9	23,0	98,7	58,6	22,2	98,4
6 a 8	2140,7	14,2	17,2	8,4	99,2	28,1	10,6	98,7
8 a 10	1432,7	9,5	11,2	5,5	99,2	16,1	6,1	98,9
10 a 12	839,9	5,6	8,5	4,2	99,0	10,6	4,0	98,7
12 a 16	833,1	5,5	11,8	5,8	98,6	12,9	4,9	98,5
16 a 24	699,9	4,6	9,7	4,7	98,6	17,2	6,5	97,5
> 24	352,7	2,3	7,0	3,4	98,0	25,1	9,5	92,9
2 a 10	12389,4	82,0	167,0	81,9	98,7	198,8	75,2	98,4
> 12	1885,7	12,5	28,5	14,0	98,5	55,1	20,8	97,1
Total	15115,1	100,0	204,0	100,0	98,7	264,5	100,0	98,2

Tabela L 2 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, AL res., distribuição de partículas da água bruta e dos efluentes para tempo de operação = 4 h / ensaio XII (c/ pico de turbidez)								
Parâmetros			Água coagulada		Efluente FAP		Efluente FRD	
Potencial Zeta (mV)			-4		-2,2		-1,9	
Cor Aparente (uH)			-		17		5	
Cor Verdadeira (uH)			-		<1		<1	
COD (mgC/L)			-		2,286		2,079	
Absorvância			-		0,015		0,017	
Alumínio residual (mg Al/l)			-		-		-	
Distribuição de partículas / Tempo de operação = 4 h								
Tamanhos (µm)	Água coagulada	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	1009,9	5,7	154,0	44,0	84,8	167,9	48,7	83,4
4 a 6	1129,9	6,4	76,7	21,9	93,2	50,7	14,7	95,5
6 a 8	1123,3	6,3	37,1	10,6	96,7	21,5	6,2	98,1
8 a 10	1219,8	6,9	25,5	7,3	97,9	14,2	4,1	98,8
10 a 12	1105,7	6,2	15,7	4,5	98,6	11,1	3,2	99,0
12 a 16	1883,8	10,6	19,1	5,5	99,0	15,8	4,6	99,2
16 a 24	4600,9	26,0	16,9	4,8	99,6	22,8	6,6	99,5
> 24	5625,6	31,8	5,3	1,5	99,9	40,6	11,8	99,3
2 a 10	4482,9	25,3	293,3	83,7	93,5	254,4	73,8	94,3
> 12	12110,3	68,4	41,3	11,8	99,7	79,2	23,0	99,3
Total	17698,9	100,0	350,3	100,0	98,0	344,7	100,0	98,1

Tabela L.3 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, AL res., distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 6 h / ensaio XII (c/ pico de turbidez)

Parâmetros	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-12	-2,3	-2
Cor Aparente (uH)	-	11	6
Cor Verdadeira (uH)	-	1	1
COD (mgC/L)	-	2,102	2,154
Absorvância	-	0,012	0,011
Alumínio residual (mg Al/l)	-	-	0,01

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 6 h								
Tamanhos (µm)	Água coagulada	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	723,9	3,9	49,7	57,2	93,1	74,1	35,9	89,8
4 a 6	828,9	4,5	17,7	20,4	97,9	53,0	25,7	93,6
6 a 8	870,0	4,7	5,8	6,7	99,3	24,6	11,9	97,2
8 a 10	1007,2	5,4	2,8	3,2	99,7	14,1	6,8	98,6
10 a 12	961,3	5,2	1,9	2,1	99,8	9,0	4,4	99,1
12 a 16	1702,7	9,2	2,1	2,5	99,9	9,6	4,7	99,4
16 a 24	5151,7	27,9	2,6	3,0	99,9	10,5	5,1	99,8
> 24	7243,4	39,2	4,3	4,9	99,9	11,5	5,6	99,8
2 a 10	3429,9	18,6	76,0	87,5	97,8	165,9	80,4	95,2
> 12	14097,8	76,2	9,0	10,4	99,9	31,5	15,3	99,8
Total	18489,0	100,0	86,9	100,0	99,5	206,4	100,0	98,9

Tabela L.4 - Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 7,5 h (antes da 1ª. DFI FAP) / ensaio XII (c/ pico de turbidez)

Parâmetros	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-17	-	-
Cor Aparente (uH)	52	5	1
Cor Verdadeira (uH)	40	1	<1
COD (mgC/L)	3,360	3,975	2,023
Absorvância	0,020	0,019	0,016

