

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ESGOTO SANITÁRIO
PARA FINS DE REÚSO URBANO

Mariana de Salles Tosetto

Campinas, SP
2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ESGOTO SANITÁRIO
PARA FINS DE REÚSO URBANO

Mariana de Salles Tosetto

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac

Co-orientadora: Prof. Dr^a. Regina Maura Bueno Franco

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

Campinas, SP
2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

T639t Tosetto, Mariana de Salles
Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de
reúso urbano / Mariana de Salles Tosetto.--Campinas,
SP: [s.n.], 2005.

Orientadores: Ricardo de Lima Isaac, Regina Maura
Bueno Franco.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Águas residuais. 2. Águas residuais – Purificação -
Tratamento. 3. Águas residuais – Purificação - Filtração.
4. Desinfecção e desinfetantes. 5. Radiação ultravioleta.
6. Água reutilização. I. Isaac, Ricardo de Lima. II.
Franco, Regina Maura Bueno. III. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Titulo em Inglês: Tertiary wastewater treatment for urban reuse

Palavras-chave em Inglês: Sewage, Sewage purification treatments, Sewage
purification filtration, Ultraviolet disinfection e
Wastewater reuse

Área de concentração: Saneamento e Ambiente.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: José Roberto Guimarães e Pedro Alem Sobrinho

Data da defesa: 31/08/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ESGOTO SANITÁRIO
PARA FINS DE REÚSO URBANO

Mariana de Salles Tosetto

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
Presidente e Orientador/Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP

Prof. Dr. José Roberto Guimarães
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP

Prof. Dr. Pedro Alem Sobrinho
Escola Politécnica de São Paulo– USP

Campinas, 31 de agosto de 2005.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, em especial:

Ao Prof. Dr. Ricardo Isaac pela orientação e apoio na realização deste projeto;

À Prof. Dr. Regina Maura, pela co-orientação e grande contribuição nas análises microbiológicas;

Ao Prof. Dr. José Roberto pelo apoio e amizade;

À Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp;

À SANASA, pela disponibilização de espaço e equipamentos essenciais para realização da investigação experimental na ETE Samambaia, em especial aos amigos Sidnei, Sinézio, Marcelo e Adriana. Aos técnicos do laboratório da ETE Samambaia e aos operadores que sempre estiveram à disposição para ajudar;

Aos estagiários: Anderson, Maurício, Rafael e Renato;

Aos colegas do Laboratório de Saneamento da FEC;

Aos colegas do Laboratório de Protozoologia do IB; em especial à Luciana Urbano pelo auxílio na execução das análises de protozoários e helmintos;

Aos meus amigos que sempre incentivaram o trabalho;

À minha família pelo apoio e incentivo em todos os momentos; e

Ao Alfredo, companheiro e amigo, pela paciência, compreensão e apoio.

Agradecimentos especiais à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp, pelo apoio através de concessão de bolsa de estudo, processo 03/05235-4.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xvi
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. REÚSO DE ÁGUA.....	5
3.1.1. RECOMENDAÇÕES E REGULAMENTAÇÕES PARA REÚSO.....	12
3.2. TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	20
3.2.1. TRATAMENTO TERCIÁRIO.....	21
3.2.1.1. COAGULAÇÃO E MISTURA RÁPIDA.....	22
3.2.1.2. PRÉ-FLOCULAÇÃO.....	30
3.2.1.2.1. GRADIENTE DE VELOCIDADE EM FLOCULADOR DE MEIO GRANULAR	35
3.2.1.3. FILTRAÇÃO DIRETA	36
3.2.1.3.1. FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE	43
3.2.1.4. DESINFECÇÃO COM ULTRAVIOLETA.....	48
3.2.1.4.1. DOSE DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	55
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.1. AFLUENTE AO TRATAMENTO TERCIÁRIO.....	57
4.2. PARÂMETROS DE QUALIDADE	58
4.3. ESCALA DE BANCADA	60
4.3.1. CARACTERÍSTICAS DOS COAGULANTES QUÍMICOS.....	61
4.3.2. ENSAIOS DE COAGULAÇÃO EM APARELHO DE JARROS	61
4.3.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE FLOCULAÇÃO	63
4.4. ESCALA PILOTO.....	64
4.4.1. INSTALAÇÃO PILOTO	66
4.4.1.1. RECALQUE DE EFLUENTE SECUNDÁRIO E REGULARIZAÇÃO DA VAZÃO	66
4.4.1.2. MISTURA RÁPIDA E COAGULAÇÃO QUÍMICA	68
4.4.1.2.1. PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE COAGULANTE E ÁCIDO	69
4.4.1.3. SISTEMA DE PRÉ-FLOCULAÇÃO E FILTRAÇÃO	70
4.4.1.4. SISTEMA DE DESINFECÇÃO COM ULTRAVIOLETA	73

4.4.1.4.1. DETERMINAÇÃO DA DOSE DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	74
4.4.1.5. SISTEMA DE LAVAGEM.....	76
4.4.2. PRÉ-OPERAÇÃO.....	77
4.4.3. PROGRAMAÇÃO DOS ENSAIOS	77
4.4.4. PARÂMETROS DE CONTROLE	80
4.4.5. OPERAÇÃO.....	83
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
5.1. CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE SECUNDÁRIO.....	84
5.2. ESCALA DE BANCADA	85
5.3. ESCALA PILOTO.....	89
5.3.1. TESTES PRELIMINARES	89
5.3.2. 1ª SÉRIE.....	97
5.3.3. 2ª SÉRIE.....	119
5.3.4. 3ª SÉRIE.....	133
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	144
ANEXO A - Parâmetros de qualidade e tratamentos requeridos por estados americanos para reúso urbano irrestrito e restrito.....	146
ANEXO B - Métodos para determinação de parâmetros microbiológicos.....	149
ANEXO C - Planilhas de resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas dos ensaios de bancada .	157
ANEXO D - Planilhas de resultados das análises físico-químicas dos testes preliminares em escala piloto .	164
ANEXO E - Planilhas das alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto	171
ANEXO F - Planilhas de resultados das análises físico-químicas dos ensaios I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII da 1ª série da escala piloto	178
ANEXO G - Planilhas das alturas piezométricas e perdas de carga dos ensaios I, II, III, IV, V e VI, VII e VIII da 1ª série da escala piloto	196
ANEXO H - Planilhas de resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas dos ensaios IX e X da 2ª série da escala piloto.....	205
ANEXO I - Planilhas das alturas piezométricas e perdas de carga do ensaio IX e X da 2ª série da escala piloto	211
ANEXO J - Planilhas de resultados das análises físico-químicas e microbiológicas dos ensaios XI, XII, XIII, XIV e XV da 3ª série da escala piloto	214
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores máximos observados, no período de dez/1999 a jul/2001, e valores limites adotados para água de reúso em parque temático	9
Tabela 3.2 – Limites adotados e valores dos parâmetros obtidos da água de reúso do Projeto São Caetano – referentes a março/2001	11
Tabela 3.3 – Qualidade da água de reúso e tipo de tratamento sugeridos para as categorias de reúso de esgoto municipal, segundo USEPA (1992)	13
Tabelas 3.4 – Diretrizes microbiológicas recomendadas pela OMS, em 1989, para reúso na agricultura	14
Tabela 3.5 – Requisitos de qualidade e tratamento requerido para água de reúso em agricultura e paisagismo, segundo o “Título 22 do Código da Califórnia”	14
Tabela 3.6 – Classificação das águas doces segundo seus usos preponderantes – Resolução CONAMA nº 357	16
Tabela 3.7 – Padrões de qualidade para águas superficiais – Resolução CONAMA nº 357	17
Tabela 3.8 – Características esperadas de efluentes de diferentes processos de tratamento e suas respectivas aplicações	18
Tabela 3.9 – Padrões microbiológicos para reúso de água em irrigação praticados na Itália	19
Tabela 3.10 – Classificação de água para reúso na Austrália, com respectivos padrões de qualidade microbiológica e tratamentos requeridos	19
Tabela 3.11 – Critérios aplicados para irrigação de áreas de acesso irrestrito e restrito em vários países	20

Tabela 3.12 – Valores médios de duração das carreiras de filtração para um conjunto de ensaios realizados (meio L1 – carvão TE =2,5 mm, meio L2 – carvão TE = 1,1 mm)	33
Tabela 3.13 – Remoção média de turbidez e cor aparente para um conjunto de ensaios realizados (meio L1 – carvão TE =2,5 mm, meio L2 – carvão TE = 1,1 mm)	33
Tabela 3.14 – Valores médios de remoção de turbidez com utilização de floculador de pedras piloto, floculador mecânico e “jar-test”	34
Tabela 3.15 – Dimensões características de ovos de nematóides, cistos de <i>Giardia</i> spp. e oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	39
Tabela 3.16 – Parâmetros de qualidade da água bruta, de projeto e operação recomendados para o emprego das tecnologias de filtração direta	40
Tabela 3.17 – Características dos meios granulares empregados em filtração direta descendente (FDD)	44
Tabela 3.18 – Parâmetros de qualidade do efluente secundário e efluente filtrado obtidos por RAJALA et al. (2003)	45
Tabela 3.19 – Parâmetros de qualidade do efluente secundário e efluente filtrado obtidos por JOLIS et al. (1999)	47
Tabela 4.1 – Métodos de análise dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água	59
Tabela 4.2 – Métodos de análise dos parâmetros microbiológicos de qualidade da água	60
Tabela 4.3 – Especificações dos coagulantes	61
Tabela 4.4 – Características das unidades de pré-floculação e filtração da instalação piloto	71
Tabela 4.5 - Determinação da intensidade média de radiação emitida pela lâmpada UV (I_{0m})	75
Tabela 4.6 – Descrição da 1ª série de ensaios quanto ao tipo de coagulante, condições de coagulação e taxa de aplicação hidráulica	78
Tabela 4.7 – Descrição da 2ª série de ensaios quanto ao tipo de coagulante, condições de coagulação e taxa de aplicação hidráulica	79

Tabela 4.8 – Frequência de análises e pontos de amostragem na 1ª e 2ª séries de ensaios	81
Tabela 4.9 – Frequência de análises e pontos de amostragem na 3ª série de ensaios	82
Tabela 5.1 – Condições de dosagem de coagulante e valor de pH adotadas para a repetição de ensaios em aparelho de jarros	89
Tabela 5.2 – Condições de dosagem de coagulante, valor de pH e taxas de aplicação dos ensaios da 1ª série	97
Tabela 5.3 – Quadro resumo dos resultados obtidos nos ensaio I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII da 1ª série	116
Tabela 5.4 – Taxa de aumento da perda de carga total no filtro e volume produzido de efluente filtrado nos ensaios de I a VIII	118
Tabela 5.5 – Condições de dosagem de coagulante, valor de pH e taxas de aplicação dos ensaios da 2ª série	119
Tabela 5.6 – Quadro resumo dos resultados obtidos por filtração direta nos ensaios IX e X da 2ª série	130
Tabela 5.7 – Comparação da qualidade do efluente terciário obtido na 2ª série com padrões e limites recomendados	131
Tabela 5.8 – Porcentagem de recuperação de (oo)cistos na metodologia de detecção e quantificação de cistos de <i>Giardia</i> spp. e oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	133
Tabela 5.9 – Resultados obtidos nos ensaio XI, XII, XIII, XIV e XV da 3ª série	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Símbolos Internacionais para água de reúso	11
Figura 3.2 – 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	25
Figura 4.1 – Fluxograma de tratamento da ETE Samambaia com tratamento terciário proposto	58
Figura 4.2 - Aparato de bancada utilizado nos ensaios de coagulação-floculação-filtração	62
Figura 4.3 – Instalação piloto de tratamento terciário na ETE Samambaia, Campinas-SP	65
Figura 4.4 – Detalhe da segunda unidade de filtração (FRD II) instalada durante pesquisa	65
Figura 4.5 – Esquema isométrico geral da instalação piloto	67
Figura 4.6 – Detalhe dos dispositivos para aplicação de solução ácida e de coagulante	68
Figura 4.7 - Esquema do dispositivo de aplicação de coagulante e mistura rápida	68
Figura 4.8 – Equipamentos para armazenamento e aplicação das soluções químicas	69
Figura 4.9 - Detalhes das unidades de floculação e filtração da instalação piloto	72
Figura 4.10 – Esquema do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta	73
Figura 4.11 – Aparato para desinfecção com UV na instalação piloto	74

Figura 5.1 – Remoção de turbidez em função de valores de pH e dosagem de sulfato de alumínio obtida nos ensaios de coagulação-floculação-filtração realizados em bancada	85
Figura 5.2 – Remoção de turbidez em função de valores de pH e dosagem de sulfato férrico obtida nos ensaios de coagulação-floculação-filtração realizados em bancada	86
Figura 5.3 – Remoção de cor aparente em função de valores de pH e dosagem de sulfato de alumínio obtida nos ensaios de coagulação-floculação-filtração realizados em bancada	86
Figura 5.4 – Remoção de cor aparente em função de valores de pH e dosagem de sulfato férrico obtida nos ensaios de coagulação-floculação-filtração realizados em bancada	87
Figura 5.5 – Teste preliminar I: Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação	90
Figura 5.6 – Teste preliminar II: Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação	91
Figura 5.7 – Teste preliminar III: Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação	91
Figura 5.8 – Teste preliminar I: Variação da turbidez em função do tempo de operação	93
Figura 5.9 – Teste preliminar I: Variação da cor aparente em função do tempo de operação	93
Figura 5.10 – Teste preliminar II: Variação da turbidez em função do tempo de operação	94
Figura 5.11 – Teste preliminar II: Variação da cor aparente em função do tempo de operação	95
Figura 5.12 – Teste preliminar III :Variação da turbidez em função do tempo de operação	95
Figura 5.13 – Teste preliminar III :Variação da cor aparente em função do tempo de operação	96
Figura 5.14 – Ensaio I – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação	98

Figura 5.15 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação	98
Figura 5.16 – Ensaio III – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação	99
Figura 5.17 – Ensaio IV – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação	99
Figura 5.18 – Ensaio I – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	101
Figura 5.19 – Ensaio I – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	101
Figura 5.20 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	102
Figura 5.21 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	102
Figura 5.22 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação	103
Figura 5.23 – Ensaio III – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	104
Figura 5.24 – Ensaio III – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	104
Figura 5.25 – Ensaio IV – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	105
Figura 5.26 – Ensaio IV – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	105
Figura 5.27 – Ensaio IV – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação	106
Figura 5.28 – Ensaio V – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação	107

Figura 5.29 – Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação	108
Figura 5.30 – Ensaio VII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação	108
Figura 5.31 – Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação	109
Figura 5.32 – Ensaio V – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	110
Figura 5.33 – Ensaio V – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	110
Figura 5.34 – Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	111
Figura 5.35 – Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	111
Figura 5.36 – Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação	112
Figura 5.37 – Ensaio VII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	113
Figura 5.38 – Ensaio VII – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	113
Figura 5.39 – Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	114
Figura 5.40 – Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	114
Figura 5.41 – Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação	115
Figura 5.42 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação	120

Figura 5.43 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação	120
Figura 5.44 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	122
Figura 5.45 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	123
Figura 5.46 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de sólidos totais, fixos e voláteis em função do tempo de operação	123
Figura 5.47 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de oxigênio dissolvido e variação da DQO e DBO em função do tempo de operação	124
Figura 5.48 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de NTK, N-NH ₃ , e P-PO ₄ em função do tempo de operação	124
Figura 5.49 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de Coliformes Totais e <i>E.coli</i> em função do tempo de operação	125
Figura 5.50 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação	126
Figura 5.51 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação	126
Figura 5.52 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de sólidos totais, fixos e voláteis em função do tempo de operação	127
Figura 5.53 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de oxigênio dissolvido e variação da DQO e DBO em função do tempo de operação	127
Figura 5.54 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de NTK, N-NH ₃ , e P-PO ₄ em função do tempo de operação	128
Figura 5.55 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de Coliformes Totais e <i>E.coli</i> em função do tempo de operação	129

Figura 5.56 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação	129
Figura 5.57 – Porcentagem de remoção de turbidez, cor aparente, Coliformes Totais, <i>E. coli</i> , cistos de <i>Giardia</i> spp., oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e ovos de helmintos por filtração direta (com pré-floculação) nos ensaios da 3ª série	136
Figura 5.58 – Inativação de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> . por radiação UV nos ensaios da 3ª série	138
Figura 5.59 – Eficiência do tratamento terciário para os parâmetros avaliados na 3ª série	139

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a – Constante da equação de Forchleimer;
A – Área da seção transversal do floculador e filtro;
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
Al – Alumínio;
APHA – American Public Health Association;
AWWA – American Water Works Association;
b - Constante da equação de Forchleimer;
C – concentração de ovos/larvas de helmintos;
 C_{sol} – concentração da solução de coagulante;
CD – coeficiente de desuniformidade;
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental;
CHD – Carga Hidráulica Disponível;
 Cl_2 – cloro livre;
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;
COT – Carbono Orgânico Total;
D – Dose de radiação ultravioleta;
 D_{coag} – dosagem de coagulante;
 D_{ef} – Diâmetro efetivo;
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;
DNA – Ácido Desoxirribonucleico;
DQO – Demanda Química de Oxigênio;
DSA – Dosagem de Sulfato de Alumínio;
DSF – Dosagem de Sulfato Férrico;

E – eficiência de recuperação;

E. coli – *Escherichia coli*;

Eq. – Equação;

ETA – Estação de Tratamento de Água;

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto;

EUA – Estados Unidos da América;

FDA – Filtração Direta Ascendente;

FDAAG – Filtração Direta Ascendente em Areia Grossa;

FDAP – Filtração Direta Ascendente em Pedregulho;

FDD – Filtração Direta Descendente;

Fe – Ferro;

FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP;

FLP – Filtro de Laboratório em Papel;

FPA – Floculador de Pedras Ascendente;

FRD – Filtro Rápido Descendente;

FRD I – Filtro Rápido Descendente I;

FRD II – Filtro Rápido Descendente II;

G – Gradiente de velocidade;

I – Intensidade de radiação ultravioleta;

I_0 – Intensidade de radiação ultravioleta emitida pela fonte;

I_m – Intensidade média de radiação ultravioleta;

IB – Instituto de Biologia;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

J – Perda de carga unitária no meio poroso;

n – número de (oo)cistos;

n_i – número de (oo)cistos inoculados;

n_m – número médio de (oo)cistos encontrados nas amostras processadas sem inoculação;

n_r – número de (oo)cistos recuperados;

NMP – número mais provável;

N- NH_3 – Nitrogênio amoniacal;

N- NO_3^- – Nitrato;

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl;
OD – Oxigênio Dissolvido;
OMS – Organização Mundial de Saúde;
P – Fósforo;
 P_{total} – Fósforo total;
P - PO_4 – Fósforo na forma de fosfato;
PAC - hidroxiclreto de alumínio;
PC – Ponto de coleta de amostra;
pH – potencial hidrogeniônico;
 P_1, P_2, P_3, P_4 – piezômetros do floculador em meio granular;
 P_5, P_6, P_7, P_8 – piezômetros do filtro rápido descendente I;
 $P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}$ – piezômetros do filtro rápido descendente II;
PZ – potencial zeta;
Q – vazão de entrada de efluente secundário na instalação piloto;
 Q_{ab} – vazão de entrada da instalação piloto;
 q_b – vazão da bomba dosadora;
RMSP – Região Metropolitana de São Paulo;
RNA – Ácido Ribonucléico;
S – volume de sedimento;
SA – Sulfato de Alumínio;
SANASA - Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A;
SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná;
SDF – Sistema de Dupla Filtração;
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais;
SF – Sulfato Férrico;
SP – São Paulo;
SSF – Sólidos em Suspensão Fixos;
SST – Sólidos em Suspensão Totais;
SSV – Sólidos em Suspensão Voláteis;
t – tempo de exposição;
T – tempo de mistura rápida;

TE – tamanho efetivo;

THM – trihalometanos (mantida a nomenclatura americana);

UFC – unidade formadora de colônia;

UGRHI 05 – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 05 – Piracicaba, Capivari, Jundiaí;

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas;

USEPA – United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) ;

UV – ultravioleta;

v – volume da alíquota;

V – Velocidade da água na unidade de floculação;

V_i – volume inicial da amostra;

V_r – Volume do reator UV;

WEF – Water Environment Federation;

WHO – World Health Organization;

x – espessura da camada de água exposta à radiação ultravioleta;

X – concentração de (oo) cistos;

Δ - variação;

α - coeficiente de absorção;

ε - porosidade do meio granular;

ϕ - fator de forma;

? - peso específico da água;

μ - coeficiente de viscosidade da água;

σ - desvio padrão;

Φ - diâmetro.

RESUMO

TOSETTO, M. S. Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reúso urbano. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 228 p. Dissertação (Mestrado).

Este trabalho consistiu na análise da eficiência do tratamento terciário do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Samambaia, no município de Campinas-SP, para fins de reúso em ambiente urbano. O sistema avaliado era composto das etapas de coagulação, pré-floculação em meio granular, filtração e desinfecção com radiação ultravioleta. O estudo experimental foi realizado em escala de bancada para otimização do processo de coagulação, e em escala piloto para avaliar as etapas de pré-floculação, filtração e desinfecção. Foram investigados, como coagulantes químicos, o sulfato férrico e o sulfato de alumínio, taxas de filtração de 120 e 300 m³/m².dia, e dose de radiação UV de, aproximadamente, 95 mWs/cm². O efluente terciário produzido na instalação piloto não foi considerado seguro sob o aspecto de saúde pública para aplicação em reúso urbano, como irrigação de parques e jardins, limpeza urbana, lavagem de veículos, combate a incêndio, entre outros, pois não atendeu as recomendações da Organização Mundial de Saúde – OMS quanto à concentração de ovos de helmintos, e apresentou cistos de *Giardia* spp. ainda em concentrações elevadas, embora nenhuma das recomendações encontradas na literatura contemple limites para estes últimos. Os parâmetros turbidez, DBO, sólidos em suspensão, Coliformes Totais e *E. coli* atenderam as metas e padrões recomendados na literatura para reúso urbano.

Palavras-chave: tratamento terciário de esgoto, filtração direta, desinfecção com radiação ultravioleta, reúso de água.

ABSTRACT

TOSETTO, M. S. Tertiary wastewater treatment for urban reuse. Campinas, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Urban Design, State University of Campinas, 2005. 228 p. Master in Science dissertation.

This work consisted of efficiency analysis of tertiary treatment of effluent from a Wastewater Treatment Plant (WWTP Samambaia) that is located at the city of Campinas (São Paulo State, Brazil), for urban reuse. The system consisted of a physico-chemical treatment composed of coagulation, granular upflow flocculation, direct downflow filtration and ultraviolet disinfection. The experimental work was carried out using bench-scale tests to optimize chemical coagulation, and in a pilot installation to evaluate the flocculation, filtration and disinfection steps. Aluminum sulfate and ferric sulfate were evaluated as coagulants. Filtration rates of 120 and 300 m/day and UV doses of 95 mWs/cm² were applied. The tertiary effluent obtained at the pilot plant was not considered safe, under the public health point of view, for urban reuse, like gardens and parks irrigation, urban cleaning, car-washing, fire protection and others, because the helminth eggs concentration, that did not comply to World Health Organization-WHO recommendation, and the high level of *Giardia* spp. cysts concentration detected at the tertiary-treated effluent, although the quality requirements for urban reuse do not limit this concentration. The turbidity, BOD, suspended solids and coliforms parameters were according to literature recommendation for urban reuse.

Keywords: tertiary wastewater treatment, direct filtration, ultraviolet disinfection, wastewater reuse.

1. INTRODUÇÃO

A água, elemento vital para os ecossistemas e para as sociedades humanas, é um dos principais recursos afetados pela crescente degradação ambiental, tornando-se, portanto, mais difícil a sua obtenção em quantidade e qualidade adequadas para suprir as demandas das atividades humanas. Muitos dos mananciais hoje utilizados estão sendo poluídos e deteriorados progressivamente e, além disso, novos mananciais encontram-se cada vez mais distantes dos centros consumidores. Em consequência da má qualidade dos mesmos, o tratamento das águas torna-se mais oneroso, induzindo-se a priorização do abastecimento para consumo humano.

Tal situação é agravada pela distribuição desigual de recursos hídricos: atualmente, existem 26 países que abrigam 262 milhões de pessoas e que se enquadram na categoria de áreas com escassez de água. Segundo MANCUSO e SANTOS (2003), pelo menos 8% da reserva mundial de água doce estão no Brasil, sendo que 80 % concentram-se na Região Amazônica e somente 20 % encontram-se distribuídos nas regiões onde vivem 95 % da população brasileira.

HESPAÑHOL, em MANCUSO e SANTOS (2003), afirma que, do total de água consumido atualmente no Brasil, 70 % são aplicados na agricultura e os 30 % remanescentes destinam-se a usos domésticos e industriais, em partes iguais, e é possível que antes do término desta década, o consumo de água na agricultura chegue próximo a 80 %, aumentando os conflitos de uso que hoje ocorrem na grande maioria das bacias hidrográficas brasileiras, principalmente naquelas com desenvolvimento agrícola e urbano significativo.

Diante desta situação, o conceito de “substituição de fonte” mostra-se como uma alternativa para atender as demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico. Desta forma, as tecnologias de tratamento que permitem a reutilização da água despontam em todo o mundo como uma alternativa marcante para minorar o panorama de escassez. (MANCUSO e SANTOS, 2003).

O município de Campinas está inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 05 (UGRHI 05) – Piracicaba, Capivari e Jundiaí. A população total do município, segundo Censo de 2000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), é de 967.921 habitantes, sendo que cerca de 98 % desta está estabelecida em área urbana. Conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, referente ao ano de 2004 (CETESB, 2005), 92 % da população são atendidas pelo sistema de coleta e afastamento de esgoto. No entanto, apenas 33 % deste esgoto sofrem tratamento, o restante é despejado *in natura* nos cursos d’água da bacia (45 % no Ribeirão Samambaia / Anhumas, 15 % no Ribeirão Quilombo).

O saneamento básico do município é feito pela Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A. – SANASA. De acordo com esta, a vazão de água para atender a população do município é de 4 m³/s, sendo que 95% vêm do Rio Atibaia, e os 5 % restantes do Rio Capivari.

O Plano de Bacia Hidrográfica 2000 – 2003, do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, já considerava as bacias hidrográficas componentes da UGRHI 05 como críticas, devido às pressões de demanda e comprometimento da qualidade das águas. As demandas na área em 2000 já superavam as disponibilidades hídricas, correspondendo a 107,5 % (Q_{7,10}), chegando, segundo previsão, a 117,5 % em 2005. Seus principais mananciais encontram-se com as águas degradadas, principalmente em trechos com elevadas demandas para o abastecimento público, em decorrência, primeiramente, do lançamento de cargas poluidoras oriundas dos esgotos urbanos e efluentes industriais nos cursos d’água, e secundariamente, de fontes e fatores de poluição difusos, porém não menos importantes no processo de degradação das águas. Ainda segundo o Comitê da Bacia, a sub-bacia do Rio Atibaia é aquela que apresenta a situação mais crítica.

O potencial de recursos hídricos superficiais das bacias componentes da UGRHI 05 não está disponível, em sua totalidade para uso na própria região. Uma parcela substancial é revertida para a bacia do Alto Tietê, através do Sistema Cantareira, principal sistema produtor de água potável da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, e responsável pelo abastecimento de 50 % de sua população.

No intuito de amenizar, ou até contornar, a gravidade da situação no que diz respeito à disponibilidade de água, o seu reúso apresenta-se, entre outras, como uma interessante alternativa. Em áreas urbanas, águas de reúso têm sido aplicadas em irrigação de parques e jardins, limpeza urbana, desobstrução de tubulações de esgoto e drenagem pluvial, lavagem de veículos, combate a incêndio e outros.

HESPANHOL, em MANCUSO e SANTOS (2003), afirma que “além da necessidade de se desenvolver uma cultura e uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade, o reúso consciente e planejado de águas de baixa qualidade – águas de drenagem agrícola, águas salobras, águas de chuva e, principalmente, esgotos domésticos e industriais – constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão para garantir a sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos nacionais”.

De acordo com o mesmo autor, como existe no Brasil pouca experiência em reúso planejado e institucionalizado, é necessário implementar projetos pilotos, os quais irão fornecer subsídios para o desenvolvimento de padrões e códigos de prática, adaptados às condições e características nacionais.

A Estação de Tratamento de Esgoto da Bacia do Ribeirão Samambaia (ETE Samambaia), na qual foi realizado o presente estudo do tratamento terciário do efluente para fins de reúso, está em funcionamento há pouco mais de 5 anos. O tratamento do efluente na ETE Samambaia é realizado por gradeamento físico seguido de caixa de areia, e, em seguida, por processo de lodos ativados em lagoa aerada e decantadores secundários.

2. OBJETIVOS

Este projeto de pesquisa teve como objetivo a avaliação da eficiência do tratamento terciário do efluente da ETE Samambaia (Campinas – SP) para fins de reúso não potável em ambiente urbano. O tratamento terciário adotado foi composto das etapas de coagulação, filtração direta descendente com pré-floculação em meio granular e desinfecção com radiação ultravioleta.

Buscou-se, através de estudo experimental em escala de laboratório e piloto, investigar e avaliar:

- a. A coagulação química com sulfato de alumínio e sulfato férrico, visando determinar a dosagem ótima de coagulante e o pH ótimo de coagulação para os gradientes de velocidade desenvolvidos na unidade piloto, de forma a favorecer a melhor remoção de turbidez e cor aparente;
- b. A eficiência da pré-floculação e filtração direta descendente, considerando diferentes taxas de filtração (5 e 12,5 m/h), quanto à remoção de sólidos em suspensão, de turbidez, de cor, de nutrientes, de coliformes, de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp. e de ovos de helmintos; e
- c. A eficiência da desinfecção com radiação ultravioleta em relação à inativação de coliformes totais, *E. coli* e ovos de helmintos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. REÚSO DE ÁGUA

O reúso da água está se tornando um importante aspecto no gerenciamento dos recursos hídricos e de políticas ambientais. O reúso garante alternativa segura para o fornecimento de água, reduz a carga poluidora e oferece uma forma de desenvolvimento mais sustentável, conforme afirma o prefácio de *Water Science and Technology*, v.43, n.10 (2001).

Segundo ASANO (2001), o reúso da água proporciona uma oportunidade única e viável para aumentar as tradicionais fontes para abastecimento de água.

LAVRADOR FILHO¹ (1987, apud MANCUSO e SANTOS, 2003) sugere, como definição, que o Reúso da Água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, além do original.

Segundo GANOULIS e PAPALOPOULOU (1996), deve-se fazer uma distinção entre reúso direto e indireto. O reúso indireto é aquele no qual os despejos são primeiro lançados em corpos d'água superficiais ou subterrâneos, e, posteriormente, captados à jusante. Os esgotos municipais são normalmente reaproveitados desta forma. O reúso direto é aquele no qual o efluente tratado é diretamente encaminhado ao uso. Este é, na maior parte, o caso de efluentes

¹ LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

industriais recolhidos e reutilizados em circuito fechado nos processos industriais, tal como nas indústrias de papel e celulose.

As categorias de reúso de esgoto municipal são as seguintes (USEPA, 1992):

- Reúso urbano irrestrito – irrigação de áreas nas quais o acesso do público não é restrito, tais como parques, “playgrounds”, jardins escolares e residenciais; descarga de sanitários, proteção contra incêndio, construção civil e fontes ornamentais.
- Reúso urbano restrito – irrigação de áreas nas quais o acesso de pessoas pode ser controlado, tais como campo de golfe, cemitérios e canteiros de rodovias.
- Reúso agrícola de culturas alimentícias – irrigação de safras de alimentos que são destinadas para consumo humano direto, muitas vezes classificados como alimentos de consumo cru.
- Reúso agrícola de culturas não-alimentícias – irrigação de forrageiras para gado, fibras, sementeiras, viveiros, aquíicultura.
- Reúso recreacional irrestrito – represas e lagos onde nenhuma limitação é imposta ao contato direto em atividades recreacionais como natação e mergulho.
- Reúso recreacional restrito – represas e lagos de água aproveitada na qual a recreação é limitada à pesca, canoagem e outras atividades de contato indireto.
- Reúso ambiental – uso de água aproveitada para criar “wetland” artificial e sustentar vazões.
- Reúso industrial – água aproveitada para uso em instalações industriais como sistema de refrigeração, reposição de água, água de alimentação de caldeira e água de processo.
- Reúso em recarga de aquífero – reposição de aquífero, controle de salinidade e de abaixamento de lençol freático.

ASANO (2001), afirma que a utilização de efluentes na agricultura já tem sido praticada por muitos séculos em várias partes do mundo, e a ampliação em irrigação de áreas urbanas tem sido implementada com sucesso há mais de 30 anos. As aplicações predominantes hoje do

efluente tratado incluem: irrigação agrícola, irrigação de campos (parques), reciclagem e reúso industrial e recarga de aquíferos.

Os usos urbanos não potáveis devem ser considerados como primeira opção de reúso na área urbana. Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto do público com gramados de parques, jardins, áreas turísticas e campos de esporte (HESPANHOL, em MANCUSO e SANTOS, 2003). Daí a grande importância de um tratamento adequado do efluente em relação ao uso proposto, devendo-se conhecer os riscos que podem apresentar a saúde e ao meio ambiente.

CROOK (1987) já afirmava que a utilização da água reciclada para irrigação urbana já estava de tal forma difundida e possuía tantos atrativos econômicos e ambientais que sua adoção vinha progredindo rapidamente, mesmo onde normas e regulamentos ainda não haviam sido adotados.

A questão da saúde pública é um dos principais fatores a ser considerado em um sistema de reúso de água, principalmente em zonas urbanas. Quanto maior a exposição ou o nível de contato humano com a água recuperada, maior deve ser sua segurança sanitária. Assim, os critérios para proteção da saúde baseiam-se geralmente no controle dos microrganismos patogênicos, através de organismos bioindicadores, como coliformes totais e fecais, e ainda da verificação da concentração de ovos de helmintos, como recomenda a Organização Mundial de Saúde – OMS (BLUM, em MANCUSO e SANTOS, 2003).

Sabendo que o reúso da água, para qualquer fim, depende de sua qualidade físico-química e microbiológica, CROOK (1991) afirma que “a maioria dos parâmetros de qualidade físico-químicos são bem compreendidos, tendo sido possível estabelecer critérios de qualidades orientados para reúso. Os limites microbiológicos relativos à saúde são mais difíceis de serem quantificados, como evidenciado pela multiplicidade de parâmetros e orientações de uso, variáveis em termos mundiais”.

Na literatura consultada, não foi encontrada nenhuma recomendação com relação a concentração máxima e/ou monitoramento de protozoários patogênicos em águas de reúso urbano, como *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp., cujos cistos e oocistos são frequentemente encontrados em amostras de esgoto. CISNEROS et al.(2001) indicam que estes organismos, assim como coliformes fecais e helmintos, também devem ser usados como indicadores de poluição ambiental, por oferecerem riscos à saúde pública em baixas doses infectantes, especialmente a pessoas imunodeficientes, aos idosos e às crianças na tenra idade, entre outros segmentos populacionais, por serem de difícil remoção/inativação por processos convencionais de tratamento e ainda por poderem, em função de sua resistência, sobreviverem vários meses no ambiente.

DIAS JUNIOR² (1999, apud CANTUSIO NETO, 2004) analisou a presença destes protozoários em amostras de esgoto na cidade de Araras-SP e observou densidades de 2.227/L e 472/L de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, respectivamente, e FARIAS (2000) ao analisar amostras de esgoto na cidade de São Paulo encontrou concentrações de 1.200 oocistos/L de *Cryptosporidium* spp., o que reforça a importância da realização do controle de cistos de protozoários em esgoto tratado para reúso, principalmente de cistos de *Giardia*, que têm sido encontrados com maior frequência e em concentrações bem mais elevadas em relação aos oocistos de *Cryptosporidium*. GARCIA et al. (2002) confirmam dizendo que a presença de cistos de *Giardia* no efluente final de tratamento terciário representa um risco potencial para programas de reúso de água.

A necessidade de controle de formas de resistência (cistos e oocistos) de protozoários em água de reúso é ainda reforçada por várias pesquisas nas quais não se obteve correlação entre a concentração de cistos *Giardia* spp. com parâmetros físico-químicos e microbiológicos utilizados na avaliação da qualidade da água, como turbidez, coliformes totais e fecais (CANTUSIO NETO, 2004 e OLIVEIRA, 2005), assim como também não foi comprovada a correlação destes parâmetros com a concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. (EMELKO, 2003).

² DIAS JUNIOR, O. **Ocorrência de cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* spp em águas superficiais e esgoto no município de Araras – SP.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Mackenzie. São Paulo:1999.

Experiências de reúso urbano já vêm sendo realizadas no Brasil, MANCUSO e SANTOS (2003) apresentam, como exemplos bem sucedidos, o projeto de reúso em um parque temático nas proximidades da cidade de São Paulo, e o projeto realizado pela Sabesp em parceria com a prefeitura do município de São Caetano do Sul – SP.

No parque temático, o esgoto bruto proveniente dos sanitários, bares e restaurantes é tratado por processo de lodos ativados, não convencional, com separação da biomassa feita por membranas de microfiltração do tipo oco – *hollow fiber* – autolimpantes, submersas no tanque de aeração, e ainda por desinfecção com hipoclorito de sódio. O efluente tratado, armazenado em reservatório, é conduzido através de sistema duplo de distribuição para uso em descargas sanitárias e irrigação de jardins e gramados. A qualidade do efluente tratado e os limites adotados no projeto são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores máximos observados, no período de dez/1999 a jul/2001, e valores limites adotados para água de reúso em parque temático (adaptada de MANCUSO e SANTOS, 2003)

Parâmetro ⁽¹⁾	Esgoto Bruto	Água de reúso	Limite
pH	7,16	7,9	6,5 – 8,3
Cor (uC)	-	10	< 15
Turbidez (NTU)	-	0,5	≤ 5
Cloro residual	-	-	0,5
DQO	620	40	≤ 60
DBO	403	3,2	-
Óleos e graxas	350	<0,1	ausente
Nitrogênio amoniacal	4,15	0,96	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	5,04	1,12	-
Sólidos em Suspensão Totais	-	-	≤ 5
Fósforo total	3,17	1,0	-
Ortofosfato	0,67	0,62	-
Coliformes totais (NMP/100mL)	-	ausente	≤ 2,2
Coliformes fecais (NMP/100mL)	-	ausente	ausente
Ovos de helmintos (nº ovos/L)	-	ausente	≤ 1
Cistos de protozoários (nº cistos/ L)	-	ausente	-

(1) valores em mg/L, salvo quando indicado

A experiência da Sabesp em reúso urbano, denominado Projeto São Caetano, utiliza o efluente da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE ABC, tratado por processo de lodos ativados convencional, de eficiência superior a 90 % de remoção de DBO, seguido de tratamento na Estação de Condicionamento para Reúso – ECR, que consiste em filtragem grosseira com filtros-cestos, pré-cloração c/ hipoclorito de sódio, coagulação e floculação com policloreto de alumínio, filtragem fina por filtro de pressão de dupla-camada (antracito e areia) e pós-cloração, também com hipoclorito de sódio. O efluente tratado na ECR (31 L/s) é parcialmente usado em atividades internas da ETE (17L/s) como água de selagem de bombas, água de lavagem de pátios, irrigação de gramados e água de quebra espuma nos tanques de aeração, o restante (14 L/s) é disponibilizado, a um custo de R\$ 0,30/m³, ao município de São Caetano do Sul para usos externos, com fornecimento através de caminhão-pipa. A água de reúso é aplicada na rega de ruas sem calçamento (no controle de poeira), jateamento de lodo e detritos acumulados nas ruas após chuvas fortes, lavagem de ruas após feiras livres, desobstrução de redes coletoras de esgoto e galerias de águas pluviais, lavagem de prédios, pátios, jardins, praças e veículos.

Os parâmetros adotados no Projeto São Caetano, baseados na legislação do estado da Califórnia - Estados Unidos e nas recomendações da OMS, assim como a qualidade obtida do efluente secundário pós-tratado para reúso, são apresentados na Tabela 3.2.

Outro aspecto importante do Projeto São Caetano que deve ser mencionado, é a utilização de veículos (caminhões-pipa) específicos para esse fim, tendo sido padronizados, de acordo com normas internacionais, na cor púrpura e trazem a indicação “Água não potável – não beba”, além dos símbolos internacionais (Figura 3.1). Os sistemas de tubulação, equipamentos e pontos de interligação também são identificados da mesma maneira (MANCUSO e SANTOS, 2003)

Tabela 3.2 – Limites adotados e valores dos parâmetros obtidos da água de reúso do Projeto São Caetano - referentes a março/2001 (adaptada de MANCUSO e SANTOS, 2003)

Parâmetro ⁽¹⁾	Água de reúso	Limite
pH	7,9	6,5 – 8,5
Cor (uC)	17	< 10
Turbidez (NTU)	5,82	< 2 NTU /24 horas e nunca > 10 NTU
Cloro total	14,1	> 7
DQO	18	-
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	93,3	-
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	40,9	-
Nitrogênio amoniacal	ND ⁽²⁾	-
Nitrogênio Total Kjeldahl	ND	-
Nitrato	20,5	-
Nitrito	<0,004	-
Sólido em Suspensão Totais	6	-
Sólido em Suspensão Fixos	4	-
Sólido em Suspensão Voláteis	2	-
Ortofosfato	1,46	-
Compostos orgânicos voláteis	ND	ausentes
Coliformes totais (NMP/100mL)	-	< 2,2, não deve ser > 23 em mais de 1 resultado/30 dias
Coliformes fecais (NMP/100mL)	< 2	ausentes
Protozoários (nº / L)	ausentes	ausentes

(1) valores em mg/L, salvo quando indicado; (2) ND: não detectado



Figura 3.1 – Símbolos internacionais para água de reúso

3.1.1. RECOMENDAÇÕES E REGULAMENTAÇÕES PARA REÚSO

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos -USEPA (1992), além de dividir o reúso em categorias, sugere os requisitos mínimos de qualidade da água de reúso para cada tipo de aplicação, assim como o tratamento requerido, apresentados na Tabela 3.3.

A Organização Mundial de Saúde, em 1989 (USEPA, 1992), estabeleceu critérios básicos para a proteção dos grupos de risco associados a esquemas de reúso agrícola e recomendou, para efluentes líquidos, as diretrizes apresentadas na Tabela 3.4. As recomendações são baseadas na conclusão de que os principais riscos do reúso em países em desenvolvimento estão associados às doenças provocadas por helmintos.

Nos Estados Unidos, além das recomendações apresentadas pela USEPA em 1992, existem poucas leis federais ou regulamento referindo-se diretamente ao reúso de águas residuárias, as recomendações existentes foram desenvolvidas em âmbito estadual. Neste contexto, o estado da Califórnia foi pioneiro ao desenvolver suas primeiras regulamentações em 1918, e hoje os critérios vigentes no estado, sob o “Título 22 do Código da Califórnia”, adotados em 1978 para reúso de águas residuárias, têm servido como base para padrões de reúso em outros estados e muitos países. Na Tabela 3.5 são apresentadas as diretrizes contidas no “Título 22 do Código da Califórnia” para reúso em agricultura e paisagismo.

Tabela 3.3 – Qualidade da água de reúso e tipo de tratamento sugeridos para as categorias de reúso de esgoto municipal, segundo USEPA(1992).

Categoria de reúso	Tratamento	Qualidade da água de reúso
Reúso urbano irrestrito	Secundário, filtração, desinfecção	DBO ₅ < 10 mg/L Coliformes fecais: ND/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reúso urbano restrito	Secundário e desinfecção	DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reúso agrícola de culturas alimentícias	Secundário, filtração, desinfecção	DBO ₅ < 10 mg/L Coliformes fecais: ND/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reúso agrícola de culturas não-alimentícias	Secundário e desinfecção	DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reúso recreacional irrestrito	Secundário, filtração, desinfecção	DBO ₅ < 10 mg/L Coliformes fecais: ND/100mL Turbidez < 2 NTU Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reúso recreacional restrito	Secundário e desinfecção	DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL Cl ₂ residual: 1 mg/L pH: 6 a 9
Reúso ambiental	Variável, geralmente secundário e desinfecção	Variável, mas não deve exceder: DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL
Reúso industrial	Secundário ou secundário + desinfecção, depende do uso específico (coagulação química e filtração podem ser necessários)	Depende do tipo de uso, mas geralmente: DBO ₅ < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecais < 200/100mL Cl ₂ : 1 mg/L
Reúso em recarga de aquífero	Primário para infiltração e percolação Secundário p/ injeção	Variável, dependendo do local e dos usos da água

Tabela 3.4 – Diretrizes microbiológicas recomendadas pela OMS, em 1989, para reúso na agricultura. (Adaptada de USEPA, 1992)⁽¹⁾

Categoria	Condições de reúso	Grupos de risco	Nematodos intestinais⁽²⁾ nº ovos/ L⁽³⁾	Coliformes fecais nº/100 mL⁽⁴⁾	Tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos ⁽⁵⁾	Operários, consumidores, público	≤ 1	≤ 1000 ⁽⁵⁾	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores ⁽⁶⁾	Operários	≤ 1	Não são recomendados padrões	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias, ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não ocorrer exposição de operários e do público	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento requerido pela técnica de irrigação, mas não menos que tratamento primário

(1) Em casos específicos, fatores epidemiológicos, socioculturais ou ambientais devem ser levados em consideração e essas diretrizes modificadas de acordo;

(2) *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostoma* spp.;

(3) Média aritmética durante o período de irrigação;

(4) Média geométrica durante o período de irrigação;

(5) Um valor diretriz mais restritivo (≤ 200 coliformes fecais/ 100mL) é apropriado para gramados públicos, tais como os de hotéis, com os quais o público tenha contato direto;

(6) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar 2 semanas antes da colheita dos frutos, e estes não devem ser colhidos do chão. Irrigação por aspersão não deve ser usada.

Tabela 3.5 – Requisitos de qualidade e tratamento requerido para água de reúso em agricultura e paisagismo, segundo o “Título 22 do Código da Califórnia” (MANCUSO e SANTOS, 2003)

Tratamento	Requisitos de qualidade	Tipo de reúso
Primário	SST ≤ 100 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 120 mg/L	Irrigação de cultura de grãos, plantas forrageiras, ração para animais, jardins e vinhedos
Secundário + desinfecção por cloro	SST ≤ 30 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 30 mg/L Coliformes totais ≤ 23/100mL	Irrigação de pastagens para gado leiteiro, campos de golf, cemitério, canteiros centrais de auto-estradas, cinturões verdes e lagos recreacionais paisagísticos
Secundário + desinfecção	SST ≤ 30 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 30 mg/L Coliformes totais ≤ 2,2/100mL	Em lagos recreativos de acesso restrito
Secundário + filtração+ desinfecção	SST ≤ 15 mg/L DBO _{5, 20} ≤ 15 mg/L Coliformes totais ≤ 2,2/100mL	Irrigação de culturas alimentícias, parques, playgrounds, pátios escolares gramados e para lagos recreativos de acesso restrito

Pode-se observar que a regulamentação da Califórnia é consideravelmente mais restritiva do que a orientação da OMS. Além do estado da Califórnia, mais 26 estados americanos possuem regulamentação específica ou orientações para reúso urbano restrito, sendo que 21 destes contemplam também o reúso urbano irrestrito. Os parâmetros de qualidade da água de reúso e tratamentos requeridos nestes estados são apresentados no anexo A.

O Brasil ainda não possui legislação específica para o reúso de água, MANCUSO e SANTOS (2003) afirmam que “até o momento, as avaliações legais relativas a essa prática, têm sido baseadas em legislações de outros países, principalmente, nos critérios de qualidade para reúso de água da OMS, entendida como referência mundial, em que pese a necessidade de considerações de caráter regional e de outras naturezas”.

Apesar da legislação de classificação das águas, CONAMA nº357, de 2005, não tratar diretamente da questão do reúso, MANCUSO e SANTOS (2003) ao se referirem à versão anterior da legislação de classificação das águas (CONAMA nº 20, de 1986), consideram que este é um instrumento utilizado intimamente ligado ao reúso, justificando que, em primeiro lugar, “se reúso é o reaproveitamento das águas já utilizadas, qualquer utilização que não seja primária constitui reúso. Assim, classes inferiores de águas podem ser chamadas de águas para reúso. Em segundo, porque, se as águas comportam classes definidas segundo os usos preponderantes, se leva em consideração o reúso para estabelecer classes”.

Pode-se afirmar, portanto, de acordo com MANCUSO e SANTOS (2003), que a Resolução CONAMA nº 357 trata das questões relativas ao reúso indireto, definindo os usos e reúsos para cada classe e ainda estabelecendo os parâmetros físico-químicos para cada uma delas. De todas as classes em que são divididas as águas doces, a única que não pode ser indicada para reúso é a Classe Especial, já que, por sua natureza, são reservadas ao uso primário inicial, destinadas ao abastecimento doméstico com desinfecção.

Na Tabela 3.6 são apresentadas as classes para águas doces, com seus respectivos usos e reúsos indiretos permitidos, e na Tabela 3.7 são apresentados somente alguns dos parâmetros de qualidade exigidos para cada classe. Em função da grande quantidade contemplada na resolução,

não são apresentados, portanto, os parâmetros orgânicos e também muitos dos parâmetros inorgânicos.

Tabela 3.6 – Classificação das águas doces segundo seus usos preponderantes – Resolução CONAMA nº357

Classe	Usos permitidos
Especial	- abastecimento para consumo humano, com desinfecção; - preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e - preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	- abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; - proteção das comunidades aquáticas; - recreação de contato primário (natação, mergulho, esqui aquático...); - irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e - proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas
2	- abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; - proteção das comunidades aquáticas; - recreação de contato primário (natação, mergulho, esqui aquático...); - irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; - aquicultura e atividade de pesca
3	- abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; - irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; - pesca amadora; - recreação de contato secundário; e - dessedentação de animais
4	- navegação; e - harmonia paisagística

A Resolução CONAMA nº 357 dispõe ainda sobre as condições de lançamento de efluentes em corpos d'água, na qual consta que o valor de pH deve estar entre 5 e 9 e a temperatura não deve exceder 40° C. Quanto os materiais sedimentáveis, estes não devem ser superiores a 1 mL/L; os óleos minerais devem atender o limite de 20 mg/L e os óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L, e ainda o valor máximo de nitrogênio amoniacal permitido é 20 mg/L N.

Tabela 3.7 – Padrões de qualidade para águas superficiais - Resolução CONAMA nº357

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Materiais flutuantes	-	v. a. ⁽¹⁾	v. a.	v. a.	v. a.
Óleos e graxas	-	v. a.	v. a.	v. a.	(2)
Gosto e odor	-	v. a.	v. a.	v. a.	(3)
Corantes artificiais	-	v. a.	(4)	(4)	-
Sólidos dissolvidos	mg/L	500	500	500	-
Coliformes fecais	NMP/100mL	200 ⁽⁵⁾	1000 ⁽⁵⁾	2500 ⁽⁶⁾ 1000 ⁽⁷⁾ 4000	-
DBO ₅	mg/L O ₂	3	5	10	-
Oxigênio dissolvido	mg/L O ₂	6	5	4	2
Turbidez	UNT	40	100	100	-
Cor verdadeira	mg Pt/L	natural	75	75	-
pH	-	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Fósforo total	mg/L P	0,020 ⁽⁸⁾ 0,025 ⁽⁹⁾ 0,1 ⁽¹⁰⁾	0,030 ⁽⁸⁾ 0,050 ⁽⁹⁾ 0,1 ⁽¹⁰⁾	0,050 ⁽⁸⁾ 0,075 ⁽⁹⁾ 0,15 ⁽¹⁰⁾	-
Nitrato	mg/L N	10	10	10	-
Nitrogênio amoniacal	mg/L N	3,7; pH ≤ 7,5 2,0; 7,5 <pH ≤ 8,0 1,0; 8,0 <pH ≤ 8,5 0,5; pH > 8,5	3,7; pH ≤ 7,5 2,0; 7,5 <pH ≤ 8,0 1,0; 8,0 <pH ≤ 8,5 0,5; pH > 8,5	13,3; pH ≤ 7,5 5,6; 7,5 <pH ≤ 8,0 2,2; 8,0 <pH ≤ 8,5 1,0; pH > 8,5	-

(1)v. a. :virtualmente ausentes

(2)toleram-se iridescências

(3)odor e aspecto: não objetáveis

(4)ausência de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais

(5)em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de 1 ano, com frequência bimestral

(6)para recreação de contato secundário

(7)para dessedentação de animais criados confinados

(8)ambiente lêntico

(9)ambiente intermediário e tributários diretos de ambiente lêntico

(10)ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários

MANCUSO e SANTOS (2003), baseando-se em dados de instalações reais e nos trabalhos de CULP (1980)³ e RICHARD (1998)⁴, apresentam algumas características esperadas de efluentes de diferentes processos de tratamento e suas respectivas aplicações (Tabela 3.8).

³ CULP et al. **Wastewater reuse and recycling technology**. Nova Jersey, Noyes Data corporation, 1980⁴ RICHARD, D. The cost of wastewater reclamation and reuse. In: ASANO, T. (Ed.) **Wastewater Reclamation and Reuse**. Lancaster, Technomic Publishing Co. Inc., p.1335-1395, 1998.

Tabela 3.8 - Características esperadas de efluentes de diferentes processos de tratamento e suas respectivas aplicações.

Processo de tratamento	Característica esperada do efluente	Aplicação
Primário	SST ⁽¹⁾ = 80 mg/L; DBO ⁽²⁾ = 120 mg/L	Cultura de grãos, plantas forrageiras, ração para animais, jardins e vinhedos
Lodos ativados convencionais e desinfecção	SST = 20 mg/L; DBO = 20 mg/L Colif. Totais < 23/100mL	Pastagens para gado leiteiro, campos de golfe, cemitérios, canteiros centrais de auto-estradas, cinturões verdes, lagos recreativos
Lodos ativados seguido por filtros biológicos de alta taxa e desinfecção	SST = 25 mg/L; DBO = 25 mg/L Colif. Totais < 23/100mL	paisagísticos, lagos recreacionais de acesso restrito, dessedentação de animais
Aeração prolongada e desinfecção	SST = 10 mg/L; DBO = 10 mg/L N-NH ₃ ⁽³⁾ = 5 mg/L Colif. Totais < 23/100mL	Onde for requerido o controle de nutrientes no efluente
Secundário, aeração prolongada, tratamento químico, coagulação, sedimentação, filtração e desinfecção	SST = 10 mg/L; DBO = 10 mg/L N-NH ₃ = 5 mg/L Colif. Totais < 2,2/100mL	Culturas alimentícias, parques, playgrounds, irrigação de pátios escolares gramados e para lagos recreacionais de acesso irrestrito.
Secundário, filtração direta e desinfecção		
Aeração prolongada, coagulação química, filtração ascendente por contato e desinfecção		
Secundário, filtração por contato, remoção de fósforo e desinfecção	SST = 10 mg/L; DBO = 10 mg/L N-NH ₃ = 1 mg/L; N-NO ₃ ⁽⁴⁾ = 2 mg/L P-PO ₄ ⁽⁵⁾ = 2 mg/L Colif. Totais < 2,2/100mL	Criação de peixes
Remoção biológica de fósforo e nitrogênio num processo de tratamento compartimentalizado e desinfecção		Onde for requerido o controle de nutrientes no efluente
Secundário, filtração por contato, adsorção em carvão e desinfecção	SST < 2 mg/L; DBO < 2 mg/L N-NH ₃ < 1 mg/L; N-NO ₃ < 2 mg/L P-PO ₄ < 2 mg/L; COT < 5 mg/L Colif. Totais < 2,2/100mL	Remoção de nutrientes para uso em recarga de aquíferos/poços ou bacias de inundação
Secundário, filtração por contato, adsorção em carvão, osmose reversa e desinfecção	SST < 1 mg/L; DBO < 1 mg/L NH ₃ -N < 1 mg/L; NO ₃ -N < 1 mg/L PO ₄ < 2 mg/L; COT ⁽⁶⁾ < 2 mg/L SDT ⁽⁷⁾ < 5 mg/L Dureza < 10 mg CaCO ₃ /L Colif. Totais < 2,2/100mL	Água desmineralizada para reúso industrial
Secundário, calagem, osmose reversa e desinfecção		

Fonte: MANCUSO e SANTOS, 2003.

Na literatura consultada, ainda foi possível observar os padrões e recomendações praticados em outros países, tais como na Itália, Austrália, Israel, e outros, muitos deles baseados nas normas americanas, ou ainda nas recomendações da OMS. Na Tabela 3.9 são apresentados os

padrões microbiológicos para irrigação com água de reúso na Itália, em nível federal, e orientações regionais (CITAI⁵, 1977, apud BARBAGALLO, 2001).

Tabela 3.9 – Padrões microbiológicos para reúso de água em irrigação praticados na Itália (CITAI, 1977. Adaptada de BARBAGALLO et al., 2001)

	Colif. totais (NMP/100mL) ⁽¹⁾	Colif. fecais (NMP/100mL)	Ovos de helmintos (n. de ovos/L)
Itália	2 ⁽²⁾ , 20 ⁽³⁾	-	-
Sicília	3000 ⁽²⁾	1000 ⁽²⁾	1
Emilia Romana	2 ⁽²⁾ , 20 ⁽³⁾	-	-
Puglia	2 ⁽²⁾ , 10 ⁽³⁾	-	-

(1)valor médio de 7 dias consecutivos; (2) irrigação irrestrita; (3) irrigação restrita

Na Austrália as orientações para reúso de água (NHMRC⁶, 1997, apud ANDERSON et al., 2001) dividem os tipos de reúso em 4 classes, em termos de qualidade microbiológica expressadas em valores máximos de unidades formadoras de colônias (UFC) de coliformes fecais, e apresentam também os tratamentos necessários para atingir tais níveis, conforme apresentado na Tabela 3.10. Em complementação, o estado de New South Wales, Austrália, em 1993 estabeleceu o limite de 1 UFC/ 100 mL de coliformes fecais para efluente de tratamento terciário com desinfecção, especificamente para o reúso urbano e residencial de aceso irrestrito.

Tabela 3.10 – Classificação de águas para reúso na Austrália, com respectivos padrões de qualidade microbiológica e tratamento requeridos (NHMRC, 1997. Adaptado de ANDERSON et al., 2001)

Classe	Descrição	Coliformes Fecais (UFC/ 100mL)	Tratamento
5 estrelas	Potável	0	Avançado, efetivo contra patógenos e poluentes químicos
A+ (4 estrela)	Acesso irrestrito	<1	Secundário- filtração em membrana – desinfecção Secundário-coagulação-filtração-desinfecção
A (3 ^{1/2} estrelas)	Alto contato	<10	Secundário-filtração-desinfecção
B (3 estrelas)	Médio contato	<100	Secundário-desinfecção
C (2 estrelas)	Baixo contato	<1000	Secundário-desinfecção Primário avançado-filtração-desinfecção Reator anaeróbio-desinfecção
D (1 estrela)	Acesso restrito	<10000	Secundário-tanque de maturação

⁵ CITAI – Comitato Interministeriale per la Tutela delle Acque dall’Inquinamento. Smaltimento dei liquami sul suolo e nel sottosuolo. Allegato 5, Delibera 4.2.1977 **G.U.R.I.** n. 48 S.O. 21 febbraio, 1977.

⁶ NHRC. **Guidelines for Sewerage Schemes:** Use for Reclaimed Water (Draft), National Health & Medical Research Council Australia & Australia and New Zeland Environment Conservation council, National Water Quality Management Strategy, v.16, April, 1997.

ANDERSON et al. (2001), baseados nas classes de reúso estabelecidas no projeto de lei Australiano para reúso de água, sugere a aplicação da classe A e A+ para reúso urbano e residencial, como irrigação de jardins, lavagens de automóveis e pátios, e descarga de sanitários. Para aplicação em campos de esporte, campos de golfe, playgrounds, áreas verdes, canteiros de estradas, cemitérios e proteção contra incêndio, sugere, além das classes A e A+, a classe B.

Padrões aplicados em outros países para irrigação de áreas de acesso restrito e irrestrito, citados em USEPA (1992), são apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Critérios aplicados para irrigação de áreas de acesso irrestrito e restrito em vários países (USEPA, 1992)

	Chipre		Israel		África do Sul		Arábia Saudita
	Irrigação de acesso irrestrito	Irrigação de acesso restrito	Irrigação de acesso irrestrito	Irrigação de acesso restrito	Irrigação de acesso irrestrito	Irrigação de acesso restrito	Irrigação de acesso irrestrito
pH	-	-	-	-	-	-	6,0 – 8,4
SST	10 mg/L	45 mg/L	10 mg/L	20 mg/L	-	-	10 mg/L
DBO	15 mg/L	30mg/L	15 mg/L	35 mg/L	-	-	10 mg/L
OD	-	-	0,5 mg/L	0,5 mg/L	-	-	-
Colif. totais	-	-	12/100mL ⁽¹⁾ 2,2/100mL ⁽²⁾	250/ 100mL	-	-	2,2/100mL
Colif. fecais	100/100mL	1000/100mL	-	-	0,0/100mL	<1000/100mL	-
Ovos de helmintos	0,0 /L	0,0 /L	-	-	-	-	-

(1) em 80% das amostras; (2) em 50% das amostras

3.2. TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Os métodos de tratamento podem ser classificados em (VON SPERLING, 1996):

- *Tratamento Preliminar*: destina-se principalmente à remoção de sólidos grosseiros e areia, no qual os mecanismos básicos são de ordem física como peneiramento e sedimentação, que ocorrem no gradeamento e nos desarenadores, respectivamente.

- *Tratamento Primário*: destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes que passaram pelas unidades de tratamento preliminar, os quais podem ser removidos parcialmente por mecanismos físicos como sedimentação e flotação, como ocorre nos tanques de decantação.
- *Tratamento Secundário*: destina-se à remoção da matéria orgânica dissolvida ou em suspensão através de processos biológicos unitários, no qual a remoção é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microorganismos. Dentre esses processos destaca-se o de Lodos Ativados, onde o princípio básico deste sistema é que os sólidos são recirculados do fundo da unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração, provocando aumento da concentração de bactérias, responsáveis pela degradação da matéria orgânica.
- *Tratamento Terciário*: destina-se à remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, como nutrientes, patogênicos, sólidos inorgânicos dissolvidos e em suspensão, e de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) por processos físico-químicos. São processos como coagulação, floculação, decantação, filtração, adsorção por carvão, calagem e osmose reversa (RICHARD⁴,1998 apud MANCUSO e SANTOS, 2003).

De acordo com MUJERIEGO & ASANO (1999), os tratamentos preliminares, primários e secundários, em função das questões relacionadas a custos, são geralmente considerados como controle de poluição das águas, e os tratamentos adicionais requeridos para o reúso de água são normalmente designados como tratamento terciário ou avançado.

3.2.1. TRATAMENTO TERCIÁRIO

Embora os processos convencionais de tratamento como sedimentação, lodos ativados ou filtros sejam conhecidos por remover entre 90 e 99% de alguns microorganismos, sua eficiência muitas vezes não é suficiente para atingir as exigências existentes para descarga de

efluentes, proteção de balneários e reúso (YANKO⁷, 1993 apud LAZAROVA,1999). Nestes casos, o tratamento terciário, incluindo o processo de desinfecção, se mostra como alternativa indispensável.

O tratamento terciário de esgoto sanitário é definido como um tratamento adicional para remoção de substâncias remanescentes do tratamento secundário convencional. A escolha do método de tratamento terciário depende do uso potencial do efluente tratado, da natureza do esgoto (doméstico, industrial), da compatibilidade das várias operações e processos, da disponibilidade de meios de disposição dos contaminantes finais, da viabilidade ambiental e econômica de cada método (TCHOBANOGLIOUS, 1991). Uma das alternativas de tratamento em nível terciário é o físico-químico, com o uso da coagulação, floculação, filtração e desinfecção.

3.2.1.1. COAGULAÇÃO E MISTURA RÁPIDA

Em tratamento de água, a finalidade da coagulação/floculação é agregar impurezas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, bactérias e protozoários em partículas maiores para que possam ser removidas por sedimentação e/ou filtração (AZEVEDO NETTO, 1987).

De acordo com ADIN & ASANO (1998), a coagulação química e a floculação são as etapas mais importantes na remoção de partículas coloidais e turbidez e são bastante eficazes na remoção de vírus. DI BERNARDO (1993) ainda confirma, dizendo que a coagulação química desempenha papel importantíssimo, pois dela depende a eficiência das operações subseqüentes, com destaque para a filtração, afirmando que “quando a coagulação não é realizada de modo adequado, compromete-se o desempenho de todas as unidades de tratamento a jusante, aumentando os riscos sanitários da água produzida”.

⁷ YANKO, W.A. Analysis of ten year of virus monitoring data from Los Angeles County treatment plants meeting California wastewater reclamation criteria. **Water Environment Research**, v.66, n.5, 1993.

LEVINE⁸ et al.(1985, apud GHOSH et al., 1994), afirmam que processos de coagulação química e floculação são conhecidos por agregar constituintes presentes no esgoto de tamanhos que variam de 0,1 µm a cerca de 10 µm.

Os esgotos municipais contêm suspensões coloidais e partículas maiores, sendo a maioria delas de natureza orgânica (ADIN, 1999). TCHOBANOGLIOUS (1991) confirma dizendo que “em esgoto sanitário cerca de 75% dos sólidos em suspensão e 40 % dos sólidos filtráveis são de natureza orgânica”.

Os colóides presentes em esgoto possuem cargas superficiais negativas, o que causa repulsão de uma partícula à outra, mantendo-as estáveis. Essas cargas podem ser determinadas por meio da medida do Potencial Zeta (PZ), que é o potencial elétrico da superfície da partícula coloidal. Valores medidos do PZ de partículas de vários tipos de efluente em Israel demonstraram que estas possuem cargas negativas variando entre -10 mV e -18 mV. A desestabilização destas partículas, portanto, é um passo essencial para sua remoção ou separação efetiva. (ADIN, 1999).

Com a adição de coagulante à massa líquida, são formadas espécies hidrolisadas solúveis positivas e com alta capacidade de adsorção (KURODA, 2002), as quais reagem com as impurezas ou atuam sobre a superfície delas, reduzindo a força repulsiva que tende a mantê-las estáveis no meio aquoso, facilitando desta maneira a remoção nas unidades posteriores do tratamento.

São utilizados, comumente, coagulantes químicos à base de sal de alumínio (Al^{3+}) ou de ferro (Fe^{3+}), tal como sulfato de alumínio $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$, cloreto férrico $[\text{FeCl}_3]$ e sulfato férrico $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$.

⁸ LEVINE, A., TCHOBANOGLAUS, G., ASANO, T. Characterization of the Size Distribution of Contaminants in Wastewater: Treatment and Reuse Implications. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, v.57, n.7, 1985.

São citados na literatura quatro mecanismos distintos de coagulação: (a) varredura, (b) adsorção e neutralização de cargas, (c) compressão da camada difusa e (d) adsorção-formação de pontes; sendo que a predominância de um mecanismo ou outro depende de fatores como pH de coagulação, dosagem de coagulante e características químicas da água bruta.

O mecanismo de varredura é caracterizado por altas dosagens de coagulante, suficientes para formação de precipitados de hidróxido de alumínio ou de ferro, e é utilizado, conforme DI BERNARDO (1993) em Estações de Tratamento de Água (ETAs) que possuem unidades de sedimentação antecedendo a filtração, no qual há necessidade de formação de flocos maiores. AMIRTHARAJAH e MILLS (1982) verificaram este mecanismo em águas superficiais num intervalo de pH entre 6 e 8 para sulfato de alumínio com dosagem próxima a 30 mg/L. Com o uso do cloreto férrico a coagulação é decorrente do mecanismo de varredura com valor de pH entre 6 e 9 na faixa de dosagem de 27 a 270 mg/L (DI BERNARDO, 1993).

O mecanismo de adsorção e neutralização de cargas é adequado às tecnologias que empregam filtração direta, pois não há formação de flocos grandes, mas sim partículas desestabilizadas para serem retidas no meio filtrante. Nesse mecanismo a dosagem de coagulante é inferior à necessária quando empregada à varredura para as mesmas condições, e foi verificada num valor de pH da ordem de 4,8 para sulfato de alumínio com dosagem entre 10 e 70 mg/L em águas superficiais (AMIRTHARAJAH e MILLS, 1982) e pH entre 4,5 e 6,0 para cloreto férrico com dosagem variando de 27 e 270 mg/L (DI BERNARDO, 1993). Ainda, segundo DI BERNARDO (1993), a dosagem típica de sulfato de alumínio é inferior a 10 mg/L quando se emprega a filtração direta em tratamento de água, e o pH de coagulação geralmente está compreendido entre 5,5 e 6,5. Na literatura consultada não foram encontrados valores de referência para o uso do sulfato férrico.

DI BERNARDO (2003) afirma que “o mecanismo de compressão da camada difusa é o de menor importância relativa na coagulação realizada nas ETAs”. O mecanismo de adsorção-formação de pontes é observado principalmente quando se utiliza polímeros como auxiliar de coagulação, por tratarem-se de compostos orgânicos sintéticos e naturais caracterizados por grandes cadeias moleculares.

Na Figura 3.2 são mostrados os resultados de uma investigação experimental realizada por AMIRTHARAJAH⁹ (1989, apud KURODA, 2002) sobre as condições químicas aplicadas à tecnologia de filtração direta em tratamento de água. Observa-se que, independentemente da dosagem de coagulante sulfato de alumínio (5 e 8 mg/L), a menor turbidez do filtrado de várias profundidades da camada, após 420 minutos de carreira, foi obtida com valor de pH em torno de 7, para o qual predominou o mecanismo de neutralização de cargas. Este resultado diverge daqueles apresentados anteriormente em que a predominância do mecanismo de adsorção e neutralização de cargas foi encontrado para valores de pH em torno de 5.

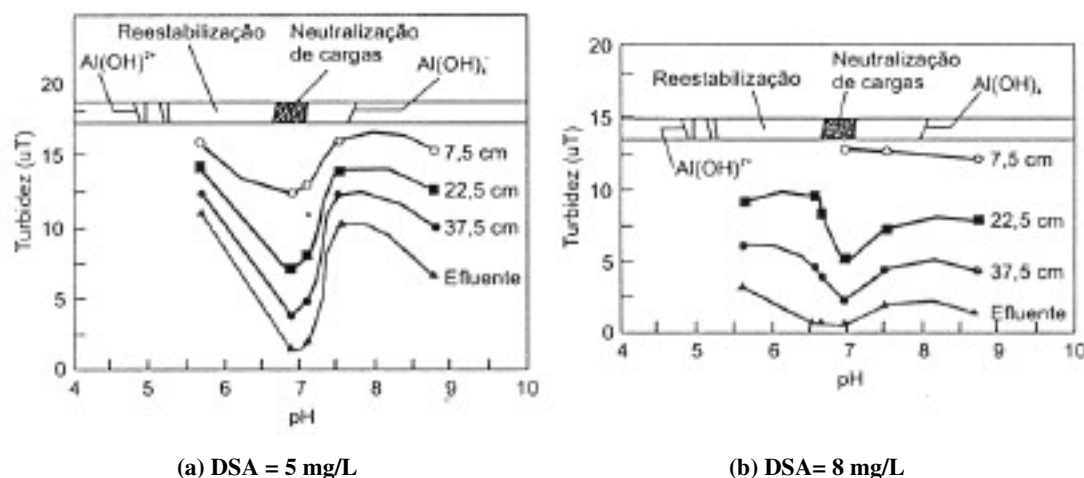


Figura 3.2 - Turbidez da água filtrada ao longo da profundidade em função do pH para as dosagens de 5 e 8 mg/L de sulfato de alumínio incluindo seções do diagrama de coagulação
Fonte: AMIRTHARAJAH (1989, apud KURODA, 2002)

Segundo ADIN & ASANO (1998), efluentes contêm maiores concentrações de espécies solúveis que afetam a coagulação de forma diferente do que em águas superficiais. Contudo, afirmam que os conceitos gerais de coagulação aplicados a tratamento de água para abastecimento podem ser usados para determinar as dosagens químicas necessárias para floculação e filtração eficientes no tratamento de efluentes. Os diagramas de coagulação desenvolvidos para água podem ser utilizados como ferramentas para prever as condições ótimas para desestabilização das partículas e eficaz filtração.

⁹ AMIRTHARAJAH, A. The mechanisms of coagulation. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE COAGULAÇÃO E FILTRAÇÃO DIRETA, São Carlos, **Anais**. São Carlos: EESC-USP, v.1, p.1-19, 1989

Conforme MANCUSO (2003), a coagulação é particularmente indicada quando se deseja efluentes com baixos teores de fósforo, de sólidos em suspensão e de DBO, fato que recomenda o processo para vários tipos de reúso e para disposição em águas superficiais. O autor ainda afirma que a escolha do coagulante dependerá de cada tipo de reúso e das características de cada estação de tratamento.

GHOSH et al. (1994), realizaram experimento em escala de bancada, com aparelho de jarros, para otimizar a coagulação química no tratamento terciário de efluente proveniente de tratamento em nível secundário por processo de lodos ativados. O efluente secundário apresentava valores médios de DBO= 8 mg/L, DQO = 50 mg/L, SST = 19 mg/L, turbidez = 11 NTU, Fósforo total(P_{total}) = 2,4 mg/L, Nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) = 2,4 mg/L, alcalinidade de 65 a 85 mg $CaCO_3$ /L, pH = 6,7 e temperatura entre 18 e 22°C.

Foram testadas dosagens de sulfato de alumínio de 9 a 100 mg/L, com valores de pH na faixa de 3 a 10. A mistura rápida foi realizada a 100 rpm durante 1 minuto, a floculação com rotação de 25 rpm em 20 min, sedimentação por repouso de 30 min e finalmente filtração do sobrenadante em filtros de laboratório de 5 cm de diâmetro com 46 cm de altura de antracito de tamanho efetivo (TE) de 0,1 cm e coeficiente de desuniformidade (CD) de 1,4. Foi verificada coagulação no mecanismo de neutralização de cargas com dosagens entre 10 e 50 mg/L e pH entre 3,5 e 5, e mecanismo de varredura na região de pH entre 5,5 e 8,5 com dosagens variando de 15 a 90 mg/L, regiões estas próximas daquelas definidas para o tratamento de água para abastecimento. Os melhores resultados em termos de remoção de turbidez, COT, DBO e P_{total} foram encontrados com dosagem de 55 a 60 mg/L de sulfato de alumínio e pH entre 6 e 6,5.

A turbidez verificada no efluente após sedimentação foi de 1,2 NTU, o que representou uma remoção de 80 %, já no efluente filtrado a turbidez foi de 0,12 NTU, e, portanto, a remoção total de turbidez no experimento de bancada foi de 98%. As melhores remoções de COT e DBO, 57 e 73%, respectivamente, atingindo valores de COT de 4,2 a 4,5 mg/L e DBO de 1 a 2,5 mg/L no efluente filtrado, foram observadas na faixa de pH entre 6 e 6,7, na qual foi verificada que aumentos de dosagens de 36 a 70 mg/L de sulfato de alumínio não afetavam de forma significativa as porcentagens de remoção. A remoção conseguida de COT foi proporcionalmente inferior a de DBO, o que os levou a concluir que o processo de

coagulação/floculação/sedimentação/filtração de efluente de lodos ativados remove mais compostos orgânicos biodegradáveis do que refratários.

Na remoção de P_{total} , a dosagem mínima necessária de coagulante foi de 55 mg/L com valores de pH entre 6 e 6,5, chegando a atingir valores superiores a 99 % de remoção. A remoção de ortofosfato foi de 80 % com dosagens próximas a 10 mg/L, atingindo 99 % de remoção com dosagem de 36 mg/L ou superiores. Não foi verificada remoção nos níveis de concentração de $N-NH_3$ depois da coagulação com sulfato de alumínio e filtração do efluente secundário.

Os resultados obtidos por GOSH et al. (1994), confirmaram os estudos realizados por KIRKPATRICK e ASANO¹⁰ (1986, apud ADIN e ASANO, 1998), em que os pesquisadores avaliaram o tratamento terciário de efluente secundário de uma ETE no estado da Califórnia – EUA através de ensaio convencional de jarros, observando os melhores resultados na coagulação por mecanismo de varredura com dosagens de 50 mg/L de sulfato de alumínio e valores de pH em torno de 7,0. O mecanismo de neutralização de cargas foi verificado pelos autores em valores de pH entre 3,0 e 5,0 com 10 mg/L de sulfato de alumínio ou mais, no qual os percentuais de remoção de turbidez foram pouco menores do que os obtidos na região de varredura.

ADIN (1999) também realizou ensaio de bancada em aparelho de jarros para avaliar a coagulação de efluente secundário de processo de lodos ativados, no qual utilizou sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes, em dosagens de 5 a 50 mg/L e pH de 3 a 10. A turbidez do efluente secundário era de 3,7 NTU. Avaliando a remoção de turbidez e do número total de partículas acima de $2\mu m$, os melhores resultados foram obtidos com dosagens entre 30 e 50 mg/L de sulfato de alumínio, e entre 20 a 30 mg/L para o cloreto férrico. As melhores remoções de turbidez e partículas, 86 e 90%, respectivamente, com o cloreto férrico foram obtidas com dosagem de 20 mg/L e pH = 4,0; enquanto para o sulfato de alumínio, as melhores remoções, 93 % para turbidez e 97 % para partículas, aconteceram com 50 mg/L em pH = 7,0. Estes resultados levaram o autor à conclusão de que a coagulação com sulfato de alumínio com pH “natural” (sem necessidade de correção com ácido) é uma vantagem no tratamento de

¹⁰ KIRKPATRICK, W., ASANO, T. Evaluation of Tertiary Treatment Systems for Wastewater Reclamation and Reuse. **Water Science and Technology**, v. 18, n. 10, 1986.

efluente secundário, conforme havia sido verificado por AMIRTHARAJAH (1989) para tratamento de água.

De acordo com CULP¹¹ et al. (1977, apud MANCUSO e SANTOS, 2003), o sulfato de alumínio reage com o fósforo, sendo que a remoção de fósforo ocorre em maiores magnitudes quando o coagulante é aplicado durante, ou após o tratamento biológico, uma vez que quase todo o fósforo, nesses pontos, encontra-se na forma de ortofosfato. A dosagem necessária de sulfato de alumínio para remoção de fósforo é maior que a estequiometricamente requerida, em razão da reação com a alcalinidade, sendo da ordem de 2 mg/L de Al para cada mg/L de fósforo (P), quando é necessária cerca de 95 % de redução.

MANCUSO (2003) afirma que os sais de ferro, principalmente o cloreto férrico, são bastante eficientes na remoção de sólidos em suspensão e fósforo dos esgotos, sendo que para a efetiva remoção deste último a faixa mais adequada de pH está entre 4,5 e 5,5. Ainda segundo o mesmo autor, na reação com o cloreto férrico, embora a dosagem estequiométrica de ferro seja 1,8 mg/L de Fe para cada mg/L de P, praticamente se verifica a necessidade de dosagens bem maiores do sal (cerca de 10 mg/L de Fe) para permitir a precipitação de hidróxidos.

Quanto ao aspecto microbiológico, BUSTAMANTE (2001) diz que vários autores estudaram as propriedades eletrocinéticas de oocistos de *Cryptosporidium* sob várias condições e concluíram que eles também são negativamente carregados. Porém, a resistência de oocistos à desinfecção mostra a necessidade da máxima remoção destes pelos processos de tratamento da água, particularmente com referência à operação de filtração rápida. Os oocistos de *Cryptosporidium* são aproximadamente esféricos com diâmetro de 4 a 6 µm e, neste tamanho, a remoção durante o tratamento de água dependerá da eficiência da coagulação química para capturar os oocistos nos flocos, seguido pela remoção destes pela sedimentação e filtração (HALL e CROLL, 1997).

¹¹ CULP, R. L. et al. **Handbook of advanced wastewater treatment**, 2.ed. Nova York, Van Nostrand Reinhold, 1977.

Estudos realizados por EMELKO (2003) enfatizam a importância da coagulação otimizada na remoção de microorganismos, pois se verificou que a remoção de oocistos de *Cryptosporidium parvum* foi severamente comprometida quando se avaliou condições não otimizadas de coagulação seguidas por filtração direta em dupla e tripla camadas, no qual a remoção de *C. parvum* caiu mais que 3 log em relação a condição estável de coagulação.

Segundo DI BERNARDO (2003), “em razão da importância da coagulação no desempenho das unidades de filtração, o tipo de coagulante e sua dosagem necessária para promover a desestabilização das partículas devem ser definidos a partir de investigações experimentais, sendo o diagrama de coagulação ferramenta indispensável”

Um fator de extrema importância na coagulação é a dispersão do coagulante na massa líquida, realizada nas unidades de mistura rápida, que podem ser mecanizadas ou hidráulicas. DI BERNARDO (2003) diz que “os gradientes de velocidade (G) médios de mistura rápida podem variar desde 500 s^{-1} , ou menos, a valores superiores a 7.000 s^{-1} e o tempo de mistura rápida (T) observados nas ETAs é da ordem de 1 segundo a mais de 3 minutos”. Ainda segundo o autor, o valores de G e T, dependem fundamentalmente da qualidade da água bruta e das condições de coagulação, e , portanto, devem ser preferencialmente adotados com base em investigações experimentais.

Segundo a ABNT (1992), na norma técnica NBR 12216, constituem dispositivos de mistura rápida: qualquer trecho ou seção de canal ou canalização que produza perda de carga compatível com as condições desejadas, em termos de gradiente de velocidade e tempo de mistura; difusores que produzam jatos da solução de coagulante, aplicados no interior da água a ser tratada; agitadores mecanizados; e entrada de bombas centrífugas. Ainda consta na norma técnica que o uso de difusores como dispositivo de mistura em canal ou canalização, deve satisfazer as seguintes condições: (a) a aplicação da solução de coagulante deve ser uniformemente distribuída através de jatos não-dirigidos no mesmo sentido do fluxo; (b) a área da seção transversal correspondente a cada jato não deve ser superior a 200 cm^2 e sua dimensão máxima não deve ultrapassar 20 cm; (c) a velocidade da água onde os jatos são distribuídos deve ser igual ou superior a 2 m/s; (d) os orifícios de saída dos jatos devem ter diâmetro igual ou

superior a 3 mm; e (e) o sistema deve permitir limpezas periódicas nas tubulações que distribuem a solução de coagulante.

WAGNER & HUDSON (1982) apresentaram um ensaio simples de bancada para a determinação da dosagem de coagulante mais adequada, no qual é utilizado o aparelho *Jar-Test* para a realização da mistura rápida, seguida da filtração da água coagulada em filtro de laboratório em papel - FLP (Whatman nº40, com tamanho médio dos poros de 8µm).

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 nº40), e em instalação piloto, para as mesmas condições de pH, dosagem de coagulante e taxa de filtração de 180 m³/m².dia., tendo observado que, após 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 CaCO₃/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.

3.2.1.2. PRÉ-FLOCULAÇÃO

A desestabilização das partículas que ocorre por meio da coagulação nem sempre é suficiente para viabilizar o tratamento da água por filtração direta, nestes casos a pré-floculação tem como objetivo aumentar a filtrabilidade dos flocos, principalmente na filtração direta descendente, sendo dispensável para a filtração direta ascendente e na dupla filtração (DI BERNARDO 2003).

A floculação serve para aumentar o tamanho do material em suspensão presente na água, através de uma agitação lenta que permita o contato e a agregação de partículas previamente

desestabilizadas por coagulação química, visando à formação de flocos com tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração direta (DI BERNARDO, 2002).

Uma solução que pode conduzir a bons resultados é a floculação em meio granular, utilizando-se pedregulhos ou outros materiais granulares naturais ou sintéticos de diferentes formatos (DI BERNARDO, 2003). Na escolha dos meios porosos para floculação em meio granular deve-se considerar que o fluxo mantenha-se em regime laminar e que o volume dos poros seja suficientemente grande a fim de evitar uma pré-filtração e facilitar a limpeza.

Segundo RICHTER e AZEVEDO NETTO (1991), a eficiência de um tanque de floculação é tanto mais elevada quanto maior for o número de câmaras dispostas em série, portanto um floculador em meio poroso pode ser considerado como um floculador hidráulico com um número muito grande de câmaras.

As primeiras pesquisas na América Latina sobre floculação em pedras foram realizadas em 1979, pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), em colaboração com o IDRC - International Development Research Centre, do Canadá (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

A pré-floculação tem por objetivo principal aumentar a duração das carreiras dos filtros descendentes, o que decorre do seguinte princípio: para o mesmo volume de sólidos que chega a um filtro, a perda de carga desenvolvida será tanto menor quanto maior for o tamanho das partículas (BRANDÃO et al.¹², 1996, apud DI BERNARDO, 2003). Dentre os fatores que influenciam a duração das carreiras de filtração em função da realização da pré-floculação, destacam-se a natureza, o tamanho e a distribuição das partículas presentes na água. DI BERNARDO (1993) reforça que “quando se tem pré-floculação, há redução do número e da superfície específica das partículas resultando em uma menor retenção no topo do meio filtrante e em uma penetração mais profunda no seu interior, principalmente no início da carreira de

¹² BRANDÃO, C. et al. Influência do tempo de floculação na filtração direta de águas com baixa turbidez e teor elevado de algas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 7., 1996, Lisboa, **Anais**. Lisboa, Portugal, 1996.

filtração. Como consequência, é mais longa a duração da carreira de filtração no filtro que recebe água floculada”.

No entanto, ARBOLEDA¹³ (2000, apud DI BERNARDO, 2003) observou que há casos tanto de benefício na duração das carreiras de filtração pelo uso da pré-floculação como casos em que o efeito foi contrário. A mesma observação foi feita em relação à qualidade da água filtrada, portanto o autor recomenda o estudo de cada caso em particular.

SENS et al.¹⁴ (2002, apud DI BERNARDO, 2003), realizaram estudos da filtração direta descendente com pré-floculação feita em meio granular expandido. A água estudada, proveniente da lagoa do Peri (Florianópolis, SC, Brasil), apresentava as seguintes características: turbidez = 4,0 a 5,0 uT, cor aparente = 60 a 70 uH, pH = 6,9 a 7,27, alcalinidade total = 6,5 a 13 mg CaCO₃/L e temperatura = 23 a 31°C. Foi utilizado material granular, a base de poliestireno, com massa específica de 1,05 g/cm³, 0,86 de coeficiente de esfericidade, superfície específica de 2,092 m²/m³, diâmetro equivalente de 33 mm; e grãos no formato de bastonetes com seção elíptica. A floculação foi realizada em leito com 161 cm de altura inicial, taxa de aplicação igual a 731 m³/m².dia, expansão de 51% no leito e gradiente de velocidade de 60 s⁻¹ no tempo de floculação de 2,8 min.

Utilizaram duas configurações distintas de meios filtrantes nos filtros descendentes:

- leito 1 (L1): camada única de carvão antracitoso de 143 cm de espessura (tamanho efetivo TE = 2,5 mm e coeficiente de desuniformidade CD $\cong$ 1,1);
- leito 2 (L2): camada dupla, composta de 30 cm de camada de areia (TE = 0,5 mm e CD < 2) e 90 cm de antracito (TE = 1,1 mm e CD $\cong$ 1,1).

¹³ ARBOLEDA, J. V. **Teoría y práctica de la purificación del agua**. Tomo 2. Santa Fé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 2000.

¹⁴ SENS, M. L. et al. **Relatório de atividades – PROSAB – Edital 3 – Tema I**, 2002.

Foram aplicados como coagulantes: sulfato de alumínio (SA) com 14,5 % Al_2O_3 e o hidroxiclreto de alumínio (PAC) (PANFLOC AB34) com 10,5 % Al_2O_3 e 67,47 % de basicidade. A dosagem de SA variou entre 24 e 30 mg/L e a de PAC foi de 22 mg/L. Os ensaios terminaram quando a perda de carga total no meio filtrante atingiu 2,0 m. Os ensaios foram realizados alternadamente com e sem pré-floculação. Observou-se, conforme resultados apresentados na Tabela 3.12, que a pré-floculação não provocou aumento na duração da carreira de filtração quando o SA foi utilizado como coagulante. No entanto, com o emprego do PAC, foi proporcionado aumento na duração das carreiras do filtro de escoamento descendente de até 40 %, comparados aos ensaios sem pré-floculação, utilizando o meio L1.

Tabela 3.12 – Valores médios de duração das carreiras de filtração para um conjunto de ensaios realizados (meio L1 – carvão TE = 2,5 mm; meio L2 – carvão TE = 1,1 mm)

coagulante	meio filtrante	pré-floculação	duração da carreira (h)
Sulfato de Alumínio (SA)	L1	não	12,8
		sim	12,5
	L2	não	6,4
		sim	6,85
PAC	L1	não	14
		sim	21,4

Observaram ainda que a pré-floculação trouxe pequeno benefício para a qualidade da água, em termos de turbidez e cor aparente. As remoções, em termos percentuais, nos ensaios com pré-floculação foram superiores na faixa de 1 a 4%, como é mostrado na Tabela 3.13. Tais resultados levaram-nos a reforçar que o emprego da pré-floculação na filtração direta descendente deve ter por objetivo principal o prolongamento da carreira de filtração.

Tabela 3.13 – Remoção média de turbidez e cor aparente para um conjunto de ensaios realizados com e sem pré-floculação (meio L1 – carvão TE = 2,5 mm; meio L2 – carvão TE = 1,1 mm)

coagulante	meio filtrante	pré-floculação	remoção de cor (%)	remoção de turbidez (%)
Sulfato de Alumínio (SA)	L1	não	83	81
		sim	85	85
	L2	não	72	73
		sim	73	75
PAC	L1	não	89	87
		sim	90	88

RICHTER e AZEVEDO NETO (1991) apresentaram um estudo em escala piloto de um floculador de pedras. A água bruta, afluenta ao floculador, foi tomada da câmara de mistura rápida da ETA Iguaçu (Curitiba, PR, Brasil) com valores mais freqüentes de turbidez e cor aparente em torno de 20 NTU e 70 uC, respectivamente. O floculador, de formato cilíndrico com 20cm de diâmetro, foi constituído de uma camada de pedregulho com 2,10 m de altura, e operado em fluxo vertical ascendente, seguido de um filtro rápido descendente . O pedregulho utilizado tinha 6,7 mm de diâmetro médio, 0,33 de porosidade, coeficiente de desuniformidade de 1,36 e fator de forma igual a 0,78. Foi realizada uma série de testes com tempo de floculação variando de 1,5 a cerca de 8 min, com valor médio de 2,8 min, e um gradiente de velocidade médio de 85 s⁻¹. Os resultados obtidos evidenciaram a eficiência do floculador em meio granular, sendo superior tanto aos floculadores mecânicos oscilatórios, não compartimentados em série, da ETA Iguaçu como aos ensaios de “jar-test”. Com 2,8 minutos de tempo médio de floculação, ao utilizar-se floculador de pedras, obteve-se uma remoção de turbidez como as indicadas na Tabela 3.14, em que apresentam-se também os resultados obtidos com o uso do floculador mecânico a 25 minutos de tempo médio de floculação, bem como dos ensaios de “jar-test” a 15 minutos de floculação.

Tabela 3.14 – Valores médios de remoção de turbidez com utilização de floculador de pedras piloto, floculador mecânico e “jar-test”

Turbidez da água bruta (NTU)	Remoção de turbidez (%)		
	Floculador de pedras	Floculador mecânico	“jar-test”
20	88	85	70
50	93	92	72
100	96	95	93
200	97	97	96

3.2.1.2.1. GRADIENTE DE VELOCIDADE EM FLOCULADOR DE MEIO GRANULAR

Segundo RICHTER e AZEVEDO (1991), o gradiente de velocidade em qualquer floculador hidráulico pode ser calculado pela expressão:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{V \cdot J}{\varepsilon}} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Sendo:

γ = peso específico da água em kgf/m^3 ;

μ = coeficiente de viscosidade da água em kgf.s/m^2 ;

V = velocidade da água em m/s

J = perda de carga unitária no meio poroso

ε = porosidade do meio

A 15°C , $\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$ e $\mu = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ kgf.s/m}^2$.

A perda de carga unitária no meio poroso é determinada pela equação de Forchleimer (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991) por:

$$J = a.V + b.V^2 \quad (\text{Eq. 3.2}),$$

onde V é a velocidade da água na unidade de floculação em cm/s e os coeficientes a e b são estimados em função das características granulométricas do material de enchimento da unidade pelas seguintes expressões:

$$a = \frac{0,162 \cdot (1 - \varepsilon)^2}{\phi^2 \cdot D_{ef}^2 \cdot \varepsilon^3} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

$$b = \frac{0,018.(1 - \varepsilon)}{\phi . D_{ef} . \varepsilon^3} \quad (\text{Eq. 3.4}),$$

onde ϕ é o fator de forma, D_{ef} é o diâmetro efetivo do material granular e ε é a porosidade do meio.

3.2.1.3. FILTRAÇÃO DIRETA

A filtração é um processo de separação sólido-líquido, envolvendo fenômenos físicos, químicos e, às vezes, biológicos, que visa à remoção das impurezas da água por sua passagem através de um meio poroso (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

De acordo com MANCUSO (2003), a filtração é um processo-chave na produção de efluente de alta qualidade, combinando mecanismos físicos e químicos de remoção de sólidos, sendo por isso normalmente usado como uma etapa final imediatamente antes da desinfecção e da disposição final ou reúso. O autor ainda reforça que o desempenho dos filtros está diretamente relacionado aos processos que os precedem, como a coagulação e a floculação, ou seja, que a eficiência da filtração depende, fundamentalmente, do tamanho e resistência dos flocos formados nas etapas anteriores.

A filtração direta é o sistema de tratamento que apresenta apenas as unidades de coagulação, floculação (eventualmente) e filtração; esta tecnologia torna-se atraente ao tratamento do efluente secundário, devido à economia de reagentes e simplicidade na planta (estação mais compacta) e menor produção de lodo.

Os mecanismos de filtração são complexos e podem consistir de uma combinação de fatores que incluem impactação, interceptação, sedimentação, difusão e crescimento de sólidos biológicos no filtro (TCHOBANOGLIOUS, 1991).

Conforme RICTHER e AZEVEDO NETTO (1991), à medida que a água coagulada atravessa o meio filtrante, as impurezas vão sendo retidas e em parte deslocadas sob a forma de flocos, de uma subcamada para a seguinte, onde ocorre a retenção e um novo deslocamento parcial. O processo de clarificação ocorre principalmente pela remoção de partículas e a sua aderência aos grãos de areia, sob a influência de forças moleculares de adesão.

DI BERNARDO (2003) considera a filtração como o resultado de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento. Segundo o mesmo autor, “os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir as partículas em suspensão para as proximidades da superfície dos coletores (grãos de antracito, areia ou outro material granular), as quais podem permanecer aderidas a estes por meio de forças superficiais, que resistem às forças de cisalhamento resultantes das características do escoamento ao longo do meio filtrante. Quando essas forças superam as forças de aderência, tem-se o desprendimento. Se a taxa de filtração, ou velocidade de aproximação, permanecer constante, a velocidade de escoamento nos poros, denominada velocidade intersticial, aumenta em decorrência das partículas retidas e causa o arrastamento das partículas para subcamadas inferiores (filtro descendente) do meio filtrante e surge na água filtrada, podendo ocasionar o fenômeno conhecido como transpasse”.

De acordo com KURODA(2002) e DI BERNARDO(2003), é importante relacionar as dimensões relativas das partículas em suspensão, dos grãos do meio filtrante, dos poros (0,07 a 0,1 vezes o diâmetro do grão) e as distâncias nas quais os mecanismos de aderência atuam, para compreender o processo de filtração. Partículas coloidais de dimensões da ordem de 0,01 a 10 μm são removidas em filtros cujo meio filtrante é constituído de areia com grãos de tamanho da ordem de 500 μm , com dimensão dos poros variando de 35 a 50 μm e distância de interação para ocorrer aderência frequentemente inferior a 1 μm . Essas dimensões indicam, segundo DI BERNARDO (2003), que a retenção por interceptação é pouco significativa na filtração, pois as partículas se movem em poros de 100 a 1000 vezes maiores que elas. Portanto, para que sejam removidas, é necessário que sejam transportadas das linhas de correntes até as proximidades dos grãos.

Ainda sobre os mecanismos de filtração, KURODA (2002) considera que o transporte de partículas no interior do meio filtrante depende basicamente da taxa de filtração, granulometria, tamanho e densidade das partículas, enquanto a aderência está relacionada às interações eletrostáticas e químicas de superfície, resultantes do processo de coagulação química.

De acordo com LEVINE et al. (1991), 28 a 46 % da matéria orgânica contida no efluente secundário de processo de lodos ativados é menor que 0,1 μm , 2 a 9 % está entre 0,1 e 1 μm , 20 a 49 % entre 1 e 12 μm , e 13 a 49 % é maior que 12 μm .

MANCUSO e SANTOS (2003) sugerem, baseado nos trabalhos de CULP¹⁵ et al. (1980) e RICHARD¹⁶ (1998), que os esgotos de origem predominantemente domésticos devem ser submetidos a um tratamento secundário seguido de filtração direta e desinfecção para atingir a qualidade adequada para aplicações agrícolas para produtos comestíveis, em parques e jardins escolares e para enchimento de lagos para recreação de contato primário.

O processo de filtração direta com coagulação otimizada é uma barreira física eficaz e de fundamental importância na redução/remoção de microorganismos patogênicos no efluente, principalmente de protozoários e helmintos, cujas dimensões dos ovos, cistos e oocistos variam de 4 μm a 150 μm (NEVES et al., 1995), conforme apresentado na Tabela 3.15. Além disso, a filtração promove excelente pré-tratamento para desinfecção, levando à produção de efluente de alta qualidade para reúso (MUJERIEGO e ASANO, 1999; BABCOCK JR. et al., 2004).

A filtração direta pode ser empregada em três configurações básicas distintas: filtração direta ascendente, filtração direta descendente com ou sem pré-floculação e, ainda, dupla filtração.

¹⁵ CULP, G. et al. **Wastewater reuse and recycling technology**. Nova Jersey, Noyes Data Corporation, 1980.

¹⁶ RICHARD, D. The cost of wastewater reclamation and reuse. In: ASANO, T. (Ed.) **Wastewater Reclamation and Reuse**. Lancaster. Technomic Publishing Co. Inc., 1998.

Tabela 3.15 – Dimensões características de ovos de nematóides, cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp.

Helmintos	Dimensões dos ovos
<i>Schistosoma</i>	150µm x 60µm
<i>Taenia</i>	30µm
<i>Echinococcus</i>	30µm
<i>Hymenolepis</i>	40µm
<i>Ascaris</i>	50µm
<i>Enterobius</i>	50µm
<i>Trichuris</i>	50µm x 22µm
Protozoários	Dimensões dos cistos e oocistos
<i>Giardia</i> spp.	8µm x 12µm (cisto)
<i>Cryptosporidium</i> spp.	4µm x 7µm (oocisto)

Fonte : NEVES et al. (1995)

A dupla filtração, segundo DI BERNARDO (1993), consiste em filtros com escoamento ascendente, que recebem água coagulada no mecanismo de neutralização de cargas, seguidos de filtros de escoamento descendente, cuja finalidade é reter as impurezas presentes no efluente dos primeiros. Assim, os filtros de fluxo ascendente têm como objetivo melhorar qualitativamente as características do afluente e adequá-lo ao tratamento subsequente realizado pelo filtro rápido descendente - FRD (KURODA, 2002).

A unidade ascendente realiza as funções para as quais é mais indicado: a floculação, a sedimentação e a filtração preliminar, competindo ao filtro convencional com leito de material mais fino, a função complementar, isto é, a filtração mais perfeita e mais segura (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

Ainda, de acordo com RICHTER e AZEVEDO NETTO (1991), as unidades de fluxo ascendente vêm sendo utilizadas como pré-filtros em casos em que a qualidade da água bruta não permita a obtenção de água tratada dentro dos padrões estabelecidos, ou então, quando se exige ou deseja características melhores para a água filtrada.

Pode-se afirmar que a escolha de uma configuração de tratamento à outra está diretamente relacionada às características da água a ser tratada. Na Tabela 3.16 são apresentados os valores limites dos parâmetros de qualidade da água bruta e de projeto e operação, recomendados por DI BERNARDO (2003), para o emprego das tecnologias de 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.

Tabela 3.16 – Parâmetros de qualidade da água bruta, de projeto e operação recomendados para o emprego das tecnologias de filtração direta. Adaptada de DI BERNARDO (2003)

Características da água bruta		Tecnologias de tratamento			
		FDD	FDA	SDF	
				FDAAG-FRD	FDAP - FRD
Turbidez (uT)	90% do tempo ≤	10	10	50	100
	95% do tempo ≤	25	25	100	150
	100% do tempo ≤	100	100	150	200
Cor verdadeira (uC)	90% do tempo ≤	20	20	50	50
	95% do tempo ≤	25	25	75	75
	100% do tempo ≤	50	50	100	100
Sólidos em suspensão (mg/L)	95% do tempo ≤	25	25	100	150
	100% do tempo ≤	100	100	150	200
Coliformes totais (NMP/100mL)		1000 ⁽¹⁾	1000 ⁽¹⁾	5000 ⁽¹⁾	5000 ⁽¹⁾
E. coli (NMP/100mL)		500 ⁽¹⁾	500 ⁽¹⁾	1000 ⁽¹⁾	1000 ⁽¹⁾
Concentração de algas (UPA/mL)		500	500	1000	1000
Taxas de filtração (m ³ /m ² .d)		200-600	160-240	FDAAG: 120-240 FRD: 200-600 ⁽²⁾	FDAP: 80-180 FRD: 180-600 ⁽²⁾
Nº de descargas de fundo durante a carreira		-	≥ 2	≥ 4	≥ 4
Taxa de aplicação de água na interface durante a descarga		-	≥ 600	≥ 600	≥ 600

⁽¹⁾Limites mais elevados podem ser adotados com o emprego da pré-desinfecção;

⁽²⁾As taxas de filtração mais elevadas são aplicáveis somente quando é utilizado meio filtrante de dupla camada.

Segundo MUJERIEGO e ASANO (1999), para evitar rápido aumento na perda de carga e redução na duração das carreiras, a filtração de efluentes secundários é mais eficaz se a concentração de partículas (SST) é menor que 20 mg/L.

A taxa de filtração é um fator de projeto importante porque determina a área superficial requerida para filtro (KUO et al., 1997). A eficiência de remoção de um filtro geralmente decresce com o aumento da taxa de filtração, no entanto, a diferença entre remoção de partículas

em taxas de filtração típicas, entre 100 e 350 m³/m².dia, não são significativas (CLEASBY e BAUMANN¹⁷, 1974, apud KUO et al., 1997).

ADIN e ASANO (1998), baseados em diversos estudos sobre filtração de efluentes secundários, alertam que as considerações relacionadas à filtração no tratamento de água para abastecimento nem sempre são válidas no caso de efluentes. Eles referem-se às considerações tais como a possibilidade de aumento na remoção de sólidos em suspensão com uso de meio granular de granulometria mais fina, com aumento da altura da camada filtrante e com a diminuição da taxa de filtração, enquanto o aumento da perda de carga cresce com granulometrias mais finas, leitos de maior profundidade e maiores de taxas de filtração.

As divergências são evidenciadas pelos trabalhos citados por ADIN e ASANO (1998), como os de FRITZPATRICK e SWANSON¹⁸ (1980) que reportaram que a eficiência da remoção de SST e a taxa de filtração eram inversamente relacionadas, enquanto TCHOBANOGLIOUS e ELIASSEN¹⁹ (1970) mostraram que a taxa de filtração tem pouca influência na remoção de SST, e TEBBUT²⁰ (1971) e BENCH et al.²¹ (1981) afirmam que o aumento da taxa de filtração aparentemente não diminui a remoção de SST. CLEASBY e BAUMANN (1974) dizem que na filtração de efluente secundário, a qualidade do filtrado é menos dependente da taxa de filtração e da concentração de sólidos em suspensão do afluente ao filtro, comparados a filtração de água para abastecimento.

Ainda, segundo ADIN e ASANO (1998), BAUMANN e HUANG²² (1974) afirmam que o tamanho das partículas do meio filtrante tem pouca influência na remoção de SST, mas afetam significativamente o aumento das perdas de carga. TEBBUT (1971) descobriu que SST poderiam

¹⁷ CLEASBY, J.L., BAUMANN, E. R. **Wastewater Filtration – Design Considerations**. Technology Transfer, Series nº EPA-625/4-74-007a, USEPA, Washington, D. C., 1974.

¹⁸ FRITZPATRICK, J. A., SWANSON, R. **Evaluation of Full-Scale Tertiary Wastewater Filters**. EPA-600/2-80-005, USEPA, Washington, D. C., 1980.

¹⁹ TCHOBANOGLIOUS, G., ELIASSEN, R. Filtration of Treated Sewage Effluent. **Journal Sanitary Engineering Division**, ASCE, v.96 (SA2), 1970.

²⁰ TEBBUT, H. Y. An Investigation into Tertiary Treatment by Rapid Sand Filtration. **Water Research**, v.5, n. 3, 1971.

²¹ BENCH, B. I. et al. Evaluation of Wastewater Filtration. **Water Quality Series**, n. UWRL/Q-81/01, Utah Water Research Laboratory, 1981.

²² BAUMANN, E. R., HUANG, J. Y. C. Granular Filters for Tertiary Wastewater Treatment. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 46, n.8, 1974

ser removidos independentemente da granulometria do meio filtrante, na faixa de 1,0 - 2,5 mm, havendo algumas evidências de transpasse de sólidos nos meios de maiores grãos. TCHOBANOGLIOUS e ELIASSEN (1970) concluíram que a remoção de sólidos em efluentes secundários de lodos ativados é primeiramente função da granulometria do meio, mostrando um aumento significativo na remoção de SST em filtros de granulometria mais fina. ADIN e ELIMELECH²³ (1989) notaram, no entanto, que a remoção de partículas era aumentada com granulometrias maiores, em torno de 0,7 a 1,2 mm. Tamanhos menores (0,45-0,55 mm) acarretaram filtração somente na superfície do leito, resultando num crescimento exponencial da perda de carga e uma operação anti-econômica (BENCH, 1981). ADIN e ASANO (1998) concluíram, então, que na filtração de efluentes secundários o tamanho efetivo dos grãos constituintes do meio filtrante deve ser de, no mínimo, 1,2 mm e deve ser usado material de granulometria mais grossa como camada suporte.

HAMODA et al. (2003) avaliaram a eficiência do tratamento terciário de esgoto nas 3 principais ETEs do Kuwait. Os afluentes aos tratamentos terciários, constituídos de filtração em areia e cloração, eram provenientes de tratamentos por processos de lodos ativados e decantadores secundários. Os filtros eram compostos de 60 cm de areia sobrepostos sobre 40 cm de pedregulho como camada suporte, e operados com taxa média de 120 m³/ m².dia. Na ETE Ardy, cujo efluente secundário apresentou valores médios de SST, SSV, DQO e DBO, equivalentes a 13,9 mg/L, 10,5 mg/L, 62,5 mg/L e 10 mg/L, respectivamente, foram obtidas remoções de 58 % de SST e 35 % de SSV, 21 % de DQO e 33 % de DBO. Na ETE Rikka, o efluente secundário apresentava em média SST = 8,5 mg/L, SSV = 6,8 mg/L, DQO = 32,6 mg/L e DBO = 9,5 mg/L e as remoções observadas com a filtração e desinfecção foram cerca de 60 % de SST, 56 % de SSV, 25 % de DQO, e 53 % de DBO. Na ETE Jahra, os valores de SST, SSV, DQO e DBO no efluente secundário, foram respectivamente, 11,5 mg/L, 6,9 mg/L, 51,9 mg/L e 9,1 mg/L, e as remoções obtidas foram de 70 % para SST, 38 % para DQO e 54 % de DBO.

²³ ADIN, A., ELIMELECH, M. Particle Filtration in Wastewater Irrigation. **Journal Irrigation and Drainage Eng.**, ASCE, vol.115, n°3, 1989.

3.2.1.3.1. FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE

A filtração direta descendente – FDD, segundo KURODA (2002), 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 (convencional), 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.

Na filtração direta com fluxo descendente, a camada filtrante pode ser constituída por uma única camada de areia, camada dupla antracito-areia, e ainda camada tripla antracito-areia-granada.

Os filtros de dupla camada (antracito e areia), de acordo com RICHTER e AZEVEDO NETTO (1991), vêm substituindo os filtros de camada única, em filtração direta descendente, uma vez que permitem a filtração em taxas mais elevadas e permitem uma capacidade maior de deposição de sólidos, em função da disposição das camadas de antracito e areia sobrepostas, que representa uma aproximação da filtração ideal, na qual a água deveria passar no leito filtrante através de grãos cada vez mais finos, no sentido da diminuição da porosidade. O antracito, de menor densidade em relação a areia, deve ter tamanho efetivo aproximadamente igual ao dobro da areia. Os autores ainda afirmam que bons resultados têm sido obtidos com um leito filtrante constituído de 60% (em volume) de antracito e 40% de areia.

As principais características dos meios filtrantes empregados na FDD, de uma ou duas camadas, são apresentadas na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Características dos meios granulares empregados em filtração direta descendente (FDD). Adaptada de DI BERNARDO (1993)

características	uma camada	dupla camada	
	areia	antracito	areia
tamanho do grão (mm)	0,84 a 1,68	0,71 a 2,4	0,42 a 2,0
tamanho efetivo (mm)	1,0 a 1,3	0,9 a 1,3	0,5 a 0,6
coef. de desuniformidade	<1,2	<1,5	<1,5
espessura da camada (cm)	100 a 150	50 a 80	20 a 40

A filtração rápida descendente deve ter ação de profundidade, na qual as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, e não com ação superficial, em que a retenção é significativa apenas no topo da camada filtrante. A distribuição das impurezas no interior do meio filtrante proporciona a obtenção de carreira de filtração com duração razoável (DI BERNARDO, 2003).

KURODA (2002) diz que “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 minutos, 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 minutos, com taxa de 10 a 20 L/s.m² ou ainda, pela aplicação simultânea de ar e água, com taxas de aplicação de 4 a 8 L/s.m² e 0,15 a 0,30 m/min. respectivamente, por um período de 2 a 5 minutos”.

KUO et al. (1997) avaliaram a eficiência da filtração em antracito de efluente secundário proveniente de processo de lodos ativados, cuja turbidez era de 6, 3 NTU e SST igual a 12,3 mg/L. O filtro em coluna de PVC, de 20, 3 cm de diâmetro, possuía 1,8 m de antracito de 1,0 a 1,25 mm e CD de 1,5. As taxas de filtração variaram de 200 m³/ m².dia a 316 m³/ m².dia, e foram utilizados como coagulante e auxiliares, sulfato de alumínio, polímeros catiônico e aniônico. Foi obtido efluente filtrado com turbidez e SST, de 1,2 NTU e 1,6 mg/L, respectivamente. Os autores concluíram ainda que mudanças na taxa de filtração, acima de 280 m³/ m².dia, não tiveram influência significativa na qualidade do efluente filtrado.

Em estudo realizado por RAJALA et al. (2003), de filtração direta de efluente secundário em filtro de área equivalente a $0,177 \text{ m}^2$, preenchido com areia de 0,9-1,2mm, com aplicação de policloreto de alumínio correspondendo a dosagens de 1,0 a 2,2 mg Al/L, e operação em taxas de filtração de 5 m/h e 10 m/h, foram obtidas remoções de até 96 % para sólidos em suspensão, 84 % para turbidez, 35 % para cor, 52 % para DQO, 33 % para fósforo, 56 % para coliformes fecais, 46 % para *colifagos*, 67 % para *Enterococcus* e 60 % para *Clostridium* reductores de sulfeto, conforme apresentado na Tabela 3.18.

Tabela 3.18 – Parâmetros de qualidade do efluente secundário e efluente filtrado obtidos por RAJALA et al. (2003)

Parâmetro	Taxa de filtração = 5 m/h			Taxa de filtração = 10 m/h		
	Efluente secundário	Efluente filtrado	% remoção	Efluente secundário	Efluente filtrado	% remoção
Turbidez (NTU)	2,8 - 4,8	1,1 - 1,6	50-80	4,3 - 16	3,0 - 7,6	30-84
SST (mg/L)	5,6 - 9,5	1,0 - 2,2	68-88	5,5 - 20	0,8 - 2,7	51-96
Cor (mg PtCo/L)	25 - 46	24 - 31	3-35	25 - 38	21 - 37	2-16
DQO (mg/L)	41 - 62	31 - 35	26-52	39 - 113	32- 67	3-41
P _{total} (mg/L)	0,24	0,16	33	0,25	0,21	15
Coliformes fecais (UFC/100mL)	$2,3 \cdot 10^4$	$9,9 \cdot 10^3$	56	$8,2 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^4$	0
<i>Colifagos</i> (UFC/100mL)	$4 \cdot 10^2 - 3,2 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^2 - 1,2 \cdot 10^3$	30-46	$9,3 \cdot 10^2 - 3,3 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^2 - 2,5 \cdot 10^3$	23-38
<i>Enterococcus</i> (UFC/100mL)	$3,2 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	63	$2,4 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^2$	67
<i>Clostridium</i> (UFC/100mL)	$1,7 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^1$	60	$1,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^1$	0

Segundo EMELKO (2003), a eficácia limitada dos desinfetantes, com exceção do UV e ozônio, como barreira ao *Cryptosporidium* no tratamento de águas para abastecimento tem levado ao aumento de interesse por estudos de remoção de oocistos pela filtração. Em sua pesquisa, desenvolvida para investigar a remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, viáveis e inativados quimicamente, por filtros de dupla camada (com 70 cm de antracito e 30 cm de areia) e tripla camada (com 65 cm de antracito, 25 cm de areia e 10 cm de granada), foi utilizada água com turbidez de 3,5 NTU induzida por caulinita e foram introduzidos oocistos na concentração de 10^5 oocistos/L. O antracito utilizado apresentava tamanho efetivo (TE) de 0,98 mm e coeficiente de

desuniformidade (CD) igual a 1,5; a areia com TE de 0,5 mm e CD de 1,5; e a granada com TE entre 0,32 e 0,38 e CD igual a 1,4. A coagulação foi realizada com pH de 6,9 e 5mg/L de sulfato de alumínio. Avaliando três condições de operação: amadurecimento do filtro, operação estável e falha na coagulação, com relação aos valores de turbidez e a concentração de oocistos em amostras do afluente e efluente ao filtro, foram demonstrados que para ambos os meios filtrantes a remoção de *Cryptosporidium* foi muito maior nas etapas de amadurecimento e operação estável atingindo em média remoção de 5 log, enquanto na falha de coagulação esteve em torno de 0,8 log.

A pesquisa confirma estudos que indicam que na coagulação não otimizada há maior probabilidade de passagem de microorganismos patogênicos no processo de filtração (EMELKO, 2003).

Outra observação importante feita por EMELKO (2003) é que pode ocorrer uma significativa passagem de oocistos através dos filtros, durante períodos de coagulação não otimizada, mesmo com turbidez do efluente abaixo de 0,3 NTU. Os resultados reforçam a idéia de que os parâmetros tradicionais utilizados para medir a eficiência de tratamentos de água, como a turbidez, não são necessariamente indicadores quantitativos da remoção de *C. parvum*. Esta situação foi enfatizada quando a falha de coagulação foi comparada com a etapa de amadurecimento e observou-se que a mesma turbidez no efluente dos filtros correspondeu a valores muito diferentes de remoção de oocistos.

JOLIS et al. (1999), avaliaram a concentração de *Cryptosporidium parvum* em efluente secundário de processo de lodos ativados e após seu tratamento por filtração direta. O filtro piloto tinha 1,12 m² de área e 1,0 m de profundidade, com areia de TE = 1,3 mm, e foi operado com taxa de filtração de 400 m³/ m².dia, como coagulantes e auxiliares foram aplicados sulfato de alumínio e polímero catiônico. Os parâmetros de qualidade do efluente secundário e efluente filtrado são apresentados na Tabela 3.19.

Tabela 3.19 – Parâmetros de qualidade do efluente secundário e efluente filtrado obtidos por JOLIS et al. (1999)

Parâmetro	Efluente secundário	Efluente filtrado
Turbidez (NTU)	3,2 – 6,0	0,5 – 1,0
pH	6,5 – 7,0	6,2 – 6,7
SST (mg/L)	20	< 3
DBO (mg/L)	20	< 5
Coliformes totais (UFC/100mL)	$3,5.10^4 - 8,8.10^5$	$1,1.10^4 - 1,0.10^5$
Coliformes fecais (UFC/100mL)	$1,1.10^4 - 1,7.10^5$	$3,3.10^3 - 1,7.10^4$
<i>Giardia</i> spp. (cistos/100L)	193 – 318 ⁽¹⁾ (246) ⁽²⁾	< 2,6 – 21 ⁽³⁾ (4,7) ⁽²⁾
<i>C. parvum</i> (oocistos/100L)	< 10,2 - < 26,5 (17,7) ⁽²⁾	<0,3 - < 14,7 (5) ⁽²⁾

(1) 100% das amostras positivas; (2) média aritmética; (3) 67% das amostras positivas.

A redução de 2 log (99%) de *C. parvum* verificada neste estudo foi atingida através de filtração em mais de 90% de amostras testadas (AWWARF²⁴, 1996, apud JOLIS et al.1999). Em estações piloto e em escala real de filtração direta em Utah, EUA, foram obtidas remoções de 2,79 log a 2,97 log (NIEMINSKI e ONGERTH²⁵, 1995, apud JOLIS et al.1999).

Segundo DI BERNARDO²⁶ et al. (2000, apud KURODA, 2002), 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 nº40), 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 de protozoários, rotíferos e metazoários = 500 ind./L. Caso contrário, os resultados produzidos utilizando o FLP, podem diferir daqueles que conduzem aos melhores resultados nos meios filtrantes usualmente empregados para esta tecnologia.

²⁴ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION. **Optimization of Filtration for Cyst Removal**. Denver, CO., EUA, 1996.

²⁵ NIEMINSKI, E. C., ONGERTH, J. E. Removing *Giardia* e *Cryptosporidium* by conventional treatment and direct filtration. **Journal AWWA**, n. 87, 1995

²⁶ DI BERNARDO, L.; PÁDUA, V. L.; DI BERNARDO, A S. 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.

3.2.1.4. DESINFECÇÃO COM ULTRAVIOLETA

A desinfecção tem por finalidade a inativação de microorganismos patogênicos presentes na água (bactérias, protozoários, vírus e helmintos) (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991). Conforme SAMPAIO e CAMPOS (1985) é uma das etapas mais importantes no tratamento de águas residuárias, possibilitando seu uso para diversos fins.

Pelo fato de apresentar custo relativamente reduzido e razoável eficiência germicida, a cloração, há muito, constituiu-se o método de desinfecção mais amplamente utilizado, em praticamente todas as partes do mundo (ASSALIN, 2001). No entanto, atualmente tem-se buscado o uso de desinfetantes alternativos, decorrentes dos perigos do emprego do cloro como agente desinfetante de esgoto sanitário, o qual pode resultar em subprodutos indesejáveis, como a possibilidade de formação de trihalometanos - THM e outros compostos organoclorados potencialmente cancerígenos (SINGER, 1999).

A aplicação da radiação UV para desinfecção em tratamento de efluentes para reúso foi baseada em inúmeros estudos em escala piloto e real que confirmaram a equivalência do UV com a cloração na inativação de coliformes, e demonstraram que o UV não forma efluentes com residuais tóxicos ou subprodutos potencialmente nocivos à saúde (SAKAMOTO et al., 2001).

A utilização da radiação ultravioleta como agente desinfetante deve-se a Downes e Bult (citados por DANIEL e CAMPOS, 1992) que, em 1877, descobriram sua ação germicida.

O efeito da luz ultravioleta nas bactérias começa apreciavelmente em comprimentos de onda inferiores a 330 nm e rapidamente torna-se mais significante em menores comprimentos de onda até o máximo efeito bactericida em 254 nm. De acordo com DANIEL (2001), a faixa germicida ótima para a inativação de microorganismos está compreendida no intervalo de comprimento de onda de 245 a 285 nm .

O método de desinfecção com UV depende de fontes artificiais de radiação, pois a radiações emitidas pelo sol, que é fonte natural de radiação UV, são reduzidas através da absorção das ondas curtas pela camada de ozônio, chegando à superfície da Terra com baixa intensidade. É necessário, portanto, a utilização da energia elétrica para gerar radiação. Conforme DI BERNARDO (1993), para propósitos germicidas são empregadas geralmente as lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, que emitem cerca de 85 % da radiação no comprimento de onda de 253,7 nm.

PIRES (2002) afirma que “a radiação ultravioleta pode ser utilizada no processo de desinfecção de efluentes de estações de tratamento de esgotos, desde que observados alguns parâmetros, tais como o tempo de detenção hidráulico, a intensidade da lâmpada e a qualidade do efluente líquido”.

A desinfecção com ultravioleta é um processo físico, no qual a inativação dos microorganismos ocorre quando a radiação UV é absorvida pelas proteínas e pelos ácidos nucleicos RNA e DNA, promovendo alterações fotoquímicas que afetam as condições de reprodução dos microorganismos.

De acordo com DANIEL et al.(2001), a absorção de altas doses de UV pelas proteínas presentes nas membranas celulares leva ao rompimento dessas membranas e, conseqüentemente, à morte da célula. Porém, a absorção de pequenas doses de radiação UV pelo DNA pode apenas interromper a habilidade do microorganismo de se reproduzir, impedindo-o de contaminar o meio.

O mecanismo de desinfecção com radiação UV ocorre devido a danos causados ao DNA. O DNA (ácido desoxirribonucleico) é uma molécula em dupla hélice cuja unidade estrutural são os nucleotídeos. Cada nucleotídeo é formado por um grupo fosfato, uma pentose (desoxirribose) e uma base nitrogenada. Existem quatro diferentes bases nitrogenadas no DNA: adenina, citosina, guanina e timina. Os nucleotídeos são covalentemente ligados em uma cadeia por meio dos açúcares e fosfatos, os quais formam um “esqueleto” de fosfato-açúcar-fosfato-açúcar alternados. Como apenas a base é que difere em cada um dos quatro tipos de subunidades, cada cadeia polinucleotídica no DNA pode ser imaginada como um colar que possui quatro tipos

de contas – as bases nitrogenadas. As duas cadeias polinucleotídicas na dupla hélice do DNA são mantidas juntas por pontes de hidrogênio entre as bases das diferentes fitas.

A radiação UV atua de maneira danosa no DNA, levando a formação de dímeros e hidratos (DANIEL et al., 2001). Ela promove ligações covalentes entre duas bases timina adjacentes, formando um dímero de timina (timina-timina) na mesma cadeia polinucleotídica. Esta mutação leva a mudança na estrutura do DNA que resulta no bloqueio da replicação ou da transcrição e impede a reprodução adequada do microrganismo (YAHYA et al, 1996).

Segundo ROCHELLE et al.(2004), o efeito da radiação UV em protozoários inclui, além dos danos ao DNA que impedem seus mecanismos de replicação e transcrição, a diminuição da temperatura letal, sensibilizando-os ao calor, alteração da mobilidade e forma, retardamento da divisão e excitação de cistos, redução da atividade respiratória e mudanças na resistência à pressão hidrostática.

TOSA²⁷ (1999, apud ASSALIN, 2001) observou que a resistência à radiação ultravioleta é diferenciada e depende do microorganismo estudado. Doses de 90 mWs/cm² e 73 mWs/cm² de UV foram necessários para remover até 4 ordens de magnitude de *E. coli* e coliformes totais, respectivamente, e 42 mWs/cm² de dose média de radiação foram necessários para se atingir em torno de 3 log de inativação de *Clostridium perfringens* (DONAIRE, 2001). Assim como na cloração, os cistos de protozoários são os mais difíceis de inativar, no entanto, estudos têm demonstrado a capacidade de lâmpadas UV em reduzir a infectividade de *Cryptosporidium* (LAZAROVA et al., 1999). Estudos anteriores a 1998 mostravam que UV era um desinfetante inadequado para inativação de protozoários, no entanto, estudos mais recentes têm mostrado que essas considerações iniciais eram baseadas em métodos analíticos inadequados, que não refletiam a verdadeira capacidade de desinfecção com radiação UV (ROSE et al., 2002).

Existem, além destes, muitos estudos que avaliam a inativação de diferentes tipos de microorganismos, mas percebe-se que ainda não há um consenso quanto às doses mínimas de

²⁷ TOSA, K.; HIRATA, T. Photoreactivation of enterohemorrhagic *Escherichia coli* following UV disinfection. **Water Research**, v.33, p.361-366, 1999.

radiação necessárias, portanto, na prática, é necessária a avaliação de parâmetros microbiológicos em escala piloto antes da implantação de sistemas em escala real.

A dosagem mínima recomendada por ROSSET e ROSSET²⁸ (1996 apud HASSEN et al., 2000) para desinfecção de água para abastecimento era de 25 mWs/cm², e para esgoto doméstico, de 30 mWs/cm². HO et al. (1998) já diziam ser necessárias doses maiores, de 65 a 70 mWs/cm², para conseguir garantir a concentração de coliformes inferiores a 240 UFC/100mL.

ANDREADAKIS et al.(1999) verificaram que na desinfecção de efluentes secundários, eram necessárias doses de 30 a 60 mWs/cm² para se conseguir concentrações inferiores a 2000/100mL de coliformes fecais, e no tratamento terciário, para atingir a mesma concentração de coliformes fecais, a dose necessária era de apenas 10 mWs/cm², sendo que doses superiores, entre 40 e 50 mWs/cm², resultaram em concentrações inferiores a 10 coliformes fecais/100mL.

LAZAROVA et al. (1999), baseados em dados de desinfecção com UV obtidos em vários tipos de efluentes secundários e terciários apontam que a radiação entre 30 e 45 mWs/cm² mostrou-se eficiente para garantir remoção de 3 a 5 log de Coliformes Totais, Fecais e *Streptococcus* Fecais, mas doses maiores, da ordem de 112 a 140 mWs/cm², podem ser necessárias para atender os padrões mais restritivos, como 2,2 NMP de Coliformes Totais/ 100mL. Segundo SAKAMOTO et al. (2001), essas doses maiores são necessárias para garantir que o risco de infecção, devido a exposição, seja menor que 1: 10.000. JOLIS et al. (2001), já dizem que 80 mWs/cm² é a dose mínima necessária para atingir concentrações de 2,2 NMP de Coliformes Totais/ 100mL quando a desinfecção com UV é aplicada após sistemas bem operados de filtração para remoção de turbidez.

JACANGELO et al.(2003), ao avaliarem a inativação de organismos indicadores, vírus e bactérias patogênicas por UV, em efluente de tratamento piloto em nível secundário seguido de filtração, observaram que as concentrações de enterovírus e adenovírus são consistentemente reduzidas ao limite de detecção (1TCID₅₀/100L) com doses de 35 a 40 mWs/cm² e 40 a 45

²⁸ ROSSET, P., ROSSET, R. Les ultraviolets germicides. Les utilisations em industries agro-alimentaires. **Série actualités Scientifiques et Techniques em Industrie agro- alimentaire**, 48, Edition Ted-Doc, Cachan, France, p.98, 1996.

mWs/cm², respectivamente. Utilizando as bactérias indicadoras *Enterococcus*, houve a redução do número de bactérias a valores próximos ao limite de detecção de 2 NMP/ 100 mL, com uso de radiação com dose mínima de 35 a 40 mWs/cm² e Coliformes Fecais reduzidos ao limite de detecção com uso de radiação de 60 mWs/cm². Esporos de *Clostridium perfringens* foram os organismos indicadores mais resistentes, sendo reduzidos a valores inferiores a 200 NMP/100mL com dose mínima de 75 mWs/cm².

De acordo com RAJALA et al.(2003), uma dose equivalente a 26,4 mWs/cm² aplicadas aos efluentes secundários após filtração, cujas características constam na Tabela 3.18, foi capaz de promover 99,999 % de inativação de coliformes fecais e 99,92 % de *Enterococcus*, e, ainda, que doses de 33 mWs/cm² e 66 mWs/cm² inativaram, respectivamente, 99,97 % de colifagos e 97 % de *Clostridium* sulfito-redutores presentes no efluente filtrado, confirmando os estudos de JACANGELO et al.(2003), que apontaram este organismo como mais resistente.

Vale lembrar que alguns microorganismos são capazes de se recuperar, cessada a irradiação, portanto estes devem ser considerados na avaliação da eficiência da desinfecção, conforme DANIEL e CAMPOS (1992). Os principais mecanismos de recuperação são a fotorreativação, no qual há a reversão das alterações produzidas pelo UV e a recuperação no escuro, onde ocorre a substituição dos nucleotídeos lesados pelo UV. PIRES (2002) verificou que quanto maior a dose de radiação ultravioleta aplicada, menor é o grau de fotorreativação.

HASSEN et al. (2000), avaliando a inativação e reativação de várias bactérias (*Pseudomas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis* e *Serratia marcescens*), verificaram que as bactérias fecais foram as mais sensíveis à radiação UV, enquanto as *P. aeruginosa* foram as mais resistentes.

BELOSEVIC et al. (2001) verificaram que oocistos de *Cryptosporidium parvum* são mais susceptíveis a inativação com lâmpadas UV comparados a cistos de *Giardia muris*. Observaram ainda que em *C. parvum* não há reativação dos oocistos quando estes são armazenados no escuro por 17 dias. Em *G. muris* a reativação dos cistos não ocorreu antes do 4º dia de armazenamento no escuro. No entanto, os autores observaram que com doses baixas de UV (< 25 mWs/cm²), *G. muris* foram capazes de reativação. A reativação não foi observada em

doses de UV de 60 mWs/cm² para *G. muris* e *C. parvum*. Segundo ROCHELLE et al. (2005), não há atualmente evidências que oocistos de *Cryptosporidium* spp. expostos à radiação UV possam sofrer reparo no DNA suficiente para restabelecer níveis de infectividade, pois embora com reparo do DNA, algumas proteínas que são essenciais à infectividade podem ter sido danificadas pelo UV, e concluem, portanto, que oocistos de *Cryptosporidium* spp. são irreversivelmente inativados por UV.

Têm sido, ainda, relatadas doses de UV, como 9 mWs/cm², responsáveis pela inativação de 3 log de oocistos de *Cryptosporidium* (ROSE et al., 2002) e 8 mWs/cm², que inativaram mais de 4 log de *Giardia muris* (HAYES et al, 2003).

Para avaliar a eficiência de inativação de ovos de helmintos por radiação UV, KELLER et al. (2004) inocularam ovos de helmintos, na concentração de 16 ovos/L, em efluente terciário submetido a este processo de desinfecção. As doses aplicadas não foram suficientes para inativar completamente os ovos presentes, sendo que ovos viáveis foram encontrados no efluente pós-UV depois de 28 dias de incubação. Os valores de inativação encontrados foram de 25 % e 35 % para doses de 21 e 46 mWs/cm², respectivamente.

Segundo DI BERNARDO (1993), a água e suas impurezas tais como substâncias dissolvidas, partículas coloidais e suspensas, são responsáveis pela absorção da radiação UV incidente, o que afeta significativamente a ação germicida da radiação UV. Tem-se observado que a eficiência da desinfecção diminui significativamente com o aumento da concentração de sólidos em suspensão (PIRES,1997). Este fator ressalta a grande influência de um adequado sistema de filtração para que se possa obter uma boa eficiência na desinfecção (DARBY et al., 1993; ANDREADAKIS et al., 1999, JOLIS et al., 2001).

JOLIS et al. (2001) confirmam que a eficiência do processo de desinfecção é muito dependente da quantidade de partículas em suspensão, no entanto, afirmam que partículas com tamanho inferior a 7µm têm muito pouca influência no processo. LAZAROVA et al.²⁹(1998, apud ASSALIN, 2001) reforçam que a eficiência da remoção de patógenos é extremamente

²⁹ LAZAROVA,V. et al. Advanced wastewater disinfection technologies: short and long term efficiency. **Water Science & Technology**, v.38, p.109-117, 1998.

influenciada pela qualidade da água a ser desinfetada. Concluiu-se, portanto, que a concentração de sólidos em suspensão, a cor e a turbidez do efluente são os principais parâmetros de qualidade que podem afetar a eficiência do sistema de desinfecção por radiação ultravioleta (PIRES, 2002). Este fato pode ser responsável pelas diversas disparidades existentes nos resultados de pesquisas de inativação de microorganismos com aplicação de UV em efluentes secundários e terciários, assim como as diferenças observadas nas recomendações de doses mínimas de radiação.

A influência destes parâmetros foi demonstrada por DARBY et al.(1993), que avaliaram a eficiência da desinfecção com radiação UV em efluente secundário antes e depois da filtração. Em concentrações de Coliformes Totais na ordem de 10^5 NMP/100mL, são necessárias doses mínimas de 60 mWs/cm^2 e de 48 mWs/cm^2 para conseguir reduzir a concentração de Coliformes Totais para 23 NMP/100mL, no efluente secundário, antes e depois da filtração, respectivamente. O efluente secundário não filtrado apresentou concentração de SST = $7,0 \pm 3,1 \text{ mg/L}$ e turbidez = $3,8 \pm 1,5 \text{ NTU}$, e o efluente secundário pós-filtração, SST = $1,1 \pm 0,4 \text{ mg/L}$ e turbidez = $1,3 \pm 0,5 \text{ NTU}$. Ainda, para atender critérios mais exigentes impostos pelo Título 22, do Estado da Califórnia –EUA, de 2,2 NMP/100mL de Coliformes Totais, foi necessário aplicar uma dose mínima de 97 mWs/cm^2 ao efluente secundário após a filtração.

Segundo LAZAROVA et al. (1999), vários estudos demonstraram que os custos médios de sistemas de desinfecção com UV são similares, ou até inferiores, aos custos com cloração. Os autores ainda afirmam que “os custos de operação de um sistema de desinfecção com UV incluem principalmente a substituição de lâmpadas e limpezas, que representam cerca de 50 % dos custos anuais totais. Para lâmpadas de baixa pressão, os custos com energia representam de 15 a 20 % dos custos de operação”, e recomendam sistemas de desinfecção com UV como solução competitiva para desinfecção de efluentes secundários e terciários.

PIRES (1997) confirma que os principais insumos para o sistema UV são os custos com lâmpadas e eletricidade e ainda sugere como alternativa o uso de sistema de energia solar, através de painel fotovoltaico, para suprir a baixa demanda de energia.

3.2.1.4.1. DOSE DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A dose de radiação ultravioleta é o produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição(Equação 3.5) (DANIEL,2001;DONAIRE, 2001; PIRES, 1997, 2002):

$$D = I \cdot t \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Onde:

D = dose de radiação ultravioleta (mWs/cm²);

I = intensidade de radiação (mW/cm²); e

t = tempo de exposição.

Em reatores de desinfecção de escoamento contínuo, uma partícula pode ser submetida a várias intensidades de radiação durante o período de operação, portanto considera-se:

$$D_w = \int_0^t I \cdot dt \quad (\text{Eq. 3.6})$$

O índice w refere-se à fração de distribuição de intensidades médias sobre o tempo de exposição. A intensidade média a qual uma partícula é submetida em relação ao período de exposição é definido como:

$$I_m = \frac{1}{t} \int_0^t I \cdot dt \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Então,

$$D_w = I_m \cdot t \quad (\text{Eq. 3.8})$$

Sabe-se que parte da energia emitida pela fonte de radiação é absorvida por substâncias presentes na água como matérias dissolvidas e partículas em suspensão, e ainda pela própria água. Essa absorção segue a Lei de Beer-Lambert (MOROWITZ³⁰, 1950, apud DANIEL, 2001):

³⁰ MOROWITZ, H. J. Absorption effects in volume irradiation of microorganisms. **Science**, v.111, n. 3, p. 229-230. 1950

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x} \quad (\text{Eq. 3.9})$$

Sendo:

I = intensidade de radiação que passa através da camada de água (mW/cm^2);

I_0 = intensidade de radiação emitida pela fonte (mW/cm^2);

x = espessura da camada de água exposta a radiação (cm); e

α = coeficiente de absorção (cm^{-1}).

Considerando que na superfície da lâmina d'água ($x = 0$) a intensidade de radiação é máxima ($I = I_0$), desprezando a absorção pelo ar entre a fonte de radiação e a lâmina d'água, e que na profundidade x a intensidade é mínima, pode-se calcular a intensidade média (I_m) integrando a Equação 3.9 (MOROWITZ,1950, apud DANIEL,2001). Obtendo, portanto:

$$I_m = \frac{I_0}{x} \int_0^x e^{-\alpha \cdot x} \cdot dx \quad (\text{Eq. 3.10})$$

Desta forma, a intensidade média resultante é:

$$I_m = \frac{I_0}{\alpha \cdot x} \left(1 - e^{-\alpha \cdot x} \right) \quad (\text{Eq. 3.11})$$

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em duas etapas, sendo a primeira em escala de bancada e a segunda em escala piloto.

Na escala de bancada foi desenvolvido o estudo referente à etapa de coagulação utilizado no processo proposto para tratamento terciário do esgoto, com o propósito de obter resultados para aplicação na escala piloto, em que foram avaliadas as etapas de filtração e desinfecção do efluente.

4.1. AFLUENTE AO TRATAMENTO TERCIÁRIO

Foi utilizado como afluente ao sistema de tratamento terciário, tanto nos ensaios em escala de bancada como em escala piloto, o efluente tratado em nível secundário pela Estação de Tratamento de Esgotos–ETE Samambaia, operada pela SANASA, no município de Campinas, São Paulo.

A estação foi projetada para atender uma população de 40.000 habitantes com uma vazão de projeto de 150 l/s. O tratamento preliminar é realizado através de gradeamento físico seguido de uma caixa de areia com aeração e o tratamento em nível secundário é realizado pelo processo de lodos ativados, composto de dois tanques aerados, em série, com recirculação de lodo, e, ainda, por decantadores secundários que recebem o efluente da segunda lagoa. A estação, no entanto, por receber apenas 1/3 da vazão de projeto, tem sido operada somente com um

tanque, ou seja, após o tratamento preliminar o efluente é encaminhado diretamente para o segundo tanque. O efluente dos decantadores secundários, estudado para fins de reúso após tratamento terciário de acordo com a presente proposta, é atualmente lançado no Ribeirão Samambaia. O lodo da estação, que não retorna para o tanque, é tratado por meio de um digestor aeróbio, adensador e centrífuga e disposto em áreas agrícolas (Figura 4.1).