Distribuição de partículas / antes e após a 1ª. DFI FAP														
Tamanhos (µm)	Água coag.	%	Antes da 1ª. DFI FAP Tempo de operação = 7,5 h						Após a 1ª. DFI FAP Tempo de operação = 8,0 h					
			EfluF AP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem	Eflu FAP	%	% rem	Eflu FRD	%	% rem
2 a 4	301,3	1,5	63,8	46,5	78,8	33,5	34,0	88,9	95,3	41,9	68,4	45,1	35,7	85,0
4 a 6	365,6	1,8	31,2	22,7	91,5	22,1	22,4	94,0	49,8	21,9	86,4	29,3	23,2	92,0
6 a 8	418,1	2,1	13,6	9,9	96,7	10,1	10,3	97,6	24,3	10,7	94,2	10,7	8,4	97,4
8 a 10	514,4	2,6	6,9	5,0	98,7	6,4	6,5	98,8	14,0	6,2	97,3	5,8	4,6	98,9
10 a 12	533,1	2,7	5,7	4,1	98,9	4,5	4,5	99,2	10,1	4,5	98,1	4,7	3,7	99,1
12 a 16	1085,3	5,5	5,9	4,3	99,5	6,2	6,3	99,4	11,0	4,8	99,0	6,9	5,5	99,4
16 a 24	5805,4	29,3	5,3	3,9	99,9	7,7	7,8	99,9	11,1	4,9	99,8	8,5	6,8	99,9
> 24	10759,0	54,4	4,9	3,6	100,0	8,1	8,2	99,9	11,7	5,1	99,9	15,2	12,0	99,9
2 a 10	1599,4	8,1	115,5	84,1	92,8	72,1	73,2	95,5	183,3	80,7	88,5	90,9	72,0	94,3
> 12	17649,7	89,2	16,1	11,8	99,9	22,0	22,3	99,9	33,7	14,8	99,8	30,7	24,3	99,8
Total	19782,2	100	137,3	100	99,3	98,6	100	99,5	227,2	100,0	98,9	126,3	100,0	99,4

Tabela L 5 - Análise do teor de sólidos da água da
1ª. DFI - FAP / Tempo de operação = 8,0 h
/ ensaio XII (c/ pico de turbidez)

Amostra	Efluente da 1ª.DFI
ST (mg/l)	2245
SST (mg/l)	1370
SFS (mg/l)	1167
SVS (mg/l)	203
SDT (mg/l)	875
SFD (mg/l)	703
SVD (mg/l)	172
STF (mg/l)	1870
STV (mg/l)	375
SSED (ml/l)	-

Tabela L6 – Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, AL res., distribuição de partículas
da água bruta e efluentes para tempo de operação = 10 h / ensaio XII (c/ pico de turbidez)

Parâmetros	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-13,4	-2,3	-1,9
Cor Aparente (uH)	-	16	6
Cor Verdadeira (uH)	-	2	1
COD (mgC/L)	-	2,997/0,043	2,375/0,018
Absorvância	-	0,015	0,019
Alumínio residual (mg Al/l)	-	-	0,03

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 10 h

Tamanhos (µm)	Água coagulada	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	249,6	1,2	55,8	46,1	77,6	54,1	34,6	78,3
4 a 6	294,9	1,4	22,4	18,5	92,4	29,3	18,7	90,1
6 a 8	344,8	1,6	11,5	9,5	96,7	14,3	9,2	95,8
8 a 10	437,9	2,1	6,6	5,5	98,5	12,0	7,7	97,3
10 a 12	454,9	2,2	4,7	3,9	99,0	7,3	4,7	98,4
12 a 16	990,5	4,7	5,5	4,6	99,4	10,0	6,4	99,0
16 a 24	6212,5	29,5	7,0	5,8	99,9	13,1	8,4	99,8
> 24	12076,0	57,3	7,5	6,2	99,9	16,1	10,3	99,9
2 a 10	1327,2	6,3	96,3	79,6	92,7	109,7	70,2	91,7
> 12	19279,0	91,5	20,1	16,6	99,9	39,2	25,1	99,8
Total	21061,1	100,0	121,1	100,0	99,4	156,1	100,0	99,3

Tabela L7 – Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, AL res., distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 12 h / ensaio XII (c/ pico de turbidez)

Parâmetros	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-14	-2,3	-
Cor Aparente (uH)	-	12	7
Cor Verdadeira (uH)	-	1	1
COT (mgC/L)	-	2,459/0,065	2,054/0,059
Absorvância	-	0,013	0,012
Alumínio residual (mg Al/l)	-	-	0,01

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 12 h								
Tamanhos (µm)	Água coagulada	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	648,9	3,1	16,3	33,7	97,5	-	-	-
4 a 6	774,4	3,7	7,3	15,2	99,1	-	-	-
6 a 8	875,1	4,1	3,4	7,0	99,6	-	-	-
8 a 10	1033,5	4,9	2,6	5,4	99,7	-	-	-
10 a 12	1026,9	4,8	1,7	3,5	99,8	-	-	-
12 a 16	1891,7	8,9	2,1	4,4	99,9	-	-	-
16 a 24	6536,9	30,9	3,9	8,0	99,9	-	-	-
> 24	8393,5	39,6	11,0	22,8	99,9	-	-	-
2 a 10	3331,8	15,7	29,6	61,3	99,1	-	-	-
> 12	16822,1	79,4	17,0	35,2	99,9	-	-	-
Total	21180,8	100,0	48,3	100,0	99,8	-	-	-