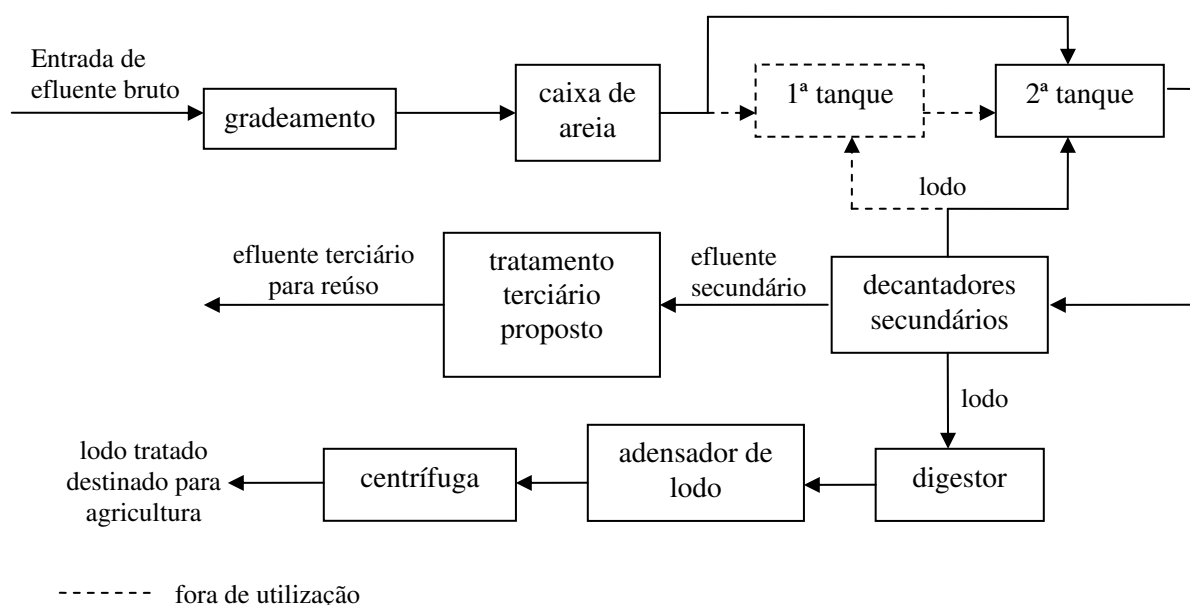


Figura 4.1 – Fluxograma de tratamento da ETE Samambaia com tratamento terciário proposto

4.2. PARÂMETROS DE QUALIDADE

Os parâmetros físico-químicos de qualidade, utilizados para avaliar a eficiência do tratamento em escala de bancada e piloto, foram determinados no laboratório da ETE Samambaia, e as metodologias de análise seguiram as orientações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 1998), conforme apresentadas na Tabela 4.1. A preservação das amostras seguiu o que preconiza o método 1060 do *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 1998).

Tabela 4.1 – Métodos de análise dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água

Parâmetro	Método
Turbidez	2130 B. Método Nefelométrico
Cor aparente e verdadeira	2120 C. Método Espectrofotométrico
pH	4500 – H ⁺ B. Método Eletrométrico
Alcalinidade	2320 B. Método Titulométrico
Sólidos Totais	2540 B. Sólidos Totais (103° a 105°C)
Sólido Dissolvidos Totais	2540 C. Sólidos Dissolvidos Totais (180°C)
Sólidos em Suspensão	2540 D. Sólidos em Suspensão Totais (103° a 105°C)
Sólidos Fixos e Voláteis	2540 E. Sólidos Fixos e Voláteis (550°C)
DBO	5210 B. Teste de DBO – 5 dias
DQO	5220 D. Método Colorimétrico de Refluxo Fechado
P-PO ₄ ⁻³	4500-P E. Método do Ácido Ascórbico
NTK	4500-N _{org} B. Método Macro-Kjeldahl
N - NH ₃	4500-NH ₃ B. Método Titulométrico
N - NO ₃ ⁻	4500-NO ₃ ⁻ B. Método Espectrofotométrico
OD	4500-O B. Método do Eletrodo de Membrana

Fonte: *Standard Methods for the examination of water and wastewater*; APHA, AWWA, WEF, 20^a edição, 1998

Os parâmetros microbiológicos foram determinados conforme as metodologias apresentadas na Tabela 4.2, no Laboratório de Protozoologia do Instituto de Biologia (IB)–Unicamp, com exceção das análises de coliformes totais e *Escherichia coli* que foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) – Unicamp. Os métodos encontram-se detalhados no anexo B.

Tabela 4.2 – Métodos de análise dos parâmetros microbiológicos de qualidade da água

Parâmetro	Método
Coliformes Totais *	Método Colilert (Quanti-Tray®/2000) - IDEXX
<i>Escherichia coli</i>	Método Colilert (Quanti-Tray®/2000) - IDEXX
<i>Cryptosporidium</i> spp.	Membrana filtrante e reação de imunofluorescência
<i>Giardia</i> spp.	Membrana filtrante e reação de imunofluorescência
Ovos de helmintos	Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996)

* Nos ensaios em escala de bancada, coliformes totais e fecais foram determinados segundo método 9221B. Método dos Tubos Múltiplos, pelo Laboratório Central da SANASA.

4.3. ESCALA DE BANCADA

A primeira etapa, em escala de bancada, foi desenvolvida no laboratório da ETE Samambaia. Foram realizados ensaios de coagulação química, com aparelho de jarros (*Jar-Test*), em amostras do efluente do tratamento secundário da ETE, coletado no canal de saída dos decantadores secundários que leva o efluente tratado para lançamento no Ribeirão Samambaia.

Foram avaliados dois tipos de coagulantes químicos amplamente utilizados nas Estações de Tratamento de Água–ETA, o sulfato férrico $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ e o sulfato de alumínio $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$, em diferentes valores de pH, para a determinação do melhor valor de pH de coagulação e dosagem ótima de coagulante, com tempo de floculação e gradiente de velocidade iguais aos aplicados na etapa piloto, para melhor remoção de turbidez e cor aparente. As melhores situações encontradas nesta primeira etapa, para cada coagulante, foram repetidas no aparelho de jarros para avaliação da eficiência também em relação a outros parâmetros, como remoção de sólidos, cor verdadeira, nutrientes, DBO, DQO e coliformes. Finalmente, então, foram avaliados tais resultados e as melhores situações, ou seja, as dosagem e os valores de pH correspondentes aos melhores resultados, para cada um dos coagulantes, foram aplicados na escala piloto.

4.3.1. CARACTERÍSTICAS DOS COAGULANTES QUÍMICOS

As especificações dos coagulantes químicos usados nos ensaios, tanto em bancada como em piloto, são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Especificações dos coagulantes químicos

Sulfato férrico
Massa específica da solução (g/cm^3 a 24°C) = 1,59
Concentração de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ (%massa/massa) = 52,15
Teor de Fe_2O_3 (%massa/massa) = 17
Acidez livre máxima (H_2SO_4) (%) = 0,5
Sulfato de alumínio
Massa específica da solução (g/cm^3 a 24°C) = 1,33
Concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{H}_2\text{O}$ (%massa/massa) = 49,76
Teor de Al_2O_3 (%massa/massa) = 7,62
Teor máximo de Fe_2O_3 (%) = 1,1
Acidez livre máxima (H_2SO_4) (%) = 0,85

4.3.2. ENSAIOS DE COAGULAÇÃO EM APARELHO DE JARROS

Os ensaios foram realizados no aparelho Poli-Control – Floc Control II, da Poli Control Instrumentos de Controle Ambiental Ind. e Comércio Ltda. Este aparelho de *Jar-Test* opera com seis recipientes retangulares de 2 litros providos de pás, em que se tem controle da velocidade de rotação (Figura 4.2). O ensaio foi desenvolvido fixando-se o valor do pH em todos os jarros e variando a concentração de coagulante. Foram avaliados 15 valores diferentes de pH, de 4,0 a 7,5, em intervalos de 0,25, para cada coagulante. A dosagem de coagulante variou em incrementos de 2,5 mg/L, dentro da faixa de 2,5 mg/L a 15 mg/L, o que significou para sulfato férrico, dosagens de 0,57 mg Fe/L a 3,42 mg Fe/L, e para sulfato de alumínio, de 0,22 mg Al/L a 1,35 mg Al/L.

As dosagens de coagulante eram feitas com solução preparada, no dia do ensaio, a uma concentração de 0,5 %, obtida a partir da diluição de 9,59 g (6,03 mL) da solução comercial de sulfato férrico a 1 litro de água destilada em balão volumétrico, ou ainda, de 10,05 g (7,56 mL) de solução comercial de sulfato de alumínio diluída para mesmo volume. Desta forma, a aplicação de coagulante nos jarros de 2 L, para dosagem de 2,5 mg/L era feita com adição de 1 mL da solução diluída a 0,5 %, e cada incremento de 2,5 mg/L correspondia a incremento, no jarro, de 1 mL da solução assim preparada.

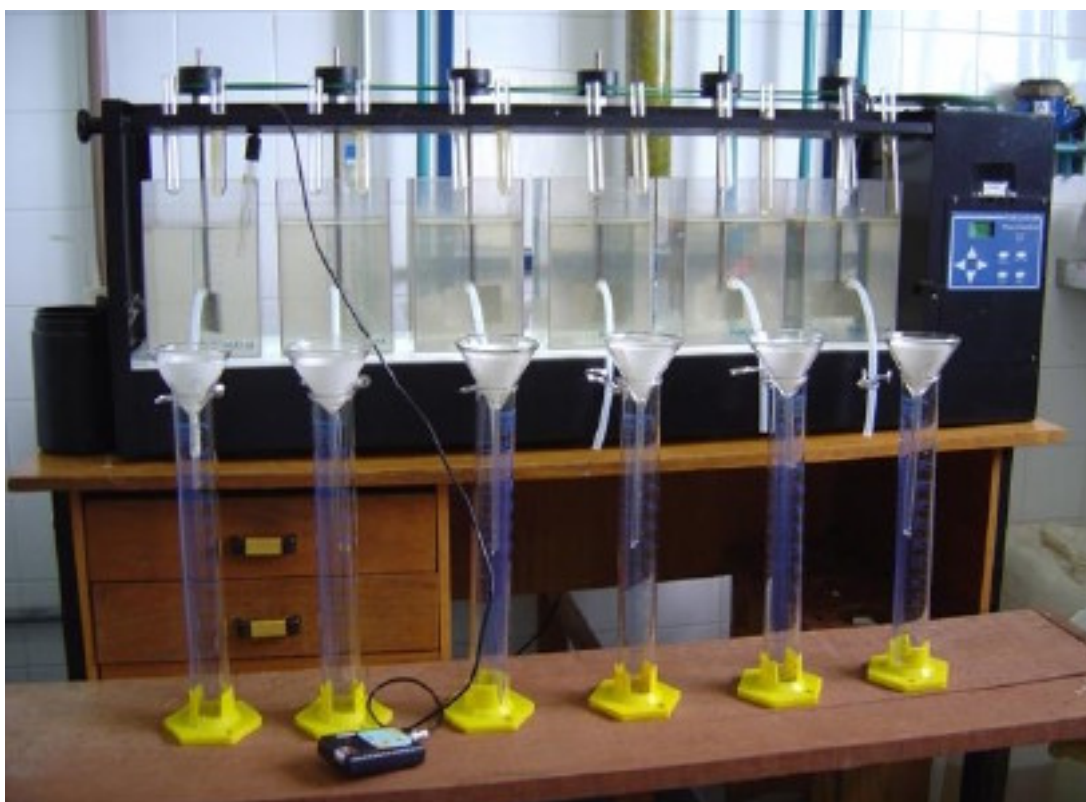


Figura 4.2 - Aparato de bancada utilizado nos ensaios de coagulação-floculação-filtração

O ajuste do valor de pH para coagulação, realizado previamente à adição dos coagulantes, foi feito pela adição de ácido clorídrico 0,1 mol/L, e verificado diretamente nos jarros com auxílio de pHmetro portátil (marca QUIMIS, modelo Q400 BC/BD).

Após acerto de pH e adição do coagulante, os jarros sofreram agitação intensa (mistura rápida) com a rotação máxima que o aparelho permite de 159 rpm, correspondente a um gradiente de velocidade de 159 s^{-1} por 1 min. Em seguida a rotação foi diminuída passando para

uma mistura lenta, na qual se deu o processo de floculação. O tempo de floculação foi de 10 minutos e o gradiente de velocidade de 52 s^{-1} , determinados conforme propõem RICHTER e AZEVEDO NETTO (1991) para floculadores de pedras, como pode ser visto no item 4.3.3.

Terminada a mistura lenta, a água floculada era tomada a cerca de 7 cm de profundidade e encaminhada para filtros de laboratório em papel – FLP (marca Whatman, n° 40), de 0,2 mm de espessura, 125 mm de diâmetro e com 8 μm de tamanho médio dos poros.

Na 1ª etapa, na qual foram determinadas somente a turbidez e a cor aparente remanescentes, coletava-se e filtrava-se 50 mL de amostra. No entanto, na 2ª etapa, de repetição das melhores condições de coagulação, para determinação de parâmetros físico-químicos adicionais, foram filtrados 600 mL de amostra, havendo necessidade de trocar o papel filtro (colmatado) após filtração de cerca de 200 mL.

4.3.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE FLOCULAÇÃO

O gradiente hidráulico no floculador de meio granular foi determinado de acordo com a Eq. 3.1. Para isso foi necessário determinar a velocidade da água (V) em m/s e ainda a perda de carga unitária no meio poroso (J).

Conhecendo a vazão de tratamento (Q) de 2 L/min e o diâmetro interno da unidade de pré-floculação de 175 mm, o que corresponde a uma área de 240 cm^2 na seção da unidade de floculação (A), determinou-se a velocidade da água (V):

$$V = \frac{Q}{A} = 1,386 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Para determinar a perda de carga unitária no meio poroso utilizando a Equação 3.2, calculou-se, primeiramente, os coeficientes a (Eq. 3.3) e b (Eq. 3.4), iguais a $5,55 \cdot 10^{-3}$ e $1,182 \cdot 10^{-3}$, respectivamente, utilizando os valores de ϕ (fator de forma) = 0,78, D_{ef} (diâmetro

efetivo do material granular) = 14 mm e ε (porosidade do meio) = 0,43, determinados por ensaio granulométrico e gravimétrico. Aplicando estes coeficientes na Equação 3.2 encontrou-se uma perda de carga (J) igual a $9,965 \cdot 10^{-4}$, e finalmente, com a Equação 3.1, determinou-se $G = 52,39 \text{ s}^{-1}$.

Para a vazão e velocidade desenvolvidas na unidade de floculação tem-se uma taxa de filtração de, aproximadamente, $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$. O volume total da unidade de floculação, sendo o diâmetro interno de 175 mm e altura do meio poroso igual a 1,90 m, corresponde a 45,7 L. Com base na porosidade de 0,43, já citada, chegou-se ao volume de vazios igual a 19,65 L e, conseqüentemente, ao tempo de floculação de, aproximadamente, 10 min, uma vez que a vazão era de 2 L/min.

4.4. ESCALA PILOTO

A segunda etapa da investigação experimental foi realizada na unidade piloto montada inicialmente pela SANASA, na ETE Samambaia, e modificada/ampliada no decorrer deste trabalho (Figura 4.3 e Figura 4.4). Nesta etapa, foi avaliada a eficiência do tratamento terciário proposto considerando a taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ no pré-floculador e duas taxas de filtração, de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e $300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, nas condições de coagulação pré-determinadas na escala de bancada.



Figura 4.3 – Instalação piloto de tratamento terciário na ETE Samambaia, Campinas-SP



Figura 4.4 – Detalhe da segunda unidade de filtração (FRD II) instalada durante pesquisa.

4.4.1. INSTALAÇÃO PILOTO

A instalação piloto era constituída, basicamente, pelos sistemas de recalque e de regularização de vazão afluente, de mistura rápida e coagulação química, de pré-floculação e filtração, de desinfecção com ultravioleta e de sistema de lavagem, como pode ser visto no croqui apresentado na Figura 4.5.

4.4.1.1. RECALQUE DE EFLUENTE SECUNDÁRIO E REGULARIZAÇÃO DA VAZÃO

O recalque do efluente secundário, para aplicação na instalação piloto de tratamento terciário, foi realizado por bomba submersa no canal de saída do efluente tratado da ETE Samambaia, localizado logo após decantadores secundários e antes da escada de aeração, de onde o efluente tratado é levado para lançamento no Ribeirão Samambaia.

Como a capacidade da bomba de recalque era superior a 2 L/min, vazão prevista para tratamento na unidade piloto, a tubulação de recalque era provida de derivação com registro globo para retorno de parcela do efluente recalcado para o canal .

A vazão afluente ao sistema foi ajustada controlando-se abertura do registro de desvio do efluente recalcado e do registro de entrada do sistema, localizado logo após hidrômetro, e verificada através do uso de cronômetro para volume fixo de 1 L medido no hidrômetro, cujo tempo observado deveria ser de 30 s para se obter vazão de operação de 2 L/min. A vazão era ainda confirmada, no início de cada ensaio, com auxílio de proveta para controle do volume obtido após unidade de floculação com tempo controlado em cronômetro.

Como foram observadas variações bruscas na vazão bombeada, foi decidida a verificação constante, a cada 1 hora, da vazão afluente ao sistema para eventual ajuste.

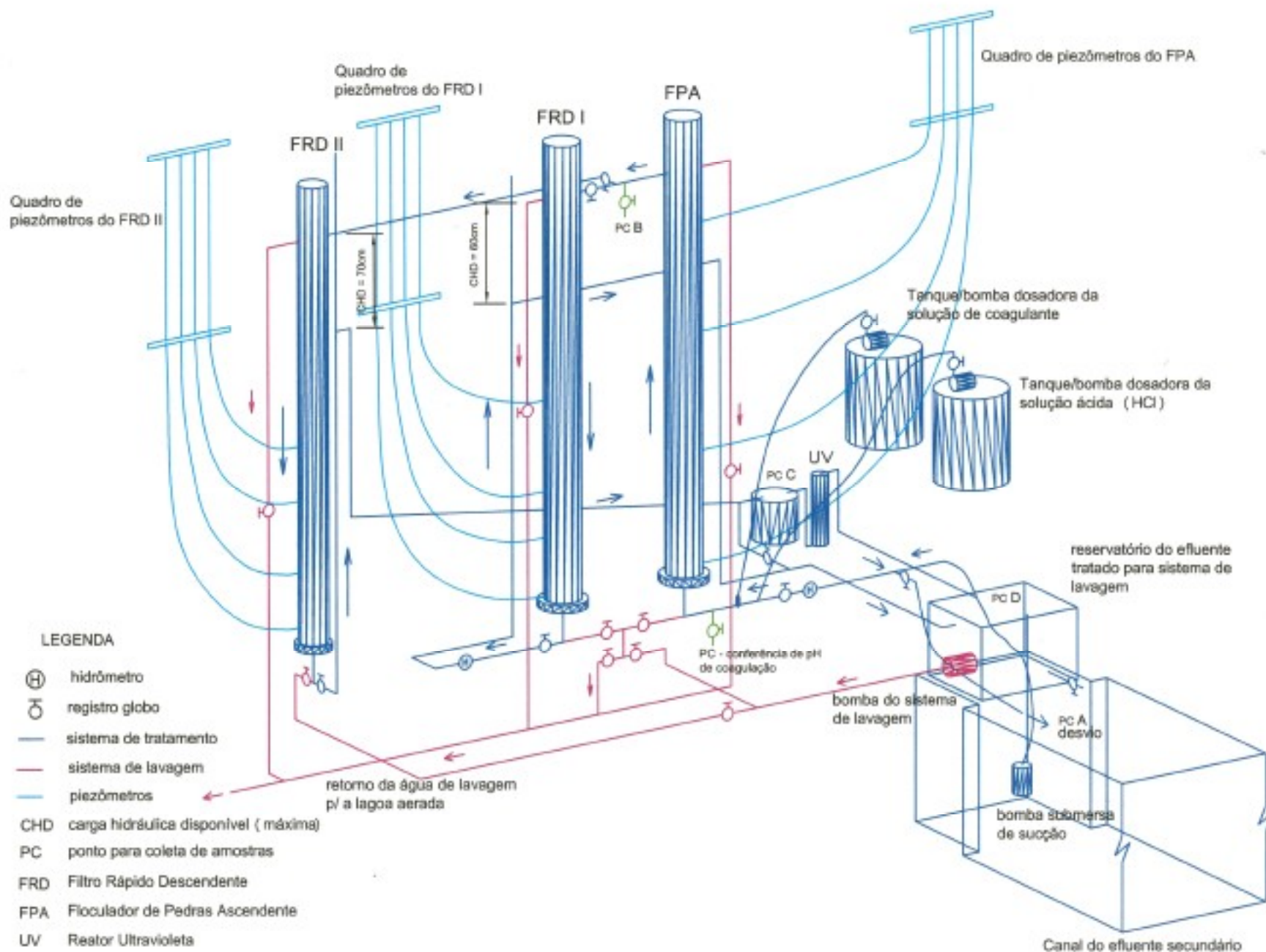


Figura 4.5 – Esquema isométrico geral da instalação piloto

4.4.1.2. MISTURA RÁPIDA E COAGULAÇÃO QUÍMICA

A tubulação de entrada de efluente secundário no sistema contava, logo após registro globo, com um dispositivo por onde era adicionada solução de ácido clorídrico nos ensaios em que foram necessários ajustes de pH, e logo em seguida com outro dispositivo para adição de solução de coagulante (Figura 4.6).

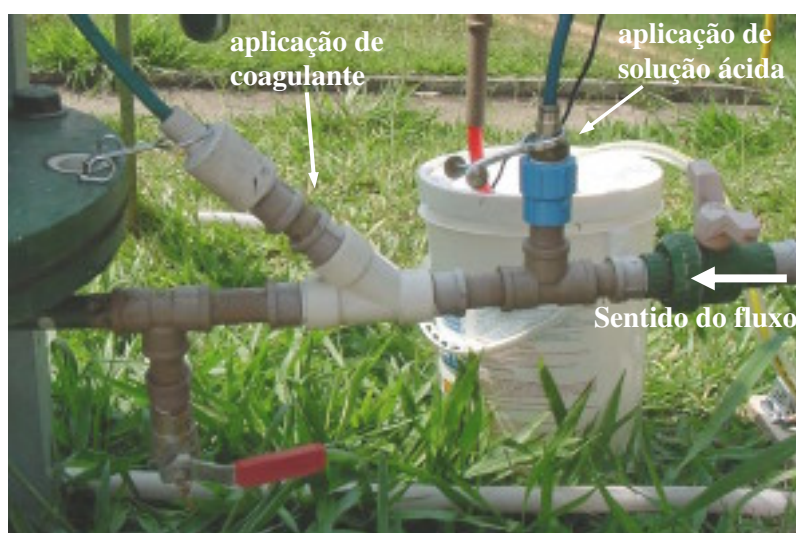


Figura 4.6 – Detalhe dos dispositivos para aplicação de solução ácida e de coagulante

Considerou-se a realização da mistura rápida na própria tubulação de entrada do sistema, onde o coagulante foi injetado em sentido oposto ao sentido do fluxo do afluente ao floculador, conforme mostrado na Figura 4.7. No entanto, o gradiente de velocidade e o tempo de mistura rápida desenvolvidos não foram determinados.

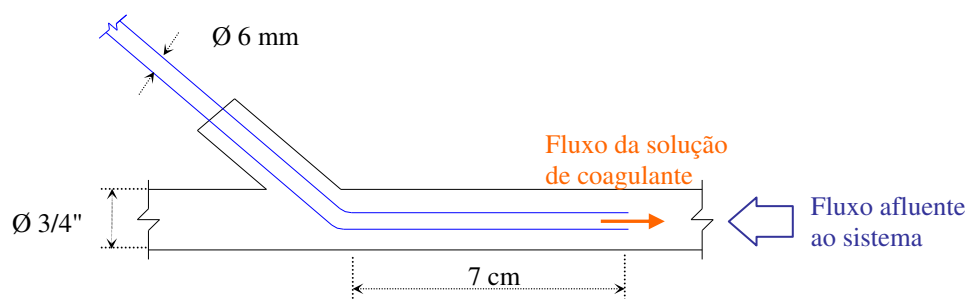


Figura 4.7 – Esquema do dispositivo de aplicação de coagulante e mistura rápida

4.4.1.2.1. PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE COAGULANTE E ÁCIDO

Para preparação e aplicação das soluções de coagulante químico e ácido clorídrico, dispunha-se de galões com volume útil aproximado de 100 L e 50 L, respectivamente, e bombas dosadoras (Figura 4.8).

A bomba para adição de coagulante era do tipo dosadora pulsátil com capacidade de bombeamento de vazões de 16,5 a 187 mL/min, verificada volumetricamente com auxílio de proveta e cronômetro, no local da instalação. A bomba para adição de solução ácida era do tipo peristáltica e bombeava vazões de 3,7 a 36,4 mL/min, verificada da mesma forma.



Figura 4.8 – Equipamentos para armazenamento e aplicação das soluções químicas

Para determinação da concentração da solução de coagulante a ser preparada em galão e aplicada por bomba dosadora, utilizou-se o conceito de balanço de massa, expresso por:

$$C_{sol} \cdot q_b = D_{coag} \cdot (q_b + Q_{ab}) \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Em que: C_{sol} = concentração da solução de coagulante (mg/L de Al ou Fe);

q_b = vazão da bomba dosadora (L/h);

D_{coag} = dosagem de coagulante (mg/L de Al ou Fe); e

Q_{ab} = vazão de entrada da unidade piloto (L/h).

Optou-se trabalhar, na escala graduada de 0 a 100 da bomba de pulso, na graduação de 40, que corresponde a vazão média bombeada de 81,5 mL/min, ou 4,9 L/h; portanto:

$$C_{sol} = 25,5 \cdot D_{coag} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

4.4.1.3. SISTEMA DE PRÉ-FLOCULAÇÃO E FILTRAÇÃO

A instalação piloto dispunha de 3 unidades independentes, um deles para pré-floculação em fluxo ascendente e outros dois para filtração descendente.

Após a coagulação o efluente era encaminhado à unidade de pré-floculação, denominado Floculador de Pedras Ascendente (FPA), constituído de coluna de ferro com leito de brita nº 2, com taxa de aplicação, em sentido ascendente, de 120 m³/m².dia.

Da unidade de pré-floculação em meio granular, o efluente floculado era encaminhado ao Filtro Rápido Descendente I (FRD I) ou ao Filtro Rápido Descendente II (FRD II), ambos de dupla camada (antracito e areia). O FRD I, constituído de coluna de ferro, foi utilizado para avaliação de taxa de filtração de 120 m³/m².dia, e o FRD II, constituído de colunas de acrílico

sobrepostas com diâmetro inferior às colunas de ferro, foi utilizado nos ensaios cujo objetivo era avaliar filtração com taxa de $300 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. As características das unidades são apresentadas detalhadamente na Tabela 4.4 e ainda podem ser observadas na Figura 4.8.

Tabela 4.4 – Características das unidades de pré-floculação e filtração da instalação piloto

Unidade	Diâmetro interno (mm)	Meio granular	Tamanho dos grãos (mm)	Tamanho efetivo (mm)	CD ⁽¹⁾	Espessura da camada (cm)
Pré-Floculador	175	brita n° 2	25,0 a 12,5	14,0	1,5	190
Filtro descendente I	175	pedregulho (suporte)	25,4 a 3,2	-	-	35
Filtro descendente II	110	areia	1,2 a 0,45	0,5	< 1,65	25
		antracito	2,4 a 0,8	0,9 a 1,0	< 1,6	50

(1) CD : coeficiente de desuniformidade

O funcionamento dos filtros é caracterizado por carga hidráulica disponível variável e resistência variável, com taxa de filtração constante.

Ao longo das unidades de pré-floculação e filtração foram instaladas tomadas para medidas de pressão (Figura 4.9), conectadas a mangueiras transparentes para compor os quadros piezométricos devidamente graduados, permitindo, desta forma, avaliar o desenvolvimento da perda de carga devido a penetração de impurezas no meio granular dos filtros.

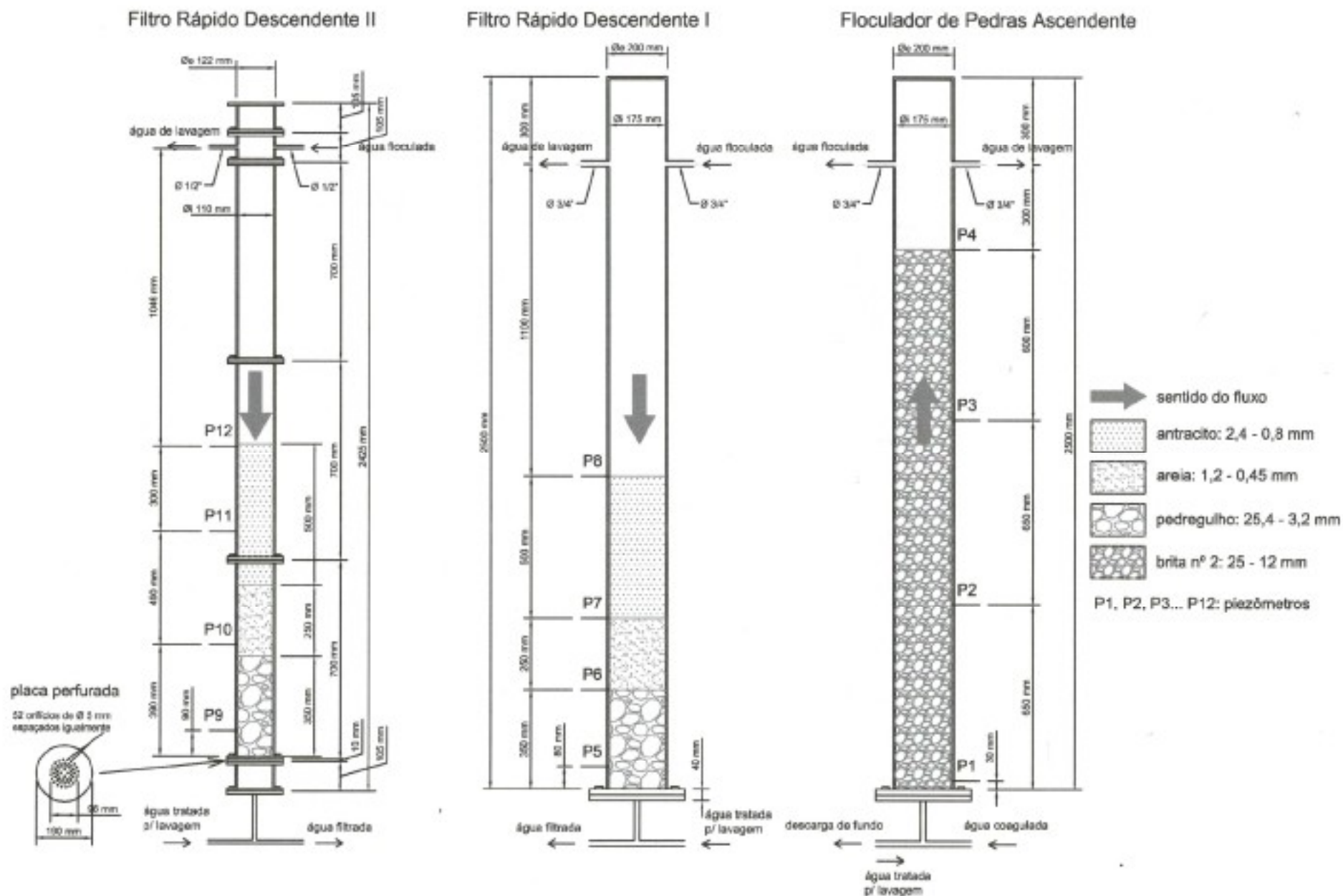


Figura 4.9 – Detalhes das unidades de floculação e filtração da instalação piloto

4.4.1.4. SISTEMA DE DESINFECÇÃO COM ULTRAVIOLETA

O sistema de desinfecção com radiação ultravioleta era constituído de reservatório de passagem, bomba submersa de aquário (marca SARCO Better, modelo 520) e reator UV.

O efluente filtrado era encaminhado para reservatório de passagem, de volume aproximado de 15 L, de onde era bombeado com vazão de aproximadamente 2 L/min para reator UV.

O reator UV utilizado neste trabalho foi construído no Laboratório de Saneamento da FEC–Unicamp. O reator era constituído por um corpo cilíndrico de vidro, com 40 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro interno contendo uma lâmpada de baixa pressão de mercúrio, com potência de vapor de 15 W, encerrada em uma camisa de quartzo (Figura 4.10). O volume útil do reator é de 300 mL e foi medido com auxílio de uma proveta e também calculado subtraindo o volume da lâmpada do volume total do reator. O reator ainda foi revestido externamente com cartolina preta para evitar a propagação da radiação UV para o ambiente (Figura 4.11).

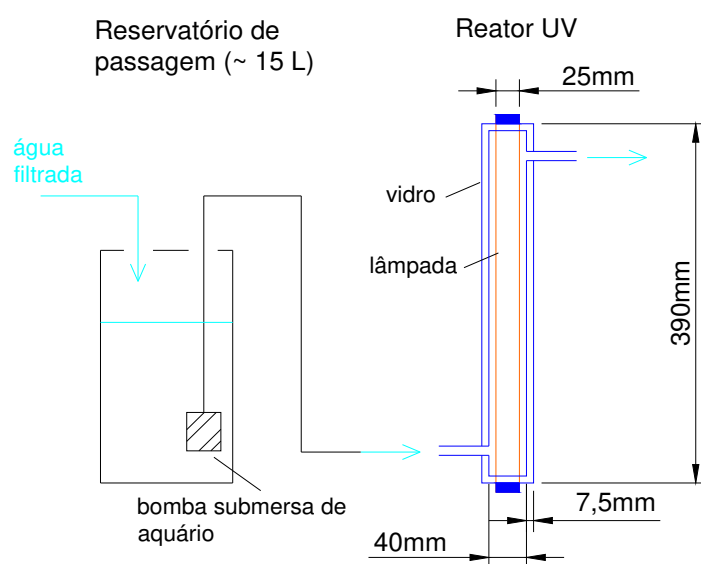


Figura 4.10 - Esquema do sistema de desinfecção com radiação ultravioleta



Figura 4.11 – Aparato para desinfecção com UV na instalação piloto

4.4.1.4.1. DETERMINAÇÃO DA DOSE DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

O cálculo da dose média de radiação ultravioleta foi estimado por meio das Equações 3.8 e 3.11. Para isso, foi necessário determinar a intensidade média de radiação emitida pela fonte, o coeficiente de absorção, assim como o tempo de exposição.

Para determinação da intensidade de radiação emitida pela fonte (I_0) foi utilizado um radiômetro Cole Parmer, modelo VLX3W, calibrado para comprimento de onda de 254 nm. Foram feitas medições de intensidade de radiação em 11 pontos distintos ao longo do comprimento da lâmpada (L), conforme pode ser visto na Tabela 4.5. A intensidade média emitida pela fonte (I_{0m}) é :

$$I_{0m} = \int_0^L I_0 . dL \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Foi verificado, então, que I_{0m} correspondia a 11,2 mW/ cm².

Tabela 4.5 – Determinação da intensidade média de radiação emitida pela lâmpada UV (I_{0m})

Pontos ao longo da lâmpada (cm)	I_{01} (mW/cm ²)	I_{02} (mW/cm ²)	I_{03} (mW/cm ²)	I_0 (mW/cm ²)	$\sigma^{(1)}$ (mW/cm ²)	dL	$I_0 \times dL$ (mW/cm ²)
0,5	1,00	0,94	0,99	0,98	0,031	1,00	0,031
3,0	8,51	9,40	9,43	9,11	0,523	3,25	1,699
5,5	12,22	12,28	12,17	12,22	0,055	3,75	0,207
10,5	12,28	12,41	12,23	12,31	0,093	5,00	0,465
15,5	12,42	12,34	12,31	12,36	0,057	5,00	0,284
20,5	12,48	12,37	12,29	12,38	0,095	5,00	0,477
25,5	12,44	12,42	12,38	12,41	0,031	5,00	0,153
30,5	12,33	12,43	12,27	12,34	0,081	5,00	0,404
35,5	11,94	11,55	11,20	11,56	0,370	3,75	1,388
38,0	9,12	9,05	8,86	9,01	0,135	3,25	0,437
40,5	0,58	0,56	0,52	0,55	0,031	1,00	0,031

$$I_{0m} = \Sigma I_0 \times dL = 11,19 \text{ mW/cm}^2$$

(1) σ : desvio padrão

O tempo de exposição (t) ou tempo de detenção hidráulico é função da vazão no sistema (Q) e do volume do reator (V_r), em média 2 L/min e 300 mL, respectivamente, portanto temos:

$$t = \frac{V_r}{Q} = 9s \quad (\text{Eq. 4.5})$$

O coeficiente de absorção (α) foi obtido com a determinação da absorbância do efluente filtrado no comprimento de onda de 254 nm. Para isso utilizou-se um espectrofotômetro da marca HACH, modelo DR-4000, cubetas de quartzo de 1 cm de caminho óptico e água destilada como branco.

No decorrer dos ensaios, as absorbâncias das amostras filtradas foram verificadas a cada 2 horas, e através das Equações 3.8 e 3.11 foram determinadas as dosagens médias de radiação UV aplicadas por ensaio. Foi observada, desta forma, uma dosagem média de 93,7 mWs/cm² durante a pesquisa em escala piloto.

4.4.1.5. SISTEMA DE LAVAGEM

O sistema de lavagem é composto por uma bomba do tipo submersa com capacidade de 20 L/min, reservatório de 250 L , alimentação por mangueira e tubulação de ¾" com registros de esfera e tubulação para desvio, além de tubulações para retorno da água de lavagem para a lagoa de aeração, como pode ser visto no esquema geral da instalação piloto apresentado na Figura 4.4.

No decorrer dos ensaios foram realizados testes com o objetivo de investigar métodos mais apropriados de execução de lavagens das unidades, definindo taxas de aplicação e limitando o grau de expansão do meio granular.

No FPA, após encerramento da carreira de filtração, foi realizada descarga de fundo, seguida de lavagem em sentido ascendente com taxa de, aproximadamente, 1200 m³/m².dia, durante 5 minutos. Embora em uma instalação em escala real a limpeza deste tipo de floculador seja feita, usualmente, apenas através de descarga de fundo, adotou-se esse procedimento de lavagem em sentido ascendente para garantir as mesmas condições iniciais entre um ensaio e outro, no que se refere à limpeza do meio granular.

A lavagem do FRD I foi realizada no sentido ascendente com uma taxa de, aproximadamente, 1200 m³/m².dia por 10 minutos. No FRD II, de diâmetro inferior, a lavagem também foi feita durante 10 minutos em sentido ascendente e a taxa de aplicação foi de, aproximadamente, 1500 m³/m².dia, sendo que metade da vazão da água de lavagem, o que corresponde a 10 L/min, foi desviada antes de atingir o filtro. A expansão do meio filtrante verificada visualmente durante a lavagem do FRD II, foi de 30 %.

As unidades foram lavadas com água tratada na instalação piloto e armazenada em reservatório. Ao observar a formação de biofilme e algas na instalação entre os primeiros ensaios, optou-se pela diluição de 2 L de solução comercial de hipoclorito de sódio (8 % de cloro ativo) no reservatório de água para lavagem. A lavagem foi complementada com água tratada, da rede de abastecimento de água, pois o volume do reservatório era inferior ao volume total (300 L) necessário para lavagem das unidades.

4.4.2. PRÉ-OPERAÇÃO

A fase de pré-operação correspondeu aos testes preliminares realizados na instalação piloto para ajustes operacionais e adequação da metodologia de ensaio, tais como estimar a duração da carreira de filtração, ajustar o método de lavagem das unidades e acompanhar as perdas de carga desenvolvidas no decorrer da carreira de filtração, entre outros.

Nesta fase foi utilizado o sulfato férrico como coagulante, sendo a dosagem de 10 mg/L e valor de pH em torno de 7,0, fixados com base nos resultados obtidos em escala de bancada.

O processo de filtração testado nesta fase foi desenvolvido somente no FRD I, pois ainda não se dispunha do FRD II, montado mais tarde.

Durante os testes preliminares, os parâmetros de qualidade avaliados foram: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, alcalinidade, OD e sólidos em suspensão. Foram avaliadas amostras de efluente secundário, e amostras coletadas entre as unidades do sistema piloto, nos pontos localizados após coagulação, após o FPA, após o FRD I e após reator UV.

4.4.3. PROGRAMAÇÃO DOS ENSAIOS

Após a conclusão dos testes preliminares, foram realizadas 3 séries de ensaios.

Na 1ª série foram realizados 8 ensaios (Ensaio I a VIII) para avaliação do desempenho do sistema de coagulação-floculação-filtração. O reator UV não foi utilizado nesta fase, pois os parâmetros microbiológicos ainda não eram avaliados, e conforme verificado nos testes preliminares não houve diferença, entre o efluente filtrado e pós-UV, para os parâmetros físico-químicos analisados. Foram comparados dois tipos de coagulante, sulfato férrico e sulfato de alumínio, e avaliados os parâmetros turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, alcalinidade,

sólidos em suspensão, absorvância a 254 nm e temperatura, além das perdas de carga desenvolvidas nos filtros durante os ensaios.

As condições de ensaio aplicadas na 1ª série são apresentadas na Tabela 4.6. As dosagens de coagulante e os valores de pH aplicados nesta fase referem-se àqueles definidos a partir dos resultados obtidos em escala de bancada, apresentados e discutidos mais adiante, no capítulo 5.

Tabela 4.6 – Descrição da 1ª série de ensaios quanto ao tipo de coagulante, condições de coagulação e taxa de aplicação hidráulica

Nº do Ensaio na 1ª série	Coagulante	Condições de coagulação		Taxa ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)	
		pH	dosagem ⁽¹⁾ (mg/L)	FPA ⁽²⁾	FRD ⁽³⁾
I	Sulfato Férrico	7,0	10	120	120
II		5,0	12,5		
III	Sulfato de Alumínio	7,0	10	120	120
IV		5,0	110		
V	Sulfato Férrico	7,0	12,5	120	300
VI		5,0	10		
VII	Sulfato de Alumínio	7,0	10	120	300
VIII		5,0	10		

(1) dosagem de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \times 5 \text{ H}_2\text{O}$ ou $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{ H}_2\text{O}$; (2) Floculador em Pedras Ascendente (FPA); (3) Filtro Rápido Descendente (FRD), FRD I ou FRD II

Com base nos resultados obtidos na 1ª série, relativos à duração da carreira de filtração e qualidade do efluente terciário, foram determinadas as condições de ensaio para a 2ª série. As condições são referentes ao tipo e dosagem de coagulante e taxa de filtração encontrados como mais adequados para realização de coagulação em valor de pH próximo de 5,0 e para pH em torno de 7,0, apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Descrição da 2ª série de ensaios quanto ao tipo de coagulante, condições de coagulação e taxa de aplicação hidráulica

Nº do Ensaio na 2ª série	Coagulante	Condições de coagulação		Taxa (m³/m².dia)	
		pH	dosagem ⁽¹⁾ (mg/L)	FPA ⁽²⁾	FRD ⁽³⁾
IX	Sulfato de Alumínio	7,0	10	120	300
X	Sulfato Férrico	5,0	12,5		

(1) dosagem de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \times 5 \text{ H}_2\text{O}$ ou $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{ H}_2\text{O}$; (2) Floculador em Pedras Ascendente (FPA); (3) Filtro Rápido Descendente II (FRD II)

Na 2ª. série de ensaios foi avaliada, além dos parâmetros avaliados na 1ª série, a eficiência na remoção de nutrientes e coliformes, e foi retomado o uso do reator UV para avaliação da eficiência de desinfecção na inativação de Coliformes Totais e *E. coli*.

A 3ª e última série foi realizada com o objetivo de avaliar a eficiência do processo de tratamento, principalmente, quanto a remoção de (oo)cistos de protozoários e remoção e inativação de ovos de helmintos, Coliformes Totais e *E. coli*. No intuito de melhor avaliar a eficiência do sistema proposto na remoção e/ou inativação de microorganismos patogênicos, nesta série foram realizadas 5 repetições de uma única condição aplicada na 2ª série, em função do custo das análises microbiológicas e do tempo disponível para sua execução. Foi utilizado o sulfato de alumínio na dosagem de 10 mg/L e pH de coagulação de 7,0, e taxas de 120 m³/m².dia e 300 m³/m².dia, no FPA e FRD II, respectivamente. Adotou-se esta condição já que o ajuste de pH em instalação real de tratamento terciário corresponderia a custo adicional com produtos químicos para baixar o pH na etapa de coagulação (acidificante) e elevar o pH do efluente (basificante) no final do processo para disponibilização para reúso.

Durante a realização dos ensaios da 3ª série, a duração de carreira foi interrompida com 2 horas e 30 minutos, pois foi verificado nas séries anteriores que a partir deste momento não havia alteração significativa na qualidade do efluente produzido na instalação, já que o encerramento das carreiras sempre se dava em função da perda de carga limite. Para avaliação dos parâmetros microbiológicos, coletou-se amostra do efluente filtrado após 30 min do início da carreira de filtração, e amostras dos efluentes secundário, filtrado e desinfetado após 2 horas e 30 minutos.

Os ensaios durante a pesquisa em escala piloto foram realizados semanalmente, ou seja, a cada semana foi aplicada na instalação piloto uma das condições citadas para 1ª, 2ª e 3ª séries.

4.4.4. PARÂMETROS DE CONTROLE

No decorrer dos ensaios foram avaliadas amostras coletadas em 4 pontos distintos:

- ponto de coleta A : tubulação de entrada da instalação piloto;
- ponto de coleta B: saída do pré-floculador ascendente;
- ponto de coleta C: saída do filtros;
- ponto de coleta D: saída do reator UV.

Os parâmetros de controle aplicados na 1ª e 2ª séries de ensaios e suas respectivas frequências são apresentados na Tabela 4.8. A determinação desses parâmetros seguiu os métodos citados anteriormente nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Nos ensaios da 1ª série a turbidez foi determinada a cada 10 minutos na primeira hora, a fim de melhor avaliar o período de amadurecimento do filtro. A partir daí, esse parâmetro foi determinado a cada 30 minutos, frequência utilizada na 2ª série de ensaios. A amostragem no ponto de coleta D não foi realizada na 1ª série de ensaios, pois nesta fase não foi utilizado o reator UV. A avaliação da quantidade de sólidos em suspensão de amostras do ponto de coleta B também só feita na 1ª série de ensaios.

Tabela 4.8 – Frequência de análises e pontos de amostragem na 1ª e 2ª séries de ensaios

Parâmetro	Frequência	Pontos de amostragem
Turbidez	10 min na 1ª. hora, depois 30 min (na 1ª série) 30 min (na 2ª série)	A, B, C, D ⁽¹⁾
Cor aparente	30 min	A, B, C, D ⁽¹⁾
Cor verdadeira	2 horas	A, C ⁽²⁾ , D ⁽¹⁾
pH	30 min	A, B, C, D ⁽¹⁾
Alcalinidade	2 horas	A, C ⁽²⁾ , D ⁽¹⁾
Absorbância a 254 nm	2 horas	C
Sólidos em Suspensão	2 horas	A, B ⁽³⁾ , C, D ⁽¹⁾
DBO	2 horas (somente na 2ª. série)	A, D
DQO	2 horas (somente na 2ª. série)	A, D
P - PO ₄ ⁻³	2 horas (somente na 2ª série)	A, D
NTK	2 horas (somente na 2ª série)	A, D
N - NH ₃	2 horas (somente na 2ª. série)	A, D
N - NO ₃ ⁻	2 horas (somente na 2ª série)	A, D
Coliformes Totais	2 horas(somente na 2ª série)	A, C, D
<i>E. coli</i>	2 horas(somente na 2ª série)	A, C, D

(1) coleta no ponto D somente nos ensaios da 2ª série; (2) coleta no ponto C somente nos ensaios da 1ª série; (3) coleta no ponto B somente na 1ª série.

Os parâmetros de controle e as respectivas frequências aplicadas nos ensaios da 3ª série são apresentados na Tabela 4.9. A cada ensaio, os parâmetros microbiológicos foram determinados para apenas uma amostra do ponto de coleta A e do ponto de coleta D, coletadas no encerramento da carreira de filtração, com 2 horas e 30 minutos. Para o ponto de coleta C, foram coletadas amostras em dois momentos, 30 minutos após início da carreira de filtração e no encerramento, juntamente com amostras do ponto A e D.

Foi coletado um volume de amostra suficiente para execução dos procedimentos de detecção de ovos de helmintos, cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.*, correspondente a um total de 3 L de efluente secundário, sendo 2 L destinados à pesquisa de cistos e oocistos e 1 L para o método de detecção de helmintos; de 4 L de efluente filtrado destinado à pesquisa de cistos e oocistos e 1 L de efluente pós-UV à pesquisa de helmintos. Estes volumes foram coletados em galões limpos e tratados com solução de eluição, conforme descrito no Anexo B.

Tabela 4.9 – Frequência de análises e pontos de amostragem na 3ª série de ensaios

Parâmetro	Frequência	Pontos de amostragem
Turbidez	30 min	A, B, C, D
Cor aparente	30 min	A, B, C, D
pH	30 min	A, B, C, D
Absorbância a 254 nm	2/carreira (com 30 minutos e com 2h e 30 min)	C
Coliformes Totais	1/carreira	A, C ⁽¹⁾ , D
<i>E. coli</i>	1/carreira	A, C ⁽¹⁾ , D
<i>Cryptosporidium spp.</i>	1/carreira	A, C ⁽¹⁾ , D
<i>Giardia spp.</i>	1/carreira	A, C ⁽¹⁾ , D
Ovos de helmintos	1/carreira	A, D

(1)coletadas 2 amostras no ponto C por carreira, 30 minutos após início da carreira de filtração e no encerramento com 2 horas e 30 minutos.

Nos ensaios da 1ª, 2ª e 3ª séries foram realizadas ainda leituras dos níveis nos piezômetros instalados no FPA, FRD I e FRD II para avaliação das perdas de carga desenvolvidas durante as carreiras de filtração. As leituras foram feitas em intervalos de 10 minutos na primeira hora e em seguida a cada 30 minutos nos ensaios da 1ª série, e a cada 30 minutos nos ensaios da 2ª e 3ª séries.

4.4.5. OPERAÇÃO

A partida na instalação piloto era dada com as unidades de pré-floculação e filtração secas. O fluxo era desviado dos filtros, passando somente pelo pré-floculador até o ajuste da vazão para 2 L/min. Neste momento era aberta a entrada para o filtro, e quando o nível de água em seu interior atingia o nível de saída, 15 cm acima do leito filtrante, começava a contagem do tempo de duração da carreira de filtração e as primeiras leituras nos piezômetros eram realizadas depois de 10 min.

A instalação piloto era operada durante cerca de 6 horas diárias (exceto na 3ª série, com 2 horas e 30 minutos) havendo interrupção durante o período noturno, até o encerramento da carreira de filtração. A interrupção se deu pelo fato da instalação piloto estar localizada em área afastada e com problemas de segurança. Além disso, o laboratório da ETE Samambaia onde foram realizadas as análises só estava disponível em horário comercial.

O encerramento de cada ensaio foi determinado quando constatado que o valor de perda de carga era igual à máxima carga hidráulica disponível nos filtros FRDI e FRDII, equivalente a 60 cm e 70 cm, respectivamente, como pode ser visto na Figura 4.4, ou valores de turbidez superiores a um valor máximo admissível de 2 NTU - exigência praticada no estado da Califórnia/Estados Unidos (USEPA,1992) para águas de reúso em meio urbano.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE SECUNDÁRIO

Durante a realização da pesquisa, de outubro/2003 a julho/2005, o efluente secundário apresentou as seguintes características:

- Turbidez: 2,7 a 16,6 NTU, sendo que 80 % das amostras apresentaram valores entre 4 e 7 NTU;
- Cor aparente: 53 a 220 mg PtCo/L, sendo 80 % das amostras apresentaram valores de 75 a 95 mg PtCo/L;
- pH: 7,1 a 7,7;
- Alcalinidade: 36 a 232 mg CaCO₃/L, sendo 90 % das amostras apresentaram valores inferiores a 120;
- Sólidos em Suspensão Totais: 3 a 28 mg/L;
- Coliformes totais: $6,6 \cdot 10^4$ a $1,1 \cdot 10^7$ NMP/100 mL;
- *E. coli* : $2,0 \cdot 10^3$ a $1,4 \cdot 10^6$ NMP/100 mL

5.2. ESCALA DE BANCADA

Foram realizados um total de 180 ensaios, 90 para cada tipo de coagulante, sulfato de alumínio (SA) e sulfato férrico (SF), que forneceram os conjuntos de dados utilizados na construção dos gráficos das Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, que representam a remoção de turbidez e cor aparente na faixa de dosagem de 2,5 mg/L a 15 mg/L e valores de pH na faixa de 4,0 a 7,5.

Conforme pode ser verificado na Figura 5.1, a remoção de turbidez obtida quando aplicado sulfato de alumínio variou de 50 a 82 %, enquanto que para sulfato férrico este valor esteve entre 43 e 92% (Figura 5.2). Durante os ensaios com SA a turbidez do efluente secundário esteve na faixa de 3,8 a 5,1 NTU e nos ensaios com SF esta variou de 4,1 a 6,0 NTU.

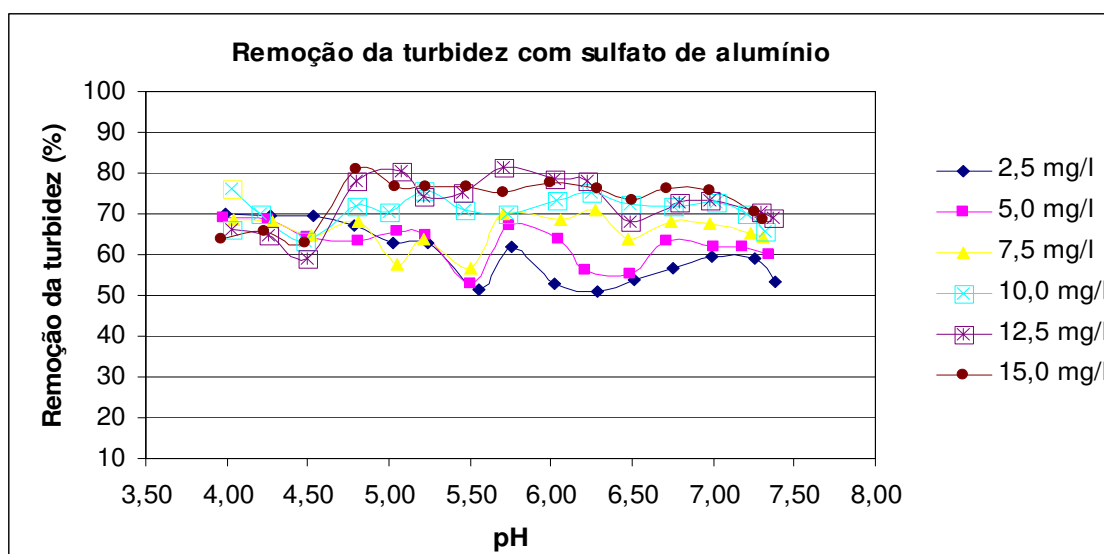


Figura 5.1 – Remoção de turbidez em função de valores de pH e dosagem de sulfato de alumínio obtida nos ensaios de coagulação-floculação-filtração realizados em bancada.

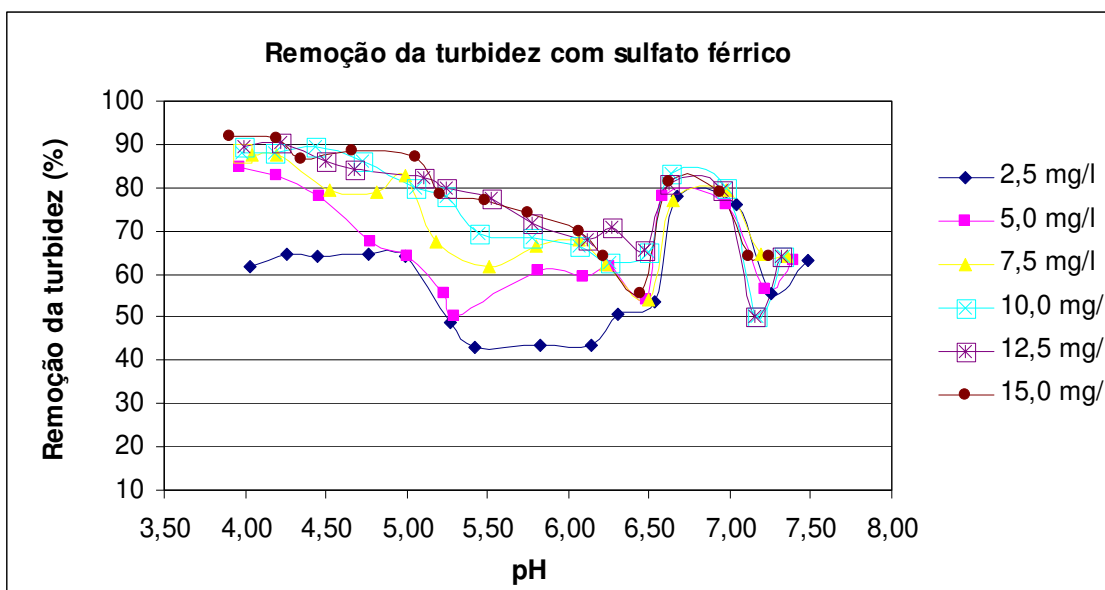


Figura 5.2 – Remoção de turbidez em função de valores de pH e dosagem de sulfato férrico obtida nos ensaios de coagulação-floculação filtração realizados em bancada.

Pode ser observado, ainda, que a remoção de cor aparente foi sempre inferior à remoção de turbidez no uso de ambos os coagulantes. Com o uso do SA, foram obtidas remoções de cor aparente entre 19 a 62%, e com SF este valor ficou entre 25 e 75% (Figuras 5.3 e 5.4).

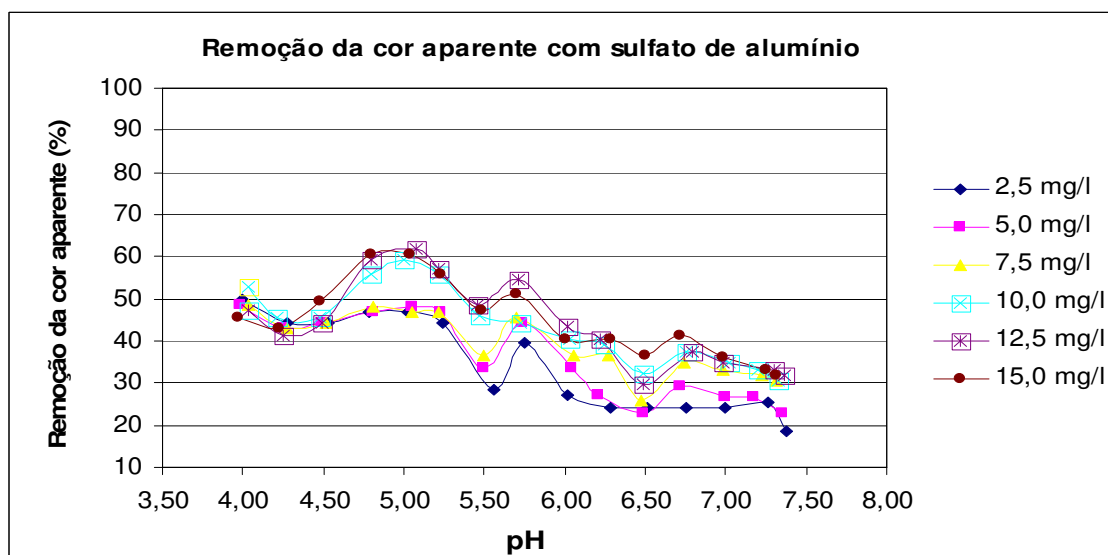


Figura 5.3 – Remoção de cor aparente em função de valores de pH e dosagem de sulfato de alumínio obtida nos ensaios de coagulação-floculação filtração realizados em bancada

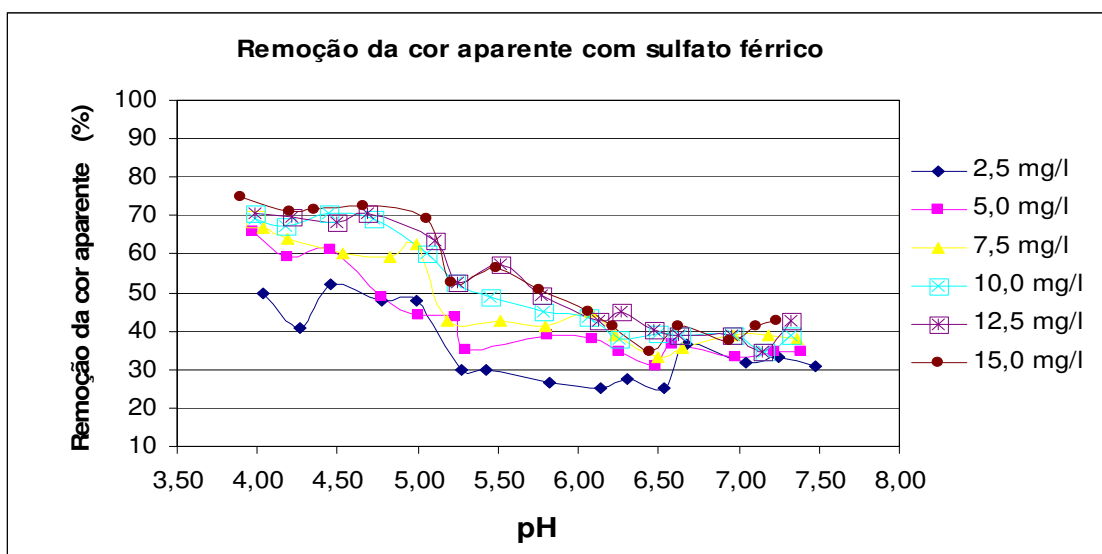


Figura 5.4 – Remoção de cor aparente em função de valores de pH e dosagem de sulfato férrico obtida nos ensaios de coagulação-floculação filtração realizados em bancada

Os valores de cor aparente do efluente secundário nos ensaios com SA estiveram na faixa de 70 a 88 mg PtCo/L, assim como nos ensaios com SF, em que foram observados valores de 72 a 88 mg PtCo/L.

Com base nos gráficos das Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, foram escolhidas as condições para cada coagulante que foram repetidas e avaliadas segundo um número maior de parâmetros, como remoção de sólidos, nutrientes, DBO, DQO e coliformes (Tabela 5.1).

Nos ensaios com SA verificou-se que os melhores resultados para remoção de turbidez foram correspondentes às dosagens de 10 mg/L e superiores, na faixa de 70 a 80 %, obtidos para valores de pH de 4,75 a 7,5. Observou-se também que, com estas mesmas dosagens, a remoção de cor aparente (Figura 5.3) atingiu valores maiores que aqueles para dosagens inferiores. A remoção decresceu com o aumento do pH, apresentando, porém, uma melhora somente em pH em torno de 5,0. Optou-se, portanto, repetir os ensaios com a dosagem de 10 mg/L de SA, uma vez que é a menor dentre as três dosagens com as quais foram obtidos os melhores resultados, o que representaria economia quanto ao uso de coagulante no processo de tratamento proposto. Apesar de terem sido verificados melhores resultados em termos de remoção de cor aparente em valores de pH baixos, próximos de 5,0, compatível com valores citados na literatura para coagulação no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, optou-se em repetir o ensaio de

jarros tanto para o pH em torno de 5,0, como para 7,0, com o intuito de avaliar a eficiência da dosagem de SA escolhida em valor de pH mais elevado, próximo do pH do efluente secundário, que esteve situado na faixa de 6,8 a 7,5, onde não haveria necessidade de se utilizar ácidos para ajuste do pH no início do processo de tratamento, o que aumentaria o custo operacional.

Quando foi utilizado o sulfato férrico (SF) como coagulante nos ensaios em aparelho de jarros, verificou-se maior eficiência na remoção de turbidez e cor aparente para valores de pH baixos, na faixa de 4,0 a 5,0 (Figuras 5.2 e 5.4), compatível com os valores apresentados na literatura para coagulação no mecanismo de adsorção e neutralização com o uso de cloreto férrico. Como pode ser observado na Figura 5.4 a remoção de cor aparente seguiu decrescente para valores de pH maiores que 5,0, enquanto que na remoção de turbidez (Figura 5.2), a eficiência caiu levemente até valor de pH próximo de 5,0 e de forma mais acentuada até 6,5, a partir do qual ocorreu uma melhora significativa e em seguida reduziu novamente em pH próximo de 7,5. Nesta faixa de pH, de 6,5 a 7,5, a dosagem aparentemente não influenciou na eficiência. Por isso, optou-se por repetir os ensaios para valor de pH em torno de 7,0, para dosagens de 2,5 mg/L e 10 mg/L.

Ainda para SF, optou-se repetir os ensaios em valor de pH próximo de 5,0, em que tanto a remoção de turbidez como a remoção de cor aparente foram elevadas. Foram repetidas as dosagens de 7,5 mg/L e 12,5 mg/L, uma vez que com dosagens inferiores a 7,5 mg/L de SF os resultados foram visivelmente piores, e para dosagens maiores que esta os resultados foram semelhantes, principalmente quando observadas as dosagens de 12,5 e 15 mg/L de SF, o que levou à escolha da menor delas por questão de eventual economia de coagulante no processo de tratamento, caso se verificasse ser esta a melhor condição.

Comparando ainda os resultados para ambos coagulantes, verificou-se que tanto para remoção de turbidez como para remoção de cor aparente, com dosagens iguais ou superiores a 10 mg/L e valor de pH inferior a 5,0, faixa indicada na literatura como predominante para o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, os resultados foram melhores para o SF em relação àqueles encontrados para o SA.

As condições repetidas nos ensaios em aparelho de jarros para avaliação de outros parâmetros, além de turbidez e cor aparente, estão resumidas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Condições de dosagem de coagulante e valor de pH adotadas para a repetição de ensaios em aparelho de jarros

coagulante	dosagem de coagulante (mg/L)	pH
Sulfato de Alumínio	10	5,0
	10	7,0
Sulfato Férrico	2,5	7,0
	10	7,0
	7,5	5,0
	12,5	5,0

Com base nos resultados adicionais (anexo C) obtidos nos ensaios de coagulação realizados nas condições indicadas na Tabela 5.1, adotou-se para o sulfato férrico, em função da maior eficiência de remoção de turbidez, fósforo(P), Sólidos em Suspensão Totais, Sólidos em Suspensão Voláteis e coliformes, dosagens de 12,5 mg/L e 10 mg/L para valores de pH de 5,0 e 7,0, respectivamente.

5.3. ESCALA PILOTO

5.3.1. TESTES PRELIMINARES

Os testes preliminares, com dosagem de 10 mg/L de sulfato férrico e valores de pH em torno de 7,0, serviram para ajustes operacionais e adequação da metodologia de ensaio, como estimar a duração da carreira de filtração, ajustar o método de lavagem das unidades e acompanhar as perdas de cargas desenvolvidas no decorrer da carreira de filtração, entre outros.

Como pode ser visto na Figura 5.5, onde é apresentada a variação da perda de carga nas unidades da instalação piloto em função do tempo de operação a carreira de filtração foi encerrada quando a perda de carga total no FRD I atingiu valores em torno de 45 cm. Apesar de grandes intervalos de tempo sem leitura das alturas piezométricas, em função da perda de dados durante a execução do ensaio e outros fatores, foi possível verificar que não havia necessidade desta ser efetuada a cada 10 minutos, pois neste intervalo de tempo não houve mudanças significativas. Ainda pode ser observado que, em todos os testes preliminares, após interrupção da filtração no período noturno havia um salto expressivo na perda de carga total do FRD I, atribuído à sedimentação, no topo da camada superior, das partículas suspensas no efluente que permaneceu no interior do filtro para continuidade da operação no dia seguinte (Figuras 5.5, 5.6 e 5.7). As carreiras de filtração se estenderam por 12,5 horas, 11,7 horas e 14 horas nos testes preliminares I, II e III, respectivamente.

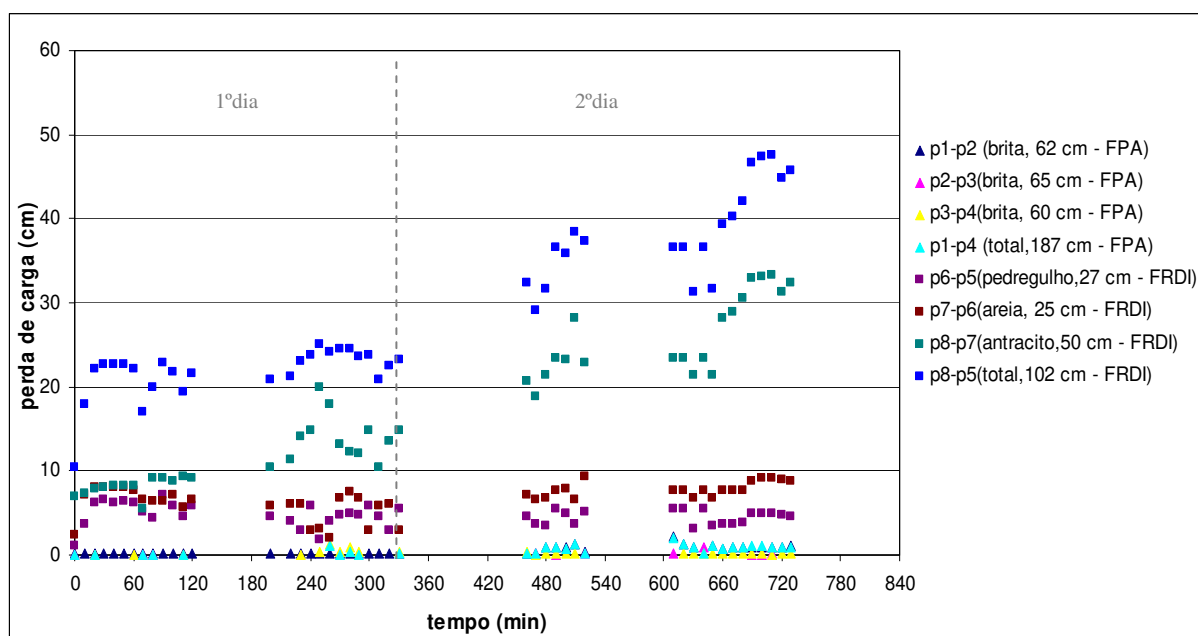


Figura 5.5 – Teste preliminar I : Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação.