Tabela L8 – Potencial zeta, cor aparente, cor verdadeira, COD, ABS, AL res., distribuição de partículas da água bruta e efluentes para tempo de operação = 14 h / ensaio XII (c/ pico de turbidez)

Parâmetros	Água coagulada	Efluente FAP	Efluente FRD
Potencial Zeta (mV)	-4,9	-2,2	-1,9
Cor Aparente (uH)	-	12	5
Cor Verdadeira (uH)	-	2	1
COD (mgC/L)	-	2,184/0,032	2,188/0,015
Absorvância	-	0,018	0,018
Alumínio residual (mg Al/l)	-	-	0,01

Distribuição de partículas / Tempo de operação = 14 h								
Tamanhos (µm)	Água coagulada	%	Efluente FAP	%	% removida	Efluente FRD	%	% removida
2 a 4	837,1	4,4	-	-	-	31,3	40,4	96,3
4 a 6	977,8	5,2	-	-	-	17,0	21,9	98,3
6 a 8	1026,6	5,4	-	-	-	7,8	10,1	99,2
8 a 10	1165,4	6,2	-	-	-	4,8	6,2	99,6
10 a 12	1084,6	5,7	-	-	-	3,3	4,2	99,7
12 a 16	1876,6	9,9	-	-	-	4,2	5,4	99,8
16 a 24	5270,7	27,8	-	-	-	4,1	5,2	99,9
> 24	6710,7	35,4	-	-	-	5,1	6,5	99,9
2 a 10	4006,9	21,1	-	-	-	60,9	78,6	98,5
> 12	13858,0	73,1	-	-	-	13,3	17,2	99,9
Total	18949,5	100,0	-	-	-	77,5	100,0	99,6

Sistema FAP - FRD

Ensaio N°: XII

Taxa de filtração FAP ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 120Taxa de filtração FRD ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) = 180