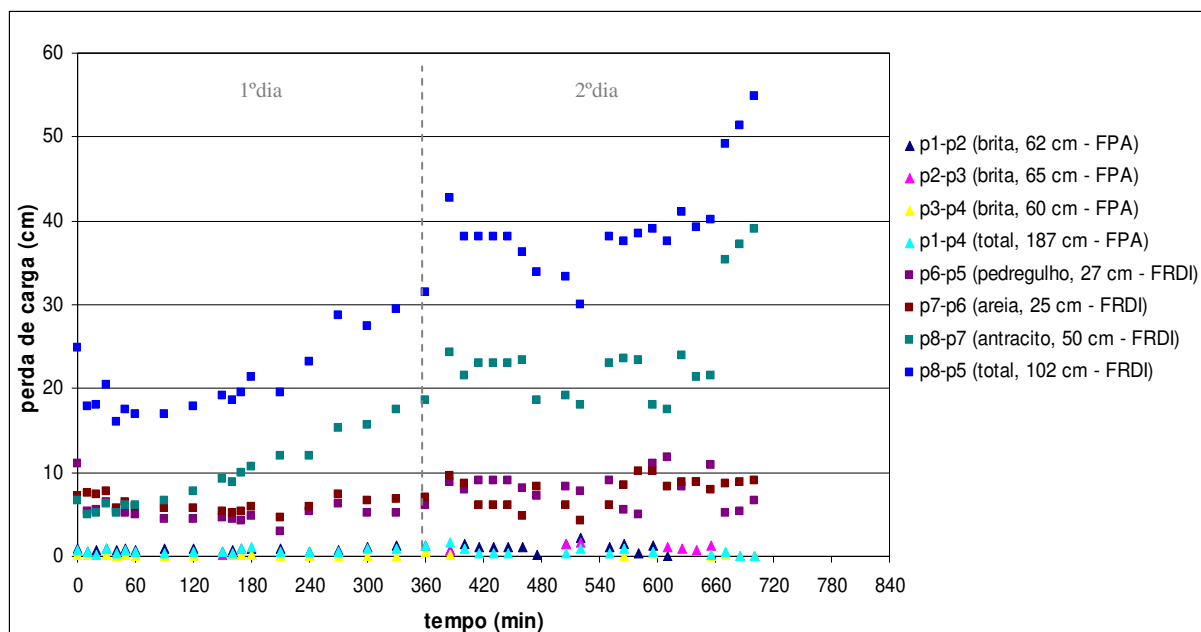


Figura 5.6 – Teste preliminar II : Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação.

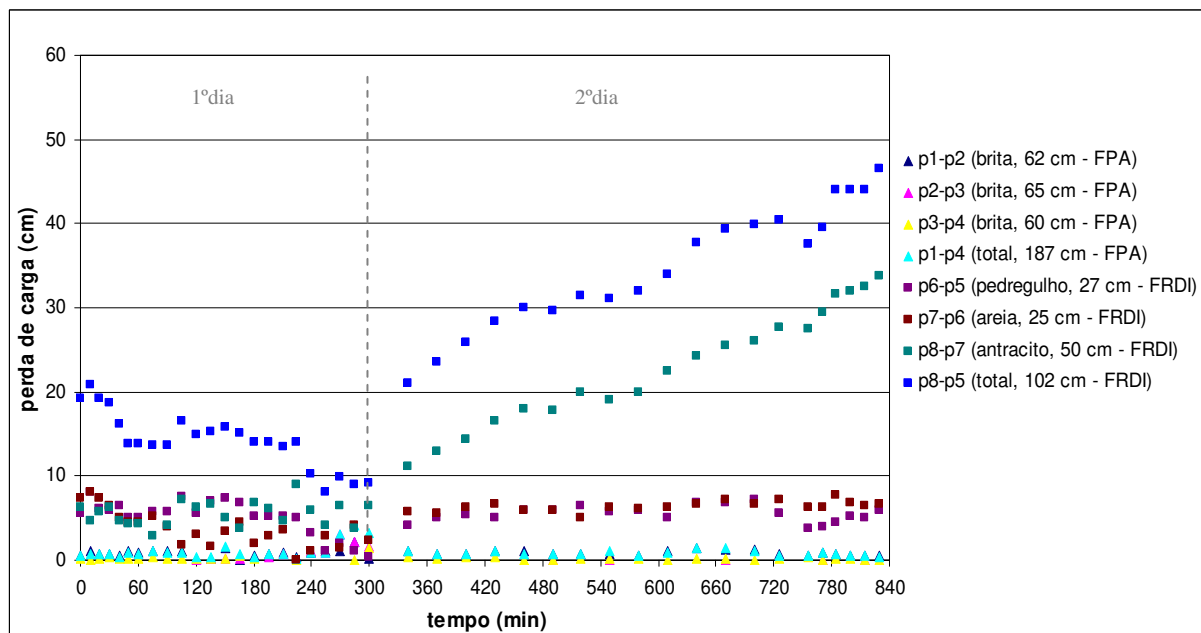


Figura 5.7 – Teste preliminar III: Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação.

Com a análise da evolução das perdas de carga verificou-se que o FPA funcionou conforme previsto, não havendo alteração nas pressões medidas nos piezômetros e, portanto, não retraindo quantidade significativa de impurezas em seu meio granular. Já no FRD I verificou-se

que as perdas de carga na camada suporte de pedregulho e na camada de areia praticamente não se alteraram, ou se alteraram muito pouco quando comparadas àquelas desenvolvidas na camada superior de antracito. Isto significa que a camada de antracito é que reteve as impurezas e levou ao aumento total da perda de carga na unidade filtrante.

As diminuições nas pressões verificadas no início das carreiras de filtração (Figura 5.6 e 5.7), durante a primeira hora, são provavelmente devido a eliminação do ar presente no interior do filtro que estava inicialmente com seu leito seco, além de interferência causada pela coleta de amostras no intervalo de 10 min, o que fez com que o filtro não tivesse tempo suficiente para se reestabelecer e aumentar o nível d'água.

Nos testes preliminares II e III, ainda foram realizadas leituras em intervalos de 10 minutos, alterados para 30 min e posteriormente para 15 minutos (Anexo E). Com base nos resultados obtidos, optou-se por efetuar as leituras no quadro piezométrico a cada 10 min na primeira hora e a partir daí a cada 30 min.

O efluente secundário, no decorrer do Teste I, apresentou valores de turbidez entre 3,5 e 5,2 NTU, cor aparente entre 80 e 97 mg PtCo/L, cor verdadeira entre 49 e 53 mg PtCo/L, alcalinidade entre 82 e 104 mg CaCO₃/L e valor de pH na faixa de 6,9 a 7,2. A qualidade do efluente secundário e do efluente tratado, obtida no Teste I, o qual não foi submetido à radiação UV, com relação a valores de turbidez e cor aparente é representada nos gráficos das Figuras 5.8 e 5.9.

Os resultados dos parâmetros avaliados durante os testes preliminares I, II e III estão no anexo D.

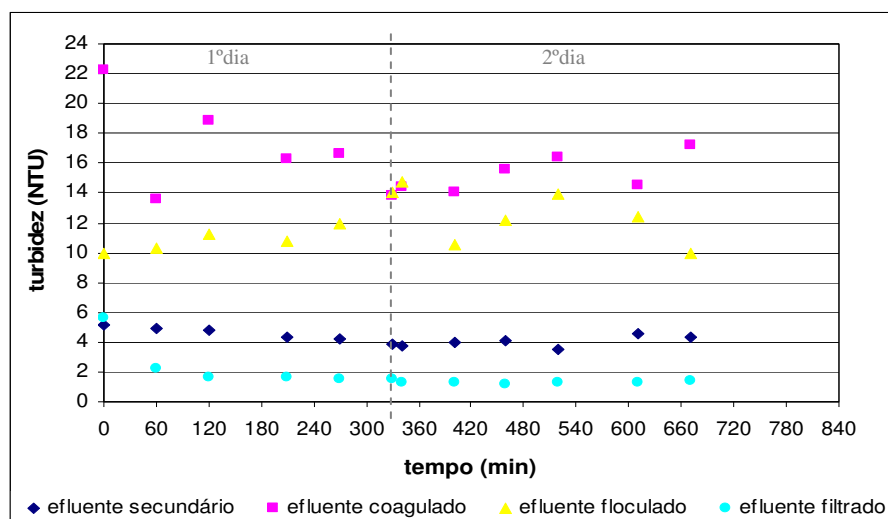


Figura 5.8 – Teste preliminar I : Variação da turbidez em função do tempo de operação.

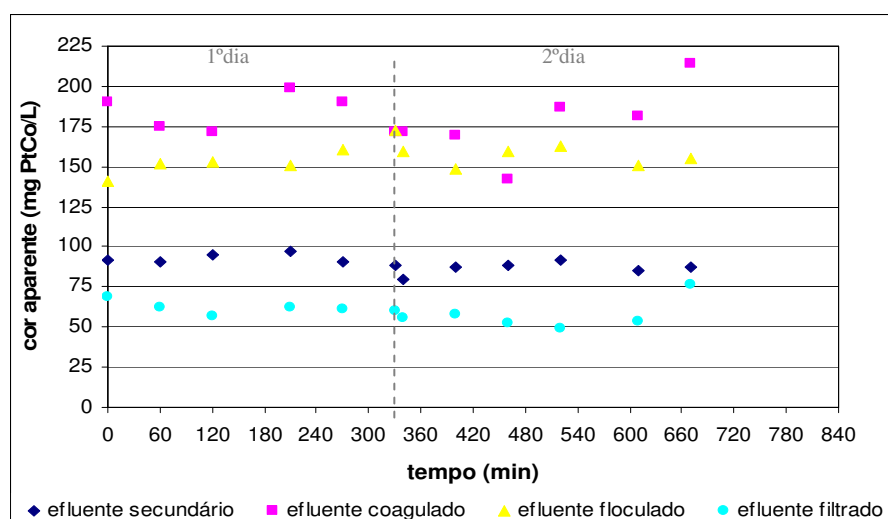


Figura 5.9 – Teste preliminar I : Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

Observou-se que a turbidez do efluente filtrado (Figura 5.8) atingiu após a primeira hora, e manteve ao longo do ensaio, valores inferiores a 2 NTU, que estiveram na faixa de 1,18 NTU a 1,62 NTU. A carreira de filtração foi encerrada pelo critério de perda de carga limite, não atingindo o período de transpasse ou carreamento de sólidos no filtro, no qual ocorre a piora da qualidade do efluente filtrado. Durante o Teste I a cor aparente do efluente filtrado manteve-se entre 50 e 60 mg PtCo/L (Figura 5.9), a cor verdadeira entre 36 e 49 mg PtCo/L, alcalinidade entre 78 e 92 mg CaCO₃/L e o pH na faixa de 6,3 e 7,2. As remoções verificadas para turbidez, cor aparente e cor verdadeira foram de 53 a 71 %, 13 a 47 % e 4 a 29 %, respectivamente.

No Teste II, o efluente secundário apresentou qualidade um pouco inferior quando comparado ao Teste I, principalmente quanto a valores de turbidez que estiveram entre 4,8 e 7,0 NTU (Figura 5.10). Provavelmente, o efeito dessa variação da qualidade do efluente secundário na coagulação química fez com que a qualidade do efluente filtrado e desinfectado não atingisse os valores esperados, isto é, valores de turbidez inferiores a 2 NTU.

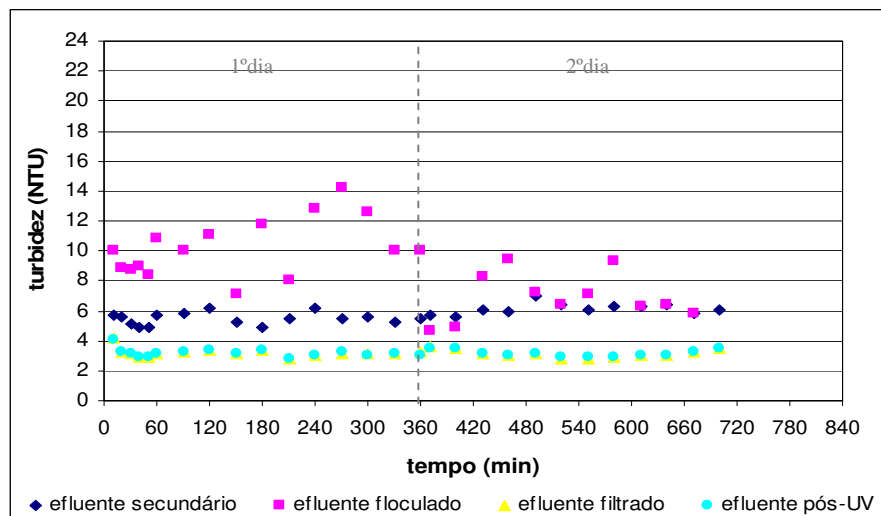


Figura 5.10 – Teste preliminar II: Variação da turbidez em função do tempo de operação.

O efluente secundário, durante o teste II, apresentou ainda cor aparente entre 87 e 104 mg PtCo/L (Figura 5.11), cor verdadeira entre 41 e 47 mg PtCo/L, alcalinidade entre 114 e 126 mg CaCO₃/L e pH na faixa de 7,1 e 7,4. Também foram avaliados parâmetros adicionais, como Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV), apresentando, respectivamente, os valores de 5 a 9 mg/L e 5 a 8 mg/L. As porcentagens de remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira, foram de 29 a 55 %, 24 a 38 % e 4 a 16 % respectivamente, inferiores aquelas obtidas no Teste I. A remoção de SST observada foi de 18 a 100 %.

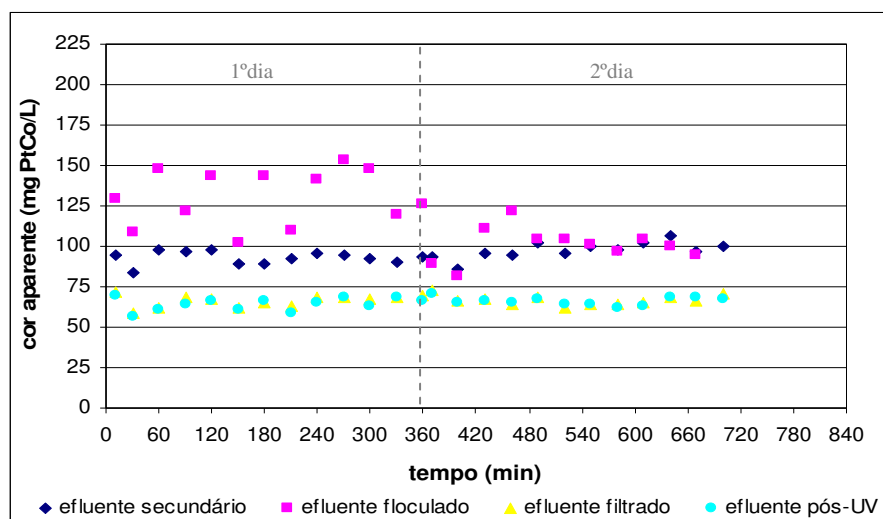


Figura 5.11 – Teste preliminar II: Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

Durante a realização do Teste III a qualidade do efluente secundário permaneceu dentro dos limites esperados, apresentando turbidez entre 2,8 e 6,6 NTU (Figura 5.12), cor aparente de 66 a 98 mg PtCo/L (Figura 5.13), cor verdadeira de 40 a 45 mg PtCo/L, alcalinidade entre 104 e 144 mg CaCO₃/L e valores de pH na faixa de 6,8 e 7,1. Os parâmetros adicionais, SST e SSV no efluente secundário permaneceram entre 2,5 e 13 mg/L e 2 e 11 mg/L, respectivamente.

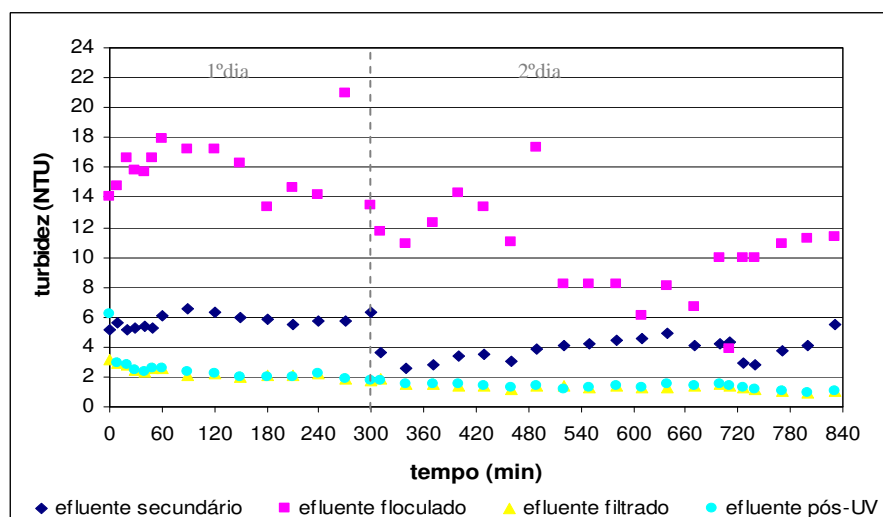


Figura 5.12 – Teste preliminar III :Variação da turbidez em função do tempo de operação.

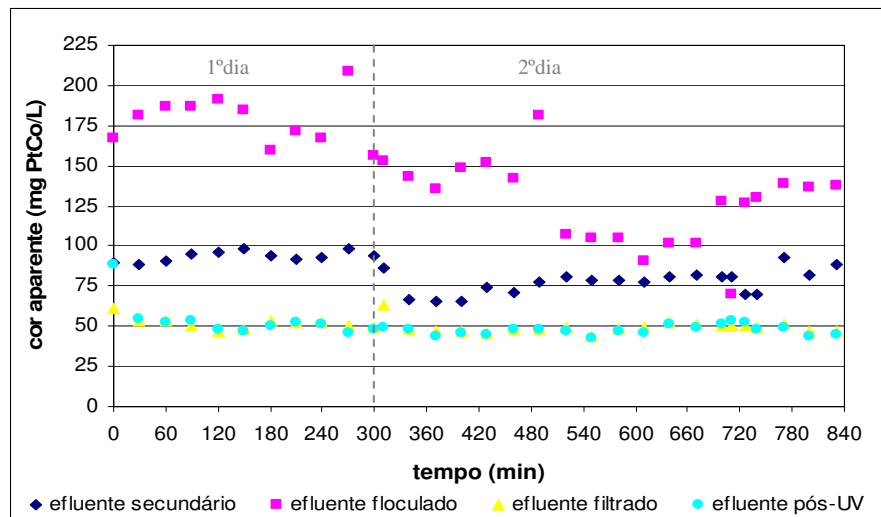


Figura 5.13 – Teste preliminar III :Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

No Teste III observou-se grande melhora da qualidade do efluente filtrado e desinfetado em relação ao teste anterior, novamente atingindo valores de turbidez inferiores a 2 NTU após 2 horas e meia de operação (Figura 5.12). A cor aparente do efluente filtrado permaneceu entre 43 e 55 mg PtCo/L (Figura 5.13), enquanto a cor verdadeira entre 36 e 40 mg PtCo/L, a alcalinidade manteve-se no mesmo intervalo do efluente secundário, entre 104 e 144 mg CaCO_3/L e o pH manteve-se na faixa de 6,8 a 7,2. Os valores de SST e SSV estiveram na mesma faixa, desde não detectável (ND) até 3 mg/L. As remoções verificadas foram de 41 a 81% para turbidez, de 26 a 53 % para cor aparente, de 8 a 16 % para cor verdadeira e de 50 a 100 % para SST.

Analisando os gráficos nos quais foram apresentadas as variações da turbidez e cor aparente ao longo da carreira de filtração dos Testes II e III (Figuras 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13), assim como os valores obtidos para outros parâmetros (anexo D), como cor verdadeira, SST e SSV, observou-se que a radiação UV aplicada à água filtrada não alterou suas características físico-químicas determinadas pelos parâmetros avaliados naquele momento da pesquisa. Desta forma, houve a exclusão temporária da etapa de desinfecção por radiação UV da água filtrada, que foi retomada na 2ª série, quando foram iniciadas as análises de parâmetros microbiológicos.

Após a conclusão dos testes preliminares, a máxima carga hidráulica disponível (CHD) no FRD I foi aumentada em 10 cm com o objetivo de prolongar um pouco mais a duração das carreiras de filtração, já que elas foram encerradas pelo critério da perda de carga limite no filtro.

No entanto, a CHD de 60 cm continuou muito inferior às aplicadas em unidades de filtração direta em escala piloto e em escala real, em torno de 2 m, o que dificultou a comparação dos resultados aqui encontrados com os de outros trabalhos em relação às durações das carreiras de filtração.

5.3.2. 1ª SÉRIE

As condições determinadas em escala de bancada, quanto à dosagem de coagulante e valor de pH, e as taxas de aplicação que foram utilizadas nos ensaios da 1ª série estão na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Condições de dosagem de coagulante, valor de pH e taxas de aplicação dos ensaios da 1ª série.

ensaio	coagulante	dosagem de coagulante (mg/L)	pH	taxa de aplicação (m ³ /m ² .dia)	
				FPA	FRD ⁽¹⁾
I	Sulfato Férrico	10	7,0	120	120
II	Sulfato Férrico	12,5	5,0	120	120
III	Sulfato de Alumínio	10	7,0	120	120
IV	Sulfato de Alumínio	10	5,0	120	120
V	Sulfato Férrico	10	7,0	120	300
VI	Sulfato Férrico	12,5	5,0	120	300
VII	Sulfato de Alumínio	10	7,0	120	300
VIII	Sulfato de Alumínio	10	5,0	120	300

(1)FRD I para os ensaios I, II, III e IV; e FRD II para os ensaios V, VI, VII e VIII.

Nos gráficos das Figuras 5.14, 5.15, 5.16 e 5.17 são apresentadas as curvas de desenvolvimento das perdas de carga ao longo do tempo de operação dos ensaios I, II, III e IV, em que foi empregada taxa de filtração no FRD I de 120 m³/m².dia. A duração da carreira de filtração nos ensaios I, II, III e IV foi, respectivamente, de 23, 16, 12 e 18 horas, sendo que todas elas foram encerradas em função do alcance da carga hidráulica máxima disponível no FRD I, não havendo piora na qualidade do efluente filtrado.

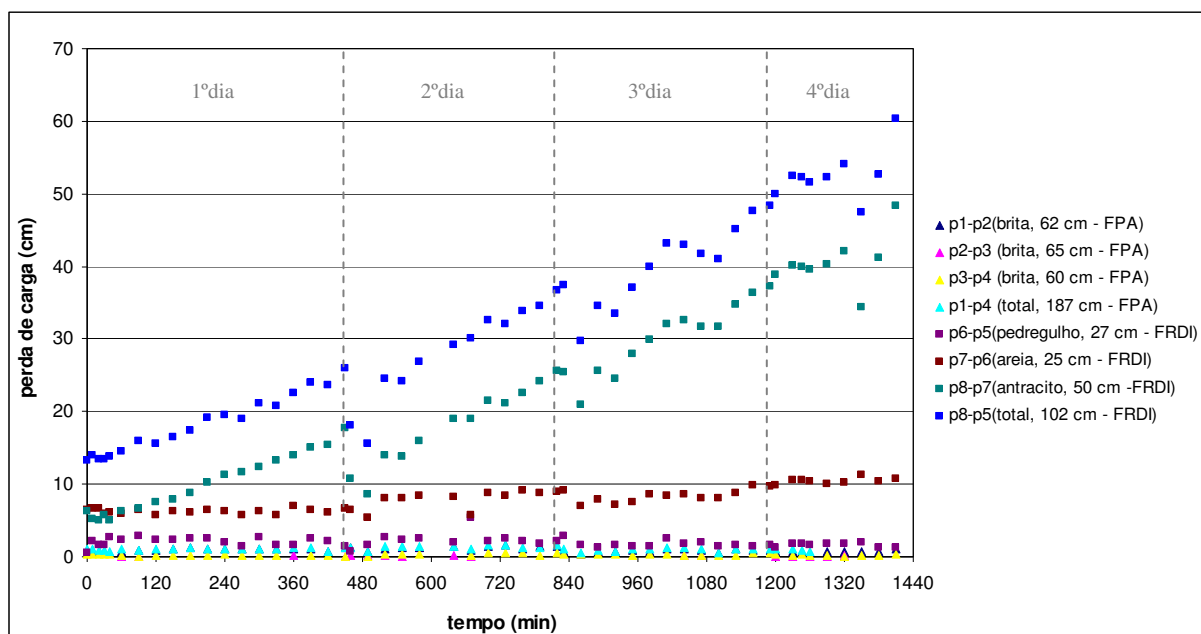


Figura 5.14 – Ensaio I – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação.

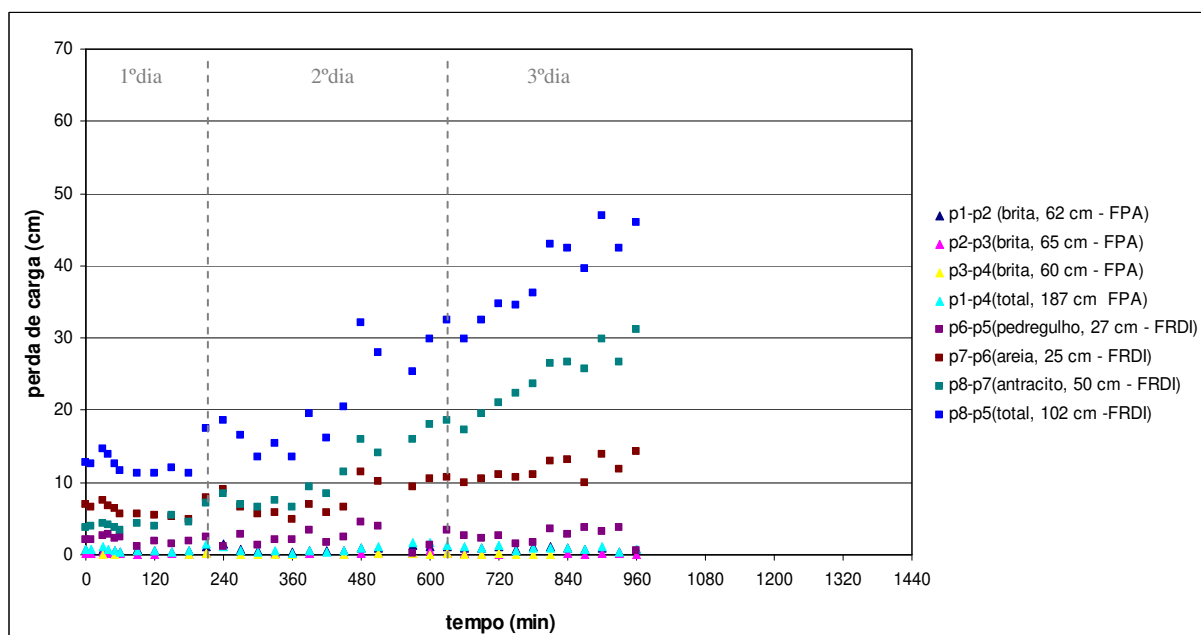


Figura 5.15 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação.

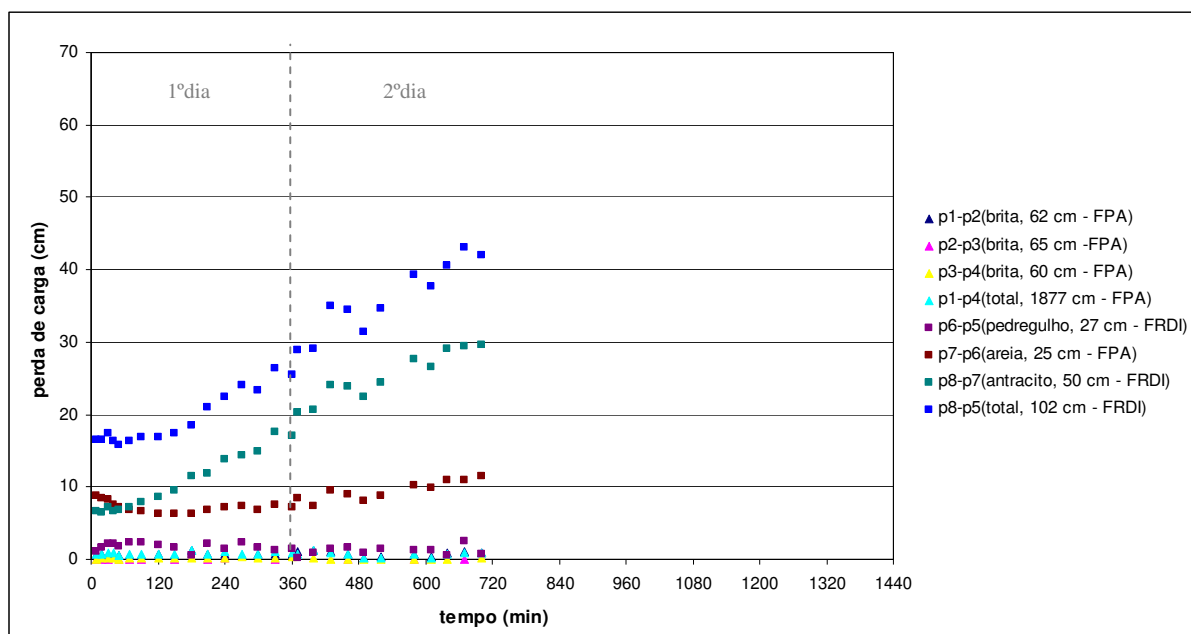


Figura 5.16 – Ensaio III – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação.

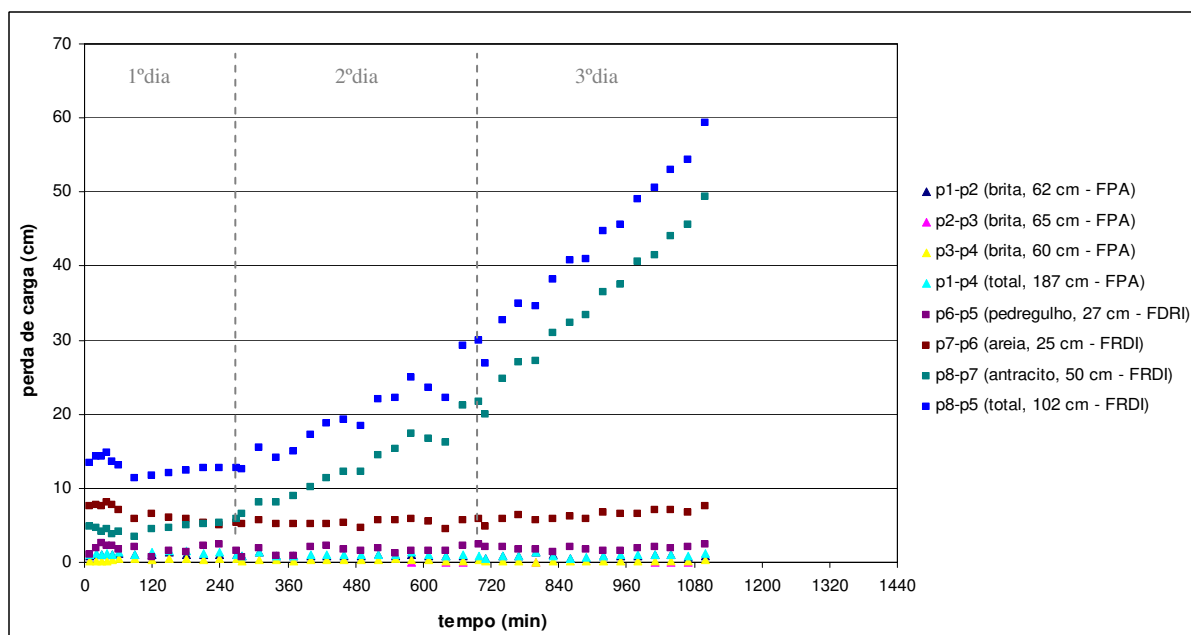


Figura 5.17 – Ensaio IV – 1ª série (10mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD I ao longo do tempo de operação.

Observou-se, nestes ensaios, que 67,6 a 83,1% da perda de carga total no filtro foi causada pela camada superior (antracito) com 50 cm de espessura, enquanto a camada inferior (areia) foi responsável por 12,8 a 30,4% da perda de carga total, e a camada suporte (pedregulho)

por apenas 1,9 a 4,1%. Isto indica que a filtração não foi realizada como desejável, isto é, por ação de profundidade, e que, portanto, para pesquisas posteriores a granulometria e as espessuras das camadas do filtro para a taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ devem ser revistas.

Nos ensaios II e III, verificaram-se alturas piezométricas no FRD I maiores desde o início da operação, conforme resultados apresentados no anexo G. Uma vez que as perdas de carga nas camadas filtrante e suporte foram similares entre os ensaios II e III e os demais, para esta taxa de filtração, atribuiu-se este aumento na perda de carga total do sistema a alguma interferência na tubulação de saída de efluente filtrado. Não se conseguiu, no entanto, identificar e eliminar o problema, o que fez com que tais ensaios tivessem a duração reduzida de suas carreiras de filtração.

As oscilações vistas nos gráficos de perda de carga em função do tempo, das Figuras 5.14 a 5.17, foram atribuídas à oscilação da vazão afluente ao sistema, parâmetro no qual se encontrou grandes dificuldades no controle. A alimentação do sistema a partir de reservatório de nível constante eliminaria tal problema.

Comparando o desenvolvimento das perdas de carga após 700 minutos de filtração – aproximadamente 12 horas – observa-se que nos ensaios I e II a perda de carga total atinge valores próximos de 35 cm e, nos ensaios III e IV, de 40 cm e 30 cm, respectivamente.

Nos gráficos da Figuras 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21 são apresentados os resultados dos ensaios com sulfato férrico (ensaios I e II), referentes à variação da turbidez e da cor aparente em função do tempo de operação.

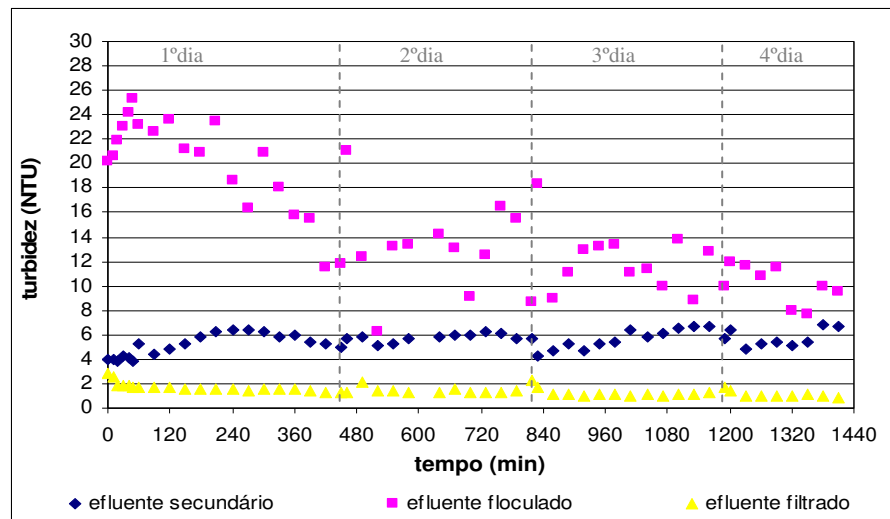


Figura 5.18 – Ensaio I – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

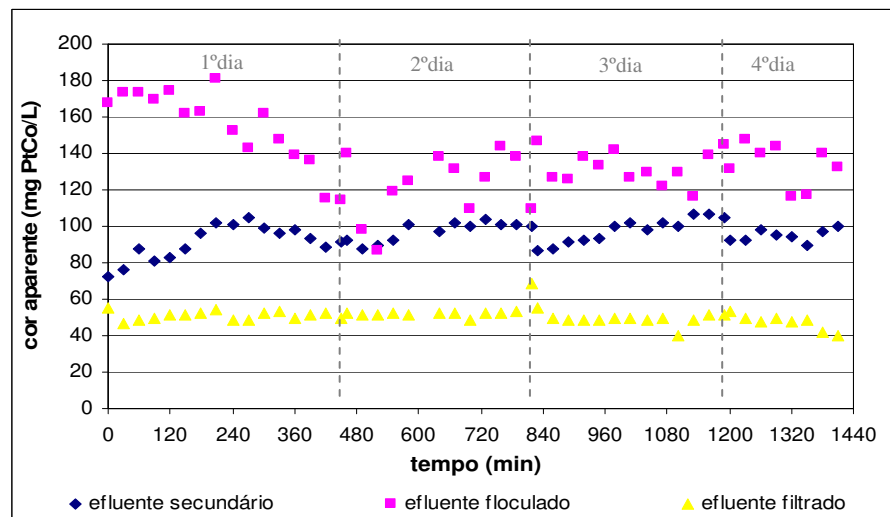


Figura 5.19 – Ensaio I – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

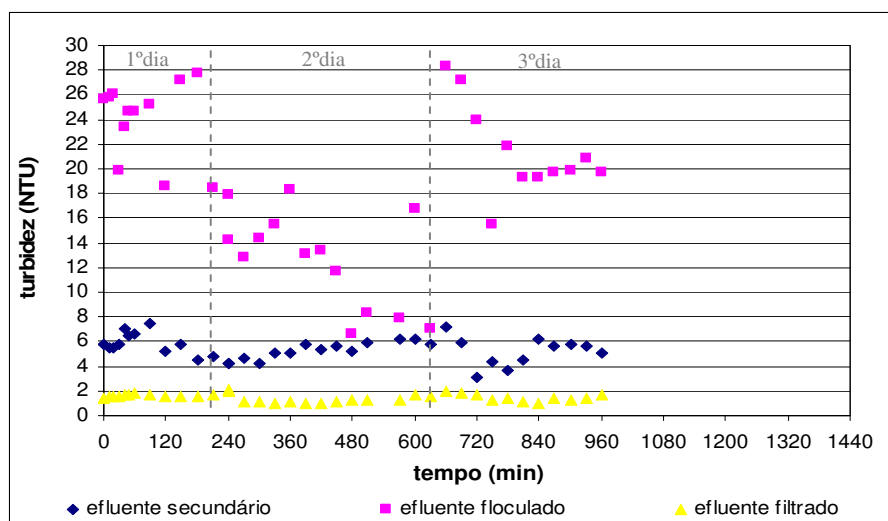


Figura 5.20 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

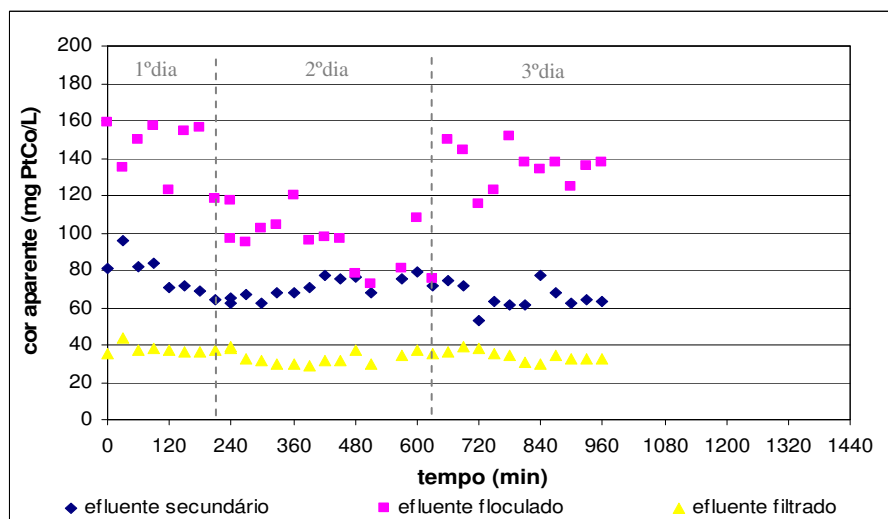


Figura 5.21 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

Durante o ensaio I, a turbidez do efluente secundário esteve na faixa de 3,8 a 6,9 NTU, e no ensaio II variou de 3,2 a 7,5 NTU, enquanto a cor aparente variou entre 72 e 107 mg PtCo/L no ensaio I e entre 53 e 96 mg PtCo/L no ensaio II. Observou-se que, para ambos os ensaios, os valores de turbidez do efluente filtrado foi inferior a 2 NTU.

Os valores de pH, no ensaio I, variaram entre 7,0 e 7,3 no efluente secundário e de 6,9 a 7,4 no efluente filtrado. Já no ensaio II, no qual se pretendia ter valores de pH de coagulação próximo a 5,0, no efluente secundário foram constatados valores de pH na faixa de 6,6 e 6,9 , enquanto no efluente floculado variou entre 5,3 e 6,5. Houve dificuldade para manter o pH de coagulação próximo de 5,0 (Figura 5.22), este foi verificado e ajustado a cada 1 hora.

As remoções atingidas em termos de turbidez para os ensaios I e II foram, respectivamente, 73 e 72 %, e para cor aparente foi de 46 e 50 %. Verificou-se que para as condições aplicadas no ensaio I os resultados foram mais próximos dos determinados em escala de bancada, em que foram obtidas remoções de 80 e 40 %, para turbidez e cor aparente, respectivamente. Já para as condições do ensaio II os resultados foram inferiores aos esperados, pois o correspondente em escala de bancada resultou em 87 % de remoção de turbidez e 70 % de cor aparente.

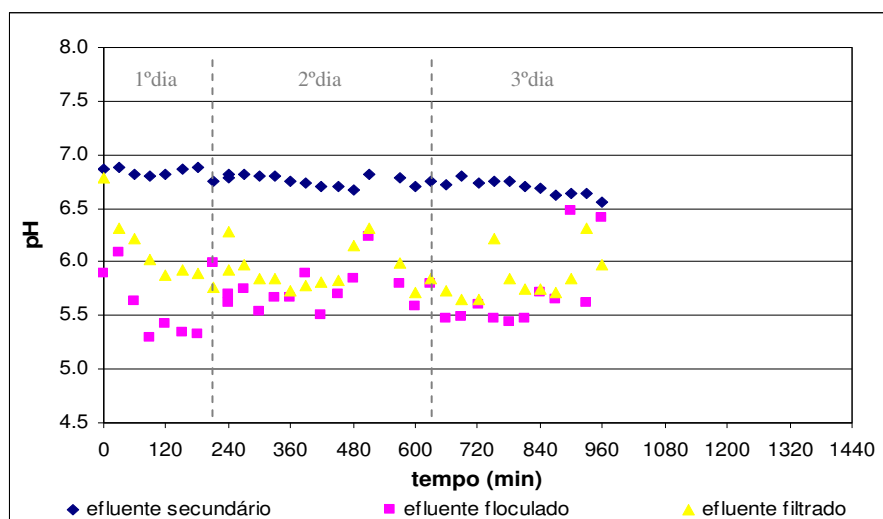


Figura 5.22 – Ensaio II – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação.

Para outros parâmetros avaliados, cujos resultados são apresentados no anexo F e encontram-se resumidos na Tabela 5.3, foram observadas remoções médias de 14 e 21 % para cor verdadeira nos ensaios I e II, respectivamente, e ainda 80 e 69 % para SST.

Os resultados obtidos nos ensaios com sulfato de alumínio (ensaios III e IV), quanto aos parâmetros turbidez e cor aparente são apresentados nos gráficos das Figuras 5.23, 5.24, 5.25

5.26. Observou-se que a turbidez do efluente secundário variou na faixa de 3,0 a 10,6 NTU no ensaio III e de 3,2 a 8,0 no ensaio IV, e a cor aparente ficou entre 71 e 136 mg PtCo/L e entre 67 e 107 mg PtCo/L, respectivamente.

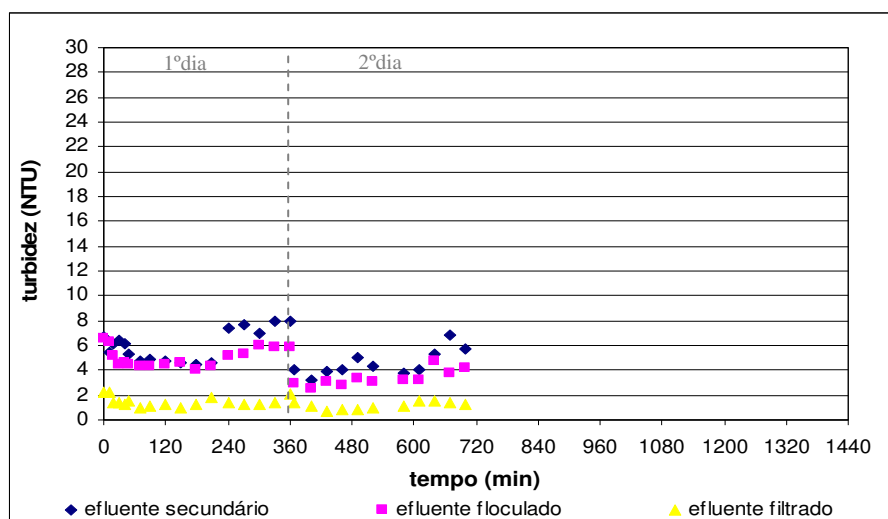


Figura 5.23 – Ensaio III – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

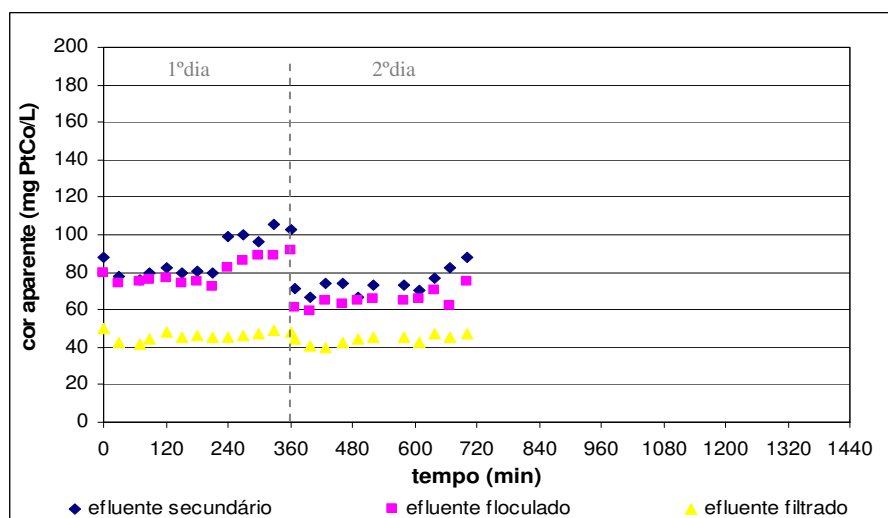


Figura 5.24 – Ensaio III – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

No ensaio III foram verificadas remoções médias de 75 % para turbidez e 44 % para cor aparente, compatíveis com os resultados obtidos em escala de bancada para as mesmas

condições, com remoção de 73 % de turbidez e 35 % de cor aparente. As remoções médias obtidas, neste ensaio, de cor verdadeira e de SST foram, respectivamente, 15 e 80 %.

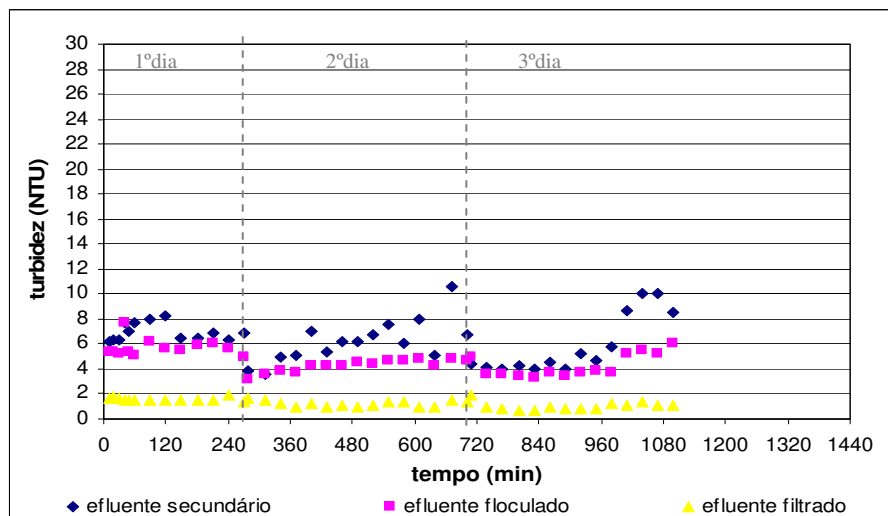


Figura 5.25 – Ensaio IV – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

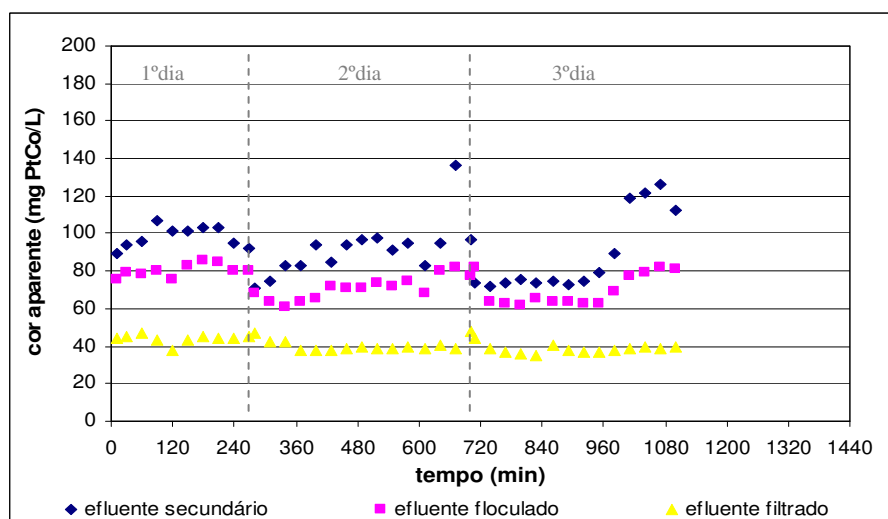


Figura 5.26 – Ensaio IV – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

Nos ensaios III e IV, o efluente filtrado produzido também atendeu a qualidade mínima exigida pela USEPA quanto a valores de turbidez, se mantendo sempre inferiores a 2 NTU.

A remoção média de turbidez obtida no ensaio IV foi de 79 %, enquanto de cor aparente foi de 55 %, também próximas das encontradas em escala de bancada, de 70 e 60%, respectivamente. Este fato reforça a aplicabilidade do filtro de laboratório em papel (FLP) para simular em escala de bancada o processo de filtração direta. As remoções médias de cor verdadeira e SST para este ensaio foram, respectivamente, 22 e 80%.

Assim como no ensaio II, durante a execução do ensaio IV houve dificuldade em manter o valor de pH de coagulação em torno de 5,0, podendo ser observada na Figura 5.27 uma grande variação dos valores de pH da água floculada em função do tempo de operação.

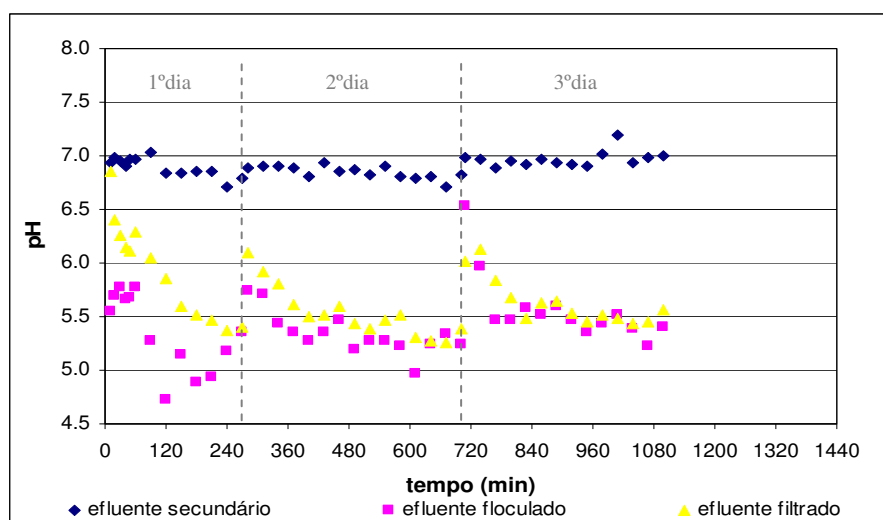


Figura 5.27 – Ensaio IV – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação.

Nas Figuras 5.28, 5.29, 5.30 e 5.31 são apresentadas as perdas de carga desenvolvidas ao longo dos ensaios V, VI, VII e VIII, nos quais as taxas de filtração foram de 300 m³/m².dia, no FRD II. A duração das carreiras de filtração foi de, aproximadamente, 10 horas nos ensaios V e VIII, 12 horas no ensaio VI e 9 horas no ensaio VII, todos eles encerrados pelo critério da perda de carga máxima admissível no filtro.

Nestes ensaios realizados no FRD II foi observado que 59,7 a 66,6 % da perda de carga total no filtro foram ocasionadas pela camada superior do filtro, composta de 30 cm de antracito, enquanto a camada intermediária com 40 cm de espessura, sendo 19 cm de antracito e 21 cm de areia, foi responsável por 33 a 40 % da perda de carga total, e a camada inferior com 4 cm de

areia e 26 cm de pedregulho, por apenas 0,3 a 0,9 %. Vale ressaltar que estes resultados não podem ser comparados diretamente com aqueles encontrados nos ensaios de I a IV realizados no FRD I, pois os piezômetros estavam distribuídos ao longo dos filtros em alturas diferentes. Enquanto no FRD I as tomadas de pressão estavam localizadas na transição de um meio filtrante a outro, no FRD II, eles foram colocados em pontos já existentes nas colunas utilizadas para sua construção, que, infelizmente, não coincidiam com a altura de cada camada do leito filtrante. Este aspecto pode ser observado na Figura 4.8.

Embora a parcela de contribuição para perda de carga total da camada intermediária tenha sido significativa, isto não indicou que a filtração, neste filtro, tenha ocorrido de forma mais distribuída ao longo da profundidade do meio filtrante, pois na mesma não houve acréscimo de perda de carga ao longo do ensaio. Ou seja, a retenção de impurezas ocorreu principalmente na camada superior (30 cm de antracito).

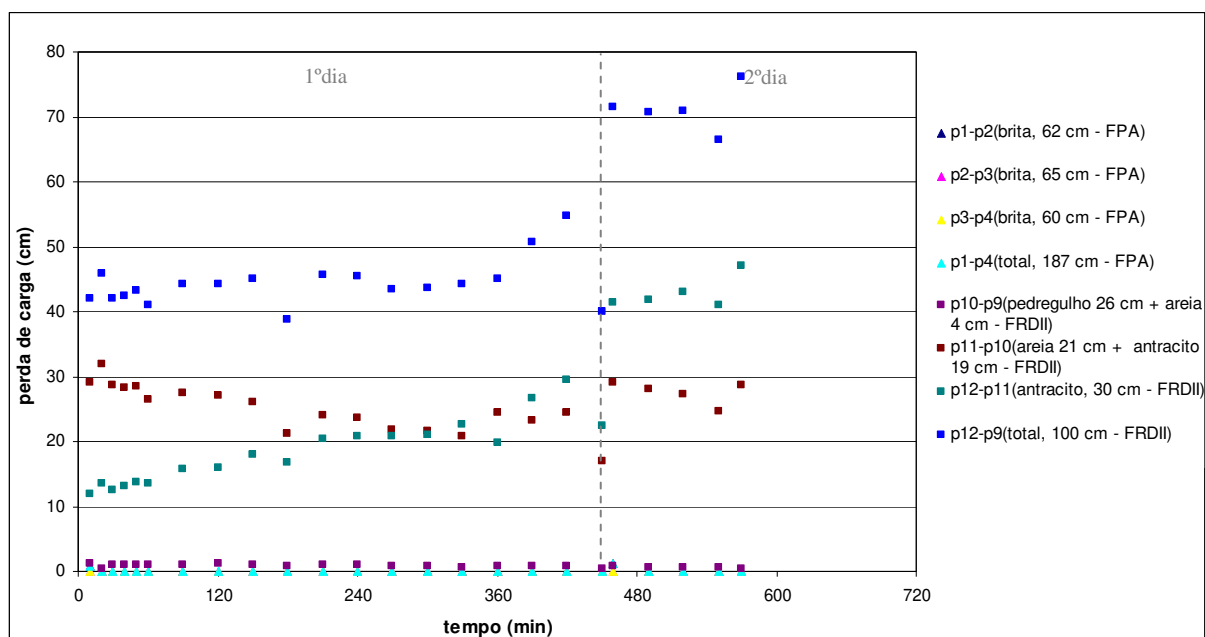


Figura 5.28 – Ensaio V – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação.

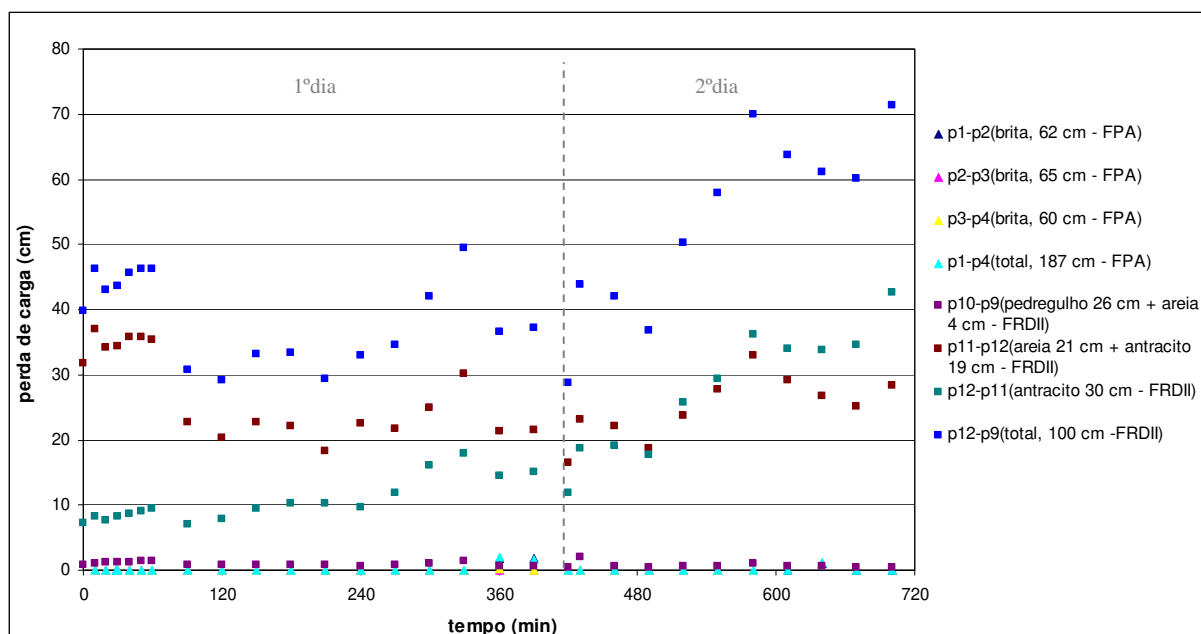


Figura 5.29 – Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação.

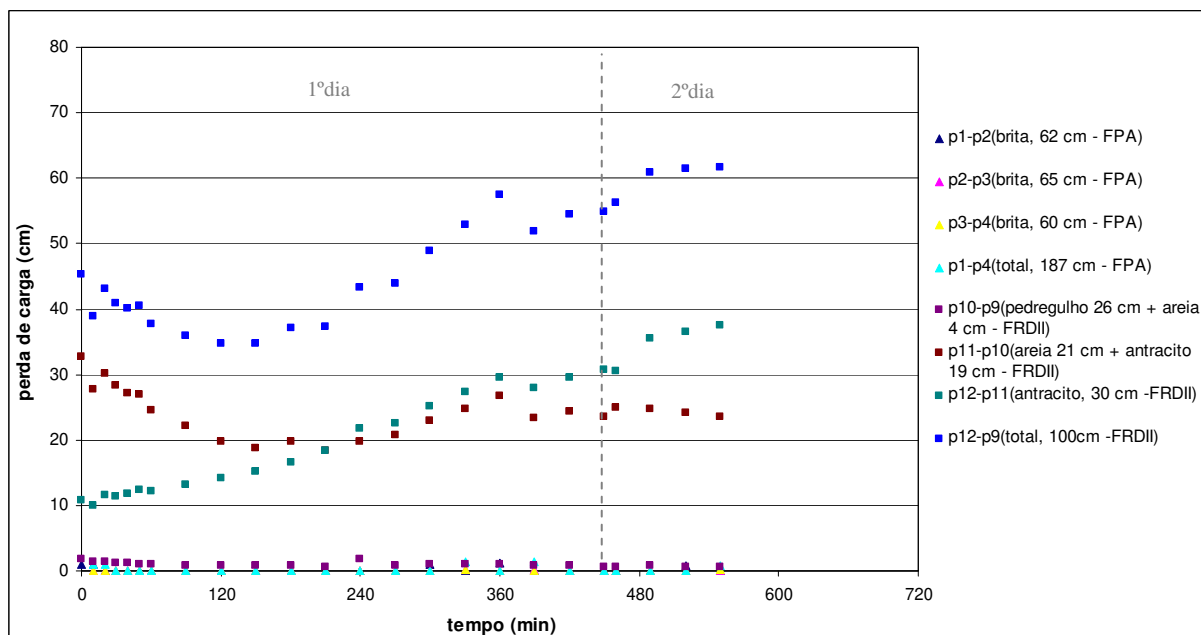


Figura 5.30 – Ensaio VII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação.

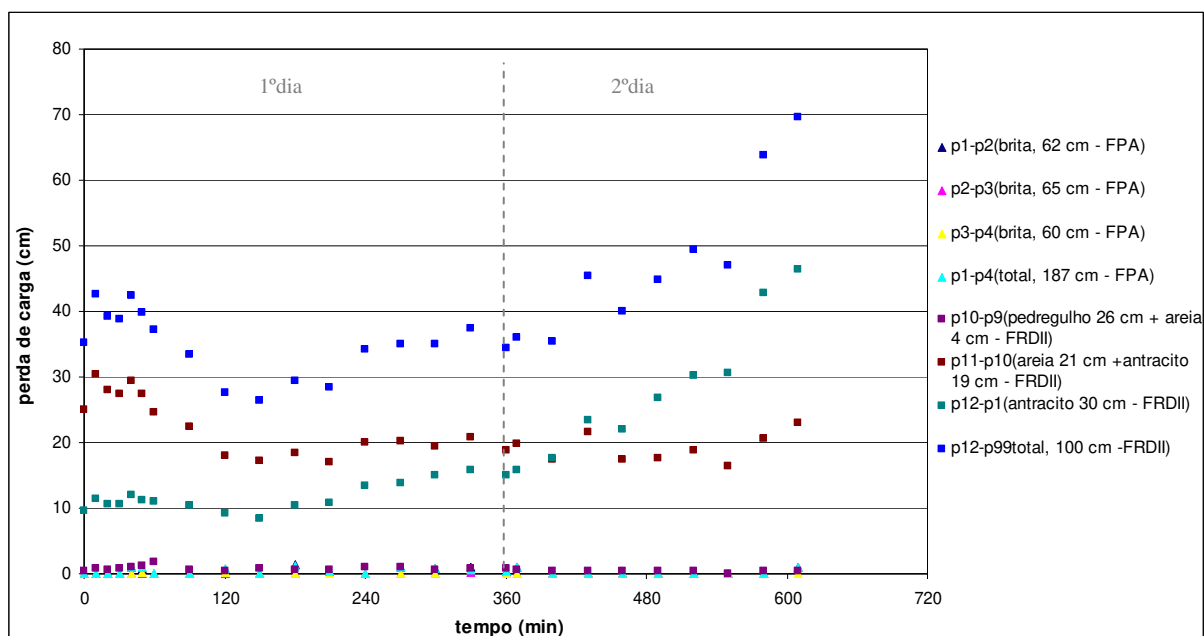


Figura 5.31 – Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação.

Após 550 minutos de operação nos ensaios realizados no FRD II, a perda de carga total atingiu valores próximos de 70 cm no ensaio V, 60 cm nos ensaios VI e VII e 50 cm no ensaio VIII.

Os dados utilizados na construção dos gráficos das Figuras 5.28 a 5.31 estão no anexo G.

A variação da turbidez e da cor aparente nas amostras de efluente secundário, floculado e filtrado, durante a execução dos ensaios V e VI, com sulfato férrico, são apresentados nas Figuras 5.32, 5.33, 5.34 e 5.35.

A turbidez do efluente secundário permaneceu entre valores de 3,6 e 7,7 NTU durante o ensaio V, e entre 2,2 e 6,4 NTU no ensaio VI, enquanto a cor aparente variou de 71 a 107 mg PtCo/L e de 56 a 98 mg PtCo/L, respectivamente.

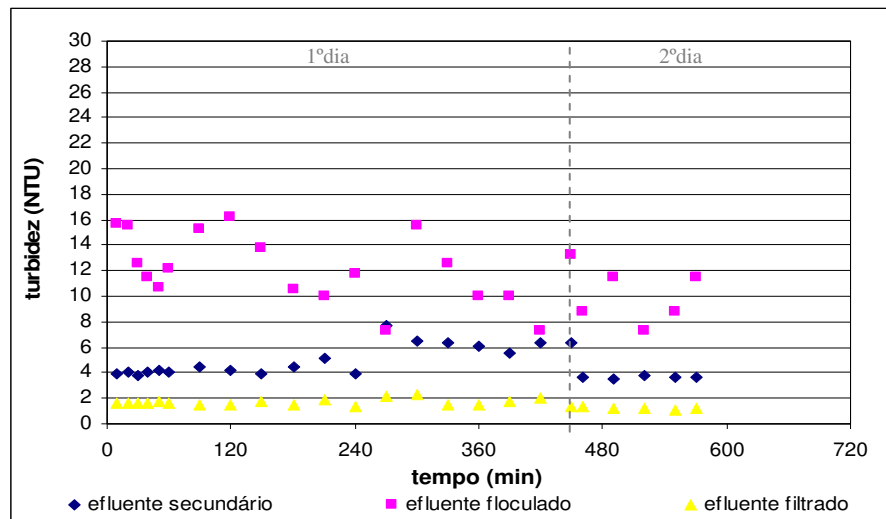


Figura 5.32 – Ensaio V – 1ª série (10 mg/L de sulfato de férrico, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

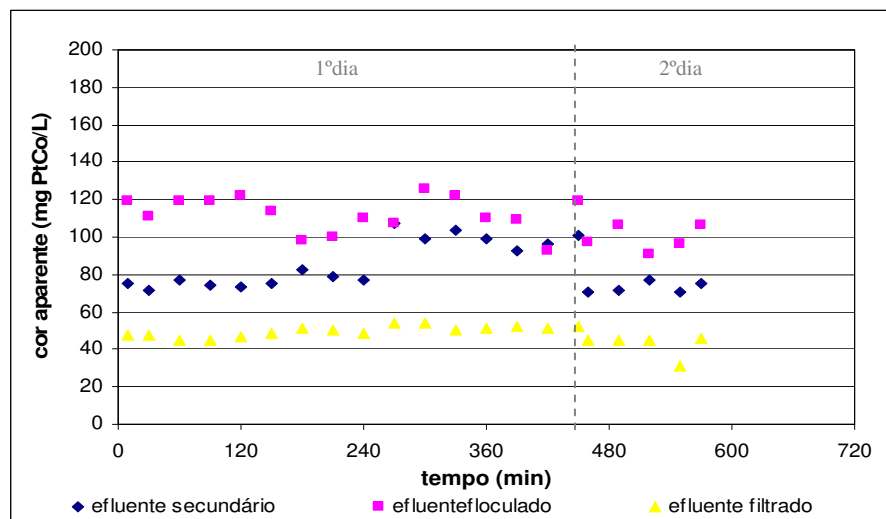


Figura 5.33 – Ensaio V – 1ª série (10 mg/L de sulfato férrico, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

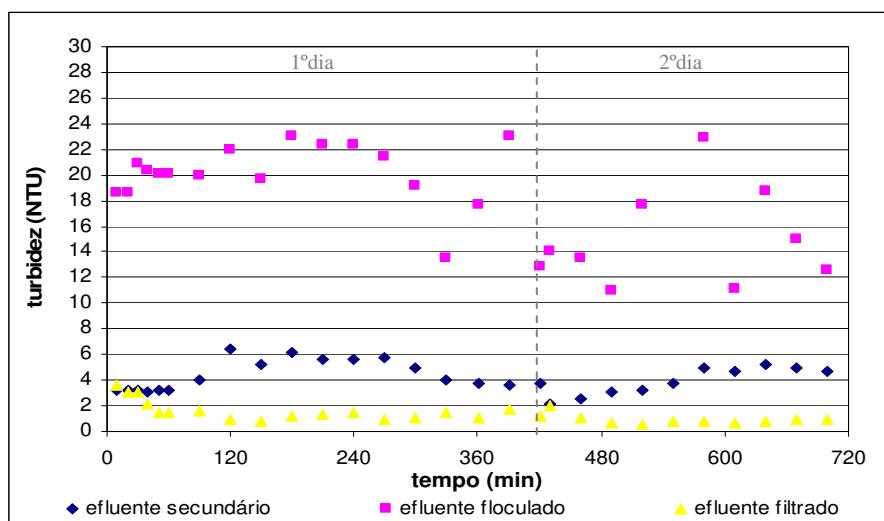


Figura 5.34– Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

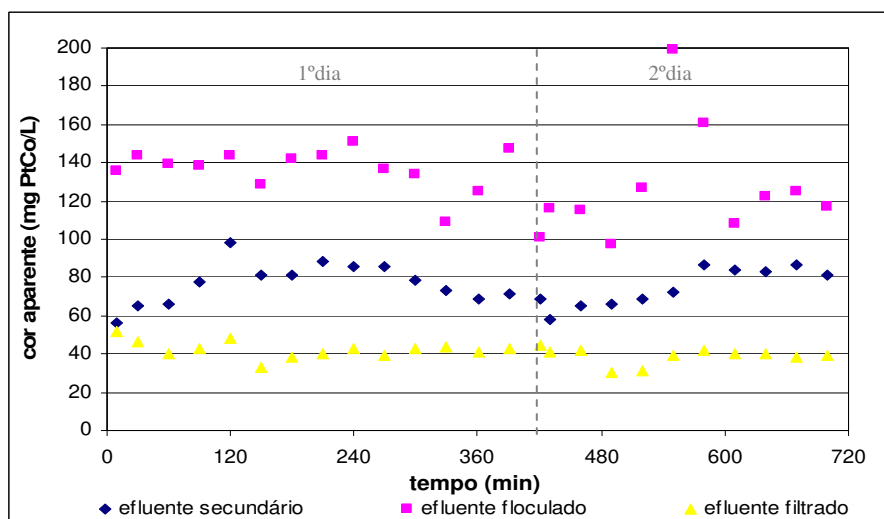


Figura 5.35 – Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

Conforme pode ser vistos nas figuras 5.32 e 5.34, a turbidez remanescente permaneceu inferior a 2 NTU para ambos os ensaios.