NDFI= 4

P4 DFI 1= 58,8

P4 DFI 2= 70,24

P4 DFI 3= 81,66

P4 DFI 4= 93,68

T.O. (h)	Turbidez (uT)			FAP										FRD				P4máx2= 222,4					
	ACog	FAP	FRD	P0	P1	P1-P0	P2	P2-P0	P3	P3-P0	P4	P4-P0	P1	P2	P2-P1	P3	P3-P1	P4	P4-P1				
0,00	16,0	3,270	1,270																				
0,17		2,370	0,620	44,5	46,4	1,9	47,2	2,7	47,4	2,9	47,4	2,9	12,7	31,8	19,1	47,2	34,5	62,8	50,1				
0,33		0,835	0,370	44,5	46,4	1,9	47,3	2,8	47,5	3,0	47,5	3,0	12,7	30,1	17,4	47,7	35,0	61,4	48,7				
0,50		0,501	0,110	44,5	46,4	1,9	47,5	3,0	47,7	3,2	47,7	3,2	12,7	30,5	17,8	44,9	32,2	60,7	48,0				
0,67		0,807	0,050	44,5	46,6	2,1	47,7	3,2	47,9	3,4	47,9	3,4	12,7	29,9	17,2	43,7	31,0	59,6	46,9				
0,83		0,373	0,036	44,5	46,6	2,1	47,8	3,3	49,0	4,5	49,0	4,5	12,7	29,9	17,2	43,7	31,0	59,7	47,0				
1,0	15,6	0,343	0,035	44,5	46,6	2,1	47,9	3,4	48,1	3,6	48,0	3,5	12,7	29,5	16,8	43,2	30,5	59,3	46,6				
2,0	15,4	0,330	0,034	44,5	46,8	2,3	48,6	4,1	49,0	4,5	49,0	4,5	12,7	29,9	17,2	43,9	31,2	61,8	49,1				
2,25	83,9	0,470	0,120																				
2,50	81,5	2,670	0,480	44,5	47,0	2,5	49,2	4,7	49,5	5,0	49,5	5,0	12,6	29,1	16,5	42,7	30,1	62,9	50,3				
2,75	78,1	5,670	0,290																				
2,83		1,387	0,178																				
3,0	80,3	1,430	0,080	44,5	47,1	2,6	49,8	5,3	50,0	5,5	50,0	5,5	12,7	29,1	16,4	43,9	31,2	66,0	53,3				
3,25		2,403	0,033																				
3,50	87,1	2,996	0,033	44,5	47,8	3,3	51,4	6,9	51,8	7,3	51,8	7,3	12,6	29,0	16,4	42,5	29,9	70,3	57,7				
4,0	70,3	2,830	0,034	44,5	48,0	3,5	52,0	7,5	52,3	7,8	52,3	7,8	12,7	28,8	16,1	42,3	29,6	71,4	58,7				
4,08	156,0	2,906	0,033																				
4,17	177,0	2,890	0,033	44,5	48,5	4,0	52,8	8,3	53,2	8,7	53,3	8,8											
4,25	173,0	2,840	0,030																				
4,5	178,0	1,290	0,025	44,5	48,5	4,0	53,2	8,7	53,5	9,0	53,6	9,1	12,7	29,3	16,6	43,0	30,3	76,4	63,7				
4,75	176,0	1,440	0,023																				
5,0	157,0	0,990	0,020	44,5	48,8	4,3	53,8	9,3	54,1	9,6	54,2	9,7	12,7	28,8	16,1	42,5	29,8	76,5	63,8				
5,50	163,0	1,380	0,024	44,5	49,4	4,9	54,6	10,1	55,0	10,5	55,1	10,6	12,6	29,1	16,5	42,7	30,1	78,0	65,4				
6,0	167,0	1,410	0,025	44,5	49,7	5,2	55,4	10,9	55,9	11,4	56,0	11,5	12,4	29,1	16,7	43,0	30,6	80,0	67,6				
6,08	222,0	1,260	0,026																				
6,17	250,0	1,246	0,027																				
6,25	255,0	1,190	0,018	44,5	50,0	5,5	56,0	11,5	56,5	12,0	56,6	12,1	12,4	29,3	16,9	43,3	30,9	81,6	69,2				
6,50	255,0	0,874	0,026	44,5	50,4	5,9	56,8	12,3	57,3	12,8	57,4	12,9	12,4	29,9	17,5	43,6	31,2	82,7	70,3				
6,75	278,0	0,805	0,024																				
7,0	250,0	0,771	0,023	44,5	50,9	6,4	57,6	13,1	58,0	13,5	58,1	13,6	12,4	30,0	17,6	44,6	32,2	85,0	72,6				
7,50	277,0	0,750	0,022	44,5	51,2	6,7	57,9	13,4	58,7	14,2	58,8	14,3											
7,88		0,832	0,038																				
7,92		2,300	0,017																				
7,97		3,570	0,026																				
8,0		3,451	0,028	44,4	47,8	3,4	49,2	4,8	49,4	5,0	49,4	5,0	12,6	31,2	18,6	45,7	33,1	90,6	78,0				
8,03		3,355	0,029																				
8,1	286,0	3,027	0,028																				
8,2		2,810	0,028																				
8,25	363,0	2,570	0,029	44,5	48,3	3,8	50,1	5,6	50,3	5,8	50,3	5,8											
8,50	372,0	4,869	0,028																				
8,62	380,0	5,095	0,029																				
8,67		4,766	0,029																				
8,78		3,871	0,031																				
8,75	384,0	3,827	0,032																				
8,92		3,401	0,032																				
9,0	357,0	2,950	0,018	44,5	48,9	4,4	51,7	7,2	51,9	7,4	51,9	7,4	12,4	29,9	17,5	44,3	31,9	91,6	79,2				
9,50	367,0	2,390	0,018																				
10,0	372,0	2,431	0,023	44,5	49,2	4,7	52,5	8,0	52,7	8,2	52,7	8,2	12,4	29,5	17,1	38,9	26,5	92,5	80,1				
10,08	156,0	2,868	0,028																				
10,17	148,0	2,843	0,030																				
10,25	155,0	2,769	0,030	44,5	49,7	5,2	53,4	8,9	53,7	9,2	53,7	9,2	12,4	29,5	17,1	43,8	31,4	94,3	81,9				
10,50	164,0	1,493	0,027	44,5	49,9	5,4	53,6	9,1	53,9	9,4	53,8	9,3	12,4	30,0	17,6	44,8	32,4	97,1	84,7				
10,75	173,0	1,284	0,027																				
11,0	177,0	1,150	0,027	44,5	50,1	5,6	54,2	9,7	54,4	9,9	54,4	9,9	12,4	29,9	17,5	44,5	32,1	97,8	85,4				
11,25	172,0	1,085	0,026																				
11,50	171,0	1,180	0,027																				
11,75	205,0	1,172	0,027																				
11,83	195,0	1,045	0,027																				
12,0	166,0	1,030	0,025	44,5	50,7	6,2	55,6	11,1	55,8	11,3	55,9	11,4	12,4	30,2	17,8	45,2	32,8	100,5	88,1				
13,0	170,0	1,050	0,022	44,5	51,2	6,7	56,6	12,1	56,9	12,4	57,0	12,5	12,4	29,0	16,6	43,9	31,5	98,6	86,2				
14,0	171,0	1,480	0,023											12,4	30,4		45,6		105,8				
MÍNIMO	15,4	0,330	0,017	44,4	46,4	1,9	47,2	2,7	47,4	2,9	47,4	2,9	12,4	28,8	16,1	38,9	26,5	59,3	46,6				
MÁXIMO	384,0	5,670	1,270	44,5	51,2	6,7	57,9	13,4	58,7	14,2	58,8	14,3	12,7	31,8	19,1	47,7	35,0	105,8	88,1				

Planilha L 1 - Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes do FAP e FRD e de perda de carga em função do tempo de operação / ensaio XII (c/ pico de turbidez)

Figura L 1 - Variação da distribuição de partículas na água bruta (AB) e coagulada (AC) em função do tempo / ensaio XII (c/ pico de turbidez e 1DFI)

Figura L 2 - Variação da distribuição de partículas na água bruta (AB) e coagulada (AC) e efluentes do FAP e FRD em função do tempo / ensaio XII (c/ pico de turbidez e 1DFI)

**PLANILHAS DOS ENSAIOS REALIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DAS
CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO DO ENSAIO XII (C/ PICO DE TURBIDEZ)**

Ensaio 1A: Turbidez = 15,3 uT
pH = 7,23

Alcalinizante (mg/L do PC)	DSAmáx = 15 mg/L					
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
<i>barrilha ETA</i>	0	5,28	2	5,74	5	6,2

Filtro		1	2	3	4	5
FLA		1	1	1	1	1
DSA (mg/L SA 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/L PC)		0	0	0	0	3
Vol. adic.(mL da solução 1%)		-	-	-	-	0,6
pH		6,86	6,75	6,38	6,14	6,39
FLP	1ª. coleta	2,93	0,46	0,19	0,23	0,5
	2ª. coleta	2,9	0,52	0,18	0,12	0,14
FLA	10 min	10,9	2,08	0,57	0,26	0,31
	20 min	11	2	0,32	0,18	0,17
	30 min	10,3	1,89	0,28	0,15	0,14

Figura L 3 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLP e em FLA e pH de coagulação em função da DSA / Ensaio 1A: Água de estudo com turbidez igual a 15 uT

Ensaio 2A: Turbidez = 25 uT
pH = 6,7

Filtro		1	2	3	4	5	6
FLA		1	1	1	1	1	1
DSA (mg/L SA 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		6,64	6,63	6,4	6,02	5,64	5,31
FLP	1ª. coleta	16,8	11,3	2,38	0,3	0,28	-
	2ª. coleta	16	10,4	2,12	0,2	0,16	0,18
FLA	10 min	20,7	20,2	5,03	1,2	0,59	0,46
	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

Figura L 4 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLP e em FLA e pH de coagulação em função da DSA / Ensaio 2A: Água de estudo com turbidez igual a 25 uT

Ensaio 3A: Turbidez = 63,5 uT
 pH = 6,99
 alcalinidade = 8,61 mg CaCO₃

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

Alcalinizante (mg/L do PC)	DSAmáx = 25 mg/L							
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
<i>barrilha ETA</i>	0	4,88	3	5,42	5	5,84	8	6,39
<i>barrilha comprada</i>	0	-	3	5,45	5	5,88	8	6,45
<i>soda</i>	0	-	3	5,53	5	6,19	8	7,16

Filtro		1	2	3	4
FLA		2	2	2	2
DSA (mg/L SA sólido)		0	12,7	16,9	21,2
Vol. adic.(mL da solução 0,5%)		-	6	8	10
CSpc (mg/L PC)		0	5	7	9
Vol. adic.(mL da solução 1%)		-	1	1,4	1,8
pH		7,07	6,67	6,53	5,88
FLP	1ª. coleta	16,4	2,85	0,73	2,75
	2ª. coleta	14,8	0,32	0,39	1,07
FLA	10 min	40,8	0,61	0,51	2,26
	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 SA sólido)		16,9	16,9	16,9
Vol. adic.(mL da solução 0,5%)		8	8	8
CSpc (mg/L PC)		6	7	8
Vol. adic.(mL da solução 1%)		1,2	1,4	1,6
pH		6,34	6,53	6,57
FLA	10 min	0,43	0,51	0,47
	20 min	0,25	0,29	0,29
	30 min	0,19	0,2	0,23

Figura L 5 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLP e em FLA e pH de coagulação em função da DSA / Ensaio 3A: Água de estudo com turbidez igual a 63,5 uT

Figura L 6 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLA e pH de coagulação para a DSA escolhida em função da DCSpc / Ensaio 3B: Água de estudo com turbidez igual a 63,5 uT