As remoções médias da turbidez foram de 66 % para o ensaio V e de 65 % para o ensaio VI, inferiores ao verificado em escala de bancada para as mesmas condições, de 80 e 87 %, respectivamente. Para cor aparente as remoções médias conseguidas foram de 42 % para o ensaio V e 45 % para o ensaio VI. A remoção de cor aparente obtida no ensaio V foi compatível com o

determinado em escala de bancada, de 40 %, no entanto, no ensaio VI, foi bem inferior quando comparada aos 70 % de remoção obtida nos ensaios de bancada.

De acordo com os resultados dos outros parâmetros avaliados, resumidos na Tabela 5.3 e detalhados no anexo F, a remoção média de cor verdadeira foi de 14 %, e de SST foi de 67 % no ensaio V, e no ensaio VI os valores foram de 27 % e 77 %, respectivamente.

Na Figura 5.36 pode ser verificada mais uma vez a dificuldade em ajustar o pH de coagulação em torno de 5,0. Os valores de pH de coagulação variaram entre 4,2 e 6,2 no ensaio VI.

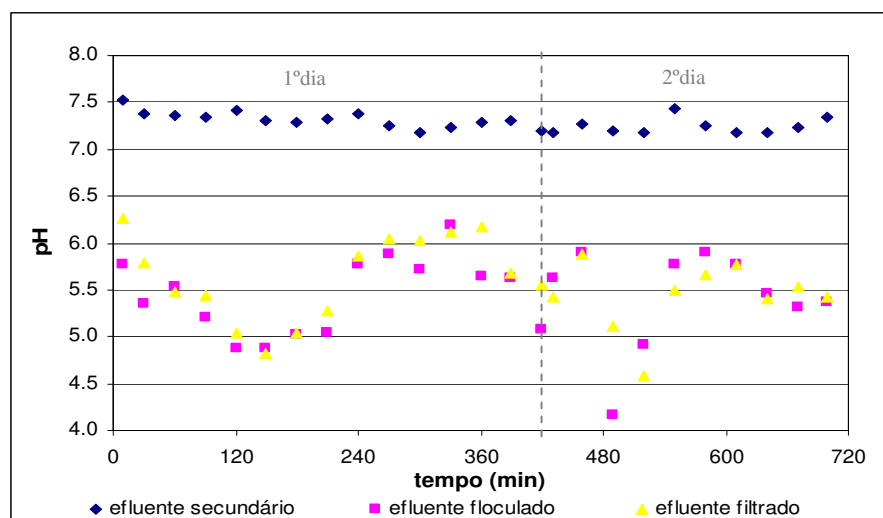


Figura 5.36– Ensaio VI – 1ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação.

Os ensaios realizados no FRD II com sulfato de alumínio (ensaio VII e VIII) também produziram efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 2 NTU (Figura 5.37 e 5.39), conforme verificado em todos os outros ensaios desta 1ª série. Nas Figuras 5.38 e 5.40 são apresentados os valores de cor aparente determinados durante os ensaios VII e VIII.

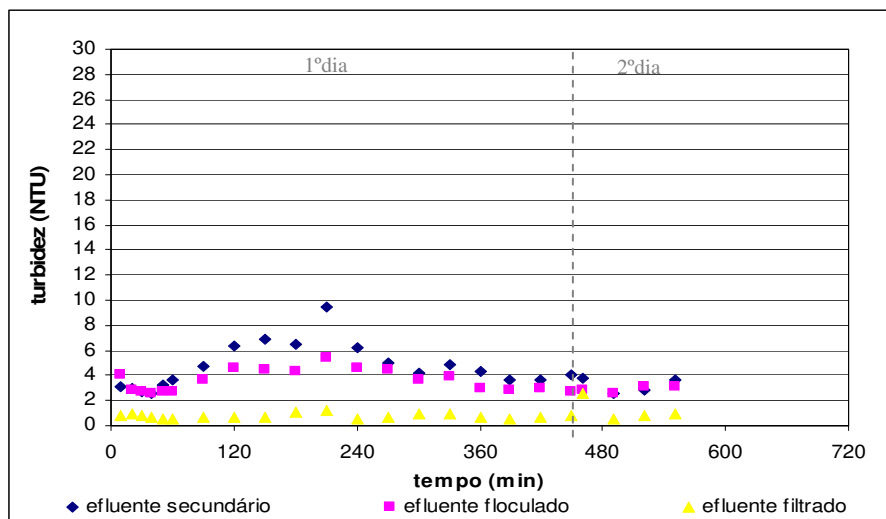


Figura 5.37 – Ensaio VII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

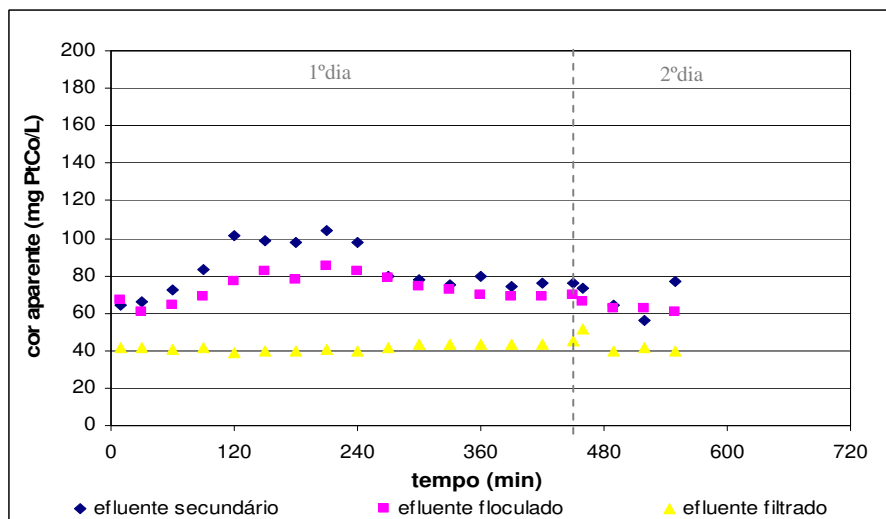


Figura 5.38 – Ensaio VII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

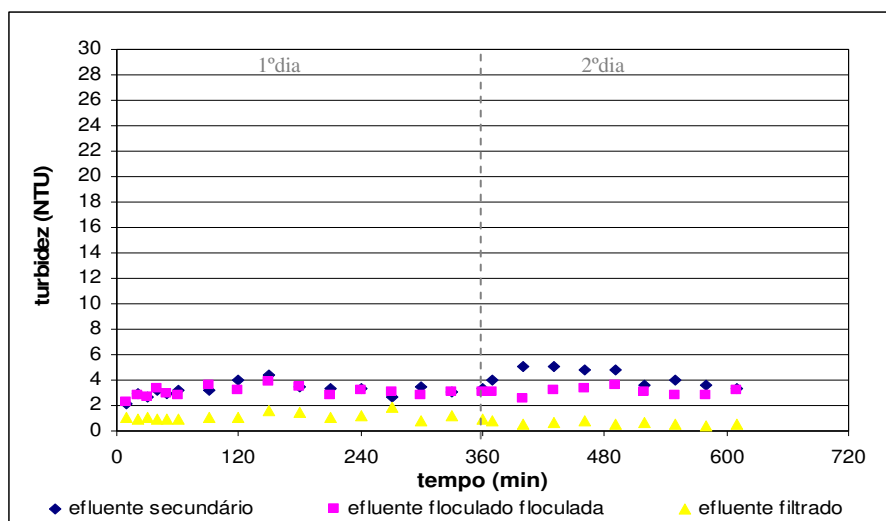


Figura 5.39 – Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

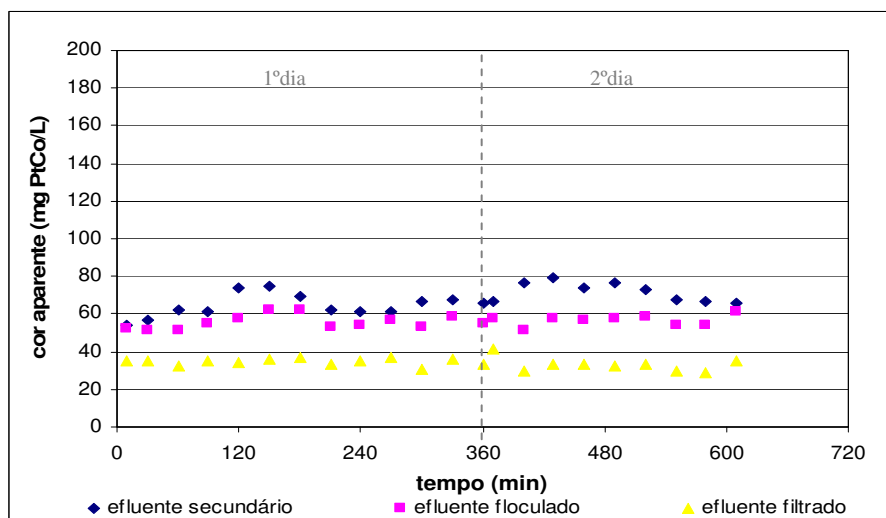


Figura 5.40 – Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 5,0): Variação da cor aparente em função do tempo de operação.

O efluente secundário apresentou turbidez entre 2,6 e 9,5 NTU e cor aparente entre 56 e 104 mg PtCo/L no ensaio VII, enquanto para o ensaio VIII os valores variaram de 2,1 a 5,1 NTU e de 54 a 79 mg PtCo/L, respectivamente.

As remoções de turbidez e cor aparente verificadas foram de 79 e 45 % no ensaio VII e de 72 e 49 % no ensaio VIII. Os valores obtidos no ensaio VII mostraram-se compatíveis com os

resultados dos ensaios de bancada, em que foram alcançadas remoções de 73 % de turbidez e 35 % de cor aparente. No ensaio VIII isto se verificou apenas para remoção de turbidez, cujo resultado para escala de bancada foi em torno de 70 %, enquanto que para cor aparente foi de 60 %.

Foram ainda verificadas nos ensaios VII e VIII, respectivamente, remoções médias de 14 e 31 % de cor verdadeira, e 69 e 63 % de SST.

Comparando-se todos os ensaios da 1ª série, independente do tipo e dosagem de coagulante e da taxa de filtração, observou-se que a eficiência da remoção de cor verdadeira foi sempre superior para aqueles em que os valores de pH de coagulação foram próximos de 5,0, em relação àqueles com pH 7,0.

Na Figura 5.41 são apresentadas as oscilações dos valores de pH do efluente floculado, entre 4,2 e 5,7.

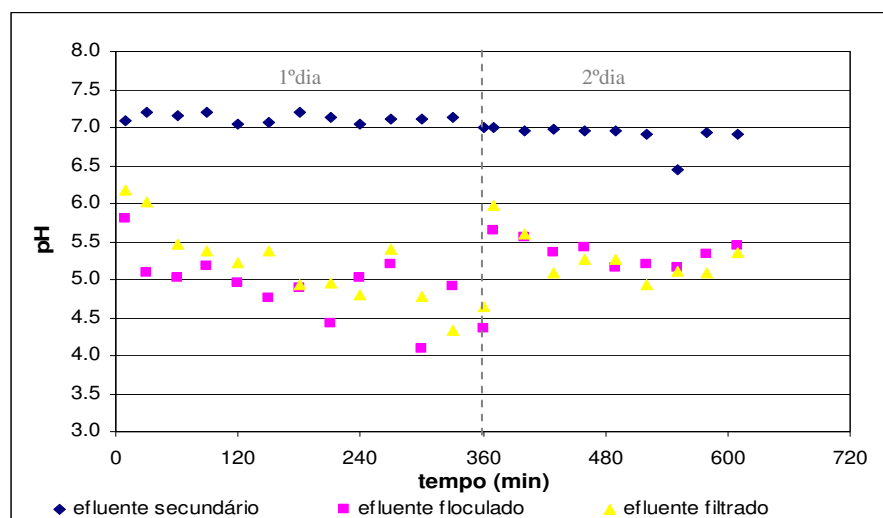


Figura 5.41– Ensaio VIII – 1ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH=5,0): Variação do pH em função do tempo de operação

Os resultados dos parâmetros avaliados durante os ensaios da 1ª série, em seus valores máximo, mínimo e médio, estão resumidos na Tabela 5.3, e são apresentados em sua totalidade no anexo F.

Tabela 5.3 – Quadro resumo dos resultados obtidos nos ensaio I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII, da 1ª série.

Parâmetros	Ensaio I				Ensaio II				Ensaio III				Ensaio IV				Ensaio V				Ensaio VI				Ensaio VII				Ensaio VIII			
	Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado	
	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média
Turbidez (NTU)	3.8 a 6.9	5.5	0.9 a 2.9	1.4	3.2 a 7.5	5.4	0.9 a 2.1	1.5	3.2 a 8.0	5.4	0.7 a 2.3	1.3	3.0 a 10.6	6.3	0.7 a 1.9	1.3	3.6 a 7.7	4.7	1.1 a 2.2	1.6	2.2 a 6.4	4.2	0.5 a 3.6	1.4	2.6 a 9.5	4.4	0.5 a 2.5	0.8	2.1 a 5.1	3.6	0.4 a 1.8	1
Cor aparente (mg PtCo/L)	72 a 107	93	40 a 69	49	53 a 96	70	29 a 44	35	67 a 106	82	40 a 50	45	71 a 136	92	35 a 48	41	71 a 107	83	31 a 54	48	56 a 98	76	30 a 52	41	56 a 104	80	39 a 52	42	54 a 79	68	29 a 41	34
Cor verdadeira (mg PtCo/L)	36 a 47	43	30 a 43	38	25 a 32	30	21a 25	24	44 a 47	45	36 a 41	39	34 a 45	40	24 a 34	31	39 a 45	42	32 a 38	36	26 a 43	37	22 a 33	27	39 a 44	41	33a 39	35	36 a 40	38	23 a 31	26
pH	7.0 a 7.3	-	6.9 a 7.4	-	6.6 a 6.9	-	5.6 a 6.8	5.9	6.8 a 7.2	-	6.8 a 7.3	-	6.7 a 7.2	-	5.3 a 6.9	-	7.2 a 7.4	7.3	7.2 a 7.4	-	7.2 a 7.5	-	4.6 a 6.3	-	7.2 a 7.4	-	7.1 a 7.5	-	6.5 a 7.2	-	4.3 a 6.2	-
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	86 a 104	93	82 a 98	87	36 a 48	44	12 a 28	17	62 a 70	67	60 a 80	66	50 a 68	59	10 a 22	13	108 a 120	115	96 a 108	103	96 a 104	99	14 a 22	17	98 a 104	102	92 a 100	97	72 a 88	81	6 a 30	13
SST ⁽¹⁾ (mg/L)	4 a 13	10	ND a 5	2	7 a 16	10	1 a 6	3	4 a 13	8	ND a 3	1.4	6 a 17	11	1 a 3	2	6 a 10	7	1 a 4	2.2	3 a 11	8	1 a 4	2	5 a 13	8	1 a 5	2	4 a 9	6	1 a 3	2
SSF ⁽²⁾ (mg/L)	ND ⁽⁴⁾ a 5	2	ND a 5	1	ND a 8	3	ND a 4	2	ND a 3	2	ND a 2	0.4	ND a 4	2	ND a 2	0.5	ND a 9	2	ND a 1	0.2	1 a 3	2	ND a 3	1	1 a 4	2	ND a 2	1	ND a 3	1	ND a 2	1
SSV ⁽³⁾ (mg/L)	2 a 11	8	ND a 4	1	5 a 14	7	ND a 4	1	4 a 10	6	ND a 3	1	6 a 13	9	1 a 3	1.5	1 a 7	5	1 a 4	2	3 a 9	6	1 a 3	1	3 a 10	6	1 a 3	1	3 a 7	5	1 a 3	1

⁽¹⁾ SST - Sólidos Suspensos Totais; ⁽²⁾ SSF - Sólidos Suspensos Fixos; ⁽³⁾ SSV - Sólidos suspensos Voláteis; ⁽⁴⁾ ND - Não Detectável

Ensaio I : 10 mg/L de sulfato férrico; pH de coagulação $\cong$ 7,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI = 120 m³/m².dia

Ensaio II : 12,5 mg/L de sulfato férrico; pH de coagulação $\cong$ 5,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI = 120 m³/m².dia

Ensaio III : 10 mg/L de sulfato de alumínio; pH de coagulação $\cong$ 7,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI = 120 m³/m².dia

Ensaio IV : 10 mg/L de sulfato de alumínio; pH de coagulação $\cong$ 5,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI = 120 m³/m².dia

Ensaio V : 10 mg/L de sulfato férrico; pH de coagulação $\cong$ 7,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI = 300 m³/m².dia

Ensaio VI : 12,5 mg/L de sulfato férrico; pH de coagulação $\cong$ 5,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI= 300 m³/m².dia

Ensaio VII : 10 mg/L de sulfato de alumínio; pH de coagulação $\cong$ 7,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI= 300 m³/m².dia

Ensaio VIII : 10 mg/L de sulfato de alumínio; pH de coagulação $\cong$ 5,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRDI= 300 m³/m².dia

Comparando os resultados obtidos nesta 1ª série de ensaios em escala piloto com aqueles encontrados em escala de bancada, em termos de remoção de turbidez e cor aparente, verificou-se que, na grande maioria dos ensaios, os valores foram compatíveis, com exceção apenas para aqueles em que foram aplicados 12,5 mg/L de sulfato férrico em pH de coagulação igual a 5,0. Isso confirma que a metodologia utilizada em escala de bancada para simular as condições de coagulação-floculação-filtração foram adequadas, independentemente das taxas de filtração aplicadas nos filtros piloto.

Como a duração das carreiras de filtração foi sempre limitada pela máxima carga hidráulica disponível (CHD) nos filtros, durante a execução dos ensaios não foi observada piora na qualidade do efluente final produzido, considerada estável a partir da primeira hora de filtração.

A qualidade do efluente filtrado obtido nos ensaios de I a VIII não foi adotada como critério para a escolha das melhores condições em pH de coagulação em torno de 5,0, e em torno de 7,0, para aplicação na 2ª série, pois para os parâmetros avaliados, os resultados verificados foram muito parecidos. Além disso, todos produziram efluente com turbidez remanescente inferior a 2 NTU.

A determinação de critérios para subsidiar a escolha foi difícil, uma vez que a máxima CHD era pequena e a perda de carga total inicial nos filtros era diferente para o FRD I e FRD II, sendo maior nesta última. Por fim, foi adotado, como critério, a taxa de aumento da perda de carga total no filtro pelo tempo de operação e ainda o volume produzido de efluente tratado extrapolando-se para CHD máxima igual a 2 m, como apresentado na Tabela 5.4. Admitiu-se como sendo linear a taxa de aumento de perda de carga.

Como foram comparados entre si os ensaios com pH de coagulação em torno de 7,0, e em outro grupo os ensaios onde o pH de coagulação foi próximo de 5,0, eles estão agrupados desta maneira na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Taxa de aumento da perda de carga total no filtro e volume produzido de efluente filtrado nos ensaios de I a VIII.

pH de coagulação	Ensaio	Δ perda de carga ⁽¹⁾ (cm)	T ⁽²⁾ (h)	Δ perda de carga/T ⁽³⁾ (cm/h)	T2 ⁽⁴⁾ (h)	V produzido ⁽⁵⁾ (m ³ /m ²)
7,0	I	46	23,50	1,96	102,4	512
	III	26	11,67	2,23	89,7	448,5
	V	34	9,50	3,58	55,9	698,75
	VII	17	9,17	1,85	108,1	1351,3
5,0	II	36	16	2,25	88,9	444,5
	IV	47	18,33	2,56	78,1	390,5
	VI	28	11,67	2,40	83,3	1041,3
	VIII	28	10,17	2,75	72,7	908,75

(1) variação da perda de carga total no FRD I para os ensaios de I a IV, e no FRD II para os ensaios de V a VIII. Valor igual a perda de carga total no encerramento da carreira menos a perda de carga total inicial;

(2) duração da carreira de filtração verificada nos ensaios;

(3) taxa de aumento da perda de carga total em função do tempo da carreira;

(4) duração da carreira de filtração supondo CHD máxima de 2 m.

(5) volume de efluente tratado produzido, admitindo CHD máxima = 2 m.

Comparando os ensaios realizados com pH de coagulação em torno de 7,0, segundo valores apresentados na Tabela 5.4, descartou-se inicialmente os ensaios III e V para aplicação na 2ª série, pois apresentaram taxa de aumento de perda de carga durante a carreira de filtração de 2,23 e 3,58 cm/h, respectivamente, superiores ao verificado nos ensaios I e VII, em torno de 1,90 cm/h. A escolha pelas condições aplicadas no ensaio VII, em relação às aplicadas no ensaio I, foi determinada pelo volume de efluente tratado final produzido, supondo CHD máxima igual a 2 m. No ensaio VII, com dosagem de 10 mg/L de sulfato de alumínio e com taxa de filtração de 300 m³/m².dia no FRD II, seria produzido um volume de, aproximadamente, 2,5 vezes maior que no ensaio I.

A escolha entre as condições aplicadas nos ensaios II, IV, VI e VIII foi feita somente pelo critério do volume de efluente terciário produzido, uma vez que as taxas determinadas de aumento de perda de carga durante as carreiras de filtração foram muito próximas. Portanto, para pH de coagulação próximo de 5,0, as condições escolhidas para aplicação na 2ª série de ensaio,

foram equivalentes às aplicadas no ensaio VI, ou seja, dosagem de 12,5 mg/L de sulfato férrico e taxa de filtração de 300 m³/m².dia.

Com a avaliação dos resultados conduzida desta forma, se não ocorrer o fenômeno de transpasse no filtro antes de atingir a CHD máxima de 2 m, desde que mantida a taxa linear de aumento de perda de carga admitida, a taxa de filtração de 300 m³/m².dia, aplicada no FRD II, mostra-se vantajosa para o tratamento por filtração direta proposto, pois produz volume maior de efluente tratado em nível terciário, sem comprometer sua qualidade. A redução progressiva do tamanho dos vazios ao longo de uma determinada carreira de filtração e o aumento da velocidade de escoamento pelos interstícios poderia acarretar taxas exponenciais de aumento de perda de carga, principalmente para taxa de filtração de 300 m³/m².dia. Portanto, ressalta-se que a realização de estudos em filtro com 2 m de CHD máxima é importante para certificação das suposições feitas aqui.

5.3.3. 2ª SÉRIE

Baseado nos resultados da 1ª série, foram aplicadas na 2ª série de ensaios as condições apresentadas na Tabela 5.5, a fim de avaliar principalmente a eficiência de remoção de nutrientes e coliformes.

Tabela 5.5 - Condições de dosagem de coagulante, valor de pH e taxas de aplicação dos ensaios da 2ª série.

ensaio	coagulante	dosagem de coagulante (mg/L)	pH	taxa de aplicação (m ³ /m ² .dia)	
				FPA	FRD
IX	Sulfato de Alumínio	10	7,0	120	300
X	Sulfato Férrico	12,5	5,0	120	300

Nas figuras 5.42 e 5.43 são apresentadas as perdas de carga desenvolvidas no decorrer dos ensaios IX e X, cujas durações das carreiras de filtração foram, respectivamente, de 6 e 10 horas, encerradas pelo critério da perda de carga máxima admissível. Observou-se que as

carreiras tiveram duração inferior às obtidas na 1ª série para as mesmas condições operacionais, de 9 horas no ensaio com SA e 12 horas no ensaio com SF. Os dados utilizados na construção dos gráficos apresentados nas Figuras 5.42 e 5.43 estão no anexo I.

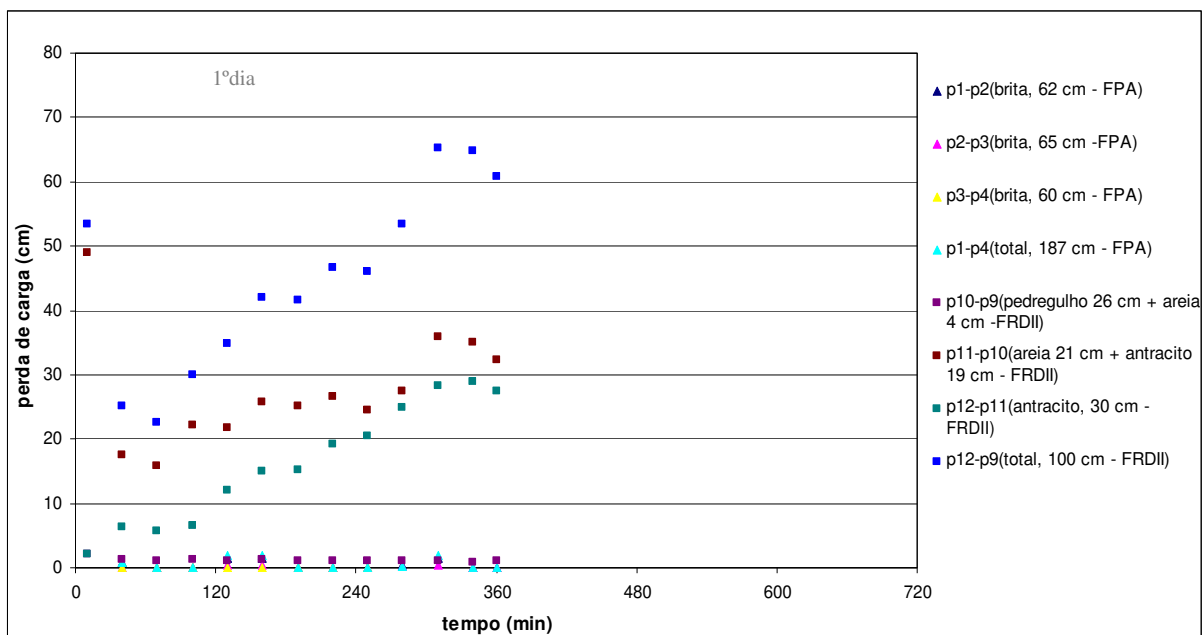


Figura 5.42 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação.

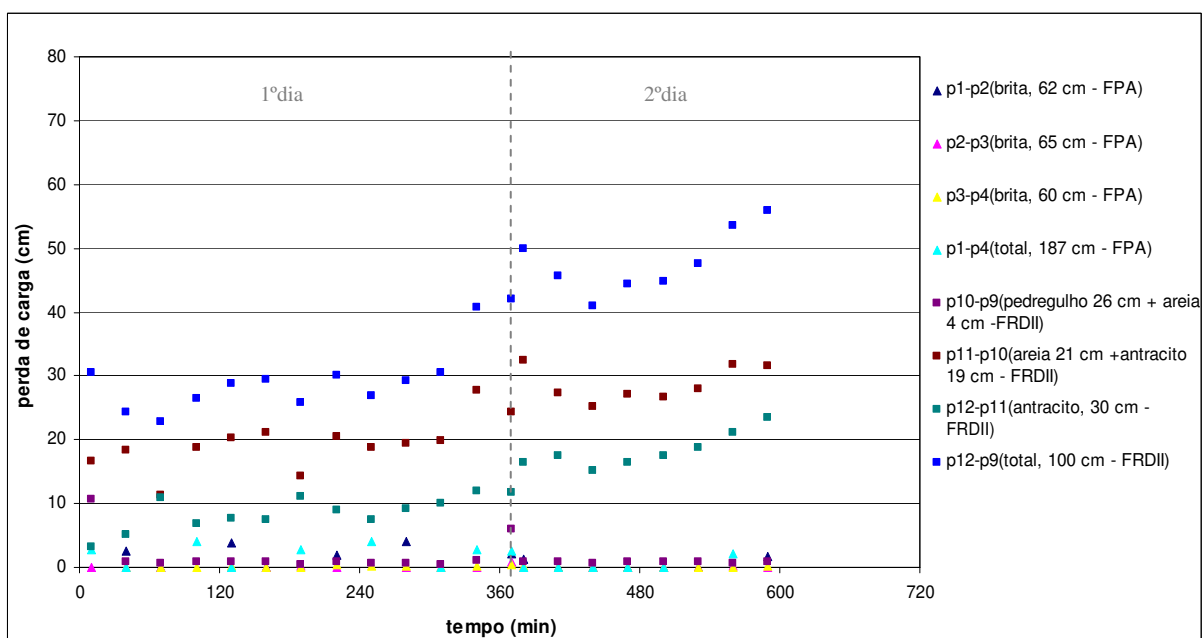


Figura 5.43 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da perda de carga no meio granular no FPA e FRD II ao longo do tempo de operação.

A diminuição verificada na duração das carreiras de filtração foi atribuída à piora significativa na qualidade do efluente secundário, causada por problemas operacionais na ETE Samambaia. Este fato comprometeu de forma expressiva os ensaios desta 2ª série, uma vez que as condições de coagulação determinadas em escala de bancada e verificadas na 1ª série de ensaios foram determinadas para efluente com qualidade superior. Apesar do conhecimento do problema, infelizmente não houve possibilidade de repetição dos ensaios quando o efluente secundário voltou a apresentar os valores usuais, antes verificados, de seus parâmetros de qualidade, em função do curto tempo restante para o término da pesquisa.

A piora da qualidade do efluente secundário foi claramente evidenciada pelos valores médios de turbidez, que nos ensaios anteriores estavam entre 4 e 6 NTU, e passaram a apresentar valores de 7,2 a 13,3 NTU durante o desenvolvimento da 2ª série (Figuras 5.44 e 5.50). Desta forma, foi difícil efetuar a comparação dos resultados obtidos nesta série, com os resultados verificados nas etapas anteriores.

Observou-se, conforme apresentado nas Figuras 5.42 e 5.43, que ao contrário do verificado nos ensaios anteriores no FRD II, a maior parcela de contribuição para a perda de carga total no filtro, de 53 a 56 %, foi do trecho intermediário de 40 cm, composto de 19 cm de antracito e 21 cm de areia, enquanto, 42 a 45 % foi atribuída à camada superior de antracito, de 30 cm, e 1,6 a 1,7 % à camada suporte. Nestes ensaios a filtração foi melhor distribuída ao longo do meio filtrante, no entanto não resultou em efluente tratado final de melhor qualidade, conforme pode ser verificado no acompanhamento dos parâmetros de qualidade apresentados nas figuras de 5.44 a 5.56. Atribuiu-se como causa, a coagulação não ter sido otimizada nesta 2ª série de ensaios para se adequar à piora da qualidade do efluente secundário, mantendo-se as condições pré-determinadas na etapa de bancada para fins de comparação entre os ensaios. Salienta-se que para a operação deste sistema em escala real, seria necessária a complementação dos ensaios de coagulação para adequação desta às variações de qualidade do efluente secundário.

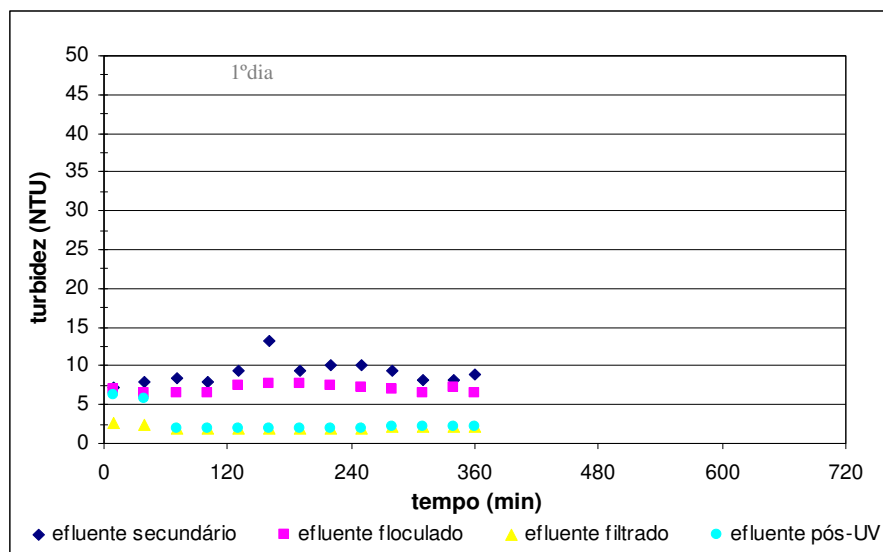


Figura 5.44 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

Conforme pode ser visto na Figura 5.44, o efluente secundário durante o ensaio IX apresentou valores de turbidez de 7,3 a 13,3 NTU, enquanto o efluente filtrado apresentou valores próximos de 2,5 NTU, acima do valor de 2 NTU recomendado pela USEPA (1992) para reúso urbano. A remoção verificada para este parâmetro foi de 76 %.

Na Figura 5.45 são apresentados os valores de cor aparente e cor verdadeira durante o ensaio, cujas remoções médias verificadas foram de 58 e 22 %, respectivamente.

Para a série de sólidos no ensaio IX, apresentados na Figura 5.46, foram verificadas remoções médias de 76 % de SST, 78 % de SSV e 60 % de SSF. Observou-se que os valores de SST remanescentes no efluente final tratado estão compatíveis com o indicado na literatura, ou seja, inferior a 10 mg/L, conforme Tabela 3.8, e de acordo com as exigências aplicadas pelo “Título 22”, do Estado da Califórnia, EUA, para reúso urbano irrestrito que deve ser inferior a 15 mg/L.

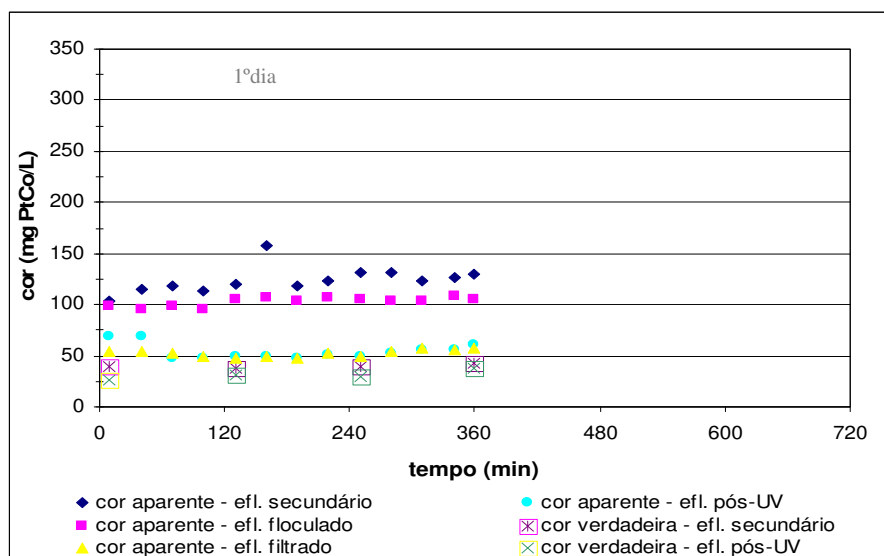


Figura 5.45 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da cor aparente e cor verdadeira em função do tempo de operação.

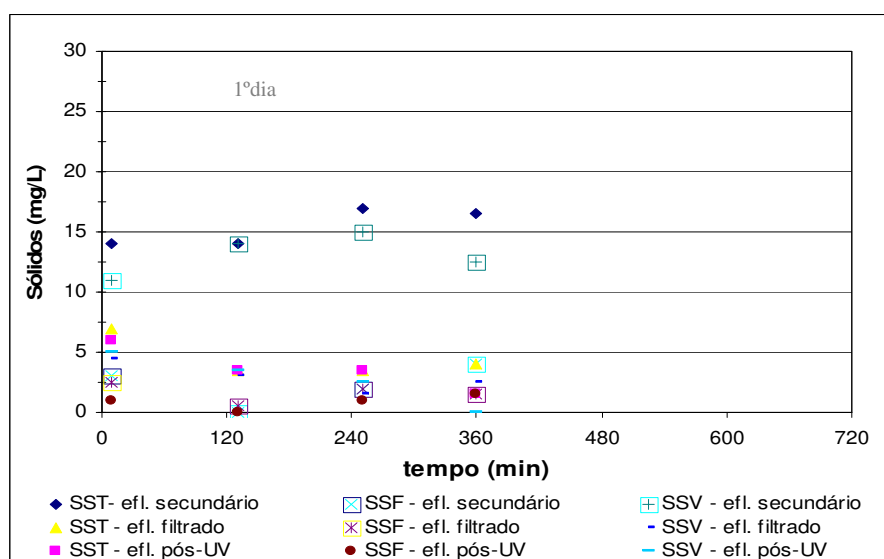


Figura 5.46 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis em função do tempo de operação.

Os valores de DQO e DBO, apresentados na Figura 5.47, foram reduzidos na ordem de 30 e 70 %, respectivamente. Os valores de DBO remanescente no efluente terciário estiveram entre 3 e 4 mg O₂/L, portanto, dentro dos limites recomendados pela USEPA para reúso urbano, de 10 mg/L, e pela legislação do Estado da Califórnia, de 15 mg/L, e compatível com a Classe 1 de classificação das águas pela Resolução CONAMA nº 357. Verificou-se ainda no efluente tratado final que OD permaneceu próximo de 5 mg O₂/L e DQO entre 30 e 35 mg O₂/L.

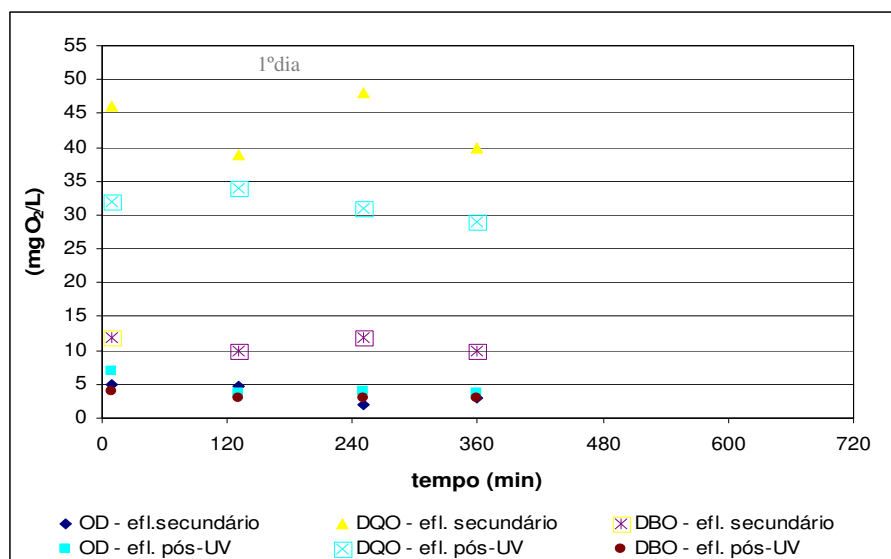


Figura 5.47 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de oxigênio dissolvido e variação da DQO e DBO em função do tempo de operação.

No ensaio IX ainda foram verificadas remoções de NTK, N-NH₃ e P, conforme Figura 5.48, na ordem de 15%, 22% e 30%, respectivamente. A concentração de N-NH₃ no efluente terciário esteve acima do valor 5 mg/L indicado na Tabela 3.8.

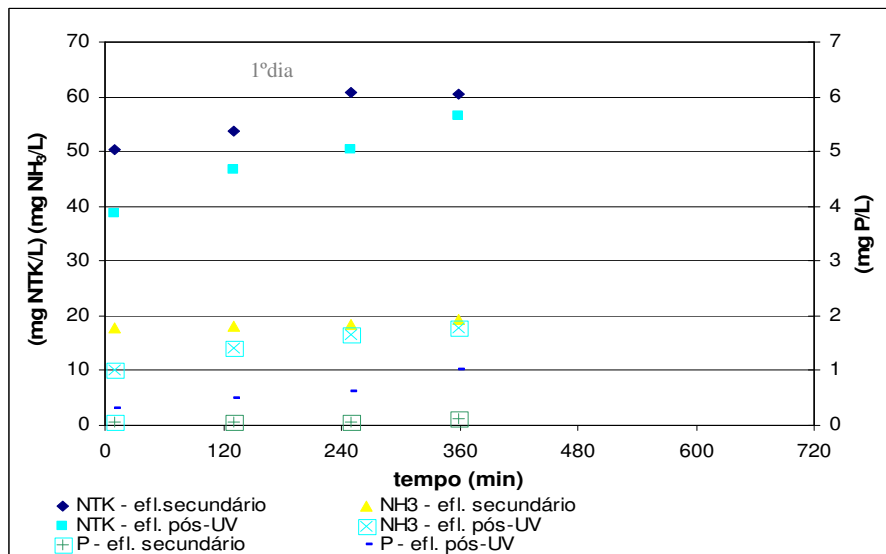


Figura 5.48 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de NTK, N-NH₃ e P em função do tempo de operação.

Quanto aos parâmetros bacteriológicos, apresentados na Figura 5.49, foram verificadas remoções de 70 % de Coliformes Totais e 52 % de *E.coli*, após coagulação-floculação-filtração. Para a concentração remanescente de Coliformes Totais e *E. coli* verificadas no efluente filtrado, da ordem de 10^5 NMP/100mL e 5×10^4 NMP/100mL, respectivamente, foram observadas inativações por UV de 99,998 % e 99,996 %, resultando em concentrações finais de 2 a 41 NMP/100mL para Coliformes Totais e 1 a 3 NMP/100mL para *E.coli*, dentro dos padrões da OMS para reúso urbano (< 200 Coliformes Fecais/100mL), no entanto somente para reúso urbano restrito de acordo com o recomendado pela USEPA. A dose de radiação média verificada no ensaio IX foi de 94,7 mWs/cm².

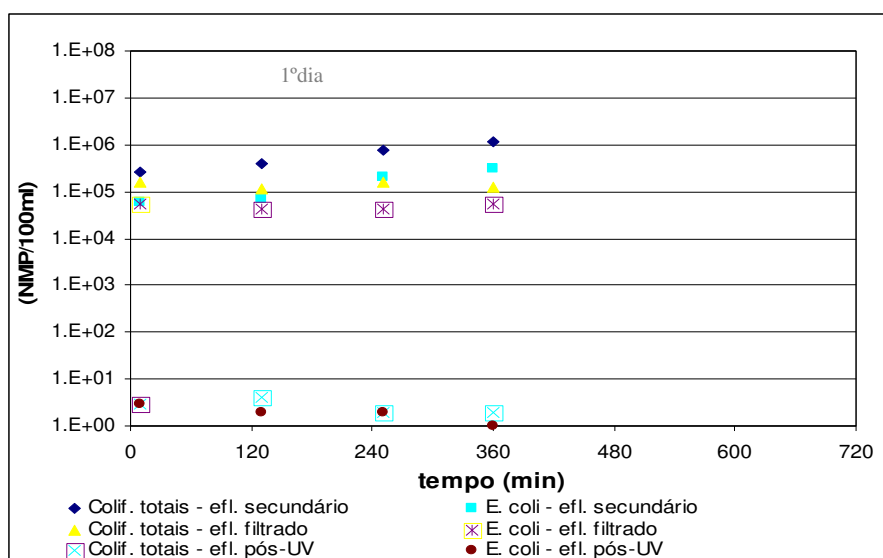


Figura 5.49 – Ensaio IX – 2ª série (10 mg/L de sulfato de alumínio, pH = 7,0): Variação da concentração de Coliformes Totais e *E. coli* em função do tempo de operação.

No ensaio X, o efluente secundário apresentou valores ainda maiores de turbidez (Figura 5.50), entre 12 e 16,6 NTU. O efluente terciário, após tratamento na instalação piloto, também apresentou valores de turbidez muito superiores aos verificados no ensaio IX, variando de 7,1 a 11 NTU. A remoção observada para este parâmetro foi de apenas 36 %. A remoção de cor aparente também foi inferior, da ordem de 35 %, enquanto a remoção média de cor verdadeira foi de 30 %, superior aos 22 % obtidos no ensaio IX desta 2ª série. Os valores de cor verificados durante o ensaio são apresentados na Figura 5.51.

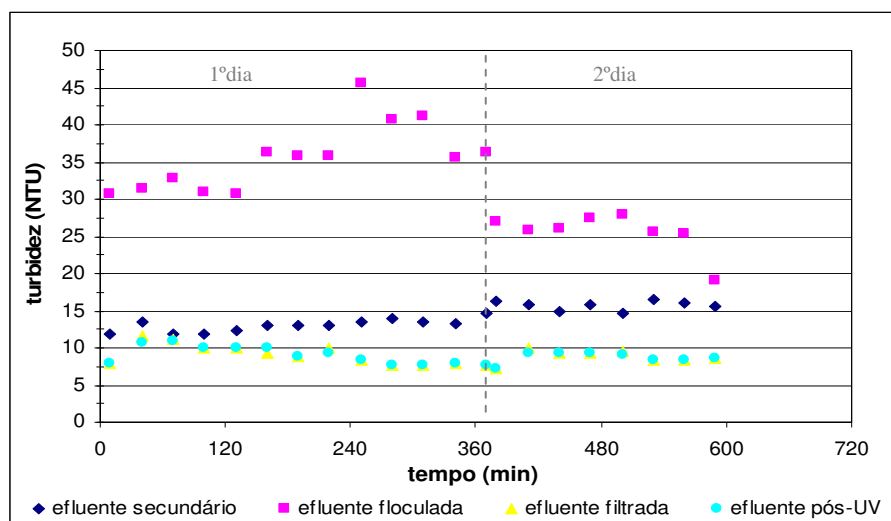


Figura 5.50 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da turbidez em função do tempo de operação.

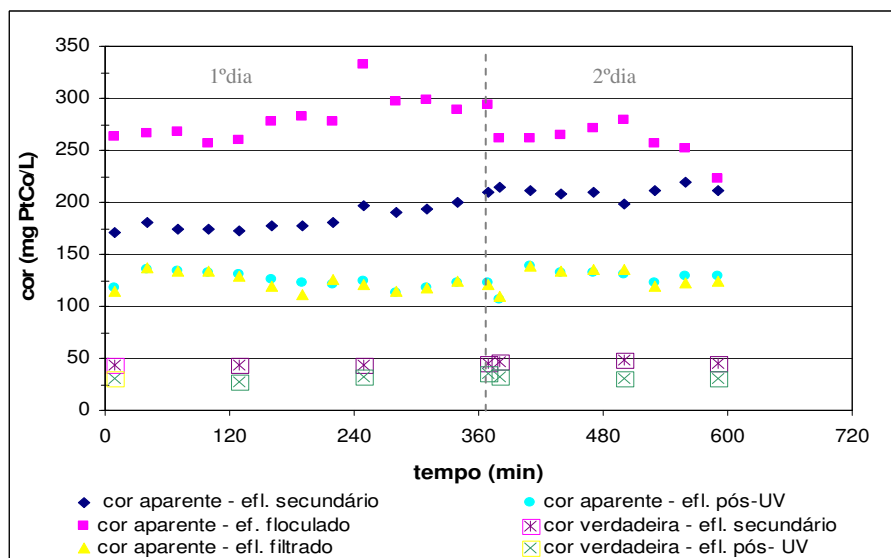


Figura 5.51 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da cor aparente e cor verdadeira em função do tempo de operação.

Quanto à remoção de sólidos, os valores encontrados também foram inferiores, da ordem de 37% para SST, 34% para SSV e 56% para SSF. A concentração de SST foi reduzida para valores entre 10 e 15 mg/L (Figura 5.52), acima do indicado na Tabela 3.8, mas ainda dentro do exigido no estado da Califórnia através do “Título 22”, e recomendado para reúso urbano restrito pela USEPA.

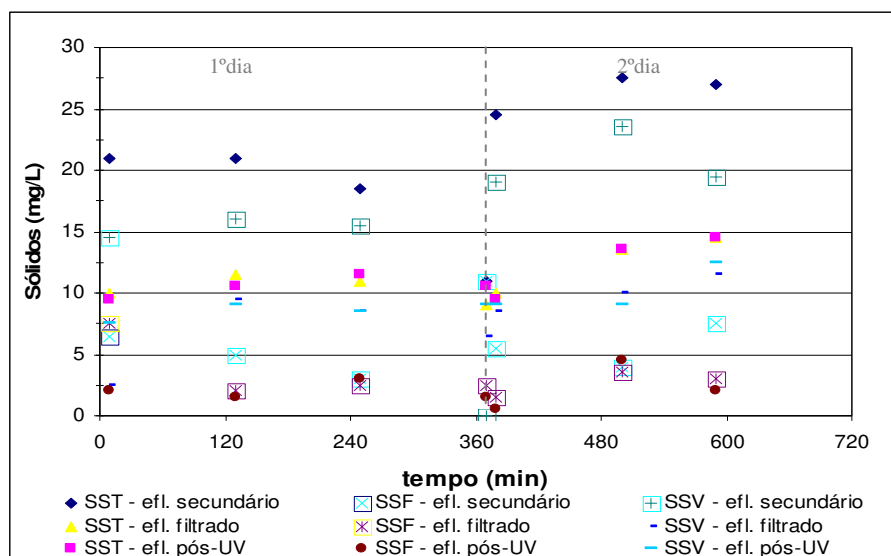


Figura 5.52 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis em função do tempo de operação.

Para DQO e DBO as remoções observadas foram, respectivamente, 24 e 58 %. No entanto, o valor de DBO remanescente no efluente terciário, de 6 mg O₂/L, permaneceu dentro dos limites do “Título 22” e USEPA. De acordo com a classificação das águas pela Resolução CONAMA nº 357, este atenderia a Classe 3.

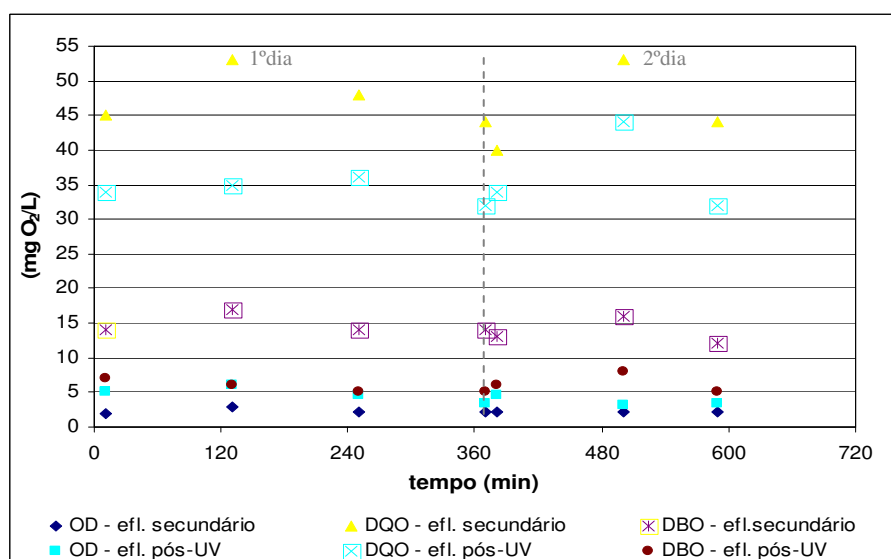


Figura 5.53 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de oxigênio dissolvido e variação da DQO e DBO em função do tempo de operação.

Para NTK, N-NH₃ e P (Figura 5.54) foram verificadas remoções médias de 17, 13 e 65 %, respectivamente. Observou-se que a remoção média de P obtida neste ensaio é quase o dobro da verificada no ensaio IX, o que confirma que maiores remoções de fósforo são conseguidas na faixa de pH de 4,5 a 5,0, conforme indicado na literatura. A concentração média de N-NH₃ remanescente no efluente filtrado, de 24 mg/L, esteve muito acima de 5 mg/L, valor indicado na Tabela 3.8.

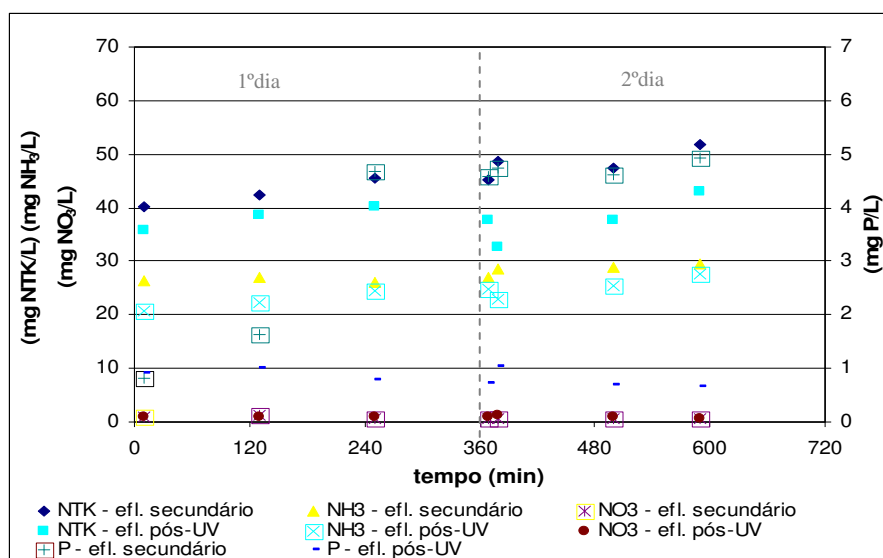


Figura 5.54 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de NTK, N-NH₃, N-NO₃⁻ e P em função do tempo de operação.

A eficiência da coagulação-floculação-filtração em termos de remoção de Coliformes Totais e *E. coli*, foi de 61 e 29 %, respectivamente, para o efluente secundário que apresentou concentrações da ordem de 10⁶ a 10⁷ NMP/100mL de Coliformes Totais e em torno de 10⁶ NMP/100mL de *E.coli* (Figura 5.55). A inativação por UV, cuja dose média de radiação foi de 91,1 mWs/cm², da concentração remanescente no efluente filtrado foi de 99,66 % de Coliformes Totais e de 99,993 % de *E.coli*. No entanto, as concentrações no efluente final tratado continuaram elevadas e fora dos limites estabelecidos pelo “Título 22”, do estado da Califórnia-EUA, para reúso em paisagismo e agricultura, e pela USEPA para reúso urbano irrestrito, no entanto dentro dos padrões da OMS para irrigação.

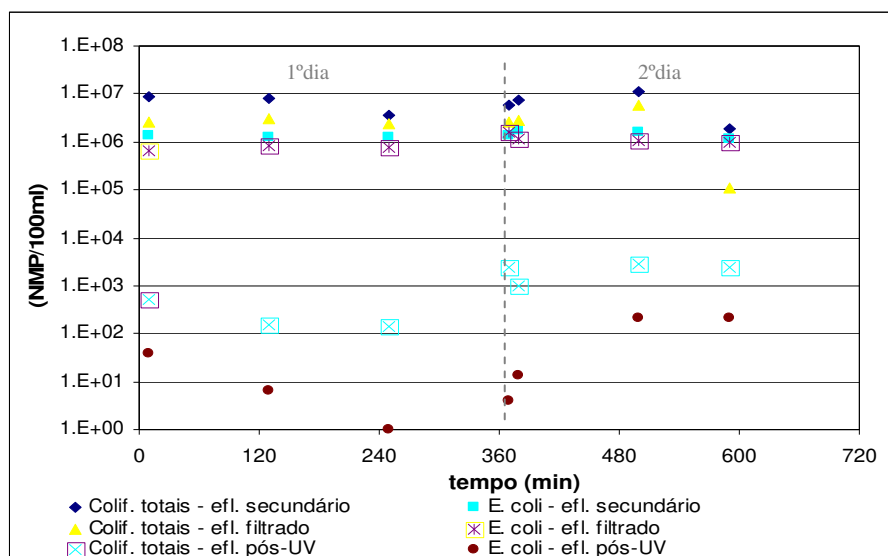


Figura 5.55 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação da concentração de Coliformes Totais e *E. coli* em função do tempo de operação.

Na Figura 5.56 é evidenciada mais uma vez a dificuldade encontrada para manter pH de coagulação próximo de 5,0, os valores oscilaram entre 5,4 e 6,9.

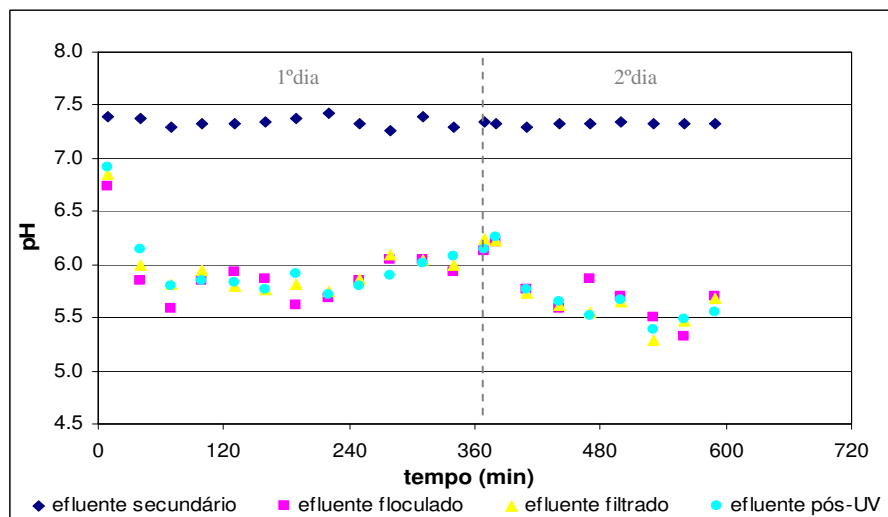


Figura 5.56 – Ensaio X – 2ª série (12,5 mg/L de sulfato férrico, pH = 5,0): Variação do pH em função do tempo de operação.

Os valores de todos os parâmetros avaliados nesta 2ª série são apresentados no anexo H e encontram-se resumidos (valores mínimo, máximo e médio) para os efluentes secundário e filtrado na Tabela 5.6. A comparação dos valores médios obtidos para estes parâmetros, no

efluente terciário, com os padrões e limites recomendados na literatura são apresentados na Tabela 5.7

Tabela 5.6 – Quadro resumo dos resultados obtidos por filtração direta nos ensaios IX e X da 2ª série

Parâmetros	Ensaio IX				Ensaio X			
	Efluente secundário		Efluente filtrado		Efluente secundário		Efluente filtrado	
	min a max	média	min a max	média	min a max	média	min a max	média
Turbidez (NTU)	7,2 a 13,3	9,1	1,8 a 6,3	2,6	11,9 a 16,6	14,0	7,1 a 11,0	8,9
Cor aparente (mg PtCo/L)	103 a 157	124	47 a 69	54	171 a 220	194,4	107 a 138	126
Cor verdadeira (mg PtCo/L)	38 a 42	40	27 a 37	31	43 a 48	45	27 a 35	31
pH	7,3 a 7,7	-	7,3 a 7,6	-	7,3 a 7,4	-	5,4 a 6,9	-
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	128 a 148	140	120 a 136	131	168 a 232	187	24 a 118	50
SST ⁽¹⁾ (mg/L)	14 a 17	15	2 a 6	4	11 a 28	22	10 a 15	11
SSF ⁽²⁾ (mg/L)	ND ⁽⁵⁾ a 4	2	ND a 2	1	3 a 11	6	1 a 5	2
SSV ⁽³⁾ (mg/L)	11 a 15	13	ND a 5	3	ND a 23,5	15	8 a 13	9
OD ⁽⁴⁾ (mg O ₂ /L)	2,0 a 5,0	3,7	3,6 a 7,2	4,6	2,0 a 2,9	2,3	3,1 a 6,1	4,3
DQO (mg O ₂ /L)	40 a 48	43	29 a 34	32	40 a 53	47	32 a 44	35
DBO(mg O ₂ /L)	10 a 12	11	3 a 4	3	12 a 16	14	5 a 8	6
NTK (mg N/L)	50,4 a 60,7	56,4	46,8 a 56,6	48,1	40,0 a 51,7	45,8	32,7 a 43,1	38,0
N-NH ₃ (mg N-NH ₃ /L)	17,8 a 19,5	18,5	10,1 a 17,7	14,6	26,2 a 29,5	27,6	22,2 a 27,5	24,0
N-NO ₃ (mg N-NO ₃ /L)	-	-	-	-	0,6 a 1,2	0,8	0,7 a 1,3	1
P (mg P/L)	0,66 a 1,25	0,83	0,29 a 1,01	0,59	0,81 a 4,92	3,71	0,66 a 1,03	0,84
Coliformes Totais (NMP/100mL)	2,6E+05 a 1,2E+06	6,6E+05	2,0E+00 a 4,1E+00	2,8E+00	1,9E+06 a 1,1E+07	6,7E+06	1,4E+02 a 2,8E+03	1,4E+03
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	5,4E+04 a 3,0E+06	1,6E+05	1,0E+00 a 3,0E+00	2,0E+00	1,2E+06 a 1,7E+06	1,4E+06	1,0E+00 a 2,2E+02	7,0E+01

⁽¹⁾ SST - Sólidos em Suspensão Totais; ⁽²⁾ SSF - Sólidos em Suspensão Fixos; ⁽³⁾ SSV - Sólidos em Suspensão Voláteis;

⁽⁴⁾ OD - Oxigênio Dissolvido; ⁽⁵⁾ ND - Não Detectável

Ensaio IX : 10 mg/L de sulfato de alumínio; pH de coagulação □ 7,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRD II = 300 m³/m².dia

Ensaio X : 12,5 mg/L de sulfato férrico; pH de coagulação □ 5,0; taxa no FPA = 120 m³/m².dia; taxa no FRD II = 300 m³/m².dia

Tabela 5.7 – Comparação da qualidade do efluente terciário obtido na 2ª série com padrões e limites recomendados.

Parâmetro	Ensaio IX	Ensaio X	USEPA	“Título 22” Califórnia/EUA	OMS	Austrália ⁽¹⁾	Itália	Chipre	Israel	África do Sul	Arábia Saudita
Turbidez (NTU)	2,6	8,9	< 2	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	7,4	5,9	6 a 9	-	-	-	-	-	-	-	6 a 8,4
SST (mg/L)	4	11	< 30 ⁽²⁾	≤ 30 ⁽²⁾ ≤ 15 ⁽³⁾	-	-	-	< 45 ⁽²⁾ < 10 ⁽³⁾	< 20 ⁽²⁾ < 10 ⁽³⁾	-	< 10 ⁽³⁾
OD (mg O ₂ /L)	4,6	4,3	-	-	-	-	-		> 0,5	-	-
DBO(mg O ₂ /L)	3	6	< 30 ⁽²⁾ < 10 ⁽³⁾	≤ 30 ⁽²⁾ ≤ 15 ⁽³⁾	-	-	-	< 30 ⁽²⁾ < 15 ⁽³⁾	< 30 ⁽²⁾ < 15 ⁽³⁾	-	< 10 ⁽³⁾
Colif. Totais (NMP/100mL)	2,8	1400	-	≤ 23 ⁽²⁾ ≤ 2,2 ⁽³⁾	-	-	< 20 ⁽²⁾ < 2 ⁽³⁾	-	< 250 ⁽²⁾ < 12 ^{(3) (6)}	< 1000 ⁽²⁾ ND ⁽³⁾	< 2,2 ⁽³⁾
Colif. Fecais/ <i>E. coli</i> (NMP/100mL)	2,0	70	< 200 ⁽²⁾ ND ^{(3) (4)}	-	< 200 ⁽³⁾	< 10.000 ⁽²⁾ < 1 ^{(3) (5)}	-	-	< 1000 ⁽²⁾ < 100 ⁽³⁾	-	-

(1) limite de coliformes em UFC/100mL; (2) para reúso urbano restrito; (3) para reúso urbano irrestrito; (4) ND: não detectável; (5) < 10 para alto contato, < 100 para médio contato e < 1000 para baixo contato; (6) em 80% das amostras, e < 2,2 NMP/100mL para 50% das amostras.

De acordo com a Tabela 5.7, o efluente tratado em nível terciário no ensaio IX poderia ser utilizado em reúso urbano restrito segundo a maioria dos padrões e recomendações encontrados na literatura, como os da USEPA, do Estado da Califórnia - EUA e os aplicados na Itália, África do Sul e Arábia Saudita. O efluente poderia, portanto, ser empregado na irrigação de áreas nas quais o acesso de pessoas pode ser controlado, como campos de golfe, cemitérios, canteiros de auto-estradas e lagos recreacionais paisagísticos de acesso restrito.

No entanto, segundo as recomendações da OMS quanto ao número de Coliformes Fecais, e dos padrões adotados na Austrália, Chipre e Israel, o efluente produzido no ensaio IX também poderia ser aplicado em reúso urbano irrestrito, que contempla a irrigação de parques de acesso público, jardins residenciais e escolares, descarga de sanitários, proteção contra incêndio, construção civil e fontes ornamentais.

Já o efluente produzido pelo ensaio X não é recomendado para reúso urbano de acordo com a legislação do Estado da Califórnia, “Título 22”, e padrões aplicados na Itália, Israel, África do Sul e Arábia Saudita. No entanto, de acordo com recomendações da USEPA e padrões aplicados em Chipre, este pode ser aplicado em reúso urbano restrito, e, ainda, segundo a OMS e recomendações da Austrália, em que o único limite estabelecido entre os parâmetros avaliados na 2ª série é de concentração de Coliformes Fecais, o reúso pode ser urbano e irrestrito.

Comparando ainda os valores médios dos parâmetros avaliados durante os ensaios da 2ª série, com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 na classificação de águas, relacionados na Tabela 3.7 e os usos permitidos, apresentados na Tabela 3.6, verificou-se que o efluente terciário produzido no ensaio IX se enquadra na Classe 1 quando considerados os parâmetros Coliformes Fecais, DBO, turbidez, cor verdadeira e pH, em que é permitido o uso para recreação de contato primário e irrigação de hortaliças e frutas. No entanto, quanto aos parâmetros OD e N-NH₃, este se enquadra na Classe 3 e 4, respectivamente, sendo que a Classe 3 permite irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras e a Classe 4 somente para navegação e harmonia paisagística.

O efluente produzido no ensaio X, segundo a classificação do CONAMA, se enquadra na Classe 1 para Coliformes Fecais, turbidez, cor verdadeira e pH, considerando que haja correção do pH no final do processo de tratamento, na Classe 3 de acordo com os valores de DBO e OD e ainda na Classe 4 para a concentração de N-NH₃ verificada.

5.3.4. 3ª SÉRIE

O principal objetivo desta série foi avaliar a remoção física de ovos de helmintos, cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* eventualmente presentes, não avaliados nas séries anteriores; e, ainda verificar a eficiência de inativação de ovos de helmintos por radiação UV. Além destes, foram avaliadas novamente as remoções de turbidez, cor aparente e a remoção e inativação de Coliformes Totais e *E. coli*.

A sensibilidade da metodologia de detecção e quantificação de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.*, foi estimada pela média da porcentagem de (oo)cistos recuperados em dois experimentos controles-positivos (Tabela 5.8). Os valores encontrados indicaram que a quantidade de partículas em suspensão, evidentemente maior no efluente secundário, é um fator crítico, podendo interferir nas taxas de recuperação de cistos e oocistos devido à adesão entre as formas de resistência destes protozoários e partículas presentes nas amostras.

Tabela 5.8 – Porcentagem de recuperação de (oo)cistos na metodologia de detecção e quantificação de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.*

Amostra	% de recuperação de (oo) cistos	
	<i>Giardia spp.</i>	<i>Cryptosporidium spp.</i>
A (efluente secundário)	39,5%	37,5%
C (efluente filtrado)	107%	88,5%

É importante ressaltar que taxas de recuperação superiores à 100 % podem ser ocasionalmente verificadas em função de aspectos biológicos do inóculo (idade, condições de armazenamento, procedimentos prévios de limpeza e de diluição) (LINDQUIST et al., 1999); além disso, sabe-se que cistos de *Giardia* spp. têm uma maior tendência à agregação que os oocistos de *Cryptosporidium* spp. (YAKUB et al., 2000).

O coagulante utilizado nestes ensaios foi o sulfato de alumínio, com dosagem de 10 mg/L e pH de coagulação em torno de 7,0, e as taxas de aplicação foram de 120 m³/m².dia no FPA e 300 m³/m².dia no FRD II.

Os resultados obtidos na 3ª série de ensaios são apresentados na Tabela 5.9.

Para os parâmetros turbidez, pH e cor aparente, além dos valores apresentados na Tabela 5.9, foi acompanhada a variação em intervalos de 30 minutos durante a operação da instalação piloto, de 2 horas e 30 minutos, que estão apresentadas no anexo J.

No ensaio XI, a turbidez do efluente secundário variou de 4 a 5 NTU, enquanto nos ensaios XII e XIII foram observados valores superiores, de 6,5 a 7,6 NTU, e de 9,2 a 12,6 NTU, respectivamente. Nos ensaios XIV e XV o efluente secundário voltou a apresentar valores de turbidez mais baixos, respectivamente, entre 3,0 e 3,8 NTU e entre 2,6 a 4,0 NTU.

Foram coletadas amostras de efluente filtrado após 30 min do início da carreira de filtração (amostra C1) e no encerramento pré-determinado, após 2 horas e 30 minutos (amostra C2), na tentativa de avaliar a diferença na qualidade de efluente produzido no período de amadurecimento do filtro e após, no período considerável estável. No entanto, estas diferenças praticamente não foram observadas para os parâmetros turbidez e cor aparente, pois os valores médios encontrados para amostra C1 foram superiores a amostra C2 da ordem de apenas 0,1 NTU para turbidez e de 3 mgPt Co/L para cor aparente. Já para o parâmetro Coliformes Totais esta diferença foi de 3.10⁴ NMP/100 mL, para *E. coli* foi de 1,3.10⁴ NMP/100 mL e para cistos de *Giardia* spp. foi de 44 cistos/L.

Tabela 5.9 – Resultados obtidos nos ensaio XI, XII, XIII, XIV e XV da 3ª série

Ensaio		XI	XII	XIII	XIV	XV	valores médios
Data do ensaio		26/4/2005	10/5/2005	24/5/2005	14/6/2005	21/6/2005	
Parâmetros	Amostras						
Dose UV (mWs/cm ²)		95,67	92,84	91,86	94,69	94,21	93,85
Turbidez (NTU)	A ⁽¹⁾	4,2	6,5	9,2	3,7	2,6	5,2
	C1 ⁽²⁾	1,3	2,7	3,8	0,6	0,9	1,9
	C2 ⁽³⁾	1,2	2,4	3,4	0,6	0,4	1,6
	D ⁽⁴⁾	1,2	2,2	3,3	0,6	0,4	1,5
Cor aparente (mg PtCo/L)	A	80	116	134	66	59	91
	C1	40	66	68	39	40	51
	C2	40	59	68	37	35	48
	D	38	56	60	37	34	45
pH	A	7,3	7,4	7,5	7,1	7,3	-
	C1	7,3	7,5	7,5	7,2	7,3	-
	C2	7,3	7,5	7,5	7,2	7,1	-
	D	7,2	7,4	7,5	7,1	7,1	-
Coliformes totais (NMP/100mL)	A	1,3E+05	6,9E+05	1,9E+06	6,6E+04	1,6E+05	5,9E+05
	C1	2,0E+04	3,7E+05	3,4E+05	6,1E+04	1,4E+05	1,9E+05
	C2	3,1E+04	2,4E+05	4,6E+05	1,7E+04	3,9E+04	1,6E+05
	D	1,0E+00	1,0E+00	1,8E+01	3,1E+00	1,7E+01	8,0E+00
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	A	2,5E+04	1,6E+05	2,3E+05	8,6E+03	3,2E+04	9,1E+04
	C1	3,0E+03	1,3E+05	1,1E+05	3,2E+03	7,1E+03	5,1E+04
	C2	5,2E+03	9,9E+04	7,8E+04	2,3E+03	7,9E+03	3,8E+04
	D	1,0E+00	1,0E+00	2,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	1,2E+00
<i>Giardia spp.</i> (nº cistos/L)	A	8,0E+02	7,1E+02	5,0E+02	5,5E+02	5,5E+02	6,2E+02
	C1	7,1E+01	4,2E+01	4,3E+02	7,5E+01	5,0E+01	1,3E+02
	C2	1,3E+02	1,3E+02	9,5E+01	5,0E+01	2,5E+01	8,6E+01
<i>Cryptosporidium spp.</i> (nº oocistos/L)	A	ND ⁽⁵⁾	ND	5,0E+01	ND	ND	-
	C1	ND	ND	ND	ND	ND	-
	C2	ND	ND	ND	ND	ND	-
Ovos de helmintos ⁽⁶⁾ (nº ovos/L)	A	5,6E+01	5,6E+01	1,7E+02	8,3E+01 ⁽⁸⁾	ND	7,2E+01
	D	ND	ND	8,3E+01 ⁽⁸⁾	8,3E+01 ⁽⁸⁾	8,3E+01 ⁽⁸⁾	5,0E+01
Ovos de helmintos ⁽⁷⁾ (nº ovos/L)	A	ND	ND	ND	ND	3,3E+01 ⁽⁸⁾	6,6E+00
	D	ND	ND	1,4E+01 ⁽⁸⁾	1,7E+01 ⁽⁸⁾	ND	6,1E+00

⁽¹⁾ amostra A: efluente secundário⁽²⁾ amostra C1: efluente filtrado, coletado após 30 min de filtração⁽³⁾ amostra C2: efluente filtrado, coletado após 2 horas e 30 min de filtração⁽⁴⁾ amostra D: efluente pós-UV⁽⁵⁾ ND: não detectado⁽⁶⁾ verificação de viabilidade com Azul Trypan⁽⁷⁾ verificação de viabilidade após incubação⁽⁸⁾ observação de larvas (nº larvas/L)

A eficiência em termos de remoção para os parâmetros avaliados nesta série, pelo processo de filtração direta é apresentada na Figura 5.57.

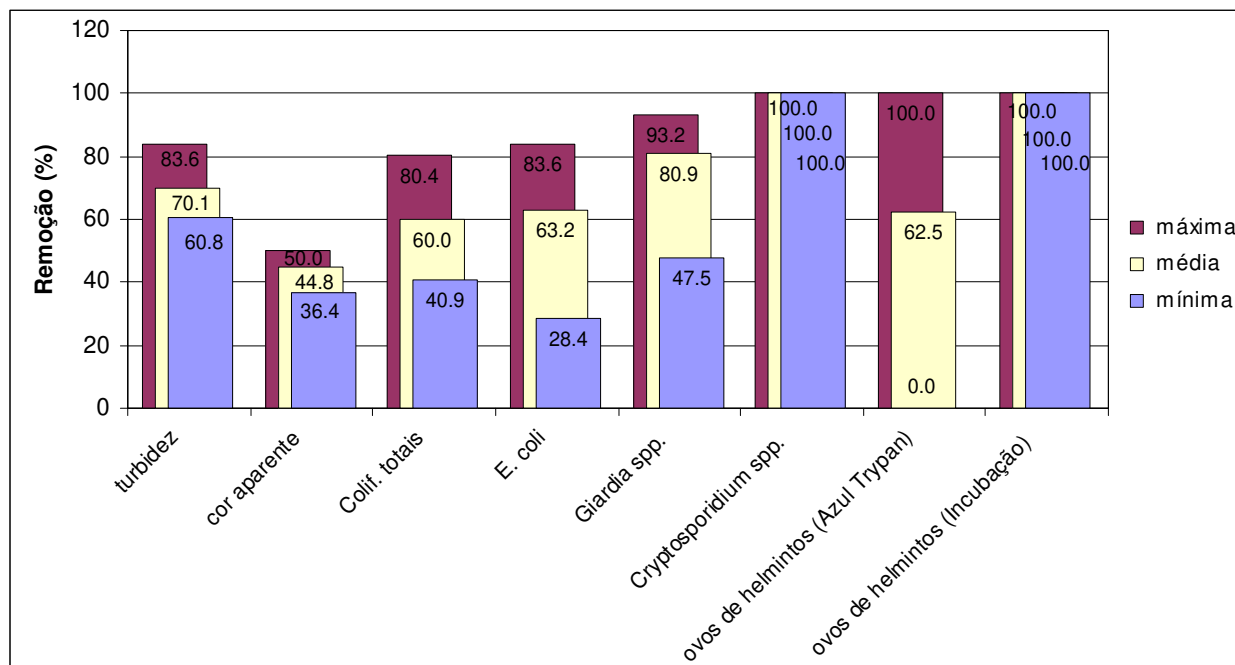


Figura 5.57 – Porcentagem de remoção de turbidez, cor aparente, Coliformes Totais, *E. coli*, cistos de *Giardia* spp., oocistos de *Cryptosporidium* spp. e ovos de helmintos por filtração direta (com pré-floculação) nos ensaios da 3ª série.

Tanto o valor máximo para remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp., como o valor mínimo, são representados como 100 %. Isto se deve ao fato de que oocistos foram encontrados em apenas uma amostra de efluente secundário na concentração de 50 oocistos/L que, de acordo com os resultados, foi totalmente removida pelo processo de filtração direta. Portanto, estes resultados referem-se somente ao ensaio XIII.

Embora em alguns ensaios a remoção de ovos de helmintos tenha atingido o valor máximo de 100 % (ensaios XI, XII e XV), a remoção média variou em função da metodologia empregada (coloração com Azul Trypan ou incubação em placa de Petri). No ensaio XV utilizando Azul Trypan, observou-se a presença de larvas de helmintos apenas na amostra de efluente filtrado pós-UV, não sendo observadas na amostra de efluente secundário. O mesmo ocorreu nos ensaios XIII e XIV quando foi empregada a metodologia de incubação em placa de Petri. Desta forma, os valores de remoção de ovos de helmintos apresentados na Figura 5.57,

referem-se aos ensaios de XI a XIV para a metodologia que emprega o Azul Trypan, e somente ao ensaio XV para a metodologia de incubação, por ser o único ensaio em que foi verificada a presença de helmintos na amostra de efluente secundário.

Considerando as concentrações médias de ovos de helmintos dos 5 ensaios, a eficiência de remoção foi de 8 e 31% utilizando-se as metodologias de incubação em placa de Petri e coloração com Azul Trypan, respectivamente.

Observou-se, ainda, que a remoção média de turbidez obtida na 3ª série foi compatível com os valores obtidos em escala de bancada (73 %), na 1ª série (79 %), e na 2ª série (76 %), para as mesmas condições de coagulação, pré-floculação e filtração. O mesmo foi verificado para cor aparente, que em escala de bancada apresentou remoção de 35 %, na 1ª série, de 45 % e na 2ª série, de 58 %.

A remoção média de Coliformes Totais verificada na 3ª série foi um pouco inferior aos 70 % obtidos na 2ª série. No entanto, a remoção de *E. coli* foi superior aos 52 % verificados anteriormente.

Embora observada remoção média de 80,9 % de cistos de *Giardia* spp. nos ensaios, a concentração remanescente no efluente filtrado pode ser considerada alta, desde 25 até 430 cistos/L. A mesma observação foi feita com relação a ovos de helmintos, Coliformes Totais e *E. coli*, que apresentaram, respectivamente, valores de até 83 ovos/L, $3,7 \cdot 10^5$ NMP/100 mL e $1,3 \cdot 10^5$ NMP/100 mL no efluente filtrado.

Estes valores reforçam a grande importância da etapa de desinfecção por radiação UV para garantir efluente terciário com qualidade compatível para aplicação em reúso urbano, de forma que não represente risco à saúde pública.

No entanto, devido à complexidade metodológica para determinação da infectividade de cistos de *Giardia* spp. e de oocistos de *Cryptosporidium* spp., que inclui, ou o teste de cultivo celular (no caso de *Cryptosporidium* spp.), ou de infectividade animal (para *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp.) a eficiência da desinfecção por radiação UV não foi avaliada neste

estudo. Para ovos de helmintos, duas metodologias foram empregadas (coloração com Azul Trypan e incubação em placa de Petri). Porém, a inativação de ovos de helmintos não pode ser estimada no caso da primeira metodologia, uma vez que não foram observados ovos na amostra de efluente tratado pós-UV. O mesmo ocorreu quando utilizada a metodologia de incubação em placa de Petri pois, no efluente pós-UV, só foram observadas larvas, não sendo encontradas formas não viáveis de ovos. Portanto, devido às dificuldades metodológicas inerentes a esses protocolos, os resultados obtidos forneceram uma indicação de que a inativação de ovos de helmintos por radiação UV não foi completamente eficiente, não sendo possível quantificá-la.

Os resultados de inativação de Coliformes Totais e *E. coli* são apresentados na Figura 5.58.

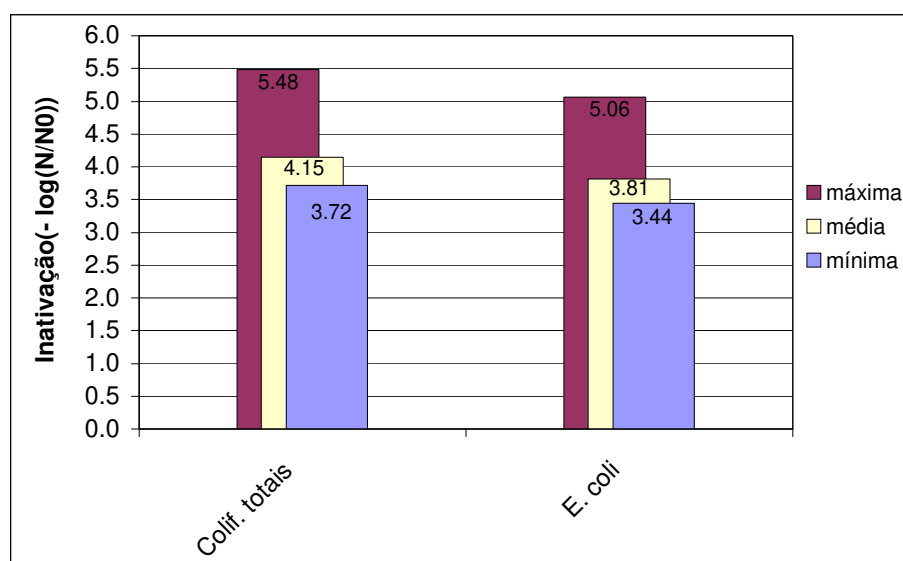


Figura 5.58 - Inativação de Coliformes Totais e *E. coli* por radiação UV nos ensaios da 3ª série.

A inativação média na ordem de 4 log verificada para Coliformes Totais e *E. coli*, provocada por uma dose média de 93,9 mWs/cm² de radiação UV, representou concentrações no efluente terciário final de, respectivamente, 1 a 18 NMP/100 mL e de 1 a 2 NMP/100 mL.

Na Figura 5.59 é apresentada a eficiência do tratamento terciário proposto, com todas as suas etapas, para os parâmetros avaliados na 3ª série de ensaios.

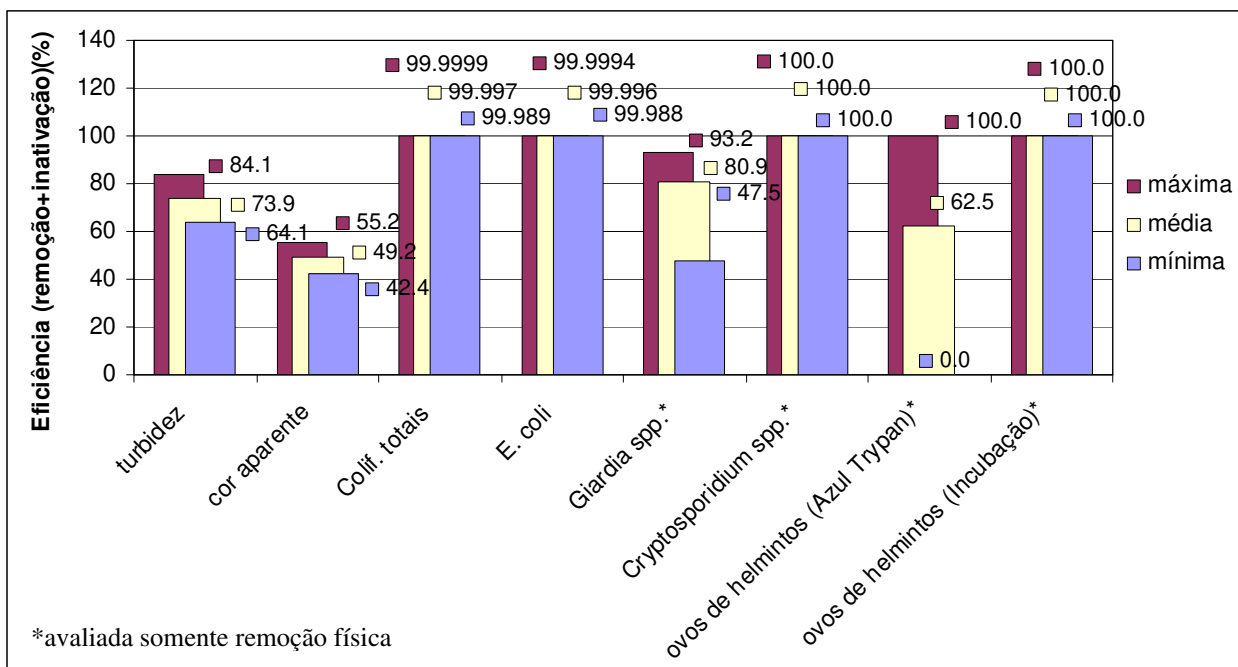


Figura 5.59 – Eficiência do tratamento terciário para os parâmetros avaliados na 3ª série.

Comparando os valores médios de turbidez, Coliformes Totais e *E. coli* remanescentes no efluente terciário com os padrões e metas recomendadas, apresentados anteriormente na Tabela 5.7, verificou-se que este está adequado para reúso urbano irrestrito, de acordo com a USEPA e com os padrões adotados em Israel e Austrália.

No entanto, de acordo com as exigências aplicadas no Estado da Califórnia - EUA, pelo “Título 22”, e dos padrões adotados na Itália, na África do Sul e Arábia Saudita, em função da concentração de Coliformes Totais no efluente terciário que excede os limites de “não detectável” a 2,2 NMP/100 mL, este não pode ser aplicado em reúso urbano irrestrito, portanto somente para irrigação de áreas nas quais o acesso de pessoas pode ser controlado.

A OMS é a única que sugere limite para concentração de ovos de helmintos (< 1 ovo/L), e as concentrações obtidas neste estudo, para o efluente tratado pós-UV, são superiores a esta recomendação (49,9 e 6,12 ovos/L, com a metodologia de Azul Trypan e Incubação em placa de Petri, respectivamente). Portanto, o efluente terciário produzido não pode ser aplicado para irrigação de áreas de acesso público. Estes resultados foram baseados na observação da presença de larvas.

Vale ressaltar que as recomendações existentes para qualidade do efluente para aplicação em reúso urbano não contempla limites para a presença e/ou concentração de (oo)cistos de protozoários, portanto, este ainda pode oferecer risco à saúde pública, uma vez que foi verificada alta concentração de cistos de *Giardia* spp. no efluente terciário, embora a confirmação deste risco só viria após o estudo de infectividade dos mesmos, após desinfecção por radiação UV.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no trabalho realizado, verificou-se que:

- i) Os melhores resultados em ensaio de bancada, em termos de remoção de turbidez e cor aparente, foram obtidos com dosagens iguais ou superiores a 10 mg/L, com pH ótimo de coagulação de 5,0 para sulfato de alumínio, e na faixa de 4,0 a 5,0 para sulfato férrico, valores indicados na literatura em que predomina a coagulação por mecanismo de adsorção e neutralização de cargas.
- ii) A metodologia utilizada para simular em escala de bancada a filtração direta de efluente secundário, com uso de filtro em papel de laboratório, mostrou-se adequada, uma vez que os resultados obtidos em escala piloto foram compatíveis àqueles em escala de bancada para turbidez e cor aparente.
- iii) A qualidade do efluente produzido na instalação piloto não foi influenciada pelas diferentes taxas de filtração aplicadas. A taxa de 300 m³/m².dia mostrou-se vantajosa no tratamento proposto, pois produziu maior volume efetivo de efluente tratado em nível terciário, sem comprometer a sua qualidade.
- iv) A turbidez do efluente do sistema terciário de tratamento, sob condições normais de operação da ETE Samambaia, esteve consistentemente abaixo de 2 NTU, o que não ocorreu, porém, quando houve significativa piora da qualidade do efluente secundário.

- v) A eficiência da remoção de cor verdadeira foi sempre superior para os ensaios em que os valores de pH de coagulação foram próximos de 5,0, em relação àqueles com pH 7,0, independente do tipo e dosagem de coagulante e da taxa de filtração.
- vi) A eficiência de remoção de SST obtida na instalação piloto, quando a ETE Samambaia operou sob condições normais, foi de 63 a 80 %.
- vii) A filtração direta promoveu remoções de 15 a 17 % de NTK, de 13 a 22 % de N-NH₃, nos ensaios em que a eficiência foi comprometida pela baixa qualidade do efluente secundário, fora dos padrões normais da ETE Samambaia.
- viii) A remoção média de P verificada no ensaio X, em que o pH de coagulação foi em torno de 5,0, correspondente a 65 %, foi praticamente o dobro da verificada no ensaio IX, em que o pH de coagulação foi próximo de 7,0. Este fato confirma que maiores remoções de fósforo são obtidas na faixa de pH de 4,5 a 5,0, conforme citado na literatura.
- ix) A eficiência da filtração direta com uso de 10 mg/L de sulfato de alumínio em pH de coagulação de 7,0, em termos de remoção de turbidez e cor aparente variou, respectivamente de 60 a 83 % e de 36 a 50 %. As remoções médias de Coliformes Totais e *E. coli* foram, respectivamente, 60 e 63 %. Para ovos de helmintos, considerando as concentrações médias de 5 ensaios, a eficiência de remoção foi de 8 e 31 % utilizando-se as metodologias de incubação em placa de Petri e coloração com Azul Trypan, respectivamente.
- x) Cistos de *Giardia* spp. foram encontrados em concentrações de 500 a 800 cistos/L no efluente secundário e a remoção média conseguida por filtração direta foi de 81%, no entanto a concentração remanescente no efluente filtrado ainda foi considerada alta, desde 25 até 430 cistos/L. Oocistos de *Cryptosporidium* spp. foram encontrados em apenas uma amostra de efluente secundário, na concentração de 50 oocistos/L, totalmente removidos no processo de filtração direta.
- xi) Dose de UV de aproximadamente 95 mWs/cm² foi capaz de inativar, em média, 4 log de Coliformes Totais e *E.coli*.

xii) Para ovos de helmintos, por meio das metodologias empregadas para análise de viabilidade, pode-se concluir que inativação por UV foi ineficiente, tendo em vista que foi observada a presença de larvas no efluente terciário; no entanto não foi possível quantificá-la.

xiii) Baseado nas recomendações da USEPA para os parâmetros turbidez, DBO, Coliformes Fecais, nas condições normais de funcionamento da ETE Samambaia, o processo proposto de tratamento terciário foi capaz de produzir efluente com qualidade satisfatória para reúso urbano irrestrito, podendo ser aplicado na irrigação de parques de acesso público, jardins residenciais e escolares, descarga de sanitários, proteção contra incêndio, limpeza urbana, construção civil e fontes ornamentais.

xiv) Para os parâmetros analisados nos ensaios em que as características do efluente secundário pioraram significativamente, resultando em condições não otimizadas de coagulação, o efluente terciário produzido foi condizente com as recomendações da USEPA quanto aos valores de DBO, SST e Coliformes Fecais, para aplicação somente em reúso urbano restrito, que consiste na irrigação de áreas em que o acesso de pessoas pode ser controlado, como campos de golfe, cemitérios, canteiros de auto-estradas e lagos recreacionais paisagísticos de acesso restrito.

xv) De acordo com as recomendações da OMS para concentração de ovos de helmintos (< 1 ovo/L), o efluente terciário com concentrações médias de 49,9 e 6,12 ovos/L, estimadas pela metodologia de Azul Trypan e Incubação em placa de Petri, respectivamente, não pode ser aplicado na irrigação de áreas de acesso público, tanto irrestrito como restrito.

xvi) A qualidade mínima do efluente aplicado em reúso urbano, recomendada por padrões e metas existentes, não garante a proteção à saúde pública quanto a presença de (oo)cistos de protozoários.

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Por fim, conclui-se que o efluente terciário produzido pelo tratamento proposto, constituído dos processos físico-químicos de coagulação, pré-floculação, filtração e desinfecção com UV, ainda representaria risco a saúde pública considerando os parâmetros microbiológicos avaliados, e, portanto, não poderia ser aplicado em reúso urbano, como irrigação de parques e jardins, limpeza urbana, lavagem de veículos, combate a incêndio, entre outros.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, recomenda-se :

- i) Estudos adicionais de coagulação química do efluente secundário.
- ii) Estudos com unidade ascendente funcionando como pré-filtro
- iii) Estudos com outras composições de meio filtrante no FRD, em relação à granulometria e espessuras das camadas.
- iv) Estudo de filtração direta de efluente secundário em Filtro Rápido Descendente (FRD) com carga hidráulica máxima disponível de, aproximadamente, 2 metros, que permita a avaliação do comportamento do sistema durante carreiras de filtração de duração mais prolongada.
- v) Estudos adicionais com relação ao método de limpeza dos filtros.
- vi) Avaliação da remoção de nutrientes do efluente secundário, produzido sob as condições normais de funcionamento da ETE Samambaia, pelo processo de filtração direta proposto.

- vii) Estudos adicionais de inativação de ovos de helmintos por radiação ultravioleta.
- viii) Estudos de infectividade de (oo)cistos de protozoários remanescentes no efluente do tratamento terciário.
- ix) Estudos com aplicação de cloro na desinfecção de efluente terciário.

**ANEXO A - Parâmetros de qualidade e tratamentos requeridos por estados americanos para
reúso urbano irrestrito e restrito**

ANEXO A - Parâmetros de qualidade e tratamentos requeridos por estados americanos para reúso urbano irrestrito e restrito

Estado	Reúso urbano irrestrito		Reúso urbano restrito	
	Tratamento	Padrões de qualidade	Tratamento	Padrões de qualidade
Arkansas	Secundário e desinfecção	-	Secundário e desinfecção	-
Arizona	-	pH : 4,5 a 9,0 colif. fecais $\leq 25/100\text{mL}$ (média) $\leq 75/100\text{mL}$ (amostra individual) Turbidez $\leq 2\text{NTU}$	-	pH : 4,5 a 9,0 colif. fecais $\leq 200/100\text{mL}$ (média) $\leq 1000/100\text{mL}$ (amostra individual)
Califórnia	Desinfecção, oxidação, coagulação, clarificação e filtração	colif. totais $\leq 2,2/100\text{mL}$ (média) $\leq 23/100\text{mL}$ (amostra individual) Turbidez $\leq 2\text{NTU}$	Desinfecção, oxidação	colif. totais $\leq 23/100\text{mL}$ (média) $\leq 240/100\text{mL}$ (amostra individual)
Colorado	Desinfecção, oxidação, coagulação, clarificação e filtração	colif. totais $\leq 2,2/100\text{mL}$ (média) $\leq 23/100\text{mL}$ (amostra individual)	Desinfecção, oxidação	colif. totais $\leq 23/100\text{mL}$ (média) $\leq 240/100\text{mL}$ (amostra individual)
Delaware	Biológico	DBO $\leq 30\text{ mg/L}$ SST $\leq 30\text{ mg/L}$ colif. fecais $\leq 30/100\text{mL}$	Biológico	DBO $\leq 30\text{ mg/L}$ SST $\leq 30\text{ mg/L}$ colif. fecais $\leq 30/100\text{mL}$
Flórida	Secundário, filtração, desinfecção e eventualmente coagulação química	DBO $\leq 20\text{ mg/L}$ (média anual) SST $\leq 5\text{ mg/L}$ Cl_2 residual $\geq 1\text{ mg/L}$ colif. fecais $\leq 25/100\text{mL}$ (75% das amostras)	Secundário, filtração, desinfecção e eventualmente coagulação	DBO $\leq 20\text{ mg/L}$ (média anual) SST $\leq 5\text{ mg/L}$ Cl_2 residual $\geq 1\text{ mg/L}$ colif. fecais $\leq 25/100\text{mL}$ (75% das amostras)
Geórgia	Biológico	DBO $\leq 30\text{ mg/L}$ SST $\leq 30\text{ mg/L}$ colif. fecais $\leq 30/100\text{mL}$	Biológico	DBO $\leq 30\text{ mg/L}$ SST $\leq 30\text{ mg/L}$ colif. fecais $\leq 30/100\text{mL}$
Hawaii	Oxidação, coagulação, filtração e desinfecção	colif. totais $\leq 2,2/100\text{mL}$ (média em 7 dias) colif. totais $\leq 23/100\text{mL}$ (amostra individual)	Desinfecção, oxidação	colif. totais $\leq 23/100\text{mL}$ (média em 7 dias) $\leq 240/100\text{mL}$ (amostra individual)
Idaho	Desinfecção, oxidação, coagulação, clarificação e filtração	colif. totais $\leq 2,2/100\text{mL}$ (média)	Desinfecção, oxidação	colif. totais $\leq 230/100\text{mL}$ (média)
Illinois	Lagoas em série, filtração e desinfecção ou secundário com dsinfecção	-	Lagoas em série, filtração e desinfecção ou secundário com dsinfecção	-
Kansas	Secundário, filtração, desinfecção	-	Secundário, filtração, desinfecção	-
Maryland	-	-	-	pH : 6,5 a 9,0 DBO $\leq 30\text{ mg/L}$ SST $\leq 90\text{ mg/L}$ colif. fecais $\leq 3/100\text{mL}$
Missouri	-	-	Secundário, desinfecção	colif. fecais $\leq 200/100\text{mL}$

Fonte: USEPA (1992)

ANEXO A - Parâmetros de qualidade e tratamentos requeridos por estados americanos para reúso urbano irrestrito e restrito (Continuação)

Estado	Reúso urbano irrestrito		Reúso urbano restrito	
	Tratamento	Padrões de qualidade	Tratamento	Padrões de qualidade
Montana	Desinfecção, oxidação, coagulação, clarificação e filtração	colif. fecais $\leq$ 2,2/100mL(média em 7 dias) $\leq$ 75/100mL(amostra individual) Turbidez $\leq$ 2NTU(média), 5 NTU	Desinfecção, oxidação	colif. fecais $\leq$ 200/100mL(média em 7 dias) $\leq$ 400/100mL(amostra individual)
Nebraska	-	-	Biológico e desinfecção	-
Nevada	Secundário, desinfecção	colif. fecais $\leq$ 2,2/100mL(média) $\leq$ 23/100mL(amostra individual) Turbidez $\leq$ 3 NTU	Secundário, desinfecção	colif. fecais $\leq$ 2,2/100mL(média) $\leq$ 23/100mL(amostra individual) Turbidez $\leq$ 3 NTU
New México	Tratamento adequado e desinfecção	colif. fecais $\leq$ 100/100mL	Tratamento adequado e desinfecção	colif. fecais $\leq$ 1000/100mL
North Carolina	-	-	-	SST $\leq$ 5 mg/L (média mensal) $\leq$ 10 mg/L colif. fecais $\leq$ 1/100mL
Oklahoma	-	-	Variável, no mínimo tratamento primário	-
Oregon	Biológico, desinfecção, coagulação e filtração	colif. totais $\leq$ 2,2/100mL(média) $\leq$ 23/100mL(amostra individual) Turbidez $\leq$ 2NTU(média -24 h), 5 NTU	Biológico, desinfecção,	colif. totais $\leq$ 23/100mL(média) $\leq$ 240/100mL(amostra individual)
South Carolina	Secundário com desinfecção, coagulação química e filtração	-	Secundário com desinfecção, coagulação química e filtração	DBO $\leq$ 5 mg/L SS $\leq$ 5mg/L colif. totais $\leq$ 4/100mL(média) $\leq$ 200/100mL(para campos de golf)
South Dakota	Secundário e desinfecção	colif. totais $\leq$ 200/100mL(média)	Secundário e desinfecção	colif. totais $\leq$ 200/100mL(média)
Tennessee	Depende de cada caso, desinfecção	DBO $\leq$ 30 mg/L SST $\leq$ 30 mg/L colif. fecais $\leq$ 200/100mL	Depende de cada caso, desinfecção	DBO $\leq$ 30 mg/L SST $\leq$ 30 mg/L colif. fecais $\leq$ 200/100mL
Texas	-	DBO $\leq$ 5 mg/L Turbidez $\leq$ 30 NTU (média 30 dias) ; colif. fecais $\leq$ 75/100mL	-	DBO $\leq$ 30 mg/L SST $\leq$ 30 NTU; colif. fecais $\leq$ 200/100mL
Utah	Tratamento avançado	DBO $\leq$ 10 mg/L SST $\leq$ 5 mg/L colif. totais $\leq$ 3/100mL	Tratamento avançado	DBO $\leq$ 10 mg/L SST $\leq$ 5 mg/L colif. totais $\leq$ 3/100mL
Washington	Secundário	colif. totais $\leq$ 20/100mL(média)	Secundário	colif. totais $\leq$ 20/100mL(média)
Wyoming	-	pH: 4,5 a 9,0 DBO $\leq$ 10 mg/L colif. fecais $\leq$ 200/100mL Sólidos dissolvidos $\leq$ 480 mg/L	-	pH: 4,5 a 9,0 DBO $\leq$ 10 mg/L colif. fecais $\leq$ 200/100mL Sólidos dissolvidos $\leq$ 480 mg/L

Fonte: USEPA (1992)

ANEXO B - Métodos para determinação de parâmetros microbiológicos

Método Colilert (Quanti-Tray®/2000) – IDEXX para detecção e quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli*

O Método Quanti-Tray®/2000 de IDEXX Laboratories, Inc. é usado para detecção, confirmação e quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água ou esgoto, com base no procedimento do substrato definido (Defined Substrate Technology®-IDEXX).

O reagente disponível no kit, composto de nutrientes indicadores, é misturado a 100 mL de amostra, coletada em frasco de vidro previamente auto-clavado, que em seguida é colocada na cartela “Quanti-Tray”, e incubada por 24 horas em temperatura de $37 \pm 0,5$ °C.

O reagente, quando metabolizado pelos coliformes totais, desenvolve a cor amarela e, quando metabolizado pela *Escherichia coli*, apresenta fluorescência ao ser irradiado por luz ultravioleta. Após a contagem das “células” positivas para coliformes totais e *E. coli* na cartela “Quanti-Tray”, encontra-se, na tabela componente do kit, o NMP/100mL de cada um dos microorganismos. O limite inferior de detecção é 1 NMP/100mL e o limite superior é de 2419,6 NMP/100mL.

Para amostras cujas concentrações de microorganismos excedem o limite de detecção, como no caso das amostras de efluente secundário, é necessário o uso da técnica de diluições sucessivas, pois permite diluições de grandezas muito divergentes (ASSALIN, 2001). Como água de diluição foi utilizada água deionizada estéril.

Método de filtração em membrana e reação de imunofluorescência para detecção e quantificação de Cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp.

O método empregado, neste estudo, para o processamento das amostras de efluente secundário e filtrado, com a finalidade de detectar e quantificar os cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp, seguiu os procedimentos descritos por FRANCO e CANTUSIO NETO (2002), envolvendo as seguintes etapas: (1) concentração dos organismos eventualmente presentes nas diversas amostras mediante a filtração em membrana, (2) recuperação destes a partir da matriz filtrante, empregando eluição com solução contendo detergente (solução de eluição), (3) centrífugo-concentração do líquido resultante e (4) imunofluorescência direta para a visualização e enumeração de cistos e oocistos.

As amostras, de efluente secundário e efluente filtrado, foram coletadas em galões limpos e descontaminados, previamente enxaguados com solução de eluição contendo Tween 80 (0,1 %) a fim de evitar a possível adesão de cistos e oocistos à sua superfície.

No mesmo dia em que foram realizadas as coletas, as diversas amostras foram submetidas à filtração em membranas de ésteres mistos de celulose, de 47 mm de diâmetro e 3 µm de porosidade nominal (marca Millipore®). Através de filtração com bomba de vácuo e porta filtro da marca Gelman®, foram filtrados um volume de no mínimo 2 L de cada amostra e as membranas utilizadas para esse fim, eram colocadas em placas plásticas de Petri estéreis para realização da etapa seguinte, de recuperação de (oo)cistos. Foi permitido o tempo máximo de 40 minutos sob pressão de filtração para cada membrana quando, então, eram trocadas para dar prosseguimento à etapa de filtração e atingir o volume mínimo de 2L. Para amostras de efluente filtrado foi possível a filtração de até 4 L.

As membranas foram eluídas mediante um protocolo combinado de extração mecânica, que consistiu na raspagem da superfície das membranas com auxílio de alça plástica por 10 minutos, e lavagem manual com solução de eluição (Tween 80 0,1%) também por 10 minutos. O líquido resultante deste procedimento foi concentrado através de centrifugação a 1050 x g por 10

minutos. O sobrenadante foi cuidadosamente descartado e o sedimento, ressuspenso em água destilada, foi novamente centrifugado, nas mesmas condições. Finalmente, o sobrenadante foi aspirado e o sedimento obtido foi diluído até o volume de 1 mL e armazenado em tubo tipo eppendorf. Este volume foi submetido à agitação por Vortex durante 2 minutos e invertido 3 vezes, para garantir uma distribuição homogênea dos organismos eventualmente presentes no sedimento, no momento da retirada da alíquota de 5µL que foi submetida à reação de imunofluorescência direta (IFA) com anticorpos monoclonais específicos, empregando-se o kit Merifluor® (*Cryptosporidium/Giardia* –Meridian Bioscience, Cincinnati, Ohio).

Duas alíquotas de 5µL de cada amostra foram transferidas e aplicadas de maneira uniforme nos poços das lâminas de imunofluorescência e processadas da seguinte forma: após secagem à temperatura ambiente, foram fixadas com 10µL de metanol. Adicionou-se à cada alíquota, 1 gota do reagente de detecção contendo anticorpo monoclonal anti-*Cryptosporidium* e anti-*Giardia*, marcado com fluoresceína e 1 gota do contra-reagente para bloqueio da reação. As lâminas foram mantidas à temperatura ambiente em câmara úmida e ao abrigo da luz, durante 30 minutos. Posteriormente, o excesso de reagentes foi retirado cuidadosamente por meio de gotejamento de solução tampão, disponível no kit, diluída e inclinação das lâminas a 45° (CANTUSIO NETO, 2004; OLIVEIRA, 2005). Para visualização das preparações foi utilizado o microscópio de epifluorescência (Zeiss Axiolab®), com filtros de excitação de 450-490 nm e um filtro de barreira de 520 nm.

Os critérios de positividade considerados neste estudo para a identificação de cistos e oocistos foram: cor e intensidade da fluorescência (tonalidade verde-maçã brilhante, predominante na parede dos protozoários), tamanho e formato dos organismos visualizados (de 8-12 µm e forma oval para os cistos de *Giardia* spp. e de 4-6 µm, formato esférico, para oocistos de *Cryptosporidium* spp.).

A estimativa do número de cistos e oocistos por litro levou em consideração o volume efetivamente filtrado da amostra, do sedimento obtido após eluição-concentração, e da alíquota submetida à IFA. Portanto:

$$X = \frac{n}{v} \cdot \frac{s}{V_f} \quad (\text{Eq. B.1})$$

Onde, X = concentração de (oo)cistos (n° (oo)cistos/L);

n = número de (oo)cistos;

v = volume da alíquota tomada (μL);

s = volume do sedimento (μL); e

V_f = volume filtrado de amostra (L).

Foram ainda realizados 2 experimentos-controle positivos, com a finalidade de avaliar a sensibilidade de recuperação de cistos/oocistos da metodologia empregada neste estudo. Para o cálculo da dose de cistos e oocistos a ser inoculada, três alíquotas de $5\mu\text{L}$ da suspensão de cistos e oocistos existente no Kit foram enumeradas diretamente nos poços das lâminas de IFA, sendo calculada a média do número de (oo)cistos encontrados em cada poço, analisado por 3 microscopistas distintos, sem o conhecimento prévio dos resultados. A partir desta, efetuou-se diluição em PBS estéril com a finalidade de obter uma concentração estimada de 10^2 (oo)cistos/L. Por último, $100\mu\text{L}$ da suspensão final diluída, com valor estimado de 2.132 oocistos de *Cryptosporidium spp.* e 410 cistos de *Giardia spp.*, foram inoculados em 2L das amostras de efluente secundário e em 4L das amostras de efluente filtrado.

Passadas 24 horas após a inoculação, as amostras foram processadas conforme a metodologia descrita anteriormente, e a eficiência de recuperação (E) foi determinada da seguinte maneira:

$$E = \frac{n_r - n_m}{n_i} \cdot 100 \quad (\text{Eq. B.2})$$

Onde, E = eficiência de recuperação(%);

n_r = número de (oo)cistos recuperados;

n_m = número médio de (oo)cistos encontrados nas amostras processadas sem
inoculação; e

n_i = número de (oo)cistos inoculados.

Como controle negativo, um volume de 2 L de água destilada foi filtrado sob as mesmas condições, de maneira intercalada à filtração das amostras do experimento controle positivo, e as membranas processadas através da metodologia já descrita, servindo de indicativo para possíveis contaminações durante as etapas do processamento das amostras.

Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) para determinação e quantificação de ovos de helmintos

O protocolo utilizado neste trabalho para recuperação de ovos de helmintos seguiu os procedimentos do Método NOM-001-ECOL-1996 (MÉXICO, 1996), derivado do método USEPA³¹ (1992, apud VICTORICA et al., 2003), para detecção e quantificação de ovos de helmintos em lodos, esgoto bruto e tratado. Vale ressaltar que a determinação da viabilidade dos ovos não é descrita neste método.

O método é baseado na concentração por sedimentação natural em repetidas vezes e a seguir, uma etapa de sedimentação combinada com solução bifásica, seguido de extração com solução de flutuação; e a eficiência média de recuperação relatada é de 90% (VICTORICA et al., 2003).

³¹ USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Environmnetal Regulations and Technology** : Control of pathogens and vector attraction in sewage and sludge (including domestic septage) under 40 CFR Part 503. appendix I: analytical method for viable helminth ova. EPA/635/R-92/013, pp. 147-152, December, 1992.

Foram tomados 1L de amostra, de efluente secundário e efluente terciário (após filtração e desinfecção) e colocados em bquer para sedimentação (durante 1 noite). No dia seguinte foi descartado o sobrenadante (cerca de 700 mL para cada amostra) e, novamente deixado sedimentar “overnight”.

No 3º dia de processamento, para cada amostra, retirou-se o sobrenadante, cerca de 200 mL, e o sedimento juntamente com as lavagens do bquer, realizadas com água destilada, foram transferidos para tubos de centrífuga de 15 mL. Após centrifugação a 400 x g por 3 minutos, o sobrenadante foi aspirado e o sedimento (1 mL) ressuspensionado em 9mL de solução saturada de sulfato de zinco (de densidade 1,3), e submetido a nova centrifugação nas mesmas condições. Em seguida, 9,5 mL de sobrenadante foi retirado de cada tubo e colocados juntos em bquer para nova sedimentação “overnight” depois de diluição feita com água destilada (75 mL).

Após sedimentação, 75 mL do sobrenadante foram reirados, sendo o sedimento homogeneizado e transferido para tubos de centrífuga juntamente com o líquido resultante das lavagens do bquer realizadas com água destilada, e, então, centrifugados a 480 x g durante 3 minutos. O sobrenadante dos diversos tubos foi desprezado, mantendo-se um volume de 2 mL de sedimento. Após nova centrifugação, o sobrenadante foi descartado, tendo-se adicionado ao sedimento resultante no fundo de cada tubo (1 mL) 2,3 mL de solução álcool-ácida (0,1N H₂SO₄ em 33-35% C₂H₅OH) e 1,5 mL de éter. Os tubos foram tampados e invertidos várias vezes, e em seguida centrifugados a 600 x g por 3 minutos. Finalmente, o sobrenadante foi descartado, obtendo-se 1 mL de sedimento.

Ao fim do processamento e para cada amostra, obtiveram-se dois tubos com sedimento final de 1 mL. O sedimento de um deles foi armazenado em tubos do tipo eppendorf, do qual alíquotas de 6µL foram tomadas para preparação das lâminas com finalidade de identificar e quantificar ovos e larvas de helmintos mediante a visualização em microscópio; e, ainda, avaliar a viabilidade destes através de coloração com Azul Trypan (0,1%). Este teste rápido fornece uma leitura imediata, baseado na impregnação pelos ovos de helmintos do corante, considerando como potencialmente viáveis aqueles que não são corados durante o procedimento, de acordo com VICTORICA (2003). O sedimento restante no outro tubo foi colocado em placa de Petri com água filtrada (2mL) e incubado a 27 °C por 15 dias, para uma segunda avaliação de

viabilidade dos ovos de helmintos eventualmente presentes na amostra, adaptada de USEPA (1992). A incubação foi estipulada para permitir que, se ovos viáveis estivessem presentes na amostra, as larvas eclodissem e fossem observadas. Para tanto, observações de pequenas porções de amostra foram analisadas em microscópio diariamente.

As concentrações de ovos/larvas de helmintos são dadas por:

$$C = \frac{N}{v} \cdot \frac{s}{V_i}$$

Onde, C = concentração de ovos/larvas de helmintos (nº ovo ou larva/L);

N = número de ovos ou larvas;

v = volume da alíquota tomada (μL);

s = volume do sedimento final (μL); e

V_i = volume inicial de amostra (L).

ANEXO C - Planilhas de resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas dos ensaios de bancada

PLANILHA DE RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS ENSAIOS DE BANCADA

Condições de ensaio:

pH de coagulação = 7,0

dosagem de coagulante = 2,5 mg/l de sulfato férrico

Data	19/5/2004	19/5/2004	% de	16/6/2004	16/6/2004	% de	22/6/2004	22/6/2004	% de
PARÂMETRO/AMOSTRA	Bruto	Tratado	Remoção	Bruto	Tratado	Remoção	Bruto	Tratado	Remoção
pH	7,3	7,1	-	6,9	7,1	-	7,4	7,5	-
Turbidez (NTU)	4,0	0,8	78,9	4,3	1,8	57,9	6,1	2,9	52,6
Cor aparente (mg PtCo/ L)	73	47	35,6	78	55	29,5	125	87	30,4
Cor verdadeira (mg PtCo/ L)	44	39	11,4	46	40	13,0	46	42	8,7
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	74	77	-	33	32	-	122	116	-
DBO (mg O₂/L)	9	2	77,8	4	2	50,0	7	3	57,1
DQO (mg O₂/L)	29	24	17,2	31	22	29,0	52	39	25,0
Fósforo (mg PO₄⁻³/L)	9,8	9,1	6,7	9,1	8,0	11,6	2,6	2,4	7,7
Nitrogênio Amoniacal (mg NH₃/L)	2,90	2,40	17,2	0,16	0,11	31,3	10,84	8,44	22,1
Nitrogênio K. Total (mg N/L)	5,10	3,20	37,3	14,76	10,24	30,6	12,85	9,45	26,5
Nitrogênio Nitrato (mg NO₃⁻/L)	-	-	-	8,6	9,8	-	0,9	0,9	2,1
Sólidos Totais (mg/L)	450	352	21,8	407	336	17,4	363	320	11,8
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	308	298	3,2	307	281	8,5	300	277	7,7
Sólidos Tot. Voláteis (mg/L)	142	54	62,0	100	55	45,0	63	43	31,7
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	442	352	20,4	400	332	17,0	354	315	11,0
Sól. Susp. Totais (mg/L)	8	0	100,0	7	4	42,9	9	5	44,4
Sólidos Susp. Fixos (mg/L)	0	0	-	3	0	100,0	2	1	50,0
Sól. Susp. Voláteis (mg/L)	8	0	100,0	4	4	0,0	7	4	42,9
OD (mg O₂/L)	-	-	-	7,6	5,4	-	6,5	5,5	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	2,0E+05	7,0E+04	65,0	2,8E+05	2,6E+04	90,7	1,4E+06	2,6E+05	81,4
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	2,0E+03	2,0E+03	0,0	5,0E+04	8,0E+03	84,0	1,4E+06	1,2E+05	91,4

PLANILHA DE RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS ENSAIOS DE BANCADA

Condições de ensaio:

pH de coagulação = 7,0

dosagem de coagulante = 10 mg/l de sulfato férrico

Data	19/5/2004	19/5/2004	% de	16/6/2004	16/6/2004	% de	22/6/2004	22/6/2004	% de
PARÂMETRO/AMOSTRA	Bruto	Tratado	Remoção	Bruto	Tratado	Remoção	Bruto	Tratado	Remoção
pH	7,3	7,1	-	6,9	7,1	-	7,4	7,5	-
Turbidez (NTU)	4,0	0,9	77,9	4,3	1,7	60,3	6,1	2,2	64,1
Cor aparente (mg PtCo/ L)	73	46	37,0	78	57	26,9	125	84	32,8
Cor verdadeira (mg PtCo/ L)	44	38	13,6	46	41	10,9	46	40	13,0
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	74	64	-	33	30	-	122	108	-
DBO (mg O₂/L)	9	3	66,7	4	2	50,0	7	4	42,9
DQO (mg O₂/L)	29	22	24,1	22	19	13,6	52	44	15,4
Fósforo (mg PO₄⁻³/L)	9,8	8,1	17,4	9,1	7,0	22,7	2,6	2,4	7,7
Nitrogênio Amoniacal (mg NH₃/L)	2,90	2,30	20,7	0,16	0,09	43,8	10,84	8,62	20,5
Nitrogênio K. Total (mg N/L)	5,10	1,20	76,5	14,76	11,64	21,1	12,85	9,05	29,6
Nitrogênio Nitrato (mg NO₃⁻/L)	-	-	-	8,6	9,8	-	0,9	1,3	-
Sólidos Totais (mg/L)	450	363	19,3	407	354	13,0	363	328	9,6
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	308	297	3,6	307	286	6,8	300	276	8,0
Sólidos Tot. Voláteis (mg/L)	142	66	53,5	100	68	32,0	63	42	33,3
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	442	361	18,3	400	350	12,5	354	323	8,8
Sól. Susp. Totais (mg/L)	8	1	87,5	7	3	57,1	9	4	55,6
Sólidos Susp. Fixos (mg/L)	0	0	-	3	2	33,3	2	2	0,0
Sól. Susp. Voláteis (mg/L)	8	1	87,5	4	1	75,0	7	2	71,4
OD (mg O₂/L)	-	-	-	7,6	5,6	-	6,5	5,3	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	2,0E+05	2,0E+04	90,0	2,8E+05	1,7E+04	93,9	1,4E+06	1,7E+05	87,9
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	2,0E+03	2,0E+03	0,0	5,0E+04	1,1E+04	78,0	1,4E+06	6,0E+04	95,7

PLANILHA DE RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS ENSAIOS DE BANCADA

Condições de ensaio:

pH de coagulação = 5,0

dosagem de coagulante = 7,5 mg/l de sulfato férrico

Data	25/5/2004	25/5/2004	% de	22/6/2004	22/6/2004	% de
PARÂMETRO/AMOSTRA	Bruto 1	Tratado 1	Remoção	Bruto 2	Tratado 2	Remoção
pH	7,3	5,7	-	7,4	5,7	-
Turbidez (NTU)	4,5	1,6	64,5	6,1	2,3	62,4
Cor aparente (mg PtCo/ L)	88	64	27,3	125	93	25,6
Cor verdadeira (mg PtCo/ L)	46	32	30,4	46	35	23,9
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	114	10	-	122	12	-
DBO (mg O₂/L)	11	2	81,8	7	4	42,9
DQO (mg O₂/L)	42	31	26,2	52	37	28,8
Fósforo (mg PO₄⁻³/L)	7,8	7,4	5,2	2,6	2,4	7,7
Nitrogênio Amoniacal (mg NH₃/L)	11,80	10,68	9,5	10,84	9,20	15,1
Nitrogênio K. Total (mg N/L)	9,56	7,76	18,8	12,85	11,55	10,1
Nitrogênio Nitrato (mg NO₃⁻/L)	5,2	4,1		0,9	0,8	
Sólidos Totais (mg/L)	474	402	15,2	363	325	10,5
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	412	358	13,1	300	284	5,3
Sólidos Tot. Voláteis (mg/L)	62	44	29,0	63	41	34,9
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	467	397	15,0	354	320	9,6
Sól. Susp. Totais (mg/L)	7	5	28,6	9	5	44,4
Sólidos Susp. Fixos (mg/L)	1	1	0,0	2	2	0,0
Sól. Susp. Voláteis (mg/L)	6	4	33,3	7	3	57,1
OD (mg O₂/L)	6,31	6,38	-	6,53	5,54	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	2,4E+05	2,2E+05	65,0	1,4E+06	2,8E+05	80,0
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	3,4E+04	2,7E+04	20,6	1,4E+06	2,6E+05	81,4

PLANILHA DE RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS ENSAIOS DE BANCADA

Condições de ensaio:

pH de coagulação = 5,0

dosagem de coagulante = 12,5 mg/l de sulfato férrico

Data	25/5/2004	25/5/2004	% de	29/6/2004	29/6/2004	% de
PARÂMETRO/AMOSTRA	Bruto	Tratado	Remoção	Bruto	Tratado	Remoção
pH	7,3	5,7	-	7,4	5,8	-
Turbidez (NTU)	4,5	1,4	69,0	10,8	4,0	63,0
Cor aparente (mg PtCo/ L)	88	69	21,6	173	126	27,17
Cor verdadeira (mg PtCo/ L)	46	33	28,3	54	36	33,33
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	114	12	-	168	12	-
DBO (mg O₂/L)	11	3	72,7	15	9	40,00
DQO (mg O₂/L)	42	30	28,6	47	36	23,40
Fósforo (mg PO₄⁻³/L)	7,8	6,1	21,3	1,0	0,8	20,0
Nitrogênio Amoniacal (mg NH₃/L)	11,80	10,52	10,8	22,60	19,70	12,83
Nitrogênio K. Total (mg N/L)	9,56	8,20	14,2	29,90	24,30	18,73
Nitrogênio Nitrato (mg NO₃⁻/L)	5,2	5,3	-	1,1	1,2	-
Sólidos Totais (mg/L)	474	408	13,9	368	321	12,77
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	412	356	13,6	272	241	11,40
Sólidos Tot. Voláteis (mg/L)	62	52	16,1	96	80	16,67
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	467	402	13,9	357	315	11,76
Sól. Susp. Totais (mg/L)	7	4	42,9	11	6	45,45
Sólidos Susp. Fixos (mg/L)	1	0,0	100,0	5	3	40,00
Sól. Susp. Voláteis (mg/L)	6	4,0	33,3	6	3	50,00
OD (mg O₂/L)	6,3	6,6	-	5,6	4,3	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	2,4E+05	1,0E+05	58,3	2,8E+06	1,4E+05	95,00
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	3,4E+04	1,7E+04	50,0	1,4E+06	7,0E+04	95,00

PLANILHA DE RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS ENSAIOS DE BANCADA

Condições de ensaio:

pH de coagulação = 7,0

dosagem de coagulante = 10 mg/l de sulfato de alumínio

Data PARÂMETRO/AMOSTRA	1/6/2004	1/6/2004	% de Remoção	29/6/2004	29/6/2004	% de Remoção
	Bruto	Tratado		Bruto	Tratado	
pH	7,0	7,1	-	7,4	7,3	-
Turbidez (NTU)	7,2	2,2	69,6	10,8	5,9	45,5
Cor aparente (mg PtCo/ L)	97	78	19,6	173	136	21,4
Cor verdadeira (mg PtCo/ L)	49	43	12,2	54	41	24,1
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	48	48	-	168	148	-
DBO (mg O₂/L)	16	3	81,3	15	10	33,3
DQO (mg O₂/L)	41	32	22,0	47	41	12,8
Fósforo (mg PO₄⁻³/L)	8,9	8,4	5,1	1,0	0,9	10,0
Nitrogênio Amoniacal (mg NH₃/L)	3,12	2,87	8,0	22,60	19,00	15,9
Nitrogênio K. Total (mg N/L)	7,72	5,76	25,4	29,90	21,70	27,4
Nitrogênio Nitrato (mg NO₃⁻/L)	19,0	19,7	-	1,1	0,9	-
Sólidos Totais (mg/L)	427	379	11,2	368	294	20,1
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	324	299	7,7	272	220	19,1
Sólidos Tot. Voláteis (mg/L)	103	80	22,3	96	74	22,9
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	415	369	11,1	357	285	20,2
Sól. Susp. Totais (mg/L)	12	9	25,0	11	9	18,2
Sólidos Susp. Fixos (mg/L)	5	4	20,0	5	5	0,0
Sól. Susp. Voláteis (mg/L)	7	5	28,6	6	4	33,3
OD (mg O₂/L)	8,1	6,6	-	5,6	3,6	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	9,0E+05	1,4E+05	84,4	2,8E+06	3,3E+05	88,2
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	1,4E+05	2,6E+04	81,4	1,4E+06	1,7E+05	87,9

PLANILHA DE RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS ENSAIOS DE BANCADA

Condições de ensaio:

pH de coagulação = 5,0

dosagem de coagulante = 10 mg/l de sulfato de alumínio

Data PARÂMETRO/AMOSTRA	1/6/2004	1/6/2004	% de Remoção	29/6/2004	29/6/2004	% de Remoção
	Bruto	Tratado		Bruto	Tratado	
pH	7,0	5,4	-	7,4	5,8	-
Turbidez (NTU)	7,2	2,5	65,5	10,8	4,6	57,5
Cor aparente (mg PtCo/ L)	97	73	24,7	173	128	26,0
Cor verdadeira (mg PtCo/ L)	49	32	34,7	54	31	42,6
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	48	5	-	168	14	-
DBO (mg O₂/L)	16	2	87,5	15	8	46,7
DQO (mg O₂/L)	41	28	31,7	47	38	19,1
Fósforo (mg PO₄⁻³/L)	8,9	7,3	17,5	1,0	0,9	15,0
Nitrogênio Amoniacal (mg NH₃/L)	3,12	2,96	5,1	22,60	20,70	8,4
Nitrogênio K. Total (mg N/L)	7,72	7,05	8,7	29,90	23,20	22,4
Nitrogênio Nitrato (mg NO₃⁻/L)	19,0	19,5	-	1,1	1,0	-
Sólidos Totais (mg/L)	427	353	17,3	368	318	13,6
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	324	278	14,2	272	239	12,1
Sólidos Tot. Voláteis (mg/L)	103	75	27,2	96	79	17,7
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	415	347	16,4	357	311	12,9
Sól. Susp. Totais (mg/L)	12	6	50,0	11	7	36,4
Sólidos Susp. Fixos (mg/L)	5	2	60,0	5	4	20,0
Sól. Susp. Voláteis (mg/L)	7	4	42,9	6	3	50,0
OD (mg O₂/L)	8,1	6,7	-	5,6	4,2	-
Coliformes totais (NMP/100 mL)	9,0E+05	9,0E+05	0,0	2,8E+06	1,7E+06	39,3
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	1,4E+05	2,80E+04	80,0	1,4E+06	1,4E+06	0,0

**ANEXO D - Planilhas de resultados das análises físico-químicas dos testes preliminares em
escala piloto**

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante teste na instalação piloto

Nº do Teste: I

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

A' : após adição de coagulante e antes da entrada do FPA

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdad. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L
Dia: 12/08/04	A	5,2	92	-	7,1	100
	A'	22,3	190	-	7,1	88
Hora: 10:00	B	10,0	141	-	7,2	88
	C	5,6	69	-	7,0	92
t = 0 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 12/08/04	A	4,9	91	51	7,0	104
	A'	13,6	175	45	7,1	-
Hora: 11:00	B	10,3	152	43	7,1	-
	C	2,3	62	36	7,0	96
t = 60 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 12/08/04	A	4,8	95	-	7,0	92
	A'	18,9	171	-	6,9	-
Hora: 12:00	B	11,2	153	-	7,0	-
	C	1,6	57	-	6,9	96
t = 120 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 12/08/04	A	4,3	97	53	7,0	-
	A'	16,3	199	47	7,1	-
Hora: 13:30	B	10,7	151	47	7,1	-
	C	1,6	62	43	6,9	-
t = 210 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 12/08/04	A	4,2	91	-	7,1	99
	A'	16,6	190	-	7,0	-
Hora: 14:30	B	12,0	161	-	7,1	-
	C	1,5	61	-	6,9	87
t = 270 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 12/08/04	A	3,9	88	50	7,0	102
	A'	13,9	172	45	7,1	-
Hora: 15:30	B	14,1	173	46	7,0	-
	C	1,6	60	45	7,0	84
t = 330 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 13/08/04	A	3,7	80	52	6,9	-
	A'	14,4	172	46	6,9	-
Hora: 9:00	B	14,7	160	55	7,1	-
	C	1,3	56	50	7,0	-
t = 340 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 13/08/04	A	4,0	87	-	7,2	84
	A'	14,0	169	-	7,2	-
Hora: 10:00	B	10,5	148	-	7,3	-
	C	1,3	58	-	7,2	80
t = 400 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 13/08/04	A	4,1	89	53	6,9	-
	A'	15,6	142	51	6,8	-
Hora: 11:00	B	12,2	159	63	6,9	-
	C	1,2	52	49	6,8	-
t = 460 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 13/08/04	A	3,5	92	-	7,0	82
	A'	16,4	187	-	6,9	-
Hora: 12:00	B	13,9	163	-	7,0	-
	C	1,3	49	-	6,8	78
t = 520 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 13/08/04	A	4,6	85	49	7,0	-
	A'	14,6	181	43	7,0	-
Hora: 13:30	B	12,4	151	43	7,1	-
	C	1,3	53	42	6,9	-
t = 610 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 13/08/04	A	4,3	87	-	7,0	-
	A'	17,2	214	-	6,9	-
Hora: 14:30	B	10,0	155	-	6,9	-
	C	1,4	76	-	6,8	-
t = 670 min	D	-	-	-	-	-
Dia: 13/08/04	A	4,2	89	41	7,0	-
	A'	12,4	161	43	6,9	-
Hora: 15:30	B	11,2	147	45	6,9	-
	C	8,5	101	52	6,8	-
t = 730 min *	D	-	-	-	-	-

* desconsiderada amostragem t= 730 min, pois ponto de coleta foi mudado, havendo comprometimento da amostra

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante teste na instalação piloto

Nº do Teste: II

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L
Dia: 19/10/2004	A	5.7	95	-	7.4	124	-	5.0	5	ND	5
	B	10.0	129	-	7.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 9:25 h t = 10 min	C	4.1	72	-	7.4	-	0.182	5.2	2	1	1
	D	4.1	70	-	7.3	126	-	4.6	3	ND	3
Dia: 19/10/2004	A	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	8.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 9:35 t = 20 min	C	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	5.1	84	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	8.7	109	-	7.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 9:45 t = 30 min	C	3.1	59	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.1	57	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 9:55 t = 40 min	C	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	4.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	8.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 10:05 t = 50 min	C	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	5.7	98	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	10.8	148	-	7.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 10:15 t = 60 min	C	3.2	62	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.2	61	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	5.9	97	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	10.0	122	-	7.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 10:45 t = 90 min	C	3.2	69	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.2	64	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	6.1	98	41	7.4	122	-	5.4	7	1	6
	B	11.1	143	-	7.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 11:15 t = 120 min	C	3.4	67	42	7.3	-	0.176	5.6	2	ND	2
	D	3.4	66	38	7.3	124	-	5.7	1	ND	1
Dia: 19/10/2004	A	5.3	89	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	7.1	102	-	7.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 11:45 t = 150 min	C	3.1	62	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.1	61	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	4.9	89	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	11.8	143	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Hora: 12:15 t = 180 min	C	3.4	65	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	3.4	66	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2004	A	5.4	92	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	8.1	110	-	7.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 12:45 t = 210 min	C	2.8	63	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	2.8	59	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2005	A	6.2	96	44	7.4	126	-	4.6	6	1	6
	B	12.8	141	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Hora: 13:15 t = 240 min	C	3.1	68	40	7.3	-	0.172	5.3	2	ND	2
	D	3.1	65	37	7.3	124	-	5.4	ND	ND	ND
Dia: 19/10/2005	A	5.4	95	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	14.2	153	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Hora: 13:45 t = 270 min	C	3.1	68	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.3	68	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2006	A	5.6	92	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	12.5	148	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Hora: 14:15 t = 300 min	C	3.1	67	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	D	3.0	63	-	7.2	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante teste na instalação piloto

Nº do Teste: II (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L
Dia: 19/10/2006 Hora: 14:45 t = 330 min	A	5.2	90	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	10.1	120	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	3.2	69	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.1	68	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 19/10/2007 Hora: 15:15 t = 360 min	A	5.5	94	45	7.3	122	-	*	6	1	5
	B	10.0	126	-	7.2	-	-	*	-	-	-
	C	3.3	70	41	7.2	-	0.175	*	2	ND	2
	D	3.0	66	41	7.2	120	-	*	2	ND	2
Dia: 20/10/2004 Hora: 9:30 t = 370 min	A	5.7	94	45	7.3	120	-	6.6	6	2	4
	B	4.6	89	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	3.6	73	42	7.3	-	0.178	7.5	1	ND	1
	D	3.5	71	42	7.4	120	-	7.1	5	ND	5
Dia: 20/10/2005 Hora: 10:00 t = 400 min	A	5.6	86	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	4.9	82	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	3.5	66	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.5	65	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2006 Hora: 10:30 t = 430 min	A	6.1	96	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	8.3	111	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	3.2	67	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.2	66	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2007 Hora: 11:00 t = 460 min	A	6.0	95	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	9.4	122	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	3.0	64	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.1	65	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2008 Hora: 11:30 t = 490 min	A	7.0	102	44	7.3	114	-	5.7	9	2	7
	B	7.2	104	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	3.1	68	41	7.2	-	0.17	6.0	3	**	**
	D	3.1	67	42	7.3	110	-	6.1	1	ND	1
Dia: 20/10/2009 Hora: 12:00 t = 520 min	A	6.4	96	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	6.4	104	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	2.8	62	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	2.9	64	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2004 Hora: 12:30 t = 550 min	A	6.1	100	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	7.1	101	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	2.8	64	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	2.9	64	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2005 Hora: 13:00 t = 580 min	A	6.3	98	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	9.3	97	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	3.0	64	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.0	62	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2006 Hora: 13:30 t = 610 min	A	6.3	102	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	6.3	104	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	3.0	65	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	3.0	63	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2007 Hora: 14:00 t = 640 min	A	6.4	107	47	7.2	122	-	4.8	9	1	8
	B	6.4	100	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	3.1	68	42	7.1	-	0.169	5.4	1	**	**
	D	3.0	69	43	7.2	120	-	6.2	2	ND	2
Dia: 20/10/2008 Hora: 14:30 t = 670 min	A	5.8	97	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	5.8	95	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	3.3	66	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	3.3	69	-	7.2	-	-	-	-	-	-
Dia: 20/10/2009 Hora: 15:00 t = 700 min	A	6.0	100	47	7.3	124	-	5.4	8	1	7
	B	20.6	203 ***	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	3.5	71	42	7.3	-	0.177	6.1	2	ND	2
	D	3.5	67	40	7.2	118	-	5.6	1	ND	1

OBS:

* problema no oxímetro

** perda do filtro na mufla

*** erro associado a coleta da amostra

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante teste na instalação piloto

Nº do Teste: III

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L
Dia: 26/10/2004	A	5.2	90	44	7.0	104	-	5.4	9	2	7
	B	14.0	167	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	3.2	61	39	7.1	-	-	7.8	3	2	2
	D	6.2	88	37	6.9	104	-	7.4	3	2	1
Dia: 26/10/2004	A	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	14.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	16.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	5.3	88	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	15.8	181	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	C	2.5	53	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	2.5	55	-	7.0	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	15.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	16.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	6.1	91	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	18.0	187	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	2.6	53	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	2.6	52	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	6.6	95	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	17.2	187	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	2.1	50	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	2.4	54	-	7.0	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	6.4	96	44	7.0	128	-	5.8	10	1	9
	B	17.2	191	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	2.2	47	39	7.0	-	-	6.0	1	ND	1
	D	2.2	48	38	7.0	136	-	6.4	3	ND	3
Dia: 26/10/2004	A	5.9	98	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	16.3	185	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	C	2.0	48	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	2.0	47	-	6.9	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	5.8	94	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	13.3	159	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	2.1	53	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	2.0	50	-	6.9	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	5.5	92	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	14.7	172	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	C	2.1	52	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	2.0	52	-	7.0	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/10/2004	A	5.8	93	45	7.0	144	-	4.2	9	ND	9
	B	14.2	167	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	2.3	52	41	6.9	-	-	4.8	2	ND	2
	D	2.3	51	40	6.9	128	-	5.1	3	ND	3
Dia: 26/10/2004	A	5.7	98	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	21.0	209	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.9	50	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	1.9	46	-	6.9	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante teste na instalação piloto