Ensaio 4A: Turbidez = 85,5 uT
 pH = 7,11
 alcalinidade = 8,82 mg CaCO₃

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

Alcalinizante (mg/L do PC)	DSAmáx = 35 mg/L					
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
<i>barrilha ETA</i>	0	4,92	10	5,8	15	6,51
<i>barrilha comprada</i>	0	-	10	5,78	15	6,51
<i>soda</i>	0	-	10	6,69	15	8,47

Filtro		1	2	3	4	5
FLA		2	2	2	2	2
DSA (mg/L SA sólido)		0	21,2	25,4	29,6	16,9
Vol. adic.(mL da solução 0,5%)		-	10	12	14	8
CSpc (mg/L PC)		0	10	13	15	8
Vol. adic.(mL da solução 1%)		-	2	2,6	3	1,6
pH		7,25	6,63	6,6	6,45	6,59
FLP	1ª. coleta	21,2	0,67	0,75	0,79	0,28
	2ª. coleta	19,3	0,28	0,23	0,37	0,24
FLA	10 min	58,3	0,31	0,25	0,38	0,47
	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 SA sólido)		21,2	21,2	21,2	21,2
Vol. adic.(mL da solução 0,5%)		10	10	10	10
CSpc (mg/L PC)		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	1ª. coleta	1,46	0,98	0,74	0,77
	2ª. coleta	0,37	0,35	0,2	0,24
FLA	10 min	2,38	1,32	0,63	0,36
	20 min	1,73	0,57	0,25	0,18
	30 min	1,29	0,4	0,23	0,19

Figura L 7 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLP e em FLA e pH de coagulação em função da DSA / Ensaio 4A: Água de estudo com turbidez igual a 85,5 uT

Figura L 8 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLA e pH de coagulação para a DSA escolhida em função da DCSpc / Ensaio 4B: Água de estudo com turbidez igual a 85,5 uT

Ensaio 5A: Turbidez = 160 uT
 pH = 6,97
 alcalinidade = 10,5 mg CaCO₃

Turbidez AB = 20,1 uT
 pH AB = 6,86

Filtro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FLA	2	2	2	3	3	3	3	3	3
DSA (mg/L SA sólido)	0	21,2	25,4	0	16,9	16,9	21,2	21,2	25,4
Vol. adic.(mL da solução 0,5%)	-	10	12	-	8	8	10	10	12
CSpC (mg/L PC)	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	1ª. coleta	31,5	0,28	0,64	-	0,28	0,57	-	0,28
	2ª. coleta	31	0,13	0,24	-	0,28	0,3	-	0,38
FLA	10 min	89,7	0,55	0,88	87,7	0,71	0,51	0,8	0,78
	20 min	102	0,5	-	98,8	0,43	0,37	0,33	0,45
	30 min	95	0,28	0,17	91,9	0,37	0,32	0,29	0,33

Figura L 9 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLP e em FLA e pH de coagulação em função da DSA / Ensaio 5A: Água de estudo com turbidez igual a 160 uT

Ensaio 6A: Turbidez = 236 uT
 pH = 7,12
 alcalinidade = 9,45 mg CaCO₃

Turbidez AB = 20,1 uT
 pH AB = 6,86

Alcalinizante (mg/L do PC)	DSAmáx = 35 mg/L					
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
<i>barrilha ETA</i>	0	4,96	10	5,76	15	6,47
<i>barrilha comprada</i>	0	-	10	5,72	15	6,4
<i>soda</i>	0	-	10	6,61	15	6,72

Filtro	1	2	3	4	5	6
FLA	3	3	3	3	3	3
DSA (mg/L SA 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/L PC)	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	1ª. coleta	19,9	0,69	0,41	0,28	0,32
	2ª. coleta	18,2	0,3	0,23	0,21	0,19
FLA	10 min	124	0,84	1,35	0,72	0,48
	20 min	130	0,42	0,43	0,3	0,28
	30 min	128	0,31	0,31	0,15	0,15

Figura L 10 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLP e em FLA e pH de coagulação em função da DSA / Ensaio 6A: Água de estudo com turbidez igual a 236 uT

Ensaio 7A: Turbidez = 351 uT
 pH = 7,02
 alcalinidade = 9,24 mg CaCO₃

Turbidez AB = 20,1 uT
 pH AB = 6,86

Alcalinizante (mg/L do PC)	DSAmáx = 40 mg/L							
	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH	DALC	pH
<i>barrilha ETA</i>	0	4,92	10	5,4	15	6,09	18	6,74
<i>barrilha comprada</i>	0	-	10	5,5	15	6,23	18	6,73
<i>soda</i>	0	-	10	6,2	15	7,78	18	-

Filtro		1	2	3	4	5
FLA		3	3	3	3	3
DSA (mg/L SA sólido)		0	21,2	25,4	29,6	33,9
Vol. adic.(mL da solução 0,5%)		-	10	12	14	16
CSpc (mg/L PC)		-	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	1ª. coleta	30,8	12,9	0,84	0,99	0,69
	2ª. coleta	43,7	0,39	0,37	0,29	0,35
FLA	10 min	216	0,85	0,48	0,53	0,51
	20 min	243	0,59	0,32	0,28	0,25
	30 min	222	-	0,17	0,12	0,22

Ensaio 7B:

Filtro		1	2	3
FLA		3	3	3
DSA (mg/L SA sólido)		25,4	25,4	25,4
Vol. adic.(mL da solução 0,5%)		12	12	12
CSpc (mg/L PC)		10	12	15
Vol. adic.(mL da solução 1%)		2	2,4	3
pH		6,05	6,3	6,49
FLA	10 min	1,73	0,87	0,6
	20 min	0,55	0,26	0,31
	30 min	0,53	0,24	0,36

Figura L 11 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLP e em FLA e pH de coagulação em função da DSA / Ensaio 7A: Água de estudo com turbidez igual a 351 uT

Figura L 12 - Turbidez remanescente dos efluentes filtrados em FLA e pH de coagulação para a DSA escolhida em função da DCSpc / Ensaio 7B: Água de estudo com turbidez igual a 351 uT

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHSAN, T.; ALAERTS, G. J.; BUITEMAN, J. P. (1996). Direct horizontal-flow roughing filtration. Part I: optimization of process parameters. *J Water SRT – Aqua*, v.45, n.5, p. 262 - 271, / 1996/

AHSAN, T.; ALAERTS, G. J.; BUITEMAN, J. P. (1996). Direct horizontal-flow roughing filtration. Part II: performance, and operational guideline. *J Water SRT – Aqua*, v.45, n.6, p. 281 - 291, / 1996/

AMARAL, S. F. et.al. (2001). Filtração ascendente em pedregulho seguida de filtração descendente em areia (dupla filtração) aplicada ao tratamento de águas com presença de algas. / Apresentado ao 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001 /

AMIRTHARAJAH, A. (1989). The mechanisms of coagulation. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE COAGULAÇÃO E FILTRAÇÃO DIRETA, 1989, São Carlos, *Anais*. São Carlos: EESC-USP, 1989, v.1, p.1-19.

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/1982.

APHA, AWWA, WEF (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19ªed. Washington D.C. 1995.

APHA, AWWA, WEF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19ª ed. Washington. D.C.

- ARBOLEDA, J. V. (1977). Filtros de flujo ascendente: aspecto de proyecto. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977. Anais. Minas Gerais. v.3, P. 108-117.
- AZEVEDO NETO, J. M. (1974). *Filtros de fluxo ascendente*. São Paulo, CETESB. vol. 2, Cap. 8, p. 903 – 912: Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água.
- 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.
- CALISE, V. J. AND HOMER, W. A. (1958). Russian and Eastern European water treatment practices. In: 19^o ANNUAL CONFERENCE OF ENGINEERS – Society of Western Pennsylvania, USA.
- 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.
- CEZAR, M.C.M.; CARVALHO, R.P.M.; BRANDÃO, C.C.S. (2000). Efeito da coagulação química na (pré) filtração em pedregulho de águas com presença de algas, e seu potencial como pré-tratamento para a filtração rápida descendente. / Apresentado ao 21^o.Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000 /
- CINARA, IRC. (1999). *Filtración en Múltiples Etapas*. Cali, Colombia.
- 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; DI BERNARDO, L; (2000). Alternativas de potabilización con floculación o clarificación de agua químicamente coagulada empleando medios gruesos. / Apresentado ao Seminario Taller sobre Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad del Agua, Cali, 2000 /

CRUZ VELEZ, C.H; DI BERNARDO, L; BERÓN F. C.; (1996). Efecto de la filtración gruesa en múltiples etapas (FiGME) en la coagulación química para la potabilización de agua con filtración rápida (FiR) / Apresentado a Conferencia Internacional sobre Mejoramiento de la Calidad del Agua, Cali, 1996 /

CRUZ VELEZ, C.H; GALVIS, G; VISSCHER, J.T; DI BERNARDO, L; ALAERTS, G (1998). optimización de sistemas de potabilización con filtración rápida: La filtración gruesa dinámica y la clarificación con filtración gruesa ascendente, una alternativa factible. / Apresentado à Conferencia Internacional Agua Y Sostenibilida, Cali, 1998 /

DI BERNARDO, A. S. (2000). Influência do gradiente de velocidade e do tempo de agitação na floculação com polímeros catiônicos, naturais e sintéticos, na eficiência da floculação quando utilizados como auxiliares. São Carlos. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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

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.; BRÃNDÃO, C. C. S.; HELLER, L. (1999). Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. Rio de Janeiro, ABES.