Nº do Teste: III (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L
Dia: 26/10/2004	A	6.3	94	41	6.8	136	-	5.1	9	1	8
	B	13.5	156	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	49	35	7.0	-	-	5.2	3	ND	3
	D	1.8	48	37	6.8	112	-	5.5	ND	ND	ND
Dia: 27/10/2007	A	3.6	86	40	7.1	136	-	5.9	5	1	5
	B	11.7	153	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.9	63	37	7.0	-	-	5.7	2	ND	2
	D	1.7	49	37	7.1	132	-	6.5	3	ND	3
Dia: 27/10/2007	A	2.6	67	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	10.9	143	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	48	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	1.5	48	-	6.9	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	2.8	66	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	12.3	135	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	47	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	1.5	44	-	6.9	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	3.4	66	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	14.2	149	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	47	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	1.5	46	-	6.9	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	3.6	74	44	7.0	136	-	4.9	3	1	2
	B	13.3	152	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	46	41	7.0	-	-	5.6	1	ND	1
	D	1.4	45	38	7.0	128	-	5.8	1	ND	1
Dia: 27/10/2007	A	3.0	71	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	11.0	142	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	48	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	1.3	48	-	6.9	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	3.9	78	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	17.4	181	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	48	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	1.4	48	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	4.0	81	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	8.2	107	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	49	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	1.2	47	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	4.3	79	42	6.9	144	-	6.4	5	ND	5
	B	8.2	105	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	44	37	7.0	-	-	6.5	1	ND	ND
	D	1.3	43	37	6.9	136	-	6.8	ND	ND	ND
Dia: 27/10/2007	A	4.4	79	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	8.2	105	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	48	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	1.4	47	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	4.5	78	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	6.1	91	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	49	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	1.3	46	-	7.0	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	4.9	81	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	8.1	102	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	52	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	1.6	51	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 27/10/2007	A	4.1	82	45	7.1	144	-	4.6	6	ND	6
	B	6.7	102	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	51	41	7.1	-	-	4.9	2	ND	2
	D	1.4	49	40	7.1	144	-	5.5	1	ND	1

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante teste na instalação piloto

Nº do Teste: III (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L
Dia: 27/10/2007	A	4.2	81	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	10.0	128	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	50	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	1.5	51	-	7.0	-	-	-	-	-	-
Dia: 28/10/2007	A	4.3	81	43	7.1	144	-	4.2	13	2	11
	B	3.9	70	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	50	39	7.2	-	-	5.8	2	2	1
	D	1.4	54	38	7.2	128	-	6.1	2	0	2
Dia: 28/10/2007	A	3.0	70	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	10.0	127	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	50	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	1.2	52	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 28/10/2007	A	2.8	70	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	10.0	130	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	49	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	1.2	48	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 28/10/2007	A	3.7	93	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	10.9	139	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	51	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	1.1	49	-	7.1	-	-	-	-	-	-
Dia: 28/10/2007	A	4.1	82	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	11.3	137	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	47	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	1.0	44	-	7.0	-	-	-	-	-	-
Dia: 28/10/2007	A	5.5	89	43	7.1	144	-	5.8	10	3	8
	B	11.3	138	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	47	38	7.4	-	-	6.1	3	1	2
	D	1.1	45	36	7.1	136	-	6.8	1	ND	1

ANEXO E - Planilhas das alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto

Nº do teste: I

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da carreira (min.)	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
12/8/2004	10:00	0	230.1	230.0	0.1	230.0	0.0	230.1	-0.1	0.0	178.5	179.6	1.1	182.0	2.4	189.0	7.0	10.5
12/8/2004	10:10	10	230.1	230.0	0.1	230.1	-0.1	230.2	-0.1	-0.1	181.4	185.0	3.6	192.1	7.1	199.4	7.3	18.0
12/8/2004	10:20	20	230.3	230.2	0.1	230.3	-0.1	230.3	0.0	0.0	181.5	187.7	6.2	195.8	8.1	203.7	7.9	22.2
12/8/2004	10:30	30	230.2	230.1	0.1	230.2	-0.1	230.3	-0.1	-0.1	181.5	188.0	6.5	196.1	8.1	204.1	8.0	22.6
12/8/2004	10:40	40	230.3	230.2	0.1	230.3	-0.1	230.4	-0.1	-0.1	181.5	187.8	6.3	195.8	8.0	204.1	8.3	22.6
12/8/2004	10:50	50	230.4	230.3	0.1	230.4	-0.1	230.5	-0.1	-0.1	181.3	187.7	6.4	195.7	8.0	204.0	8.3	22.7
12/8/2004	11:00	60	230.3	230.2	0.1	230.4	-0.2	230.4	0.0	-0.1	180.6	186.8	6.2	194.5	7.7	202.8	8.3	22.2
12/8/2004	11:10	70	229.1	229.0	0.1	229.0	0.0	229.1	-0.1	0.0	177.4	182.5	5.1	189.0	6.5	194.4	5.4	17.0
12/8/2004	11:20	80	230.4	230.3	0.1	230.3	0.0	230.4	-0.1	0.0	180.9	185.3	4.4	191.7	6.4	200.8	9.1	19.9
12/8/2004	11:30	90	230.5	230.4	0.1	230.5	-0.1	230.6	-0.1	-0.1	181.1	188.3	7.2	194.7	6.4	203.9	9.2	22.8
12/8/2004	11:40	100	230.3	230.2	0.1	230.3	-0.1	230.4	-0.1	-0.1	180.0	185.9	5.9	193.0	7.1	201.7	8.7	21.7
12/8/2004	11:50	110	230.3	230.2	0.1	230.3	-0.1	230.3	0.0	0.0	180.5	185.0	4.5	190.6	5.6	199.9	9.3	19.4
12/8/2004	12:00	120	230.3	230.2	0.1	230.3	-0.1	230.4	-0.1	-0.1	181.0	186.8	5.8	193.4	6.6	202.6	9.2	21.6
12/8/2004	13:20	200	229.9	229.8	0.1	230.0	-0.2	230.1	-0.1	-0.2	179.3	183.8	4.5	189.7	5.9	200.2	10.5	20.9
12/8/2004	13:40	220	230.1	230.0	0.1	231.2	-1.2	231.4	-0.2	-1.3	178.7	182.7	4.0	188.7	6.0	200.0	11.3	21.3
12/8/2004	13:50	230	231.1	231.0	0.1	231.3	-0.3	231.3	0.0	-0.2	178.3	181.2	2.9	187.2	6.0	201.3	14.1	23.0
12/8/2004	14:00	240	229.9	229.8	0.1	230.3	-0.5	231.0	-0.7	-1.1	177.2	183.1	5.9	186.1	3.0	200.9	14.8	23.7
12/8/2004	14:10	250	230.1	230.0	0.1	231.3	-1.3	230.9	0.4	-0.8	178.1	180.0	1.9	183.1	3.1	203.1	20.0	25.0
12/8/2004	14:20	260	231.2	231.1	0.1	231.3	-0.2	230.1	1.2	1.1	177.9	182.0	4.1	184.1	2.1	202.1	18.0	24.2
12/8/2004	14:30	270	230.2	230.1	0.1	230.5	-0.4	230.2	0.3	0.0	179.0	183.8	4.8	190.5	6.7	203.6	13.1	24.6
12/8/2004	14:40	280	230.4	230.3	0.1	231.0	-0.7	230.1	0.9	0.3	178.0	182.9	4.9	190.4	7.5	202.6	12.2	24.6
12/8/2004	14:50	290	230.2	230.1	0.1	230.5	-0.4	230.2	0.3	0.0	179.0	183.8	4.8	190.5	6.7	202.6	12.1	23.6
12/8/2004	15:00	300	229.9	229.8	0.1	230.3	-0.5	231.0	-0.7	-1.1	177.2	183.1	5.9	186.1	3.0	200.9	14.8	23.7
12/8/2004	15:10	310	229.9	229.8	0.1	230.0	-0.2	230.1	-0.1	-0.2	179.3	183.8	4.5	189.7	5.9	200.2	10.5	20.9
12/8/2004	15:20	320	229.9	229.8	0.1	230.3	-0.5	231.3	-1.0	-1.4	178.3	181.2	2.9	187.2	6.0	200.8	13.6	22.5
12/8/2004	15:30	330	231.2	231.1	0.1	231.3	-0.2	231.0	0.3	0.2	177.7	183.1	5.4	186.0	2.9	200.9	14.9	23.2
13/8/2004	11:00	460	229.7	229.6	0.1	229.8	-0.2	229.5	0.3	0.2	176.5	181.1	4.6	188.2	7.1	208.8	20.6	32.3
13/8/2004	11:10	470	229.6	229.5	0.1	229.4	0.1	229.4	0.0	0.2	174.8	178.5	3.7	185.0	6.5	203.9	18.9	29.1
13/8/2004	11:20	480	230.9	230.0	0.9	230.1	-0.1	230.0	0.1	0.9	176.3	179.8	3.5	186.5	6.7	207.9	21.4	31.6
13/8/2004	11:30	490	231.1	230.2	0.9	230.2	0.0	230.1	0.1	1.0	177.0	182.5	5.5	190.2	7.7	213.6	23.4	36.6
13/8/2004	11:40	500	230.7	229.8	0.9	230.0	-0.2	229.9	0.1	0.8	177.1	182.0	4.9	189.8	7.8	213.0	23.2	35.9
13/8/2004	11:50	510	231.2	230.0	1.2	230.1	-0.1	230.0	0.1	1.2	174.8	178.5	3.7	185.0	6.5	213.2	28.2	38.4
13/8/2004	12:00	520	230.2	229.8	0.4	229.6	0.2	230.1	-0.5	0.1	173.9	179.0	5.1	188.3	9.3	211.2	22.9	37.3
13/8/2004	13:30	610	232.0	229.8	2.2	229.6	0.2	229.9	-0.3	2.1	177.0	182.5	5.5	190.2	7.7	213.6	23.4	36.6
13/8/2004	13:40	620	231.2	230.0	1.2	230.1	-0.1	230.0	0.1	1.2	177.1	182.5	5.4	190.2	7.7	213.6	23.4	36.5
13/8/2004	13:50	630	230.9	230.0	0.9	230.1	-0.1	230.0	0.1	0.9	176.6	179.8	3.2	186.5	6.7	207.9	21.4	31.3

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto

Nº do teste: I (continuação)

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da carreira (min.)	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
13/8/2004	14:00	640	230.3	231.2	-0.9	230.2	1.0	230.1	0.1	0.2	177.0	182.5	5.5	190.2	7.7	213.6	23.4	36.6
13/8/2004	14:10	650	231.1	230.0	1.1	230.1	-0.1	230.0	0.1	1.1	176.3	179.8	3.5	186.5	6.7	207.9	21.4	31.6
13/8/2004	14:20	660	230.5	229.7	0.8	229.9	-0.2	229.7	0.2	0.8	176.2	179.8	3.6	187.4	7.6	215.6	28.2	39.4
13/8/2004	14:30	670	230.6	229.7	0.9	229.9	-0.2	229.7	0.2	0.9	176.2	179.9	3.7	187.5	7.6	216.4	28.9	40.2
13/8/2004	14:40	680	231.2	230.2	1.0	230.3	-0.1	230.2	0.1	1.0	176.4	180.3	3.9	188.0	7.7	218.5	30.5	42.1
13/8/2004	14:50	690	231.1	230.1	1.0	230.1	0.0	230.0	0.1	1.1	177.7	182.6	4.9	191.4	8.8	224.3	32.9	46.6
13/8/2004	15:00	700	231.2	230.2	1.0	230.2	0.0	230.1	0.1	1.1	176.8	181.8	5.0	191.0	9.2	224.1	33.1	47.3
13/8/2004	15:10	710	231.2	230.3	0.9	230.2	0.1	230.2	0.0	1.0	176.9	181.9	5.0	191.1	9.2	224.4	33.3	47.5
13/8/2004	15:20	720	230.6	229.7	0.9	229.8	-0.1	229.7	0.1	0.9	176.1	180.8	4.7	189.7	8.9	221.0	31.3	44.9
13/8/2004	15:30	730	231.0	229.9	1.1	230.1	-0.2	230.0	0.1	1.0	176.0	180.5	4.5	189.3	8.8	221.7	32.4	45.7

* os dados referentes a perda de carga do dia 13/08/04, das 9:00 às 11:00h foram perdidos

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto

Nº do teste: II

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da carreira (min.)	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
19/10/2004	9:15	0	231.0	230.0	1.0	230.4	-0.4	230.3	0.1	0.7	178.6	189.6	11.0	196.8	7.2	203.5	6.7	24.9
19/10/2004	09:25	10	230.1	229.6	0.5	229.7	-0.1	229.6	0.1	0.5	175.0	180.4	5.4	187.9	7.5	192.8	4.9	17.8
19/10/2004	9:35	20	230.2	229.5	0.7	229.9	-0.4	230.0	-0.1	0.2	175.1	180.7	5.6	188.0	7.3	193.1	5.1	18.0
19/10/2004	9:45	30	230.9	230.0	0.9	230.2	-0.2	230.0	0.2	0.9	177.0	183.4	6.4	191.2	7.8	197.4	6.2	20.4
19/10/2004	09:55	40	229.8	229.1	0.7	229.4	-0.3	229.4	0.0	0.4	174.5	179.8	5.3	185.5	5.7	190.6	5.1	16.1
19/10/2004	10:05	50	230.8	229.9	0.9	230.1	-0.2	230.0	0.1	0.8	175.5	180.6	5.1	187.0	6.4	193.0	6.0	17.5
19/10/2004	10:15	60	230.5	229.8	0.7	230.0	-0.2	230.0	0.0	0.5	175.0	180.0	5.0	185.9	5.9	192.0	6.1	17.0
19/10/2004	10:45	90	230.5	229.6	0.9	230.1	-0.5	230.1	0.0	0.4	175.5	180.0	4.5	185.7	5.7	192.4	6.7	16.9
19/10/2004	11:15	120	230.5	229.6	0.9	230.0	-0.4	230.0	0.0	0.5	176.4	180.8	4.4	186.5	5.7	194.3	7.8	17.9
19/10/2004	11:45	150	230.7	230.1	0.6	230.0	0.1	230.1	-0.1	0.6	176.2	180.8	4.6	186.1	5.3	195.3	9.2	19.1
20/10/2004	10:00	400	233.5	232.0	1.5	232.4	-0.4	232.5	-0.1	1.0	179.2	187.1	7.9	195.8	8.7	217.3	21.5	38.1
20/10/2004	10:15	415	231.4	230.3	1.1	230.6	-0.3	231.0	-0.4	0.4	179.2	188.3	9.1	194.3	6.0	217.3	23.0	38.1
20/10/2004	10:30	430	231.2	230.1	1.1	230.4	-0.3	230.8	-0.4	0.4	179.0	188.1	9.1	194.1	6.0	217.1	23.0	38.1
20/10/2004	10:45	445	232.4	231.3	1.1	231.6	-0.3	232.0	-0.4	0.4	180.2	189.3	9.1	195.3	6.0	218.3	23.0	38.1
20/10/2004	11:00	460	232.4	231.3	1.1	231.4	-0.1	233.3	-1.9	-0.9	181.2	189.3	8.1	194.0	4.7	217.4	23.4	36.2
20/10/2004	11:15	475	231.2	231.1	0.1	231.2	-0.1	232.9	-1.7	-1.7	183.0	190.1	7.1	198.3	8.2	216.8	18.5	33.8
20/10/2004	11:45	505	231.3	229.8	1.5	228.3	1.5	231.0	-2.7	0.3	185.0	193.2	8.2	199.2	6.0	218.3	19.1	33.3
20/10/2004	12:00	520	233.0	230.7	2.3	229.0	1.7	232.1	-3.1	0.9	186.3	194.1	7.8	198.3	4.2	216.3	18.0	30.0
20/10/2004	12:30	550	232.4	231.3	1.1	231.6	-0.3	232.0	-0.4	0.4	180.2	189.3	9.1	195.3	6.0	218.3	23.0	38.1
20/10/2004	12:45	565	233.5	232.0	1.5	232.5	-0.5	232.5	0.0	1.0	180.0	185.5	5.5	194.0	8.5	217.5	23.5	37.5
20/10/2004	13:00	580	231.6	231.3	0.3	231.6	-0.3	232.0	-0.4	-0.4	178.9	183.9	5.0	194.0	10.1	217.4	23.4	38.5
20/10/2004	13:15	595	232.6	231.3	1.3	232.3	-1.0	232.0	0.3	0.6	178.9	189.9	11.0	200.0	10.1	218.0	18.0	39.1
20/10/2004	13:30	610	231.2	231.3	0.0	230.2	1.1	232.9	-2.7	-1.7	179.3	191.0	11.7	199.3	8.3	216.8	17.5	37.5
20/10/2004	13:45	625	230.3	231.2	-0.9	230.2	1.0	232.2	-2.0	-1.9	177.0	185.3	8.3	194.1	8.8	218.0	23.9	41.0
20/10/2004	14:00	640	230.3	231.2	-1.8	230.4	0.8	231.3	-0.9	-1.0	178.1	187.0	8.9	195.9	8.9	217.3	21.4	39.2
20/10/2004	14:15	655	231.0	232.1	-0.7	230.8	1.3	230.8	0.0	0.2	176.2	187.0	10.8	194.9	7.9	216.4	21.5	40.2
20/10/2004	14:30	670	232.5	231.7	-2.5	232.0	-0.3	231.9	0.1	0.6	179.7	184.9	5.2	193.5	8.6	228.8	35.3	49.1
20/10/2004	14:45	685	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	179.5	184.9	5.4	193.8	8.9	230.9	37.1	51.4
20/10/2004	15:00	700	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	179.7	186.3	6.6	195.4	9.1	234.5	39.1	54.8

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto

Nº do teste: II (continuação)

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da carreira (min.)	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
19/10/2004	11:55	160	230.4	229.7	0.7	230.1	-0.4	230.0	0.1	0.4	175.5	180.0	4.5	185.2	5.2	194.0	8.8	18.5
19/10/2004	12:05	170	231.1	230.2	0.9	230.3	-0.1	230.1	0.2	1.0	176.1	180.4	4.3	185.8	5.4	195.7	9.9	19.6
19/10/2004	12:15	180	231.3	230.4	0.9	230.3	0.1	230.2	0.1	1.1	177.1	181.8	4.7	187.7	5.9	198.4	10.7	21.3
19/10/2004	12:45	210	231.5	230.5	1.0	231.0	-0.5	231.0	0.0	0.5	175.0	178.0	3.0	182.6	4.6	194.5	11.9	19.5
19/10/2004	13:15	240	230.5	230.0	0.5	230.0	0.0	230.0	0.0	0.5	175.9	181.2	5.3	187.0	5.8	199.0	12.0	23.1
19/10/2004	13:45	270	231.5	230.7	0.8	231.0	-0.3	231.0	0.0	0.5	178.3	184.5	6.2	191.8	7.3	207.0	15.2	28.7
19/10/2004	14:15	300	231.4	230.3	1.1	230.5	-0.2	230.5	0.0	0.9	178.3	183.4	5.1	190.0	6.6	205.7	15.7	27.4
19/10/2004	14:45	330	232.0	230.8	1.2	231.0	-0.2	231.0	0.0	1.0	179.5	184.7	5.2	191.5	6.8	209.0	17.5	29.5
19/10/2004	15:15	360	231.8	230.5	1.3	231.0	-0.5	230.5	0.5	1.3	177.5	183.5	6.0	190.5	7.0	209.0	18.5	31.5
20/10/2004	09:45	385	234.1	233.4	0.7	232.6	0.8	232.4	0.2	1.7	181.4	190.3	8.9	199.8	9.5	224.1	24.3	42.7

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto

Nº do teste: III

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da carreira (min.)	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
26/10/2004	10:20	0	229.2	228.6	0.6	228.9	-0.3	228.7	0.2	0.5	179.8	185.4	5.6	192.8	7.4	199.0	6.2	19.2
26/10/2004	10:30	10	229.5	228.5	1.0	228.7	-0.2	228.7	0.0	0.8	176.5	184.6	8.1	192.7	8.1	197.3	4.6	20.8
26/10/2004	10:40	20	229.3	228.5	0.8	228.7	-0.2	228.6	0.1	0.7	176.1	182.2	6.1	189.6	7.4	195.3	5.7	19.2
26/10/2004	10:50	30	229.4	228.7	0.7	228.9	-0.2	228.6	0.3	0.8	175.0	181.0	6.0	187.4	6.4	193.7	6.3	18.7
26/10/2004	11:00	40	229.0	228.4	0.6	228.7	-0.3	228.6	0.1	0.4	173.6	180.0	6.4	185.1	5.1	189.7	4.6	16.1
26/10/2004	11:10	50	229.5	228.5	1.0	228.7	-0.2	228.6	0.1	0.9	173.0	178.0	5.0	182.5	4.5	186.9	4.4	13.9
26/10/2004	11:20	60	229.4	228.5	0.9	228.7	-0.2	228.6	0.1	0.8	173.0	178.0	5.0	182.5	4.5	186.9	4.4	13.9
26/10/2004	11:35	75	229.0	228.0	1.0	228.3	-0.3	228.0	0.3	1.0	174.6	180.3	5.7	185.5	5.2	188.3	2.8	13.7
26/10/2004	11:50	90	229.0	228.0	1.0	228.3	-0.3	228.1	0.2	0.9	175.3	181.0	5.7	184.9	3.9	189.0	4.1	13.7
26/10/2004	12:05	105	229.0	228.0	1.0	228.3	-0.3	228.1	0.2	0.9	173.8	181.3	7.5	183.1	1.8	190.3	7.2	16.5
26/10/2004	12:20	120	228.3	228.1	0.2	228.1	0.0	228.0	0.1	0.3	174.6	180.1	5.5	183.2	3.1	189.5	6.3	14.9
26/10/2004	12:35	135	228.4	228.2	0.2	228.1	0.1	228.0	0.1	0.4	176.2	183.2	7.0	184.8	1.6	191.4	6.6	15.2
26/10/2004	12:50	150	230.8	229.4	1.4	229.3	0.1	229.2	0.1	1.6	180.5	187.9	7.4	191.3	3.4	196.3	5.0	15.8
26/10/2004	13:05	165	229.3	229.3	0.0	229.2	0.1	228.6	0.6	0.7	180.0	186.9	6.9	191.4	4.5	195.1	3.7	15.1
26/10/2004	13:20	180	229.4	228.9	0.5	229.1	-0.2	229.0	0.1	0.4	180.1	185.3	5.2	187.3	2.0	194.2	6.9	14.1
26/10/2004	13:35	195	230.1	229.3	0.8	228.9	0.4	229.3	-0.4	0.8	181.2	186.4	5.2	189.2	2.8	195.3	6.1	14.1
26/10/2004	13:50	210	231.0	230.1	0.9	229.3	0.8	230.3	-1.0	0.7	181.1	186.3	5.2	189.9	3.6	194.5	4.6	13.4
26/10/2004	14:05	225	229.0	228.6	0.4	228.8	-0.2	228.8	0.0	0.2	181.3	186.4	5.1	186.4	0.0	195.3	8.9	14.0
26/10/2004	14:20	240	229.3	228.4	0.9	227.3	1.1	228.4	-1.1	0.9	182.1	185.4	3.3	186.4	1.0	192.3	5.9	10.2
26/10/2004	14:35	255	228.4	227.3	1.1	226.4	0.9	227.5	-1.1	0.9	184.3	185.4	1.1	188.2	2.8	192.3	4.1	8.0
26/10/2004	14:50	270	229.4	228.4	1.0	225.3	3.1	226.4	-1.1	3.0	183.4	185.3	1.9	186.8	1.5	193.2	6.4	9.8
26/10/2004	15:05	285	229.5	227.4	2.1	225.3	2.1	225.3	0.0	4.2	183.4	184.5	1.1	188.6	4.1	192.3	3.7	8.9
26/10/2004	15:20	300	228.3	228.1	0.2	226.4	1.7	225.0	1.4	3.3	184.1	184.5	0.4	186.8	2.3	193.2	6.4	9.1
27/10/2004	09:10	340	230.0	229.0	1.0	229.4	-0.4	229.0	0.4	1.0	175.8	180.0	4.2	185.7	5.7	196.9	11.2	21.1
27/10/2004	09:40	370	230.0	229.2	0.8	229.4	-0.2	229.2	0.2	0.8	176.0	181.0	5.0	186.5	5.5	199.5	13.0	23.5
27/10/2004	10:10	400	229.5	228.8	0.7	229.2	-0.4	228.8	0.4	0.7	177.0	182.3	5.3	188.5	6.2	202.8	14.3	25.8
27/10/2004	10:40	430	230.0	229.0	1.0	229.3	-0.3	229.0	0.3	1.0	177.9	183.0	5.1	189.6	6.6	206.2	16.6	28.3
27/10/2004	11:10	460	230.0	229.0	1.0	229.2	-0.2	229.2	0.0	0.8	177.0	183.0	6.0	189.0	6.0	207.0	18.0	30.0
27/10/2004	11:40	490	229.8	229.0	0.8	229.0	0.0	229.0	0.0	0.8	176.5	182.5	6.0	188.5	6.0	206.2	17.7	29.7
27/10/2004	12:10	520	230.0	229.3	0.7	229.4	-0.1	229.2	0.2	0.8	176.0	182.4	6.4	187.5	5.1	207.4	19.9	31.4
27/10/2004	12:40	550	230.0	229.2	0.8	229.2	0.0	229.0	0.2	1.0	176.4	182.2	5.8	188.4	6.2	207.5	19.1	31.1
27/10/2004	13:10	580	229.5	228.9	0.6	229.2	-0.3	229.0	0.2	0.5	176.5	182.4	5.9	188.5	6.1	208.5	20.0	32.0
27/10/2004	13:40	610	230.4	229.4	1.0	229.5	-0.1	229.5	0.0	0.9	177.3	182.4	5.1	188.7	6.3	211.2	22.5	33.9
27/10/2004	14:10	640	230.5	229.0	1.5	229.2	-0.2	229.0	0.2	1.5	178.5	185.3	6.8	192.0	6.7	216.2	24.2	37.7
27/10/2004	14:40	670	230.8	229.5	1.3	229.5	0.0	229.3	0.2	1.5	178.6	185.4	6.8	192.5	7.1	218.0	25.5	39.4

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante teste na instalação piloto

Nº do teste: III (continuação)

taxa de FPA: 120 m³/m².diataxa de FRD I: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da carreira (min.)	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
27/10/2004	15:10	700	230.5	229.3	1.2	229.5	-0.2	229.5	0.0	1.0	177.6	184.8	7.2	191.5	6.7	217.5	26.0	39.9
28/10/2004	09:15	725	229.5	228.8	0.7	229.0	-0.2	228.9	0.1	0.6	176.0	181.5	5.5	188.7	7.2	216.4	27.7	40.4
28/10/2004	09:45	755	229.0	228.5	0.5	228.9	-0.4	228.5	0.4	0.5	176.5	180.2	3.7	186.5	6.3	214.0	27.5	37.5
28/10/2004	10:00	770	229.9	229.0	0.9	229.0	0.0	229.0	0.0	0.9	177.0	181.0	4.0	187.2	6.2	216.6	29.4	39.6
28/10/2004	10:15	785	229.5	228.7	0.8	229.0	-0.3	228.8	0.2	0.7	176.0	180.5	4.5	188.3	7.8	220.0	31.7	44.0
28/10/2004	10:30	800	229.4	228.8	0.6	229.0	-0.2	228.9	0.1	0.5	175.5	180.7	5.2	187.5	6.8	219.5	32.0	44.0
28/10/2004	10:45	815	229.5	228.9	0.6	228.9	0.0	228.9	0.0	0.6	177.0	182.0	5.0	188.5	6.5	221.0	32.5	44.0
28/10/2004	11:00	830	229.3	228.8	0.5	228.9	-0.1	228.9	0.0	0.4	176.5	182.5	6.0	189.2	6.7	223.0	33.8	46.5
28/10/2004	11:15	845	229.8	229.1	0.7	229.3	-0.2	229.2	0.1	0.6	175.4	181.5	6.1	188.0	6.5	221.5	33.5	46.1

ANEXO F - Planilhas de resultados das análises físico-químicas dos ensaios I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII da 1ª série da escala piloto

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: I - 1ª série

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 23/11/2004	A	4.0	72	41	7.3	90	-	4	2	2	-
	B	20.2	168	-	7.3	-	-	11	4	7	-
	C	2.9	55	31	7.4	86	0.181	ND	ND	ND	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	20.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	21.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	4.2	76	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	23.0	173	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	47	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	24.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	25.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	5.2	88	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	23.2	173	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.7	49	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	4.5	81	-	7.2	-	-	-	-	-	24.7
	B	22.6	170	-	7.3	-	-	-	-	-	25.9
	C	1.7	50	-	7.1	-	-	-	-	-	26.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	4.9	83	42	7.3	88	-	9	3	6	24.4
	B	23.6	174	-	7.3	-	-	11	6	5	25.2
	C	1.7	51	36	7.2	82	0.167	3	2	2	25.6
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	5.2	88	-	7.2	-	-	-	-	-	25.0
	B	21.2	162	-	7.2	-	-	-	-	-	26.7
	C	1.6	51	-	7.1	-	-	-	-	-	27.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	5.8	96	-	7.2	-	-	-	-	-	25.2
	B	20.9	163	-	7.2	-	-	-	-	-	26.5
	C	1.5	52	-	7.2	-	-	-	-	-	27.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	6.3	102	-	7.2	-	-	-	-	-	25.3
	B	23.4	181	-	7.2	-	-	-	-	-	26.4
	C	1.5	54	-	7.2	-	-	-	-	-	27.3
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	6.4	101	41	7.2	86	-	11	3	9	25.2
	B	18.7	152	-	7.2	-	-	11	4	7	27.0
	C	1.5	49	36	7.2	84	-	2	1	2	27.3
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	6.5	105	-	7.3	-	-	-	-	-	25.2
	B	16.3	143	-	7.2	-	-	-	-	-	27.2
	C	1.4	49	-	7.1	-	-	-	-	-	27.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: I - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 23/11/2004	A	6.3	99	-	7.2	-	-	-	-	-	25.3
	B	20.9	162	-	7.2	-	-	-	-	-	27.0
	C	1.6	52	-	7.1	-	0.168	-	-	-	27.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	5.9	96	-	7.2	-	-	-	-	-	25.8
	B	18.1	148	-	7.2	-	-	-	-	-	27.4
	C	1.5	53	-	7.1	-	-	-	-	-	27.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	6.0	98	45	7.1	92	-	12	5	7	25.6
	B	15.8	139	-	7.2	-	-	11	6	5	27.8
	C	1.5	50	38	7.2	88	-	5	1	4	28.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	5.4	93	-	7.2	-	-	-	-	-	25.3
	B	15.5	136	-	7.2	-	-	-	-	-	27.7
	C	1.4	51	-	7.1	-	-	-	-	-	27.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	5.2	89	-	7.2	-	-	-	-	-	25.7
	B	11.5	115	-	7.3	-	-	-	-	-	27.2
	C	1.2	52	-	7.1	-	0.167	-	-	-	29.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 23/11/2004	A	5.0	91	43	7.1	92	-	9	3	6	25.8
	B	11.8	114	-	7.2	-	-	9	4	5	27.5
	C	1.2	50	38	7.1	84	-	1	ND	1	28.7
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.7	92	44	7.2	88	-	11	2	10	-
	B	21.0	140	-	7.2	-	-	11	4	7	-
	C	1.3	52	38	7.2	86	-	2	1	2	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.9	88	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	12.4	98	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	2.1	51	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.1	90	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	6.3	87	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	51	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.2	92	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	13.2	119	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	52	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.7	101	45	7.1	86	-	13	2	11	-
	B	13.4	125	-	7.1	-	-	11	5	7	-
	C	1.3	51	40	7.1	86	-	2	1	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.8	97	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	14.3	138	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	52	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	6.0	102	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	13.1	131	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	52	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	6.0	100	45	7.0	92	-	13	2	11	-
	B	9.1	110	-	7.1	-	-	10	3	8	-
	C	1.3	49	40	7.0	86	-	3	ND	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: I - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 24/11/2004	A	6.2	104	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	12.5	127	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	52	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	6.2	101	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	16.5	144	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	52	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.7	101	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	15.5	138	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	53	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/11/2004	A	5.7	100	46	7.1	90	-	9	1	9	-
	B	8.7	110	-	7.1	-	-	10	3	7	-
	C	2.3	69	43	6.9	88	-	2	1	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	4.2	87	46	7.1	90	-	6	ND	6	24.6
	B	18.3	147	-	7.1	-	-	8	5	4	24.7
	C	1.7	55	39	7.2	88	0.178	1	ND	1	23.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	4.6	88	-	7.3	-	-	-	-	-	25.4
	B	8.9	127	-	7.3	-	-	-	-	-	26.4
	C	1.2	50	-	7.2	-	-	-	-	-	26.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	5.3	91	-	7.2	-	-	-	-	-	24.7
	B	11.1	126	-	7.1	-	-	-	-	-	25.9
	C	1.2	49	-	7.1	-	-	-	-	-	26.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	4.8	92	-	7.1	-	-	-	-	-	24.9
	B	12.9	138	-	7.1	-	-	-	-	-	26.3
	C	1.0	49	-	7.3	-	-	-	-	-	27.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	5.2	93	44	7.1	93	-	10	1	9	24.9
	B	13.2	133	-	7.1	-	-	10	5	5	26.5
	C	1.2	49	37	7.0	82	0.167	1	ND	1	27.3
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	5.4	100	-	7.2	-	-	-	-	-	25.0
	B	13.3	142	-	7.2	-	-	-	-	-	26.7
	C	1.2	50	-	7.1	-	-	-	-	-	27.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	6.4	102	-	7.2	-	-	-	-	-	25.1
	B	11.1	127	-	7.2	-	-	-	-	-	26.9
	C	1.0	50	-	7.0	-	-	-	-	-	27.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	5.8	98	-	7.1	-	-	-	-	-	25.2
	B	11.4	130	-	7.2	-	-	-	-	-	26.9
	C	1.1	49	-	7.2	-	-	-	-	-	28.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	6.1	102	36	7.2	90	-	10	1	9	26.2
	B	10.0	122	-	7.1	-	-	9	4	6	28.1
	C	1.0	50	30	7.1	86	0.17	2	1	1	29.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	6.6	100	-	7.2	-	-	-	-	-	26.4
	B	13.8	130	-	7.2	-	-	-	-	-	28.3
	C	1.2	40	-	7.1	-	-	-	-	-	29.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: I - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 25/11/2004	A	6.7	107	-	7.2	-	-	-	-	-	26.3
	B	8.8	116	-	7.2	-	-	-	-	-	28.3
	C	1.1	49	-	7.1	-	-	-	-	-	29.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	6.7	107	-	7.1	-	-	-	-	-	26.3
	B	12.8	139	-	7.2	-	-	-	-	-	28.4
	C	1.2	51	-	7.1	-	-	-	-	-	29.7
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/11/2004	A	6.3	105	47	7.1	102	-	10	2	9	26.5
	B	12.0	145	-	7.1	-	-	*	*	*	28.4
	C	1.5	51	42	7.0	88	-	2	2	1	29.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/11/2004	A	5.7	92	47	7.3	104	-	11	4	7	25.0
	B	10.0	131	-	7.2	-	-	12	6	7	23.0
	C	1.7	53	40	7.2	98	0.178	4	2	2	23.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/11/2004	A	4.8	92	-	7.2	-	-	-	-	-	24.8
	B	11.7	148	-	7.2	-	-	-	-	-	25.5
	C	1.0	50	-	7.0	-	-	-	-	-	24.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/11/2004	A	5.3	98	-	7.2	-	-	-	-	-	25.8
	B	10.9	140	-	7.2	-	-	-	-	-	26.9
	C	1.0	48	-	7.1	-	-	-	-	-	27.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/11/2004	A	5.4	95	-	7.1	-	-	-	-	-	25.7
	B	11.5	144	-	7.2	-	-	-	-	-	27.6
	C	1.1	50	-	7.0	-	-	-	-	-	28.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/11/2004	A	5.1	94	43	7.2	102	-	11	5	7	26.1
	B	8.0	116	-	7.1	-	-	11	8	4	27.9
	C	1.0	48	40	7.1	94	0.174	2	2	0	28.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 29/11/2004	A	5.5	90	39	7.3	96	-	11	3	9	25.7
	B	7.7	117	-	7.3	-	-	11	6	5	26.9
	C	1.2	49	33	7.3	84	-	5	5	ND	26.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 29/11/2004	A	6.9	97	-	7.2	-	-	-	-	-	25.9
	B	10.0	140	-	7.2	-	-	-	-	-	27.1
	C	1.0	42	-	7.1	-	-	-	-	-	26.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 29/11/2004	A	6.7	100	-	7.1	-	-	-	-	-	25.9
	B	9.5	132	-	7.1	-	-	-	-	-	27.0
	C	0.9	40	-	7.0	-	-	-	-	-	27.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: II - 1ª série

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 24/01/2005	A	5.7	81	30	6.9	44	-	16	8	9	-
	B	25.7	159	-	5.9	-	-	14	8	6	-
Hora: 12:10 h t = 0 min	C	1.4	35	22	6.8	28	0.156	2	2	ND	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	25.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 12:20 h t = 10 min	C	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	26.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 12:30 h t = 20 min	C	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	5.8	96	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	19.8	135	-	6.1	-	-	-	-	-	-
Hora: 12:40 h t = 30 min	C	1.5	44	-	6.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	23.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 12:50 h t = 40 min	C	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	24.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 13:00 h t = 50 min	C	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	6.7	82	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	24.6	150	-	5.6	-	-	-	-	-	-
Hora: 13:10 h t = 60 min	C	1.8	37	-	6.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	7.5	84	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	25.2	157	-	5.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 13:40 h t = 90 min	C	1.7	38	-	6.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	5.2	71	31	6.8	44	-	11	4	8	-
	B	18.7	123	-	5.4	-	-	10	5	5	-
Hora: 14:10 h t = 120 min	C	1.6	37	21	5.9	20	0.166	6	3	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	5.8	72	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	27.2	154	-	5.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 14:40 h t = 150 min	C	1.6	36	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	4.5	69	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	27.7	156	-	5.3	-	-	-	-	-	-
Hora: 15:10 h t = 180 min	C	1.5	36	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	4.8	64	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	18.5	118	-	6.0	-	-	-	-	-	-
Hora: 15:40 h t = 210 min	C	1.7	37	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 24/01/2005	A	4.3	62	31	6.8	44	-	7	3	4	-
	B	17.9	117	-	5.7	-	-	10	6	4	-
Hora: 16:10 h t = 240 min	C	2.0	39	24	5.9	12	0.166	4	4	ND	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005	A	4.2	65	31	6.8	48	-	10	2	8	-
	B	14.2	97	-	5.6	-	-	9	5	5	-
Hora: 9:00 h t = 240 min	C	2.1	38	24	6.3	16	0.158	6	3	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: II - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 25/01/2005 Hora: 9:30 h t = 270min	A	4.6	67	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	12.9	95	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	33	-	6.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 10:00 h t = 300 min	A	4.2	62	-	6.8	-	-	-	-	-	26
	B	14.3	102	-	5.5	-	-	-	-	-	25.7
	C	1.1	32	-	5.9	-	-	-	-	-	25.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 10:30 h t = 330 min	A	5.1	68	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	15.4	104	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	C	0.9	30	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 11:00 h t = 360 min	A	5.0	68	32	6.8	44	-	9	3	6	-
	B	18.3	120	-	5.7	-	-	11	7	5	-
	C	1.2	30	24	5.7	12	0.147	3	1	2	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 11:30 h t = 390min	A	5.8	71	-	6.7	-	-	-	-	-	-
	B	13.1	96	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	29	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 12:00 h t = 420 min	A	5.3	77	-	6.7	-	-	-	-	-	-
	B	13.4	98	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	32	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 12:30 h t = 450 min *	A	5.7	75	-	6.7	-	-	-	-	-	-
	B	11.8	97	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	32	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 13:00 h t = 480 min	A	5.2	76	25	6.7	48	-	11	3	8	-
	B	6.7	78	-	5.9	-	-	9	4	6	-
	C	1.3	37	23	6.2	24	0.145	3	2	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 13:30 h t = 510 min	A	5.9	68	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	8.3	73	-	6.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	30	-	6.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 14:30 h t = 570min	A	6.2	75	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	7.9	81	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	34	-	6.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 15:00 h t = 600 min	A	6.2	79	28	6.7	44	-	16	3	14	-
	B	16.8	108	-	5.6	-	-	12	7	5	-
	C	1.7	37	24	5.7	16	0.154	4	1	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 15:30 h t = 630 min	A	5.8	72	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	7.1	75	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	35	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 16:00 h t = 660 min	A	7.1	74	-	6.7	-	-	-	-	-	-
	B	28.3	150	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	C	2.0	36	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 25/01/2005 Hora: 16:30 h t = 690 min	A	5.9	72	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	27.2	144	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	C	1.9	39	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* vazão muito alta

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: II - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdad. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 25/01/2005	A	3.2	53	32	6.7	48	-	9	4	5	-
	B	24.0	115	-	5.6	-	-	11	5	6	-
	C	1.8	38	24	5.7	16	0.150	6	2	4	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2005	A	4.4	63	32	6.8	44	-	7	1	7	-
	B	15.5	123	-	5.5	-	-	7	3	4	-
	C	1.3	35	24	6.2	16	0.149	1	1	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2005	A	3.7	61	-	6.8	-	-	-	-	-	-
	B	21.8	152	-	5.4	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	34	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2005	A	4.5	61	-	6.7	-	-	-	-	-	-
	B	19.3	138	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	31	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2006	A	6.2	77	-	6.7	-	-	-	-	-	-
	B	19.4	134	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	30	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2007	A	5.6	68	29	6.6	36	-	8	4	5	-
	B	19.7	138	-	5.7	-	-	7	3	4	-
	C	1.4	34	23	5.7	12	0.147	1	1	ND	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2007	A	5.7	62	-	6.6	-	-	-	-	-	-
	B	19.8	125	-	6.5	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	33	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2008	A	5.6	64	-	6.6	-	-	-	-	-	-
	B	20.9	136	-	5.6	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	33	-	6.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 26/01/2009	A	5.0	63	29	6.6	36	-	9	ND	9	-
	B	19.8	138	-	6.4	-	-	10	5	5	-
	C	1.7	33	25	6.0	16	0.143	1	ND	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* bomba para adição de solução ácida (HCl) vazando

**bomba para adição de solução ácida (HCl) desligada

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: III - 1ª série

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia:20/12/2004	A	6.7	88	44	7.2	68	-	9	3	7	-
	B	6.6	80	-	7.1	-	-	11	5	6	-
	C	2.3	50	37	7.3	80	0.188	2	2	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	5.5	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	6.2	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	2.3	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	6.2	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	5.1	-	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	-	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	6.4	78	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	4.5	74	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	43	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	6.2	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	4.6	-	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	5.4	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	4.5	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	4.8	76	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	4.3	75	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	42	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	4.9	80	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	4.4	76	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	44	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	4.7	82	45	7.0	68	-	6	2	4	-
	B	4.4	77	-	7.1	-	-	9	4	5	-
	C	1.2	48	38	7.0	66	0.176	3	ND	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	4.7	80	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	4.5	74	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	45	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	4.5	81	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	4.0	75	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	46	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	4.6	80	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	4.3	72	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	45	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	7.4	99	47	6.9	68	-	13	3	10	-
	B	5.2	82	-	6.9	-	-	10	6	5	-
	C	1.5	45	40	7.0	64	0.176	3	2	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004	A	7.6	100	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	5.3	86	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	46	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: III - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia:20/12/2004 Hora: 14:10 t= 300 min	A	6.9	96	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	6.0	89	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	47	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004 Hora: 14:40 t= 330 min	A	7.9	106	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	5.9	89	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	49	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:20/12/2004 Hora: 15:10 t= 360 min	A	8.0	103	47	7.1	70	-	12	3	9	-
	B	5.9	92	-	7.2	-	-	11	5	6	-
	C	2.1	48	41	7.3	68	0.181	ND	ND	ND	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 9:00 t= 370 min	A	4.0	71	45	7.0	68	-	7	ND	7	24.7
	B	2.9	61	-	7.0	-	-	3	ND	3	22.4
	C	1.4	44	36	7.1	68	0.179	2	ND	2	21.6
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 9:30 t= 400 min	A	3.2	67	-	7.0	-	-	-	-	-	24.6
	B	2.5	59	-	7.1	-	-	-	-	-	24.1
	C	1.1	41	-	7.0	-	-	-	-	-	23.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 10:00 t= 430 min	A	4.0	74	-	7.0	-	-	-	-	-	24.6
	B	3.1	65	-	7.0	-	-	-	-	-	24.1
	C	0.7	40	-	7.0	-	-	-	-	-	24.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 10:30 t= 460 min	A	4.0	74	-	6.9	-	-	-	-	-	24.0
	B	2.8	63	-	7.0	-	-	-	-	-	23.3
	C	0.8	43	-	6.9	-	-	-	-	-	23.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 11:00 t= 490 min	A	5.0	67	45	6.9	66	-	6	2	4	23.9
	B	3.3	65	-	7.0	-	-	7	2	5	23.5
	C	0.8	44	40	6.9	64	0.172	ND	ND	ND	23.6
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 11:30 t= 520 min	A	4.3	73	-	6.9	-	-	-	-	-	24.5
	B	3.1	66	-	6.9	-	-	-	-	-	23.9
	C	0.9	45	-	6.9	-	-	-	-	-	23.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 12:30 t= 580 min	A	3.7	73	-	6.9	-	-	-	-	-	24.4
	B	3.2	65	-	6.9	-	-	-	-	-	23.6
	C	1.1	45	-	7.0	-	-	-	-	-	23.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 13:00 t= 610 min	A	4.1	70	45	6.8	64	-	8	3	5	24.9
	B	3.1	66	-	7.0	-	-	8	2	6	24.0
	C	1.6	43	38	6.8	60	0.175	1	ND	1	23.7
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 13:30 t= 640 min	A	5.3	77	-	7.2	-	-	-	-	-	24.4
	B	4.7	70	-	7.1	-	-	-	-	-	24.0
	C	1.5	47	-	7.0	-	-	-	-	-	24.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 14:00 t= 670 min	A	6.8	82	-	7.1	-	-	-	-	-	24.3
	B	3.8	62	-	7.0	-	-	-	-	-	23.9
	C	1.4	45	-	7.1	-	-	-	-	-	23.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/12/2005 Hora: 14:30 t= 700 min	A	5.7	88	44	7.0	62	-	4	ND	4	24.6
	B	4.2	75	-	7.0	-	-	10	4	6	24.2
	C	1.2	47	39	6.9	60	0.179	2	ND	2	24.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: IV - 1ª série

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdad. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia:15/12/2004 Hora: 11:40 t= 10 min	A	6.1	89	34	6.9	50	-	10	2	8	-
	B	5.4	76	-	5.6	-	-	11	6	5	-
	C	1.7	44	27	6.9	14	0.165	3	5	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 11:50 t= 20 min	A	6.3	-	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	5.4	-	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	-	-	6.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 12:00 t= 30 min	A	6.4	94	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	5.2	79	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	C	1.6	45	-	6.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 12:10 t= 40 min	A	7.7	-	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	7.7	-	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	-	-	6.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 12:20 t= 50 min	A	7.0	-	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	5.3	-	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	-	-	6.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 12:30 t= 60 min	A	7.7	96	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	5.2	78	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	47	-	6.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 13:00 t= 90 min	A	7.9	107	-	7.0	-	-	-	-	-	26.5
	B	6.2	80	-	5.3	-	-	-	-	-	28.3
	C	1.5	43	-	6.1	-	-	-	-	-	28.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 13:30 t= 120 min	A	8.2	101	35	6.8	50	-	12	1	11	26.5
	B	5.7	76	-	4.7	-	-	9	3	7	27.4
	C	1.5	38	24	5.9	14	0.163	2	ND	2	28.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 14:00 t= 150 min	A	6.5	101	-	6.8	-	-	-	-	-	26.5
	B	5.5	83	-	5.1	-	-	-	-	-	27.9
	C	1.5	43	-	5.6	-	-	-	-	-	28.3
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 14:30 t= 180 min	A	6.4	103	-	6.9	-	-	-	-	-	27.4
	B	5.9	86	-	4.9	-	-	-	-	-	29.0
	C	1.5	45	-	5.5	-	-	-	-	-	28.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 15:00 t= 210 min	A	6.9	103	-	6.9	-	-	-	-	-	27.7
	B	6.1	85	-	4.9	-	-	-	-	-	29.2
	C	1.5	44	-	5.5	-	-	-	-	-	29.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 15:30 t= 240 min	A	6.4	95	34	6.7	56	-	11	1	10	26.4
	B	5.6	80	-	5.2	-	-	9	3	6	27.6
	C	1.9	44	31	5.4	10	0.175	2	ND	2	28.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:15/12/2004 Hora: 16:00 t= 270 min	A	6.9	92	-	6.8	-	-	-	-	-	27.0
	B	4.9	80	-	5.4	-	-	-	-	-	28.1
	C	1.4	45	-	5.4	-	-	-	-	-	28.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2004 Hora: 9:10 t= 280 min	A	3.9	71	42	6.9	56	-	6	ND	6	25.6
	B	3.2	68	-	5.8	-	-	8	3	6	25.5
	C	1.6	47	32	6.1	20	0.182	3	ND	3	26.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: IV - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia:16/12/2005 Hora: 9:40 t= 310 min	A	3.6	75	-	6.9	-	-	-	-	-	26.0
	B	3.5	64	-	5.7	-	-	-	-	-	26.3
	C	1.5	42	-	5.9	-	-	-	-	-	26.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 10:10 t= 340 min	A	4.9	83	-	6.9	-	-	-	-	-	26.3
	B	3.9	61	-	5.4	-	-	-	-	-	26.8
	C	1.2	42	-	5.8	-	-	-	-	-	27.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2004 Hora: 10:40 t= 370 min	A	5.2	83	-	6.9	-	-	-	-	-	26.6
	B	3.7	64	-	5.4	-	-	-	-	-	27.3
	C	1.0	38	-	5.6	-	-	-	-	-	27.7
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 11:10 t= 400 min	A	7.0	94	43	6.8	54	-	10	ND	10	26.1
	B	4.2	65	-	5.3	-	-	8	3	5	27.2
	C	1.2	38	30	5.5	12	0.166	1	ND	1	28.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 11:40 t= 430 min	A	5.3	85	-	6.9	-	-	-	-	-	26.7
	B	4.2	72	-	5.4	-	-	-	-	-	27.7
	C	1.0	38	-	5.5	-	-	-	-	-	28.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2004 Hora: 12:10 t= 460 min	A	6.2	94	-	6.9	-	-	-	-	-	27.1
	B	4.2	71	-	5.5	-	-	-	-	-	28.5
	C	1.1	39	-	5.6	-	-	-	-	-	28.6
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 12:40 t= 490 min	A	6.2	97	-	6.9	-	-	-	-	-	27.0
	B	4.6	71	-	5.2	-	-	-	-	-	28.1
	C	1.0	40	-	5.4	-	-	-	-	-	28.7
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 13:10 t= 520 min	A	6.7	98	41	6.8	58	-	13	3	11	27.3
	B	4.4	74	-	5.3	-	-	9	3	6	27.9
	C	1.1	39	30	5.4	10	0.164	3	2	1	29.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2004 Hora: 13:40 t= 550 min	A	7.5	91	-	6.9	-	-	-	-	-	28.2
	B	4.7	72	-	5.3	-	-	-	-	-	28.4
	C	1.3	39	-	5.5	-	-	-	-	-	29.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 14:10 t= 580 min	A	6.1	95	-	6.8	-	-	-	-	-	27.2
	B	4.7	75	-	5.2	-	-	-	-	-	28.8
	C	1.4	40	-	5.5	-	-	-	-	-	29.3
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 14:40 t= 610 min	A	8.0	83	-	6.8	-	-	-	-	-	29.8
	B	4.8	68	-	5.0	-	-	-	-	-	30.7
	C	1.0	39	-	5.3	-	-	-	-	-	30.6
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2004 Hora: 15:10 t= 640 min	A	5.1	95	42	6.8	60	-	14	2	12	27.5
	B	4.2	80	-	5.2	-	-	10	4	6	28.6
	C	0.9	41	30	5.3	10	0.170	2	ND	2	29.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 15:40 t= 670 min	A	10.6	136	-	6.7	-	-	-	-	-	26.5
	B	4.8	82	-	5.3	-	-	-	-	-	27.0
	C	1.6	39	-	5.3	-	-	-	-	-	27.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/12/2005 Hora: 16:10 t= 700 min	A	6.7	97	-	6.8	-	-	-	-	-	26.1
	B	4.7	77	-	5.3	-	-	-	-	-	26.0
	C	1.4	48	-	5.4	-	-	-	-	-	26.1
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: IV - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD I

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia:17/12/2004 Hora: 9:10 t= 710 min	A	4.4	74	40	7.0	64	-	8	2	6	25.9
	B	5.0	82	-	6.5	-	-	10	3	7	26.0
	C	1.9	44	33	6.0	22	0.179	1	1	1	25.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 9:40 t= 740 min	A	4.1	72	-	7.0	-	-	-	-	-	25.8
	B	3.6	64	-	6.0	-	-	-	-	-	26.5
	C	0.9	39	-	6.1	-	-	-	-	-	26.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 10:10 t= 770 min	A	4.0	74	-	6.9	-	-	-	-	-	26.2
	B	3.6	63	-	5.5	-	-	-	-	-	26.4
	C	0.8	37	-	5.8	-	-	-	-	-	26.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 10:40 t= 800 min	A	4.3	76	-	7.0	-	-	-	-	-	26.0
	B	3.4	62	-	5.5	-	-	-	-	-	26.6
	C	0.7	36	-	5.7	-	-	-	-	-	26.5
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 11:10 t= 830 min	A	4.1	74	45	6.9	66	-	8	2	6	26.1
	B	3.2	65	-	5.6	-	-	5	2	4	26.5
	C	0.7	35	34	5.5	12	0.167	1	ND	1	27.2
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 11:40 t= 860 min	A	4.6	75	-	7.0	-	-	-	-	-	26.4
	B	3.8	64	-	5.5	-	-	-	-	-	26.5
	C	1.0	41	-	5.6	-	-	-	-	-	26.7
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 12:10 t= 890 min	A	4.0	73	-	6.9	-	-	-	-	-	26.5
	B	3.4	64	-	5.6	-	-	-	-	-	26.6
	C	0.8	38	-	5.7	-	-	-	-	-	26.9
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 12:40 t= 920 min	A	5.2	75	-	6.9	-	-	-	-	-	26.3
	B	3.7	63	-	5.5	-	-	-	-	-	27.0
	C	0.9	37	-	5.5	-	-	-	-	-	27.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 13:10 t= 950 min	A	4.6	79	43	6.9	66	-	9	2	7	28.3
	B	3.8	63	-	5.4	-	-	8	1	7	29.2
	C	0.9	37	33	5.5	12	0.167	2	1	1	29.4
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 13:40 t= 980 min	A	5.7	89	-	7.0	-	-	-	-	-	27.3
	B	3.8	69	-	5.4	-	-	-	-	-	28.2
	C	1.2	38	-	5.5	-	-	-	-	-	28.7
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 14:10 t= 1010 min	A	8.7	119	-	7.2	-	-	-	-	-	27.9
	B	5.2	77	-	5.5	-	-	-	-	-	28.9
	C	1.1	39	-	5.5	-	-	-	-	-	30.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 14:40 t= 1040 min	A	10.0	122	-	6.9	-	-	-	-	-	27.5
	B	5.5	79	-	5.4	-	-	-	-	-	28.8
	C	1.4	40	-	5.4	-	-	-	-	-	29.8
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 15:10 t= 1070 min	A	10.0	126	44	7.0	68	-	17	4	13	27.5
	B	5.2	82	-	5.2	-	-	9	1	8	28.4
	C	1.2	39	34	5.5	10	0.172	2	1	2	30.0
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/12/2004 Hora: 15:40 t= 1100 min	A	8.6	112	-	7.0	-	-	-	-	-	27.9
	B	6.0	81	-	5.4	-	-	-	-	-	28.9
	C	1.2	40	-	5.6	-	-	-	-	-	29.6
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: V - 1ª série

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l

taxa do FRD: 300 m³/m².dia

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 16/02/2005	A	4.0	75	39	7.4	108	-	7	ND	7	-
	B	15.7	119	-	7.5	-	-	11	6	6	-
	C	1.6	48	32	7.4	100	0.172	3	ND	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	15.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	3.7	72	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	12.6	111	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	1.6	48	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	11.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	10.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	4.1	77	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	12.1	119	-	7.5	-	-	-	-	-	-
	C	1.7	45	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	4.5	74	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	15.2	119	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	45	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	4.1	73	40	7.4	120	-	7	1	7	-
	B	16.2	122	-	7.5	-	-	11	5	7	-
	C	1.5	47	35	7.4	108	0.174	4	1	4	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	3.9	75	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	13.8	114	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	1.7	49	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	4.4	83	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	10.5	98	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	51	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	5.1	79	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	10.0	100	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	1.9	50	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	3.9	77	41	7.2	120	-	8	1	7	-
	B	11.8	110	-	7.3	-	-	11	3	8	-
	C	1.4	49	36	7.3	104	0.175	1	ND	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	7.7	107	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	7.3	107	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	2.2	54	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 16/02/2005	A	6.4	99	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	15.5	126	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	2.2	54	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: VI - 1ª série

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia:07/03/2005	A	3.2	56	36	7.5	98	-	3	1	3	-
	B	18.6	136	-	5.8	-	-	8	5	3	-
	C	3.6	52	26	6.3	18	0.188	3	3	0	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:09/03/2005	A	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	18.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	3.2	65	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	20.9	144	-	5.4	-	-	-	-	-	-
	C	3.1	46	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	20.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	20.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	3.3	66	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	B	20.1	139	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	C	1.5	40	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	4.0	78	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	19.9	138	-	5.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.6	43	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	6.4	98	26	7.4	96	-	11	2	9	-
	B	22.0	144	-	4.9	-	-	7	3	5	-
	C	0.9	48	22	5.0	18	0.163	4	1	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	5.3	81	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	19.6	129	-	4.9	-	-	-	-	-	-
	C	0.8	33	-	4.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	6.2	81	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	23.0	142	-	5.0	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	38	-	5.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	5.7	88	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	22.4	144	-	5.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	40	-	5.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	5.6	86	35	7.4	96	-	11	3	8	-
	B	22.3	151	-	5.8	-	-	12	5	7	-
	C	1.4	43	27	5.9	16	0.185	1	ND	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	5.8	86	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	21.4	137	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	39	-	6.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005	A	4.9	79	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	19.1	134	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	43	-	6.0	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: VI - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia:07/03/2005 Hora: 14:35 t = 330 min	A	4.1	73	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	13.6	109	-	6.2	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	44	-	6.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005 Hora: 15:05 t = 360 min	A	3.7	69	43	7.3	100	-	7	3	4	-
	B	17.7	125	-	5.7	-	-	5	2	3	-
	C	1.1	41	33	6.2	22	0.175	1	ND	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005 Hora: 15:35 t = 390 min	A	3.6	71	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	23.1	147	-	5.6	-	-	-	-	-	-
	C	1.7	43	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:07/03/2005 Hora: 16:05 t = 420min	A	3.7	69	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	12.9	101	-	5.1	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	45	-	5.6	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 8:45 t = 430 min	A	2.2	58	40	7.2	100	-	6	3	3	-
	B	14.1	116	-	5.6	-	-	10	6	4	-
	C	2.0	41	25	5.4	18	0.175	2	ND	2	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 9:15 h t =460 min	A	2.5	65	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	13.5	115	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	42	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 9:45 t = 490 min	A	3.1	66	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	10.9	97	-	4.2	-	-	-	-	-	-
	C	0.7	30	-	5.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 10:15 t = 520 min	A	3.2	69	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	17.6	127	-	4.9	-	-	-	-	-	-
	C	0.5	31	-	4.6	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 10:45 t = 550 min	A	3.8	72	40	7.4	104	-	7	1	6	-
	B	33.3	199	-	5.8	-	-	15	3	12	-
	C	0.8	39	30	5.5	14	0.177	2	1	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 11:15 t = 580 min	A	5.0	87	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	22.9	161	-	5.9	-	-	-	-	-	-
	C	0.9	42	-	5.7	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 11:45 t = 610 min	A	4.7	84	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	11.2	108	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	C	0.7	40	-	5.8	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 12:15 t = 640 min	A	5.2	83	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	18.7	122	-	5.5	-	-	-	-	-	-
	C	0.9	40	-	5.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 12:45 t = 670 min	A	5.0	87	42	7.2	100	-	9	1	9	-
	B	15.1	125	-	5.3	-	-	7	2	5	-
	C	1.0	38	27	5.5	16	0.166	2	2	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 8/03/2005 Hora: 13:15 t = 700 min	A	4.7	81	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	12.7	117	-	5.4	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	39	-	5.4	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: VII - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 09/03/2005 Hora: 14:10 t = 330 min	A	4.9	75	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	4.0	72	-	7.4	-	-	-	-	-	-
	C	0.9	43	-	7.5	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 09/03/2005 Hora: 14:40 t = 360 min	A	4.3	80	43	7.3	104	-	10	3	7	-
	B	3.0	70	-	7.3	-	-	11	5	6	-
	C	0.7	43	36	7.2	100	0.149	2	2	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 09/03/2005 Hora: 15:10 t = 390 min	A	3.7	74	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	B	2.8	69	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	43	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 09/03/2005 Hora: 15:40 t = 420min	A	3.6	76	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	3.0	69	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	0.7	43	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 09/03/2005 Hora: 16:10 t = 450 min	A	4.1	76	44	7.2	100	-	5	1	4	-
	B	2.7	70	-	7.2	-	-	6	2	4	-
	C	0.8	45	39	7.1	96	0.151	3	1	2	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 10/03/2005 Hora: 8:10 t = 460 min	A	3.8	73	43	7.3	104	-	7	2	5	-
	B	2.9	66	-	7.2	-	-	9	3	7	-
	C	2.5	52	35	7.1	100	0.153	5	2	3	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 10/03/2005 Hora: 8:40 t = 490 min	A	2.6	64	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	2.5	62	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	40	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 10/03/2005 Hora: 9:10 t = 520 min	A	2.8	56	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	B	3.2	62	-	7.3	-	-	-	-	-	-
	C	0.8	42	-	7.2	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 10/03/2005 Hora: 9:40 t = 550 min	A	3.7	77	39	7.3	98	-	7	4	3	-
	B	3.2	61	-	7.3	-	-	7	1	7	-
	C	0.9	40	33	7.2	92	0.147	1	1	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (1ª série)

Nº do Ensaio: VIII - 1ª série (continuação)

taxa do FPA: 120 m³/m².dia

taxa do FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdad. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	T (°C)
Dia: 03/03/2005 Hora: 15:00 t = 330 min	A	3.0	68	-	7.1	-	-	-	-	-	-
	B	3.0	59	-	4.9	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	36	-	4.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 03/03/2005 Hora: 15:30 t = 360 min	A	3.4	66	40	7.0	88	-	5	2	3	-
	B	3.1	55	-	4.4	-	-	6	1	5	-
	C	1.0	33	23	4.7	6	0.138	1	1	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 11:15 t = 370 min	A	4.1	67	36	7.0	72	-	4	ND	4	-
	B	3.1	58	-	5.7	-	-	7	4	4	-
	C	0.8	41	31	6.0	22	0.144	3	2	2	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 11:45 t = 400min	A	5.1	77	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	2.5	51	-	5.6	-	-	-	-	-	-
	C	0.5	30	-	5.6	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 12:15 t = 430 min	A	5.1	79	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	3.1	58	-	5.4	-	-	-	-	-	-
	C	0.7	33	-	5.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 12:45 t = 460 min	A	4.7	74	-	7.0	-	-	-	-	-	-
	B	3.3	57	-	5.4	-	-	-	-	-	-
	C	0.8	33	-	5.3	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 13:15 t = 490 min	A	4.8	77	38	7.0	74	-	9	3	7	-
	B	3.6	58	-	5.2	-	-	6	3	3	-
	C	0.5	32	26	5.3	8	0.145	1	ND	1	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 13:45 t = 520 min	A	3.6	73	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	3.0	59	-	5.2	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	33	-	4.9	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 14:15 t = 550 min	A	3.9	68	-	6.5	-	-	-	-	-	-
	B	2.8	54	-	5.2	-	-	-	-	-	-
	C	0.5	30	-	5.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 14:45 t = 580 min	A	3.5	67	-	6.9	-	-	-	-	-	-
	B	2.8	54	-	5.3	-	-	-	-	-	-
	C	0.4	29	-	5.1	-	-	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia: 04/03/2005 Hora: 15:15 t = 610 min	A	3.3	66	38	6.9	76	-	6	2	4	-
	B	3.2	61	-	5.5	-	-	9	4	5	-
	C	0.6	35	28	5.4	10	0.142	3	2	2	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANEXO G - Planilhas das alturas piezométricas e perdas de carga dos ensaios I, II, III, IV, V e VI, VII e VIII da 1ª série da escala piloto

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: I - 1ª série (continuação)

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da carreira (min.)	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
25/11/2004	11:10	980	230.0	229.2	0.8	229.4	-0.2	229.0	0.4	1.0	166.5	168.0	1.5	176.6	8.6	206.5	29.9	40.0
25/11/2004	11:40	1010	230.2	229.1	1.1	229.4	-0.3	229.0	0.4	1.2	166.5	169.0	2.5	177.5	8.5	209.6	32.1	43.1
25/11/2004	12:10	1040	230.0	229.0	1.0	228.9	0.1	228.8	0.1	1.2	166.6	168.4	1.8	177.0	8.6	209.5	32.5	42.9
25/11/2004	12:40	1070	229.9	229.0	0.9	228.9	0.1	228.8	0.1	1.1	165.4	167.4	2.0	175.5	8.1	207.2	31.7	41.8
25/11/2004	13:10	1100	229.5	229.0	0.5	229.2	-0.2	229.0	0.2	0.5	164.9	166.3	1.4	174.3	8.0	205.9	31.6	41.0
25/11/2004	13:40	1130	230.0	229.0	1.0	229.1	-0.1	229.0	0.1	1.0	165.9	167.5	1.6	176.2	8.7	211.0	34.8	45.1
25/11/2004	14:10	1160	230.0	229.1	0.9	229.5	-0.4	229.0	0.5	1.0	166.5	168.0	1.5	177.8	9.8	214.2	36.4	47.7
25/11/2004	14:40	1190	230.1	229.2	0.9	229.5	-0.3	229.0	0.5	1.1	166.3	167.9	1.6	177.5	9.6	214.7	37.2	48.4
26/11/2004	08:30	1200	229.8	229.0	0.8	229.0	0.0	228.7	0.3	1.1	165.5	166.8	1.3	176.6	9.8	215.5	38.9	50.0
26/11/2004	09:00	1230	229.6	228.8	0.8	228.8	0.0	228.6	0.2	1.0	166.4	168.2	1.8	178.8	10.6	218.9	40.1	52.5
26/11/2004	09:15	1245	229.5	228.8	0.7	228.9	-0.1	228.6	0.3	0.9	166.0	167.8	1.8	178.4	10.6	218.3	39.9	52.3
26/11/2004	09:30	1260	229.5	228.9	0.6	228.9	0.0	228.7	0.2	0.8	165.7	167.4	1.7	177.7	10.3	217.2	39.5	51.5
26/11/2004	10:00	1290	229.6	228.9	0.7	228.9	0.0	228.8	0.1	0.8	165.2	167.0	1.8	177.1	10.1	217.4	40.3	52.2
26/11/2004	10:30	1320	229.7	228.9	0.8	228.8	0.1	228.8	0.0	0.9	165.4	167.2	1.8	177.4	10.2	219.5	42.1	54.1
29/11/2004	10:50	1350	229.6	228.9	0.7	229.0	-0.1	228.8	0.2	0.8	166.7	168.6	1.9	179.8	11.2	214.1	34.3	47.4
29/11/2004	11:20	1380	229.8	229.0	0.8	229.1	-0.1	229.0	0.1	0.8	166.7	168.0	1.3	178.3	10.3	219.4	41.1	52.7
29/11/2004	11:50	1410	230.0	229.0	1.0	229.3	-0.3	229.0	0.3	1.0	168.0	169.3	1.3	180.0	10.7	228.4	48.4	60.4

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: II - 1ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l pH ~ 5,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
24/1/2005	12:10	0	229.6	228.8	0.8	228.7	0.1	228.8	-0.1	0.8	171.9	173.9	2.0	180.8	6.9	184.6	3.8	12.7
24/1/2005	12:20	10	229.5	228.9	0.6	228.7	0.2	228.8	-0.1	0.7	171.7	173.8	2.1	180.4	6.6	184.3	3.9	12.6
24/1/2005	12:40	30	230.0	229.2	0.8	228.9	0.3	228.9	0.0	1.1	176.8	179.4	2.6	187.0	7.6	191.4	4.4	14.6
24/1/2005	12:50	40	229.5	228.9	0.6	228.7	0.2	228.8	-0.1	0.7	172.4	175.2	2.8	182.0	6.8	186.2	4.2	13.8
24/1/2005	13:00	50	229.4	228.9	0.5	228.8	0.1	228.8	0.0	0.6	170.2	172.5	2.3	178.9	6.4	182.7	3.8	12.5
24/1/2005	13:10	60	229.0	228.7	0.3	228.6	0.1	228.7	-0.1	0.3	168.4	170.9	2.5	176.6	5.7	180.0	3.4	11.6
24/1/2005	13:40	90	229.2	228.5	0.7	228.5	0.0	228.6	-0.1	0.6	168.7	169.8	1.1	175.5	5.7	179.9	4.4	11.2
24/1/2005	14:10	120	229.2	228.6	0.6	228.6	0.0	228.7	-0.1	0.5	169.2	171.0	1.8	176.4	5.4	180.4	4.0	11.2
24/1/2005	14:40	150	229.1	228.8	0.3	228.7	0.1	228.8	-0.1	0.3	167.5	169.0	1.5	174.2	5.2	179.6	5.4	12.1
24/1/2005	15:10	180	229.0	228.5	0.5	228.5	0.0	228.5	0.0	0.5	167.3	169.1	1.8	174.0	4.9	178.5	4.5	11.2
24/1/2005	15:40	210	230.3	229.1	1.2	228.9	0.2	228.8	0.1	1.5	179.8	182.3	2.5	190.2	7.9	197.3	7.1	17.5
24/1/2005	16:10	240	231.0	229.5	1.5	229.7	-0.2	229.9	-0.2	1.1	183.8	185.0	1.2	194.0	9.0	202.4	8.4	18.6
25/1/2005	9:30	270	229.2	228.5	0.7	228.6	-0.1	228.6	0.0	0.6	172.3	175.2	2.9	181.8	6.6	188.8	7.0	16.5
25/1/2005	10:00	300	229.4	228.9	0.5	229.0	-0.1	229.0	0.0	0.4	168.0	169.3	1.3	175.0	5.7	181.5	6.5	13.5
25/1/2005	10:30	330	229.0	228.6	0.4	228.5	0.1	228.5	0.0	0.5	168.0	170.0	2.0	175.9	5.9	183.4	7.5	15.4
25/1/2005	11:00	360	228.5	228.2	0.3	228.3	-0.1	228.3	0.0	0.2	164.0	166.1	2.1	171.0	4.9	177.6	6.6	13.6
25/1/2005	11:30	390	229.0	228.5	0.5	228.4	0.1	228.5	-0.1	0.5	170.9	174.2	3.3	181.1	6.9	190.5	9.4	19.6
25/1/2005	12:00	420	228.8	228.3	0.5	228.4	-0.1	228.5	-0.1	0.3	165.4	167.1	1.7	173.0	5.9	181.5	8.5	16.1
25/1/2005	12:30	450	229.6	229.0	0.6	229.0	0.0	229.0	0.0	0.6	170.0	172.5	2.5	179.0	6.5	190.5	11.5	20.5
25/1/2005	13:00	480	230.5	229.5	1.0	229.4	0.1	229.5	-0.1	1.0	189.0	193.5	4.5	205.0	11.5	221.0	16.0	32.0
25/1/2005	13:30	510	230.0	229.0	1.0	228.9	0.1	228.8	0.1	1.2	180.0	183.9	3.9	194.0	10.1	208.0	14.0	28.0
25/1/2005	14:30	570	230.6	229.3	1.3	229.1	0.2	229.0	0.1	1.6	174.0	174.2	0.2	183.5	9.3	199.4	15.9	25.4
25/1/2005	15:00	600	231.0	229.9	1.1	229.4	0.5	229.4	0.0	1.6	181.2	182.5	1.3	193.0	10.5	211.0	18.0	29.8
25/1/2005	15:30	630	230.4	229.3	1.1	229.1	0.2	229.0	0.1	1.4	180.5	183.8	3.3	194.5	10.7	213.0	18.5	32.5
25/1/2005	16:00	660	230.0	229.0	1.0	228.9	0.1	228.9	0.0	1.1	175.6	178.2	2.6	188.1	9.9	205.4	17.3	29.8
25/1/2005	16:30	690	230.0	229.0	1.0	229.0	0.0	229.0	0.0	1.0	179.1	181.4	2.3	192.0	10.6	211.6	19.6	32.5
25/1/2005	17:00	720	230.5	229.3	1.2	229.3	0.0	229.2	0.1	1.3	181.3	184.0	2.7	195.0	11.0	216.0	21.0	34.7
26/1/2005	09:15	750	229.8	229.0	0.8	229.2	-0.2	229.2	0.0	0.6	176.0	177.5	1.5	188.2	10.7	210.5	22.3	34.5
26/1/2005	09:45	780	230.5	229.4	1.1	229.5	-0.1	229.5	0.0	1.0	177.2	178.8	1.6	189.9	11.1	213.5	23.6	36.3
26/1/2005	10:15	810	230.5	229.4	1.1	229.5	-0.1	229.5	0.0	1.0	182.5	186.0	3.5	199.0	13.0	225.5	26.5	43.0
26/1/2005	10:45	840	229.9	228.9	1.0	228.8	0.1	229.0	-0.2	0.9	181.4	184.2	2.8	197.3	13.1	223.9	26.6	42.5
26/1/2005	11:15	870	229.5	228.7	0.8	228.7	0.0	228.8	-0.1	0.7	175.7	179.5	3.8	189.5	10.0	215.3	25.8	39.6
26/1/2005	11:45	900	230.0	229.0	1.0	228.8	0.2	228.9	-0.1	1.1	180.8	183.9	3.1	197.8	13.9	227.7	29.9	46.9
26/1/2005	12:15	930	229.0	228.6	0.4	228.5	0.1	228.6	-0.1	0.4	174.0	177.8	3.8	189.7	11.9	216.4	26.7	42.4
26/1/2005	12:45	960	230.3	229.5	0.8	229.5	0.0	229.6	-0.1	0.7	181.9	182.5	0.6	196.8	14.3	227.9	31.1	46.0

* vazão muito alta ** bomba para adição de solução ácida (HCl) vazando

***bomba para adição de solução ácida (HCl) desligada

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: III - 1ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
20/12/2004	09:20	10	229.5	228.8	0.7	228.8	0.0	228.8	0.0	0.7	192.4	193.5	1.1	202.3	8.8	208.9	6.6	16.5
20/12/2004	09:30	20	229.7	229	0.7	229	0.0	228.9	0.1	0.8	191.7	193.4	1.7	201.8	8.4	208.3	6.5	16.6
20/12/2004	09:40	30	229.8	229	0.8	229	0.0	228.9	0.1	0.9	192.3	194.4	2.1	202.7	8.3	209.8	7.1	17.5
20/12/2004	09:50	40	229.7	228.9	0.8	229	-0.1	228.8	0.2	0.9	189.2	191.4	2.2	199	7.6	205.6	6.6	16.4
20/12/2004	10:00	50	229.4	228.8	0.6	228.8	0.0	228.8	0.0	0.6	188.5	190.3	1.8	197.5	7.2	204.3	6.8	15.8
20/12/2004	10:20	70	229.5	228.9	0.6	228.9	0.0	228.8	0.1	0.7	188.4	190.7	2.3	197.5	6.8	204.7	7.2	16.3
20/12/2004	10:40	90	229.5	228.9	0.6	228.9	0.0	228.8	0.1	0.7	188.4	190.8	2.4	197.4	6.6	205.3	7.9	16.9
20/12/2004	11:10	120	229.6	228.8	0.8	228.9	-0.1	228.8	0.1	0.8	188.5	190.4	1.9	196.7	6.3	205.4	8.7	16.9
20/12/2004	11:40	150	229.4	228.8	0.6	228.8	0.0	228.7	0.1	0.7	188.8	190.4	1.6	196.6	6.2	206.2	9.6	17.4
20/12/2004	12:10	180	230.2	229	1.2	229.1	-0.1	228.9	0.2	1.3	187.9	188.5	0.6	194.8	6.3	206.3	11.5	18.4
20/12/2004	12:40	210	229.7	229	0.7	229	0.0	228.9	0.1	0.8	189.3	191.5	2.2	198.4	6.9	210.3	11.9	21.0
20/12/2004	13:10	240	229.9	229.1	0.8	229	0.1	228.9	0.1	1.0	191.7	193.2	1.5	200.3	7.1	214.2	13.9	22.5
20/12/2004	13:40	270	229.6	229	0.6	229.1	-0.1	228.8	0.3	0.8	187.1	189.4	2.3	196.7	7.3	211.1	14.4	24.0
20/12/2004	14:10	300	229.7	229	0.7	229.1	-0.1	228.9	0.2	0.8	182.3	183.9	1.6	190.7	6.8	205.6	14.9	23.3
20/12/2004	14:40	330	229.9	229.1	0.8	229.1	0.0	228.9	0.2	1.0	186.8	188.1	1.3	195.6	7.5	213.2	17.6	26.4
20/12/2004	15:10	360	229.7	229	0.7	229.1	-0.1	228.8	0.3	0.9	183.3	184.7	1.4	191.8	7.1	208.8	17.0	25.5
21/12/2004	09:00	370	229.8	228.8	1.0	229	-0.2	229.1	-0.1	0.7	187.3	187.5	0.2	196	8.5	216.2	20.2	28.9
21/12/2004	09:30	400	230.1	228.9	1.2	229	-0.1	228.9	0.1	1.2	184.1	185	0.9	192.4	7.4	213.1	20.7	29.0
21/12/2004	10:00	430	229.9	228.9	1.0	229	-0.1	229	0.0	0.9	191	192.5	1.5	202	9.5	226	24.0	35.0
21/12/2004	10:30	460	229.6	228.9	0.7	228.9	0.0	228.9	0.0	0.7	185.5	187.1	1.6	196.1	9.0	219.9	23.8	34.4
21/12/2004	11:00	490	229.1	228.9	0.2	229	-0.1	229	0.0	0.1	181	181.9	0.9	190	8.1	212.5	22.5	31.5
21/12/2004	11:30	520	229.2	228.9	0.3	229	-0.1	229	0.0	0.2	182.8	184.2	1.4	193	8.8	217.5	24.5	34.7
21/12/2004	12:30	580	229.8	229	0.8	229	0.0	229	0.0	0.8	188.7	190	1.3	200.3	10.3	228	27.7	39.3
21/12/2004	13:00	610	229.2	228.9	0.3	229	-0.1	229	0.0	0.2	184.8	186	1.2	195.9	9.9	222.5	26.6	37.7
21/12/2004	13:30	640	229.8	228.9	0.9	229	-0.1	229	0.0	0.8	187.5	188.1	0.6	199	10.9	228	29.0	40.5
21/12/2004	14:00	670	230.1	229.1	1.0	229.1	0.0	229.2	-0.1	0.9	185.5	188	2.5	199	11.0	228.5	29.5	43.0
21/12/2004	14:30	700	229.9	229	0.9	229.1	-0.1	229	0.1	0.9	186.2	187	0.8	198.5	11.5	228.2	29.7	42.0

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: IV- 1ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 5,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
15/12/2004	11:40	10	229.9	229	0.9	229.1	-0.1	228.9	0.2	1.0	176	177.1	1.1	184.6	7.5	189.4	4.8	13.4
15/12/2004	11:50	20	230.1	229	1.1	229.1	-0.1	228.9	0.2	1.2	177.4	179.3	1.9	187	7.7	191.7	4.7	14.3
15/12/2004	12:00	30	230	229	1.0	229.1	-0.1	228.9	0.2	1.1	176.8	179.4	2.6	187	7.6	191.1	4.1	14.3
15/12/2004	12:10	40	230.2	229.1	1.1	229.2	-0.1	229	0.2	1.2	177.7	180	2.3	188.1	8.1	192.5	4.4	14.8
15/12/2004	12:20	50	230.1	229	1.1	229.4	-0.4	229	0.4	1.1	177	179.2	2.2	186.9	7.7	190.6	3.7	13.6
15/12/2004	12:30	60	230.4	229.2	1.2	229.5	-0.3	229	0.5	1.4	176.4	178.1	1.7	185.2	7.1	189.4	4.2	13.0
15/12/2004	13:00	90	230	229	1.0	229.4	-0.4	228.9	0.5	1.1	173.2	175.2	2.0	181.1	5.9	184.6	3.5	11.4
15/12/2004	13:30	120	230.5	229.4	1.1	229.6	-0.2	229.2	0.4	1.3	175.3	176	0.7	182.6	6.6	187	4.4	11.7
15/12/2004	14:00	150	230.7	229.4	1.3	229.6	-0.2	229.1	0.5	1.6	176.5	178	1.5	184	6.0	188.6	4.6	12.1
15/12/2004	14:30	180	230.5	229.4	1.1	229.5	-0.1	229	0.5	1.5	175.7	177.1	1.4	183	5.9	188	5.0	12.3
15/12/2004	15:00	210	230.2	229.2	1.0	229.3	-0.1	229	0.3	1.2	173.9	176.1	2.2	181.4	5.3	186.6	5.2	12.7
15/12/2004	15:30	240	230.3	229.2	1.1	229.6	-0.4	229	0.6	1.3	173.6	176	2.4	181	5.0	186.4	5.4	12.8
15/12/2004	16:00	270	230.1	229.1	1.0	229.5	-0.4	229	0.5	1.1	173.1	174.6	1.5	180	5.4	185.9	5.9	12.8
16/12/2004	09:10	280	229.8	229	0.8	229.1	-0.1	228.9	0.2	0.9	173.6	174.3	0.7	179.5	5.2	186.1	6.6	12.5
16/12/2004	09:40	310	230.5	229.2	1.3	229.5	-0.3	229.1	0.4	1.4	174.5	176.4	1.9	182	5.6	190	8.0	15.5
16/12/2004	10:10	340	230	229.2	0.8	229.4	-0.2	229.1	0.3	0.9	174	174.9	0.9	180.1	5.2	188.1	8.0	14.1
16/12/2004	10:40	370	230	229.2	0.8	229.3	-0.1	229.1	0.2	0.9	173.1	173.9	0.8	179	5.1	188	9.0	14.9
16/12/2004	11:10	400	230	229.1	0.9	229.4	-0.3	229	0.4	1.0	172	174	2.0	179.1	5.1	189.2	10.1	17.2
16/12/2004	11:40	430	229.9	229	0.9	229.2	-0.2	228.9	0.3	1.0	172.4	174.7	2.3	179.8	5.1	191.2	11.4	18.8
16/12/2004	12:10	460	229.8	228.9	0.9	229.1	-0.2	228.8	0.3	1.0	171	172.8	1.8	178.1	5.3	190.3	12.2	19.3
16/12/2004	12:40	490	229.9	229.1	0.8	229.2	-0.1	228.9	0.3	1.0	169	170.5	1.5	175.2	4.7	187.4	12.2	18.4
16/12/2004	13:10	520	230.1	229.1	1.0	229.4	-0.3	229	0.4	1.1	172.1	174	1.9	179.6	5.6	194.1	14.5	22.0
16/12/2004	13:40	550	230	229.1	0.9	229.5	-0.4	228.9	0.6	1.1	171.8	173	1.2	178.7	5.7	194	15.3	22.2
16/12/2004	14:10	580	230.2	229.2	1.0	229.2	0.0	228.9	0.3	1.3	172.3	173.9	1.6	179.8	5.9	197.2	17.4	24.9
16/12/2004	14:40	610	230.1	229.3	0.8	229.4	-0.1	229	0.4	1.1	171	172.5	1.5	178	5.5	194.6	16.6	23.6
16/12/2004	15:10	640	229.8	229	0.8	229	0.0	228.9	0.1	0.9	166.5	168	1.5	172.5	4.5	188.7	16.2	22.2
16/12/2004	15:40	670	230	229.1	0.9	229.1	0.0	229	0.1	1.0	171	173.3	2.3	179	5.7	200.2	21.2	29.2
16/12/2004	16:10	700	229.5	228.9	0.6	229	-0.1	228.7	0.3	0.8	170.1	172.5	2.4	178.3	5.8	200	21.7	29.9
17/12/2004	09:10	710	229.4	228.9	0.5	229	-0.1	228.8	0.2	0.6	166	168	2.0	172.9	4.9	192.8	19.9	26.8
17/12/2004	09:40	740	229.7	228.9	0.8	229	-0.1	228.9	0.1	0.8	169.1	171.1	2.0	177	5.9	201.8	24.8	32.7
17/12/2004	10:10	770	229.8	228.9	0.9	229.1	-0.2	228.9	0.2	0.9	169.5	171.2	1.7	177.5	6.3	204.5	27.0	35.0
17/12/2004	10:40	800	230.4	229	1.4	229	0.0	229	0.0	1.4	168	169.7	1.7	175.4	5.7	202.6	27.2	34.6
17/12/2004	11:10	830	229.9	228.9	1.0	229.2	-0.3	229	0.2	0.9	169.4	170.8	1.4	176.6	5.8	207.5	30.9	38.1
17/12/2004	11:40	860	229.4	228.8	0.6	229	-0.2	228.8	0.2	0.6	168.5	170.6	2.1	176.8	6.2	209.2	32.4	40.7
17/12/2004	12:10	890	229.4	228.8	0.6	228.9	-0.1	228.7	0.2	0.7	167.4	169.1	1.7	175	5.9	208.3	33.3	40.9
17/12/2004	12:40	920	229.8	229	0.8	229.1	-0.1	228.9	0.2	0.9	169.5	171.1	1.6	177.8	6.7	214.2	36.4	44.7
17/12/2004	13:10	950	229.8	228.9	0.9	229	-0.1	228.8	0.2	1.0	168.9	170.4	1.5	176.9	6.5	214.4	37.5	45.5

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: IV- 1ª série (continuação)

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD I: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 5,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P5	P6	P6-P5	P7	P7-P6	P8	P8-P7	P8-P5
17/12/2004	13:40	980	229.9	229	0.9	229.1	-0.1	228.9	0.2	1.0	169.4	171.3	1.9	177.8	6.5	218.4	40.6	49.0
17/12/2004	14:10	1010	230	229	1.0	229	0.0	228.9	0.1	1.1	169.5	171.5	2.0	178.6	7.1	220	41.4	50.5
17/12/2004	14:40	1040	230	229	1.0	229	0.0	228.9	0.1	1.1	169.8	171.7	1.9	178.7	7.0	222.8	44.1	53.0
17/12/2004	15:10	1070	229.7	229	0.7	229	0.0	228.9	0.1	0.8	168.6	170.7	2.1	177.4	6.7	222.9	45.5	54.3
17/12/2004	15:40	1100	230.3	229.4	0.9	229.5	-0.1	229.1	0.4	1.2	170	172.4	2.4	180	7.6	229.3	49.3	59.3

Nº do ensaio: V - 1ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD II: 300 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P9	P10	P10-P9	P11	P11-P10	P12	P12-P11	P12-P9
16/2/2005	9:10	10	229.8	229.0	0.8	229.1	-0.1	229.0	0.1	0.8	143.3	144.5	1.2	173.5	29.0	185.4	11.9	42.1
16/2/2005	09:20	20	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.6	145.0	0.4	177.0	32.0	190.5	13.5	45.9
16/2/2005	9:30	30	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.5	144.5	1.0	173.1	28.6	185.6	12.5	42.1
16/2/2005	09:40	40	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.8	144.8	1.0	173.0	28.2	186.2	13.2	42.4
16/2/2005	9:50	50	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.9	145.0	1.1	173.5	28.5	187.2	13.7	43.3
16/2/2005	10:00	60	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.5	144.5	1.0	171.0	26.5	184.5	13.5	41.0
16/2/2005	10:30	90	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.9	146.0	1.1	173.5	27.5	189.2	15.7	44.3
16/2/2005	11:00	120	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.8	147.0	1.2	174.0	27.0	190.0	16.0	44.2
16/2/2005	11:30	150	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.5	144.6	1.1	170.6	26.0	188.6	18.0	45.1
16/2/2005	12:00	180	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.0	143.8	0.8	165.0	21.2	181.8	16.8	38.8
16/2/2005	12:30	210	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.1	145.2	1.1	169.3	24.1	189.8	20.5	45.7
16/2/2005	13:00	240	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.4	144.4	1.0	168.0	23.6	188.9	20.9	45.5
16/2/2005	13:30	270	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.0	144.9	0.9	166.7	21.8	187.5	20.8	43.5
16/2/2005	14:00	300	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.9	144.7	0.8	166.4	21.7	187.5	21.1	43.6
16/2/2005	14:30	330	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.2	144.9	0.7	165.8	20.9	188.5	22.7	44.3
16/2/2005	15:00	360	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.7	144.5	0.8	169.0	24.5	188.7	19.7	45.0
16/2/2005	15:30	390	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.0	143.9	0.9	167.1	23.2	193.8	26.7	50.8
16/2/2005	16:00	420	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.5	145.3	0.8	169.8	24.5	199.2	29.4	54.7
16/2/2005	16:30	450	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	141.9	142.4	0.5	159.4	17.0	181.8	22.4	39.9
17/2/2005	9:30	460	232.2	230.9	1.3	231.0	-0.1	231.0	0.0	1.2	146.3	147.2	0.9	176.3	29.1	217.8	41.5	71.5
17/2/2005	10:00	490	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.4	145.1	0.7	173.2	28.1	215.1	41.9	70.7
17/2/2005	10:30	520	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.6	146.3	0.7	173.5	27.2	216.6	43.1	71.0
17/2/2005	11:00	550	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.6	146.2	0.6	170.9	24.7	212.0	41.1	66.4
17/2/2005	11:20	570	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.3	146.8	0.5	175.4	28.6	222.5	47.1	76.2

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: VI - 1ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD II: 300 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l pH ~ 5,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P9	P10	P10-P9	P11	P11-P10	P12	P12-P11	P12-P9
7/3/2005	9:05	0	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	141.7	142.5	0.8	174.2	31.7	181.4	7.2	39.7
7/3/2005	09:15	10	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.4	147.5	1.1	184.5	37.0	192.7	8.2	46.3
7/3/2005	9:25	20	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	148.8	150.0	1.2	184.2	34.2	191.9	7.7	43.1
7/3/2005	09:35	30	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	147.0	148.2	1.2	182.5	34.3	190.7	8.2	43.7
7/3/2005	9:45	40	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	147.4	148.6	1.2	184.4	35.8	193	8.6	45.6
7/3/2005	09:55	50	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.3	147.7	1.4	183.5	35.8	192.5	9.0	46.2
7/3/2005	10:05	60	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	148.5	150.0	1.5	185.3	35.3	194.7	9.4	46.2
7/3/2005	10:35	90	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.2	146.0	0.8	168.8	22.8	175.9	7.1	30.7
7/3/2005	11:05	120	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.7	146.5	0.8	166.9	20.4	174.8	7.9	29.1
7/3/2005	11:35	150	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.9	146.8	0.9	169.5	22.7	179.0	9.5	33.1
7/3/2005	12:05	180	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.9	147.8	0.9	170.0	22.2	180.2	10.2	33.3
7/3/2005	12:35	210	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.2	147.0	0.8	165.2	18.2	175.5	10.3	29.3
7/3/2005	13:05	240	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.6	147.3	0.7	169.8	22.5	179.5	9.7	32.9
7/3/2005	13:35	270	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.3	145.2	0.9	167.0	21.8	178.9	11.9	34.6
7/3/2005	14:05	300	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.9	147.0	1.1	172.0	25.0	188.0	16.0	42.1
7/3/2005	14:35	330	235.0	233.2	1.8	233.2	0.0	233.0	0.2	2.0	144.1	145.5	1.4	175.7	30.2	193.6	17.9	49.5
7/3/2005	15:05	360	234.8	233.0	1.8	233.0	0.0	233.1	-0.1	1.7	145.9	146.6	0.7	168.0	21.4	182.4	14.4	36.5
7/3/2005	15:35	390	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.8	146.4	0.6	168.0	21.6	183.0	15.0	37.2
7/3/2005	16:05	420	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	147.0	147.4	0.4	163.8	16.4	175.7	11.9	28.7
8/3/2005	8:45	430	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	177.6	179.7	2.1	202.8	23.1	221.4	18.6	43.8
8/3/2005	9:15	460	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.8	145.5	0.7	167.7	22.2	186.8	19.1	42.0
8/3/2005	9:45	490	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	141.9	142.4	0.5	161.0	18.6	178.7	17.7	36.8
8/3/2005	10:15	520	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.3	143.0	0.7	166.8	23.8	192.5	25.7	50.2
8/3/2005	10:45	550	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.7	143.4	0.7	171.2	27.8	200.5	29.3	57.8
8/3/2005	11:15	580	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.0	144.0	1.0	176.9	32.9	213.0	36.1	70.0
8/3/2005	11:45	610	233.8	232.7	1.1	232.6	0.1	232.5	0.1	1.3	143.3	144.0	0.7	173.2	29.2	207.1	33.9	63.8
8/3/2005	12:15	640	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.6	143.2	0.6	169.9	26.7	203.7	33.8	61.1
8/3/2005	12:45	670	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.3	142.8	0.5	168.0	25.2	202.5	34.5	60.2
8/3/2005	13:15	700	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.6	145.0	0.4	173.4	28.4	216.0	42.6	71.4

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: VII - 1ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD II: 300 m3/m2.dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P9	P10	P10-P9	P11	P11-P10	P12	P12-P11	P12-P9
9/3/2005	8:40	0	232.3	231.3	1.0	231.3	0.0	231.3	0.0	1.0	146.1	147.8	1.7	180.6	32.8	191.3	10.7	45.2
9/3/2005	8:50	10	232.0	231.0	1.0	231.0	0.0	231.0	0.0	1.0	142.9	144.3	1.4	172.0	27.7	181.9	9.9	39.0
9/3/2005	9:00	20	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.5	145.8	1.3	176.0	30.2	187.5	11.5	43.0
9/3/2005	9:10	30	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.0	144.2	1.2	172.5	28.3	183.9	11.4	40.9
9/3/2005	9:20	40	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.2	145.3	1.1	172.5	27.2	184.3	11.8	40.1
9/3/2005	9:30	50	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.0	146.0	1.0	173.0	27.0	185.4	12.4	40.4
9/3/2005	9:40	60	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.6	145.6	1.0	170.2	24.6	182.4	12.2	37.8
9/3/2005	10:10	90	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.9	143.7	0.8	165.8	22.1	178.9	13.1	36.0
9/3/2005	10:40	120	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.8	143.5	0.7	163.3	19.8	177.5	14.2	34.7
9/3/2005	11:10	150	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.6	143.4	0.8	162.1	18.7	177.3	15.2	34.7
9/3/2005	11:40	180	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.0	143.8	0.8	163.5	19.7	180.1	16.6	37.1
9/3/2005	12:10	210	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.4	143.0	0.6	161.3	18.3	179.7	18.4	37.3
9/3/2005	12:40	240	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.7	144.5	1.8	164.3	19.8	186.0	21.7	43.3
9/3/2005	13:10	270	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.5	143.2	0.7	163.9	20.7	186.4	22.5	43.9
9/3/2005	13:40	300	230.0	229.0	1.0	228.9	0.1	228.7	0.2	1.3	142.6	143.5	0.9	166.4	22.9	191.5	25.1	48.9
9/3/2005	14:10	330	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.9	143.8	0.9	168.5	24.7	195.8	27.3	52.9
9/3/2005	14:40	360	231.5	230.3	1.2	230.2	0.1	230.2	0.0	1.3	143.0	144.0	1.0	170.8	26.8	200.4	29.6	57.4
9/3/2005	15:10	390	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.5	143.2	0.7	166.5	23.3	194.4	27.9	51.9
9/3/2005	15:40	420	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.5	143.2	0.7	167.5	24.3	197.0	29.5	54.5
9/3/2005	16:10	450	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.3	142.9	0.6	166.5	23.6	197.2	30.7	54.9
10/3/2005	8:10	460	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	143.3	143.9	0.6	168.9	25.0	199.5	30.6	56.2
10/3/2005	8:40	490	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.0	142.7	0.7	167.4	24.7	202.9	35.5	60.9
10/3/2005	9:10	520	234.0	233.3	0.7	233.3	0.0	233.2	0.1	0.8	142.0	142.6	0.6	166.8	24.2	203.4	36.6	61.4
10/3/2005	9:40	550	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.5	143.0	0.5	166.5	23.5	204.1	37.6	61.6

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (1ª série)

Nº do ensaio: VIII - 1ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD II: 300 m3/m2.dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 5,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P9	P10	P10-P9	P11	P11-P10	P12	P12-P11	P12-P9
3/3/2005	9:30	0	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	142.9	143.4	0.5	168.5	25.1	178.2	9.7	35.3
3/3/2005	09:40	10	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.0	145.8	0.8	176.2	30.4	187.7	11.5	42.7
3/3/2005	9:50	20	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	147.9	148.6	0.7	176.5	27.9	187.2	10.7	39.3
3/3/2005	10:00	30	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	148.3	149.2	0.9	176.5	27.3	187.2	10.7	38.9
3/3/2005	10:10	40	230.0	229.0	1.0	229.0	0.0	229.0	0.0	1.0	146.0	146.9	0.9	176.4	29.5	188.5	12.1	42.5
3/3/2005	10:20	50	233	232.2	0.8	232.2	0.0	232.0	0.2	1.0	148.3	149.5	1.2	176.9	27.4	188.1	11.2	39.8
3/3/2005	10:30	60	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	147.8	149.6	1.8	174.2	24.6	185.1	10.9	37.3
3/3/2005	11:00	90	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.0	146.7	0.7	169.2	22.5	179.5	10.3	33.5
3/3/2005	11:30	120	232.0	231.3	0.7	231.4	-0.1	231.2	0.2	0.8	145.4	145.9	0.5	163.8	17.9	173.0	9.2	27.6
3/3/2005	12:00	150	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	148.0	148.8	0.8	166.0	17.2	174.4	8.4	26.4
3/3/2005	12:30	180	233.3	231.8	1.5	232.0	-0.2	232.1	-0.1	1.2	144.9	145.6	0.7	164.0	18.4	174.3	10.3	29.4
3/3/2005	13:00	210	234.5	234.0	0.5	234.0	0.0	234.0	0.0	0.5	144.7	145.3	0.6	162.3	17.0	173.2	10.9	28.5
3/3/2005	13:30	240	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.6	146.5	0.9	166.5	20.0	179.8	13.3	34.2
3/3/2005	14:00	270	233.5	232.4	1.1	232.5	-0.1	232.4	0.1	1.1	145.4	146.3	0.9	166.6	20.3	180.3	13.7	34.9
3/3/2005	14:30	300	232.3	231.6	0.7	231.4	0.2	231.5	-0.1	0.8	145.3	146.0	0.7	165.4	19.4	180.3	14.9	35.0
3/3/2005	15:00	330	233.0	232.0	1.0	232.1	-0.1	232.3	-0.2	0.7	144.7	145.5	0.8	166.3	20.8	182.1	15.8	37.4
3/3/2005	15:30	360	232.5	232.0	0.5	232.1	-0.1	232.1	0.0	0.4	144.3	145.2	0.9	163.9	18.7	178.8	14.9	34.5
4/3/2005	11:15	370	233.5	232.5	1.0	232.5	0.0	232.5	0.0	1.0	147.3	147.9	0.6	167.7	19.8	183.4	15.7	36.1
4/3/2005	11:45	400	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.0	146.4	0.4	163.8	17.4	181.5	17.7	35.5
4/3/2005	12:15	430	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	149.8	150.3	0.5	172.0	21.7	195.3	23.3	45.5
4/3/2005	12:45	460	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.0	145.5	0.5	162.8	17.3	184.9	22.1	39.9
4/3/2005	13:15	490	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	144.5	144.9	0.4	162.5	17.6	189.3	26.8	44.8
4/3/2005	13:45	520	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.0	146.3	0.3	165.1	18.8	195.3	30.2	49.3
4/3/2005	14:15	550	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	145.9	146.0	0.1	162.4	16.4	193.0	30.6	47.1
4/3/2005	14:45	580	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	146.6	147.0	0.4	167.6	20.6	210.3	42.7	63.7
4/3/2005	15:15	610	233.0	232.0	1.0	232.0	0.0	232.0	0.0	1.0	146.3	146.7	0.4	169.6	22.9	216.0	46.4	69.7

ANEXO H - Planilhas de resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas dos ensaios IX e X da 2ª série da escala piloto

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (2ª série)

Nº do Ensaio: IX - 2ª série

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

pH de coagulação = 7,0

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	DBO mg O ₂ /L	NTK mg N/L	N-NH ₃ mg N-NH ₃ /L	N-NO ₃ mg N-NO ₃ /L	P mg PO ₄ ³⁻ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	Colif. Totais NMP/100mL	E.coli NMP/100mL
Dia:02/05/2005 Hora:8:40 t= 10 min	A	7.2	103	40	7.5	128	-	5.0	46	12	50.40	17.75	-	2.09	14	3	11	2.61E+05	5.71E+04
	B	6.9	99	-	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.6	55	-	7.4	-	0.170	-	-	-	-	-	-	-	7	3	5	1.58E+05	5.24E+04
	D	6.3	69	27	7.4	120	-	7.0	32	4	38.64	10.08	-	0.94	6	1	5	3.00E+00	3.00E+00
Dia:02/05/2005 Hora:9:10 t=40 min	A	7.9	115	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.4	96	-	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.5	55	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	5.7	69	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005 Hora:9:40 t=70 min	A	8.5	118	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.4	98	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.0	52	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.0	48	-	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005 Hora:10:10 t=100 min	A	7.9	113	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.6	96	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.9	49	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.9	48	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005 Hora:10:40 t=130min	A	9.4	120	38	7.5	140	-	4.8	39	10	53.87	18.20	-	2.04	14	ND	14	4.10E+05	6.83E+04
	B	7.5	105	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.0	48	-	7.6	-	0.154	-	-	-	-	-	-	-	4	1	3	1.19E+05	4.28E+04
	D	2.0	49	31	7.6	132	-	3.7	34	3	46.76	14.10	-	1.52	4	ND	4	4.10E+00	2.00E+00
Dia:02/05/2005 Hora:11:10 t=160 min	A	13.3	157	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	7.7	107	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.0	50	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.0	49	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005 Hora:11:40 t=190 min	A	9.3	119	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	7.6	104	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	48	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.8	47	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005 Hora:12:10 t=220 min	A	10.0	124	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	7.4	107	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.8	52	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.9	51	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005 Hora: 12:40 t = 250 min	A	10.0	131	40	7.3	148	-	2.0	48	12	60.76	18.50	-	2.29	17	2	15	7.70E+05	2.10E+05
	B	7.1	105	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.0	49	-	7.4	-	0.165	-	-	-	-	-	-	-	4	2	2	1.57E+05	4.14E+04
	D	2.0	49	30	7.3	136	-	4.0	31	3	50.40	16.44	-	1.85	4	1	3	2.00E+00	2.00E+00

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (2ª série)

Nº do Ensaio: IX - 2ªsérie (continuação)

taxa de filtração FPA:120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH de coagulação = 7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdad. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCo ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	DBO mg O ₂ /L	NTK mg N/L	N-NH3 mg N-NH ₃ /L	N-NO3 mg N-NO ₃ /L	P mg PO ₄ ⁻³ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	Colif. Totais NMP/100mL	E.coli NMP/100mL
Dia:02/05/2005	A	9.4	131	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	7.0	104	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 13:10 280 min	C	2.2	54	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.2	52	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005	A	8.1	124	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.5	103	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora: 13:40 t = 310 min	C	2.2	57	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.2	56	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005	A	8.3	127	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	7.1	109	-	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora:14:10 t =340	C	2.2	56	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.2	56	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:02/05/2005	A	8.9	130	42	7.57	144	-	2.9	40	10	60.48	19.45	-	3.82	17	4	13	1.20E+06	2.99E+05
	B	6.5	105	-	7.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hora:14:30 t = 360 min	C	2.2	57	-	7.42	-	0.167	-	-	-	-	-	-	-	4	2	3	1.28E+05	5.63E+04
	D	2.2	60	37	7.54	136	-	3.6	29	3	56.56	17.70	-	3.08	2	2	ND	2.00E+00	<1.0

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (2ª série)

Nº do Ensaio: X - 2ª série

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	DBO mg O ₂ /L	NTK mg N/L	N-NH3 mg N-NH ₃ /L	N-NO3 mg N-NO ₃ /L	P mg PO ₄ ³⁻ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	Colif. Totais NMP/100mL	E.coli NMP/100mL
Dia:16/05/2005 Hora: 9:15 t= 10 min	A	11.9	171	43	7.4	168	-	2.0	45	14	40.04	26.30	0.86	2.49	21	7	15	8.66E+06	1.31E+06
	B	30.6	263	-	6.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	7.8	115	-	6.9	-	0.267	-	-	-	-	-	-	-	10	8	3	2.54E+06	6.50E+05
	D	7.8	117	31	6.9	118	-	5.1	34	7	35.84	20.70	1.02	2.81	10	2	8	5.17E+02	3.88E+01
Dia:16/05/2005 Hora:9:45 t=40 min	A	13.4	181	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	31.4	266	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	11.6	137	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	10.8	136	-	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora:10:15 t=70 min	A	11.9	174	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	32.7	267	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	11.1	134	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	11.0	134	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora:10:45 t=100 min	A	11.9	175	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	30.9	257	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	10.0	134	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	10.0	133	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora:11:15 t=130min	A	12.4	172	43	7.3	168	-	2.9	53	17	42.28	26.90	1.19	5.01	21	5	16	8.16E+06	1.30E+06
	B	30.8	259	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	10.0	129	-	5.8	-	0.282	-	-	-	-	-	-	-	12	2	10	3.02E+06	8.66E+05
	D	10.0	131	27	5.8	28	-	6.1	35	6	38.64	22.20	1.02	3.09	11	2	9	1.52E+02	6.30E+00
Dia:16/05/2005 Hora:11:45 t=160 min	A	13.1	177	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	36.2	277	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	9.4	119	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	10.0	126	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora:12:15 t=190 min	A	13.1	177	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	35.9	283	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	8.9	112	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	8.7	123	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora:12:45 t=220 min	A	13.0	181	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	35.9	277	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	10.0	126	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	9.4	121	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora: 13:15 t = 250 min	A	13.4	196	44	7.3	168	-	2.3	48	14	45.64	26.20	0.74	14.37	19	3	16	3.50E+06	1.26E+06
	B	45.5	332	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	8.3	121	-	5.9	-	0.291	-	-	-	-	-	-	-	11	3	9	2.40E+06	7.81E+05
	D	8.3	124	32	5.8	24	-	4.5	36	5	40.04	24.40	0.86	2.45	12	3	9	1.36E+02	1.00E+00

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (2ª série)

Nº do Ensaio: X - 2ªsérie (continuação)

taxa de filtração FPA:120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	DBO mg O ₂ /L	NTK mg N/L	N-NH3 mg N-NH ₃ /L	N-NO3 mg N-NO ₃ /L	P mg PO ₄ ³⁻ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	Colif. Totais NMP/100mL	E.coli NMP/100mL
Dia:16/05/2005 Hora: 13:45 280 min	A	14.0	190	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	40.8	296	-	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	7.8	114	-	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	7.8	113	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora: 14:15 t = 310 min	A	13.5	193	-	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	41.2	299	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	7.8	118	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	7.8	117	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora:14:45 t =340	A	13.3	200	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	35.6	288	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	7.9	124	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	7.9	123	-	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:16/05/2005 Hora:15:15 t = 370 min	A	14.6	210	45	7.3	180	-	2.1	44	14	45.08	26.90	0.75	14.09	11	11	0	5.94E+06	1.41E+06
	B	36.2	294	-	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	7.8	121	-	6.2	-	0.280	-	-	-	-	-	-	-	9	3	7	2.68E+06	1.55E+06
	D	7.8	123	35	6.1	60	-	3.5	32	5	37.80	24.80	0.85	2.25	11	2	9	2.44E+03	4.10E+00
Dia:17/05/2005 Hora:8:30 t = 380 min	A	16.2	214	47	7.3	176	-	2.2	40	13	48.50	28.50	0.67	14.55	25	6	19	7.56E+06	1.73E+06
	B	26.9	261	-	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	7.1	110	-	6.2	-	0.246	-	-	-	-	-	-	-	10	2	9	2.92E+06	1.12E+06
	D	7.1	107	33	6.3	52	-	4.7	34	6	32.76	22.90	1.33	3.17	10	1	9	9.80E+02	1.30E+01
Dia:17/05/2005 Hora:9:00 t = 410 min	A	15.7	211	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	25.8	262	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	10.0	139	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	9.2	138	-	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/05/2005 Hora:9:30 t = 440 min	A	14.9	208	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	26.0	264	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	9.3	134	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	9.4	132	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/05/2005 Hora:10:00 t = 470 min	A	15.8	209	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	27.5	271	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	9.4	135	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	9.4	133	-	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/05/2005 Hora:10:30 t = 500 min	A	14.6	199	48	7.3	216	-	2.1	53	16	47.32	28.80	0.57	14.11	28	4	24	1.12E+07	1.54E+06
	B	28.0	279	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	9.5	135	-	5.7	-	0.267	-	-	-	-	-	-	-	14	4	10	5.79E+06	1.07E+06
	D	9.1	130	30	5.7	36	-	3.1	44	8	37.80	25.30	0.99	2.15	14	5	9	2.81E+03	2.18E+02

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (2ª série)

Nº do Ensaio: X - 2ª série (continuação)

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

pH de coagulação = 5,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	Cor verdade. mg PtCo/L	pH	Alcalinid. mg CaCO ₃ /L	ABS (254 nm)	OD mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L	DBO mg O ₂ /L	NTK mg N/L	N-NH ₃ mg N-NH ₃ /L	N-NO ₃ mg N-NO ₃ /L	P mg PO ₄ ⁻³ /L	SST mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	Colif. Totais NMP/100mL	E.coli NMP/100mL
Dia:17/05/2005 Hora:11:00 t = 530min	A	16.6	212	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	25.5	256	-	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	8.3	120	-	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	8.3	123	-	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/05/2005 Hora:11:30 t = 560 min	A	16.1	220	-	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	25.3	252	-	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	8.3	123	-	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D	8.3	129	-	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dia:17/05/2005 Hora:12:00 t = 590 min	A	15.6	212	45	7.3	232	-	2.2	44	12	51.67	29.5	0.59	15.09	27	8	20	1.87E+06	1.18E+06
	B	19.0	222	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	8.6	124	-	5.7	-	0.264	-	-	-	-	-	-	-	15	3	12	1.12E+05	9.80E+05
	D	8.6	129	31	5.6	32	-	3.4	32	5	43.12	27.5	0.72	2.02	15	2	13	2.42E+03	2.08E+02

ANEXO I - Planilhas das alturas piezométricas e perdas de carga do ensaio IX e X da 2ª série da escala piloto

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (2ª série)

Nº do ensaio: IX - 2ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

taxa de FRD II: 300 m3/m2.dia

coagulante: sulfato de alumínio

dosagem de coagulante: 10 mg/l pH ~ 7,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P9	P10	P10-P9	P11	P11-P10	P12	P12-P11	P12-P9
2/5/2005	8:40	10	229.5	228.7	0.8	228.8	-0.1	228.7	0.1	0.8	50.0	52.2	2.2	101.1	48.9	103.3	2.2	53.3
2/5/2005	09:10	40	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	58.7	60.0	1.3	77.5	17.5	83.9	6.4	25.2
2/5/2005	9:40	70	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	47.0	48.0	1.0	63.8	15.8	69.6	5.8	22.6
2/5/2005	10:10	100	233.0	231.5	1.5	231.0	0.5	231.0	0.0	2.0	70.5	71.7	1.2	93.9	22.2	100.5	6.6	30.0
2/5/2005	10:40	130	233.0	231.5	1.5	231.0	0.5	231.0	0.0	2.0	42.0	43.0	1.0	64.8	21.8	76.9	12.1	34.9
2/5/2005	11:10	160	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	42.6	43.8	1.2	69.6	25.8	84.6	15.0	42.0
2/5/2005	11:40	190	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	50.0	51.1	1.1	76.2	25.1	91.5	15.3	41.5
2/5/2005	12:10	220	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	49.5	50.5	1.0	77.0	26.5	96.2	19.2	46.7
2/5/2005	12:40	250	235.0	234.5	0.5	234.3	0.2	234.7	-0.4	0.3	42.7	43.8	1.1	68.3	24.5	88.8	20.5	46.1
2/5/2005	13:10	280	233.0	231.5	1.5	231.0	0.5	231.0	0.0	2.0	51.5	52.5	1.0	80.0	27.5	105.0	25.0	53.5
2/5/2005	13:40	310	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	43.5	44.6	1.1	80.4	35.8	108.7	28.3	65.2
2/5/2005	14:10	340	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	41.4	42.3	0.9	77.4	35.1	106.3	28.9	64.9
2/5/2005	14:30	360	231.0	229.5	1.5	229.5	0.0	229.0	0.5	2.0	52.0	53.0	1.0	85.2	32.2	112.7	27.5	60.7

Alturas piezométricas e perdas de carga desenvolvidas durante operação na instalação piloto (2ª série)

Nº do ensaio: X - 2ª série

taxa de FPA: 120 m3/m2.dia

coagulante: sulfato férrico

dosagem de coagulante: 12,5 mg/l

taxa de FRD II: 300 m3/m2.dia

pH ~ 5,0

data	hora	tempo de duração da	FPA								FRD							
			P1	P2	P1-P2	P3	P2-P3	P4	P3-P4	P1-P4	P9	P10	P10-P9	P11	P11-P10	P12	P12-P11	P12-P9
16/5/2005	09:15	10	233.0	232.4	0.6	232.3	0.1	232.2	0.1	0.8	28.9	39.6	10.7	56.2	16.6	59.5	3.3	30.6
16/5/2005	9:45	40	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	54.2	55.0	0.8	73.4	18.4	78.6	5.2	24.4
16/5/2005	10:15	70	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	51.7	52.4	0.7	63.7	11.3	74.5	10.8	22.8
16/5/2005	10:45	100	232.0	231.1	0.9	231.3	-0.2	231.0	0.3	1.0	52.6	53.4	0.8	72.2	18.8	79.0	6.8	26.4
16/5/2005	11:15	130	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	53.2	54.1	0.9	74.3	20.2	82.0	7.7	28.8
16/5/2005	11:45	160	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	55.4	56.3	0.9	77.5	21.2	84.9	7.4	29.5
16/5/2005	12:15	190	233.0	232.0	1.0	231.8	0.2	231.3	0.5	1.7	40.2	40.6	0.4	55.0	14.4	66.0	11.0	25.8
16/5/2005	12:45	220	234.0	233.0	1.0	233.0	0.0	232.8	0.2	1.2	43.8	44.6	0.8	65.0	20.4	73.9	8.9	30.1
16/5/2005	13:15	250	232.0	231.0	1.0	231.2	-0.2	231.0	0.2	1.0	43.1	43.7	0.6	62.5	18.8	70.0	7.5	26.9
16/5/2005	13:45	280	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	52.1	52.7	0.6	72.2	19.5	81.3	9.1	29.2
16/5/2005	14:15	310	234.0	233.3	0.7	233.3	0.0	233.0	0.3	1.0	54.5	55.0	0.5	74.9	19.9	85.0	10.1	30.5
16/5/2005	14:45	340	233.0	232.0	1.0	232.0	0.0	231.5	0.5	1.5	44.0	45.0	1.0	72.7	27.7	84.7	12.0	40.7
16/5/2005	15:15	370	234.2	233.7	0.5	232.8	0.9	232.5	0.3	1.7	39.5	45.5	6.0	69.8	24.3	81.5	11.7	42.0
17/5/2005	8:30	380	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	39.4	40.3	0.9	72.8	32.5	89.3	16.5	49.9
17/5/2005	09:00	410	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	58.9	59.8	0.9	87.1	27.3	104.5	17.4	45.6
17/5/2005	9:30	440	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	50.7	51.4	0.7	76.5	25.1	91.6	15.1	40.9
17/5/2005	10:00	470	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	53.9	54.7	0.8	81.8	27.1	98.3	16.5	44.4
17/5/2005	10:30	500	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	51.2	52.0	0.8	78.6	26.6	96.0	17.4	44.8
17/5/2005	11:00	530	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	53.7	54.5	0.8	82.5	28.0	101.2	18.7	47.5
17/5/2005	11:30	560	234.0	233.3	0.7	233.1	0.2	232.9	0.2	1.1	48.0	48.7	0.7	80.4	31.7	101.5	21.1	53.5
17/5/2005	12:00	590	235.0	235.0	0.0	235.0	0.0	235.0	0.0	0.0	54.5	55.4	0.9	87.0	31.6	110.5	23.5	56.0

**ANEXO J - Planilhas de resultados das análises físico-químicas e microbiológicas dos ensaios
XI, XII, XIII, XIV e XV da 3ª série da escala piloto**

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto (3ª série)

Nº do Ensaio: XI - 3ª série

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio ferroso

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH= ~7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : após FPA

C : após FRD II

D : após reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	pH	ABS (254 nm)	Colif. Totais NMP/100mL	<i>E.coli</i> NMP/100mL	cistos de <i>Giardia spp.</i> cistos/L	oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i> oocistos/L	ovos de helmintos (Azul Trypan) ovos/L	ovos de helmintos (Incubação) ovos/L
Dia:26/04/2005 Hora:8:40 t= 10 min	A	4.0	75	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	4.0	70	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	C	2.0	49	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.8	50	7.3	-	-	-	-	-	-	-
Dia:26/04/2005 Hora:9:00 t=30 min	A	4.0	73	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	4.0	69	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	40	7.3	0.144	2.0E+04	3.0E+03	7.1E+01	0.0E+00	-	-
	D	1.4	40	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:26/04/2005 Hora:9:30 t=60 min	A	4.1	71	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	B	4.1	72	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	41	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.2	34	7.3	-	-	-	-	-	-	-
Dia:26/04/2005 Hora:10:00 t=90 min	A	4.3	73	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	4.8	76	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.4	41	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.2	37	7.3	-	-	-	-	-	-	-
Dia:26/04/2005 Hora:10:30 t=120min	A	4.3	76	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	B	4.3	74	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.3	41	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.3	40	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:26/04/2005 Hora:11:00 t=150 min	A	5.0	79	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	B	4.4	73	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.1	42	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.2	41	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:26/04/2005 Hora:11:30 t=180 min	A	4.2	80	7.3	-	1.3E+05	2.5E+04	8.3E+02	0.0E+00	5.6E+01	0.0E+00
	B	4.2	72	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.2	40	7.2	0.130	3.1E+04	5.2E+03	1.3E+02	0.0E+00	-	-
	D	1.2	38	7.3	-	<1	<1	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto

Nº do Ensaio: XII - 3ª série

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio ferroso

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH= ~7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : depois do FPA

C : depois do FRD

D : depois do reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	pH	ABS (254 nm)	Colif. Totais NMP/100mL	<i>E.coli</i> NMP/100mL	cistos de <i>Giardia spp.</i> cistos/L	oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i> oocistos/L	ovos de helmintos (Azul Trypan) ovos/L	ovos de helmintos (Incubação) ovos/L
Dia:10/05/2005	A	6.5	113	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.5	113	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Hora:8:30 t= 10 min	C	3.1	72	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	D	4.0	70	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Dia:10/05/2005	A	7.6	119	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.8	108	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Hora:8:50 t=30 min	C	2.7	66	7.5	0.238	3.7E+05	1.3E+05	4.2E+01	0.0E+00	-	-
	D	2.7	61	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Dia:10/05/2005	A	7.0	116	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.9	110	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Hora:9:20 t=60 min	C	2.4	60	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.3	60	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Dia:10/05/2005	A	7.0	117	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.9	108	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Hora:9:50 t=90 min	C	2.5	63	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.5	61	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Dia:10/05/2005	A	7.1	117	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	6.6	106	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Hora:10:20 t=120min	C	2.3	58	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	D	2.3	57	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Dia:10/05/2005	A	6.5	116	7.4	-	6.9E+05	1.6E+05	7.1E+02	0.0E+00	5.6E+01	0.0E+00
	B	6.8	107	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Hora:10:50 t=150 min	C	2.2	59	7.5	0.200	2.4E+05	9.9E+04	1.3E+02	0.0E+00	-	-
	D	2.2	56	7.4	-	1.0E+00	1.0E+00	-	-	0.0E+00	0.0E+00

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto

Nº do Ensaio: XIII - 3ª série

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio ferroso

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH= ~7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : depois do FPA

C : depois do FRD

D : depois do reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	pH	ABS (254 nm)	Colif. Totais NMP/100mL	<i>E.coli</i> NMP/100mL	cistos de <i>Giardia spp.</i> cistos/L	oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i> oocistos/L	ovos de helmintos (Azul Trypan) ovos/L	ovos de helmintos (Incubação) ovos/L
Dia:24/05/2005 Hora:8:30 t= 10 min	A	10.0	132	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	B	8.5	129	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	3.7	71	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	D	4.2	84	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Dia:24/05/2005 Hora:8:50 t=30 min	A	10.0	130	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	10.8	126	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	C	3.8	68	7.5	0.291	3.4E+05	1.1E+05	4.3E+01	0.0E+00	-	-
	D	3.4	58	7.5	-	-	-	-	-	-	-
Dia:24/05/2005 Hora:9:20 t=60 min	A	10.0	132	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	9.1	115	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	C	3.2	60	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	D	3.2	63	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Dia:24/05/2005 Hora:9:50 t=90 min	A	11.1	146	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	9.5	120	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	3.8	58	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	D	3.7	53	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Dia:24/05/2005 Hora:10:20 t=120min	A	12.6	151	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	B	10.0	125	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	C	3.0	57	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	D	3.0	61	7.3	-	-	-	-	-	-	-
Dia:24/05/2005 Hora:10:50 t=150 min	A	9.2	134	7.5	-	1.9E+06	2.3E+05	5.0E+02	5.0E+01	1.7E+02	0.0E+00
	B	8.7	110	7.5	-	-	-	-	-	-	-
	C	3.4	68	7.5	0.205	4.6E+05	7.8E+04	9.5E+01	0.0E+00	-	-
	D	3.3	60	7.5	-	1.8E+01	2.0E+00	-	-	8.3E+01*	1.4E+01*

* larvas/L

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto

Nº do Ensaio: XIV - 3ª série

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio ferroso

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH= ~7,0

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : depois do FPA

C : depois do FRD

D : depois do reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	pH	ABS (254 nm)	Colif. Totais NMP/100mL	<i>E.coli</i> NMP/100mL	cistos de <i>Giardia spp.</i> cistos/L	oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i> oocistos/L	ovos de helmintos (Azul Trypan) ovos/L	ovos de helmintos (Incubação) ovos/L
Dia:14/06/2005 Hora:8:15 t= 10 min	A	3.0	65	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.7	70	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	40	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.6	39	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:14/06/2005 Hora:8:35 t=30 min	A	3.0	64	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.7	69	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	39	7.2	0.172	6.1E+04	3.2E+03	7.5E+01	0.0E+00	-	-
	D	0.6	42	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:14/06/2005 Hora:9:05 t=60 min	A	3.8	70	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.8	68	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	39	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.6	39	7.1	-	-	-	-	-	-	-
Dia:14/06/2005 Hora:9:35 t=90 min	A	3.8	70	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.8	71	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	40	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.6	38	7.1	-	-	-	-	-	-	-
Dia:14/06/2005 Hora:10:05 t=120min	A	3.8	72	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.8	69	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	40	7.1	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.6	38	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:14/06/2005 Hora:10:35 t=150 min	A	3.7	66	7.1	-	6.6E+04	8.6E+03	5.5E+02	0.0E+00	8.3E+01 *	0.0E+00
	B	3.7	73	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.6	37	7.2	0.158	1.7E+04	2.3E+03	5.0E+01	0.0E+00	-	-
	D	0.6	37	7.1	-	3.1E+00	1.0E+00	-	-	8.3E+01 *	1.7E+01 *

* larvas/L

Controle dos parâmetros de qualidade da água durante operação da instalação piloto

Nº do Ensaio: XV - 3ª série

taxa de filtração FPA: 120 m³/m².dia

coagulante: sulfato de alumínio ferroso

dosagem de coagulante: 10 mg/l

pH= ~7,0

taxa de filtração FRD: 300 m³/m².dia

Pontos de coleta: A : entrada da instalação piloto

B : depois do FPA

C : depois do FRD

D : depois do reator UV

Data	Ponto de Coleta	Turbidez NTU	Cor aparente mg PtCo/L	pH	ABS (254 nm)	Colif. Totais NMP/100mL	<i>E.coli</i> NMP/100mL	cistos de <i>Giardia spp.</i> cistos/L	oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i> oocistos/L	ovos de helmintos (Azul Trypan) ovos/L	ovos de helmintos (Incubação) ovos/L
Dia:21/06/2005 Hora:8:15 t= 10 min	A	3.4	67	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.4	69	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	C	1.0	39	7.4	-	-	-	-	-	-	-
	D	1.0	38	7.3	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/06/2005 Hora:8:35 t=30 min	A	4.0	74	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.5	67	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.9	40	7.3	0.186	1.4E+05	7.1E+03	5.0E+01	0.0E+00	-	-
	D	0.8	39	7.4	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/06/2005 Hora:9:05 t=60 min	A	3.5	66	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.5	65	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.4	33	7.3	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.4	33	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/06/2005 Hora:9:35 t=90 min	A	2.8	63	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	B	2.8	60	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.5	37	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.5	34	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/06/2005 Hora:10:05 t=120min	A	3.0	64	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	B	3.0	61	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.4	34	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	D	0.4	36	7.2	-	-	-	-	-	-	-
Dia:21/06/2005 Hora:10:35 t=150 min	A	2.6	59	7.3	-	1.6E+05	3.2E+04	5.5E+02	0.0E+00	0.0E+00	3.3E+01*
	B	2.6	61	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.4	35	7.1	0.171	3.9E+04	7.9E+03	2.5E+01	0.0E+00	-	-
	D	0.4	34	7.1	-	1.7E+01	1.0E+00	-	-	8.3E+01 *	0.0E+00

* larvas/L

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ADIN, A., ASANO, T. The Role of Physical-Chemical Treatment in Wastewater Reclamation and Reuse. **Water Science and Technology**, v.37, n. 10, p. 79-90, 1998.

ADIN, A.; SOFER, F.; AIM, R. BEM. Effluent Pretreatment by Iron Coagulation Applying Various Dose-pH Combination for Optimum Particle Separation, **Water Science and Technology**, v.38, n.6, p. 27-34, 1998.

ADIN, A. Particle Characteristics: A Key Factor in Effluent Treatment and Reuse, **Water Science and Technology**, v.40, n. 4-5, p. 67-74, 1999.

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K. M. Rapid-mix Design for Mechanism of Alum Coagulation, **Journal AWWA**, v. 4, p. 210-216. Apr. 1982.

ANDERSON, J. et al. Climbing the ladder: a step by approach to international guidelines for water recycling. **Water Science and Technology**, v.43, n. 10, p. 1-8, 2001.

ANDREADAKIS, A., MAMAI, D., CHRISTOLAUS D., KABYLAFKA, S. Ultraviolet disinfection of secondary and tertiary effluent in the Mediterranean region. **Water Science and Technology**, v.40, n° 4-5, p. 253 – 260, 1999.

ANGELAKIS, A. N.; MARECOS DO MONTE, M. H. F. ; BONToux , L.; ASANO, T. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. **Water Research**, v. 33, n. 10, p. 2201 - 2217, 1999.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th ed., 1998.

ASANO,T. Water from (Waste) water – the dependable water resource. **Water Science and Technology**, v. 45, n.8, p. 23-33, 2002.

ASSALIN, M. R. **Aplicação da fotólise e fotocátalise heterogênea na desinfecção de águas contaminadas com *E. coli***. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**, v. 2, CETESB, 1987.

BABCOCK JR, R. W., MCNAIR, D.A., EDLING, L. A., NAGATO, H. Evaluation of a System for Residential Treatment and Reuse of Wastewater. **Journal of Environmental Engineering**. ASCE, p. 766-773, July, 2004.

BARBAGALLO, S.; CIRELLI, G. L.; INDELICATO, S. Wastewater reuse in Italy. **Water Science and Technology**, v.43, n. 10, p.43-50, 2001.

BELOSEVIC, M. et al. Studies on the resistance/reactivation of *Giardia muris* cysts and *Cryptosporidium parvum* oocysts exposed to medium-pressure ultraviolet radiation. **FEMS Microbiology Letters**, v.204, p. 197-203, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em : 20 mai.2005.

BRISAUD, F. et al. Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse -Preface. **Water Science and Technology**, v.43, n.10, p. IX-X, 2001.

BUSTAMANTE, H. A.; SHANKER, S.R.; PASHLEY, R. M.; KARAMAN, M.E. Interaction between *Cryptosporidium* oocysts and water treatment coagulants. **Water Research**, v.35, n.13, p. 3179-3189, 2001.

CAMPOS, J. R.; DANIEL, L. A. Fundamentos e Aspectos de Projeto de Sistemas de Desinfecção de Esgoto Sanitário com Radiação Ultravioleta. **Revista DAE**, n. 163, p. 05-11, jan./fev. 1992.

CANTUSIO NETO, R. **Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium spp.* e cistos de *Giardia spp.* em diferentes pontos de processo de tratamento de água, em Campinas, São Paulo, Brasil.** Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 2004.** 2 v.. São Paulo : CETESB, 2005. (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente).

CISNEROS, B. E. J., RENDÓN, C. M., VELÁSQUEZ, G. S. The elimination of helminth ova, faecal coliforms, Salmonella and protozoan cysts by various physicochemical processes in wastewater and sludge. **Water Science and Technology**, vol.43, n°12, pp 179-182, 2001.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003**, Síntese do Relatório Final. São Paulo, 2000.

CROOK, J. Reúso da água para fins não potáveis: seu lugar no gerenciamento de recursos hídricos. Tradução Hilton F. dos Santos. **Revista DAE**, n. 160. São Paulo, jan./jun. 1991.

CROOK, J. Critérios de qualidade de água para reúso. Tradução Hilton F. dos Santos. **Revista DAE**, n. 174. São Paulo, nov./dez. 1993.

DANIEL, L. A, (coordenador). **Processos de desinfecção e desinfectantes alternativos na produção de água potável**. Projeto PROSAB 2, São Carlos: ABES, RIMA, 2001.

DARBY, J. L., SNIDER, K. E., TCHOBANOGLOUS, G. Ultraviolet disinfection for wastewater reclamation and reuse subject to restrictive standards. **Water Environment Research**, v. 65, n.2, 1993.

DI BERNARDO, L. Comparação entre a filtração realizada em papel de filtro e em instalação piloto de filtração direta ascendente. **Revista DAE**, v.45, n. 142, São Paulo, set. 1985.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**, Rio de Janeiro: ABES, 1993. 2 v.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: RIMA, 2002.

DI BERNARDO, L., (coordenador). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Projeto PROSAB 3, Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003.

DONAIRE, P. P. R. **Desinfecção de águas utilizando Radiação Ultravioleta e Fotocatalise Heterogênea**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

EMELKO, M. B. Removal of viable and inactivated *Cryptosporidium* by dual- and tri-media filtration. **Water Research**, v. 37, p. 2998-3008, 2003.

FARIAS, E. V. C. **Detecção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em águas de abastecimento superficiais e tratadas da região metropolitana de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Biomédicas da USP, São Paulo, 2000.

FRANCO, R. M. B., CANTUSIO NETO, R. Occurrence of *Cryptosporidial* oocysts and *Giardia* cysts in bottled mineral water commercialized in the city of Campinas, State of São Paulo, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 97, p. 205-207, 2002.

GANOULIS, J.; PAPALOPOULOU, A. Risk Analysis of Wastewater Reclamation and Reuse. **Water Science and Technology**, v.33, n.10-11, p. 297-302, 1996.

GARCIA, A., YANKO, W., BATZER, G., WIDNER, G. *Giardia* Cysts in Tertiary-Treated Wastewater Effluents: Are they infective?. **Water Environment Research**, v. 74, n.6, p. 541-544, Nov./Dec. 2002.

GHOSH, M., AMIRTHARAJAH, A., ADIN, A. Particle Destabilization for Tertiary Treatment of Municipal Wastewater by Filtration. **Water Science and Technology**, v.30, n. 9, p. 209-218, 1994.

HALL T., CROLL B. Particle counters as tools for managing *Cryptosporidium* risk in water treatment. **Water Science and Technology**, v. 36, n. 4, p. 143-149, 1997.

HAMODA, M. F., AL-GHUSAIN, I., AL-MUTAIRI, N. Z. Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse. **Desalination**, v. 164, p. 203-211, 2004.

HASSEN, A. et al. UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. **Bioresource Technology**, v. 74, p.141-150, 2000.

HAYES, S.L.; RICE, E.W.; WARE, M.W.; SCHAEFER, F.W.III. Low pressure ultraviolet studies for inactivation of *Giardia muris* cysts. **Journal of Applied Microbiology**, v. 94, p. 54-59, 2003.

HO, C. H., PITT, P., MAMAI, D., CHIU, C., JOLIS, D. Evaluation of UV disinfection systems for large-scale secondary effluent. **Water Research**, v. 70, n. 6, Sept/Oct. 1998.

JACANGELO, J. G. et al.. Removal of enteric viruses and selected microbial indicators by UV irradiation of secondary effluent. **Water Science and Technology**, v. 47, n. 9, p.193-198, 2003.

JOLIS, D., PITT, P., HIRANO, R. Risk assessment for *Cryptosporidium parvum* in reclaimed water. **Water Research**, v. 33, n. 13, p. 3051 – 3055, 1999.

JOLIS, D., LAM, C., PITT, P. Particle Effects on Ultraviolet Disinfection of Coliform Bacteria in Recycled Water. **Water Environment Research**, v. 73, n.2, Mar./Apr. 2001.

KELLER, R. et al. Pathogen removal efficiency from UASB+BF effluent using conventional and UV post-treatment systems. **Water Science and Technology**, v. 50, n. 1, p.1-6, 2004.

KUO, J. F. et al. Evaluation of tertiary filtration and disinfection systems for upgrading high-purity oxygen-activated sludge plant effluent. **Water Environment Research**, v. 69, n.1, Jan./Feb. 1997.

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

LAZAROVA, V. et al. Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 4-5, p. 203-213, 1999.

LEVINE, A. D., TCHOBANOGLOUS, G., ASANO, T. Size distributions of particulate contaminants in wastewater and their impact on treatability. **Water Research**, v.25, n.8, p. 911 – 922, 1991.

LINDQUIST, H. D. A, DUFOUR, A. P., WYMER, L. J., SCHAEFER III, F. W. Criteria for evaluation of proposed protozoan detection methods. **Journal of Microbiological Methods**, v.37, p.33-43, 1999.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F.,(editores). **Reúso de Água**. Barueri, São Paulo.: Manole, 2003.

MÉXICO. **Norma Oficial Mexicana (NOM – 001 – ECOL)**. Anexo I: Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helminto. 1996. Disponível em: <<http://www.una.com.mx/content/sanidad/001ecol.pdf>> Acesso em: 28 jan. 2005.

MUJERIEGO, R., ASANO, T., The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. **Water Science and Technology**, v.40, n.4-5, p. 1-9, 1999.

NEVES, D. P.; MELO, A. L.; GENARO, O.; LINARDI, P. M. **Parasitologia Humana**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 1995.

OLIVEIRA, P. V. **Ocorrência de cistos de *Giardia spp* e oocistos de *Cryptosporidium spp*. no Rio Atibaia, Bacia do Rio Piracicaba, Campinas, São Paulo, Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

PIRES, M. R. **Desinfecção de Água para Abastecimento com Radiação Ultravioleta: Eficiência Bactericida e uma análise Econômica e Energética**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

PIRES, M. R. **Desinfecção de Esgotos com Radiação Ultravioleta: influência da qualidade do efluente e da fotorreativação**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

POLEZI, M. **Aplicação de processo oxidativo avançado (H₂O₂/UV) no efluente de uma ETE para fins de reúso**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RAJALA, R. L., PULKKANEN, M., PESSI, M., HEINONEN-TANSKI, H. Removal of microbes from municipal wastewater effluent by rapid sand filtration and subsequent UV irradiation. **Water Science and Technology**, v. 47, n.3, p. 157-162, 2003.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Tratamento de Água – Tecnologia Atualizada**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda., 1991.

ROCHELLE, P. A. et al. Irreversible UV Inactivation of *Cryptosporidium* spp. Despite the Presence of UV Repair Genes. **Journal Eukaryot. Microbiol.**, v.51, n.5, p.553-562, sept.-oct., 2004.

ROCHELLE, P., A., UPTON, S., J., MONTELONE, B., A., WOODS, K. The response of *Cryptosporidium parvum* to UV light. **TRENDS in Parasitology**, v.21, n.2, Feb. 2005.

ROSE, J.B.; HUFFMAN, D.E.; GENNACCARO, A. Risk and control of waterborne cryptosporidiosis. **FEMS Microbiology Reviews**, v.26, p. 113-123, 2002.

SAKAMOTO, G.; SHWARTZEL, D.; TOMOWICH, D. UV disinfection for reuse applications in North America. **Water Science and Technology**, v.43, n.10, p. 173-178, 2001.

SAMPAIO, A. O.; CAMPOS, J. R. Desinfecção de Esgotos Sanitários com Utilização de Radiação Ultravioleta. **Revista DAE**, v.45, n.140, p. 101-108, mar.1985.

SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A). **Estação de Tratamento de Esgoto da Bacia do Ribeirão Samambaia**. (Informativo). Campinas, 2001.

SINGER, P. C. (editor). **Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water**. American Water Association, Denver, Co., 1999.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3th ed. Mc. Graw-Hill, Inc, 1991.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Guideline for Water Reuse**, Manual, Technology Transfer –EPA/625/R-92/004, sept. 1992.

VICTORICA, J., GALVÁN, M. Preliminary testing of a rapid coupled methodology for quantification/viability determination of helminth eggs in raw and treated wastewater. **Water Research**, v.37, p. 1278-1287, 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.1, 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WAGNER, E. G., HUDSON Jr, H. Low-dosage high-rate direct filtration. **Journal American Water Works Association**, v.74, n.5, p. 256 - 261, May, 1982.

YAHYA, M. et al. Evaluation of a pilot scale ultraviolet light unit for the disinfection of reclaimed waste water. **Disinfecting wastewater for discharge & reuse: proceedings**, Portland, Water Environment Federation, mar. 17-20, 1996.

YAKUB, G.P., STADTERMAN-KNAUER, K.L. Evaluation of immunomagnetic separation for recovery of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia duodenalis* from high-iron matrices. **Applied Environment Microbiology**, v. 66, p. 3628-3630, 2000.