DI BERNARDO, L. et. al. (1982). Estudo das influências das características hidráulicas e da camada de arcia na filtração ascendente. Revista *DAE.*, São Paulo – v.42, n. 131, Dezembro / 1982.

DI BERNARDO, L.; MEGDA, C. R. (2000). Uso da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente. / Apresentado ao 21º.Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000 /

DI BERNARDO, L.; ISAAC R. L. (2001). Upflow Direct Filtration – A Review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN RAPID GRANULAR FILTRATION IN WATER AND WASTEWATER TREATMENT. London, 2001. *Anais*. UK

DI BERNARDO, L.; PÁDUA, V. L.; DI BERNARDO, A S. (2000). Desenvolvimento de instalação de laboratório para determinação da dosagem de coagulante na filtração direta. / Apresentado ao 9º. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro, 2000/

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

DI BERNARDO, L.; YATSUGAFU, P.H. (1987). Estudos sobre a influência da taxa de filtração, do NMP de coliformes totais da afluentes e do número de descargas de fundo intermediárias na qualidade do efluente de sistemas de filtração direta ascendente. / Apresentado ao 14º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1987 /

FERNANDES, L. C. (1987). Influência das características da camada suporte e dos métodos de realização de descargas de fundo intermediárias no desempenho de sistemas de filtração direta ascendente. São Carlos. 297p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GALVIS, G.; LATORRE, J.; OCHOA, A. E. AND VISSCHER, J.T. (1996). Comparison of horizontal and upflow roughing filtration. / Apresentado à Conferencia Internacional sobre Mejoramiento de la Calidad del Agua, Cali, 1996 /

GRINPLASTCH, B.S. (1971). Uma nova técnica de filtração em uso no Brasil. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. Sept. Sao Paulo, Brasil.

GRINPLASTCH, B.S. & WASNIEWSKI, W. I. (1974). Clarificadores de contato para grandes comunidades. *Revista SESP*. vol. 19, n.2, p. 32 – 46, Fev., Rio de Janeiro, Brasil

GUSMÃO, P. T. R. (2001). *Utilização de Filtração direta ascendente como pré-tratamento para tratamento de água de abastecimento*. São Carlos. 335 p. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GUSMÃO, P. T. R.; DI BERNARDO, L. (2001). Utilização de filtração direta ascendente em areia como pré-tratamento à filtração rápida descendente para tratamento de águas para abastecimento. / Apresentado ao 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001 /

HAMANN, C.L. AND MCKINNEY, R.E. (1968). Upflow Filtration Process. *Journal of American Water Works Association (AWWA)*. v. 60, n. 9, p. 1023 -1039, Sept., EUA.

HANEY, B.J. & STEIMLE, S. E. (1974). Potable-water supply by means of upflow filtration. *Journal of American Water Works Association (AWWA)*, vol. 66, n. 2, p. 117 – 123, Feb., USA.

IBGE (2001). *Populações residentes estimadas em 1º de Julho de 2001 segundo os municípios*. <http://www.ibge.com.br> (05-mar.)

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

IVES, K. J. (1960). *Russian water supply and treatment practices*. JSED-Proc. Am. Soc. Civ. Eng. ASCE. vol. 86, n. SA4, p. 101-103, Jul., USA.

LARA PINTO, D. M. C. P. (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.

MEGDA, C. R (1999). *Filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente*. São Carlos. 170 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MENDES, C. G. N. (1985). *Estudo das influências 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.

MILLER, D. G. (1972). Experiences with upflow filtration. In: SYMPOSIUM ON NEW METHODS OF WATER TREATMENT, Asuncion, Paraguay.

MINZ, D. Some results of research into drinking water purification and disinfection. 1962. Bulletin of the WHO, 26, 553.

PÁDUA, V. L. (1999). *Investigação experimental visando o emprego de mantas sintéticas não-tecidas em decantadores de estações de tratamento de água*. São Carlos. Tese de doutorado – 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.

RICHTER, C. A. (1977). Filtração ascendente e descendente – aspectos operacionais. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977. Anais. Minas Gerais. v.3, P. 118-141.

SMIT, P. (1963) *Upflow Filter*. J. Am. Wat. Woks Assoc., JAWWA. vol. 55, n. 6, p. 804-805, Jun., USA.

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

WEGELIN, M.; INGALLINELLA, A. M; STECCA, L. M. (1996). Filtración gruesa ascendente en manto de grava – Rehabilitación de la etapa previa a los filtros lentos de la planta potabilizadora de Tarata, Bolivia. / Apresentado à Conferencia Internacional Sobre Mejoramiento De La Calidad del Agua, Cali, 1996 /.

WILLIAMS, R. L. (1965). Microelectrophoretic studies of coagulation with aluminum sulfate JAWWA, vol. 57, n. 6, p: 801- 810, Jun., USA.