REMOÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM TRATAMENTO DE ÁGUA POR MEIO DE PRÉ-OXIDAÇÃO E DUPLA FILTRAÇÃO

Giovana Kátie Wiecheteck

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo

São Carlos

2005

Dedico este trabalho às pessoas que mais amo,
meus pais Gilson e Regina, meus irmãos Carlos,
Gilcélia e Rubens, e meus sobrinhos Maria Helena,
Marina, Eduardo, Leonardo, Gabriel e ...

... Gustavo (*in memoriam*).

“Algo superior e poderoso que torna os homens diferentes dos animais e que os faz resistir além de suas forças, alcançar limites acima do possível:

A VONTADE!”

Amyr Klink

AGRADECIMENTOS

A Deus, por infinitas bênçãos alcançadas.

Ao Prof. Luiz Di Bernardo pela orientação precisa e pelos ensinamentos adquiridos.

Aos meus familiares, que compartilharam comigo as alegrias e as tristezas e sempre estiveram ao meu lado.

Ao Hélio, pelo companheirismo e carinho, estando sempre presente durante este período de minha vida.

Aos amigos Bianca e André, por dividirem comigo as horas de trabalho durante os ensaios experimentais na instalação piloto.

A minha querida amiga Cristina, além do companheirismo, participou ativamente neste trabalho, estando sempre disposta a ajudar.

Ao Neyson Mendonça pelo auxílio no ensaio para determinação dos tempos de contato na coluna de ozonização.

Ao Sandro Xavier de Campos pela caracterização das substâncias húmicas.

À Prof^a Eny Maria Vieira do Instituto de Química de São Carlos, pela contribuição fundamental à realização deste trabalho, e sugestões propostas no exame de qualificação.

Aos colegas de doutorado, Edson, Edumar, Ângela, Sérgio, Marcelo, Sávia e Karina pela amizade e contribuição dada para a realização deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento, Júlio, Cidinha e Paulo, pela amizade e disposição para auxiliar nas análises de água realizadas neste laboratório.

Ao Chico, técnico do Laboratório de Instalações Piloto, pela montagem da instalação piloto e auxílio na solução dos problemas hidráulicos que surgiram durante a realização dos ensaios experimentais.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa, especialmente ao Prof. Alceu, pelo incentivo, apoio e confiança depositada em mim.

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos pelos ensinamentos adquiridos durante a fase de conclusão de créditos.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE) pela concessão do espaço para a montagem da instalação piloto e execução dos ensaios experimentais, nas dependências da ETA II de São Carlos. Aos amigos do SAAE, pela companhia nos intervalos das análises de água.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa de estudos de doutorado pelo Programa Institucional de Capacitação Docente e Técnica (PICDT).

À FINEP / PROSAB pelo auxílio financeiro para a montagem da instalação piloto e compra de materiais e equipamentos.

À FAPESP Processo 02/04622-1, pela concessão de auxílio financeiro para a execução dos ensaios experimentais.

A todos os meus amigos que participaram do meu dia a dia e que de uma forma ou de outra ajudaram na conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxi
RESUMO.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
3.2 ORIGEM DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS	6
3.2.1 Características das Substâncias Húmicas	8
3.3 PROCESSOS UTILIZADOS PARA REMOÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS	11
3.4 OXIDANTES E FORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS	14
3.4.1 Cloro.....	15
3.4.1.1 Formas de Cloro	15
3.4.1.2 Principais usos	16
3.4.1.3 Formação de subprodutos	16
3.4.2 Ozônio.....	17
3.4.2.1 Principais usos	18
3.4.2.2 Formação de subprodutos	19
3.4.3 Dióxido de cloro	19
3.4.3.1 Principais usos	20
3.4.3.2 Formação de subprodutos	20
3.4.4 Permanganato de Potássio.....	21
3.4.4.1 Principais usos	22
3.4.4.2 Formação de subprodutos	22
3.4.5 Peroxônio	233
3.4.5.1 Principais usos	24
3.4.5.2 Formação de subprodutos	24
3.5 TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO DIRETA	24
3.5.1 Coagulação	27
3.5.2 Filtração Direta Ascendente.....	31
3.5.2 Dupla Filtração	33
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37

4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1 EXTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS.....	40
4.1.1 Caracterização do extrato das substâncias húmicas	40
4.1.2 Variação da cor verdadeira da água em relação ao pH	42
4.2 ENSAIOS EM REATORES ESTÁTICOS	42
4.2.1 Escolha da granulometria da areia utilizada nos FLAs.....	43
4.2.2 Determinação da dosagem de coagulante e pH de coagulação e definição das condições de mistura rápida	43
4.3 ENSAIOS NA INSTALAÇÃO PILOTO EM ESCOAMENTO CONTÍNUO	43
4.3.1 Descrição Geral da Instalação Piloto.....	43
4.3.1.1 Sistema de Ozonização	50
4.3.1.2 Material Filtrante	53
4.3.1.3 Funcionamento dos Filtros Ascendente e Descendente	56
4.3.1.4 Limpeza e Lavagem dos Filtros	56
4.3.2 Produtos Químicos Utilizados	57
4.3.2.1 Coagulante.....	57
4.3.2.2 Acidificante.....	59
4.3.2.3 Oxidantes	59
4.3.3 Características da Água, Métodos e Equipamentos.....	63
4.3.4 Ensaios sem Pré-Oxidação e com Variação das Taxas de Filtração.....	64
4.3.5 Ensaios sem e com Pré-Oxidação e com Taxas de Filtração Fixas	65
4.3.5.1 Determinação da dosagem de oxidantes, coagulante e pH de coagulação	66
4.3.5.2 Determinação do tempo de contato para os ensaios com pré-oxidação	68
4.3.5.3 Coleta de amostra e verificação da formação de subprodutos	68
4.3.6 Análise de Dados	71
4.3.6.1 Correção da perda de carga em função da temperatura da água	72
4.3.6.2 Determinação da produção efetiva de água filtrada	74
4.3.6.3 Remoção de substâncias húmicas e eficiência global do sistema de dupla filtração	76
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS	77
5.2 VARIAÇÃO DE COR VERDADEIRA EM RELAÇÃO AO PH	80
5.3 ENSAIOS EM REATORES ESTÁTICOS	81
5.3.1 Escolha da Granulometria da Areia Utilizada nos FLAs.....	81
5.3.2 Determinação da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação e Definição das Condições de Mistura Rápida	82
5.4 ENSAIOS NA INSTALAÇÃO PILOTO EM ESCOAMENTO CONTÍNUO	84
5.4.1 Características da Água de Estudo	84
5.4.2 Ensaios sem pré-oxidação e com variação de taxas de filtração no FAAG e FRD	85

5.4.2.1 Ensaio 1 (FAAG = 240 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d).....	86
5.4.2.2 Ensaio 2 (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 200 m ³ /m ² d).....	90
5.4.2.3 Ensaio 3 (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 240 m ³ /m ² d).....	94
5.4.2.4 Ensaio 4 (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d).....	98
5.4.2.5 Ensaio 5 (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 160 m ³ /m ² d).....	102
5.4.2.6 Ensaio 6 (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 200 m ³ /m ² d).....	106
5.4.2.7 Ensaio 7 (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 240 m ³ /m ² d).....	110
5.4.3 Produção Efetiva de Água Filtrada	117
5.4.4 ENSAIOS SEM E COM PRÉ-OXIDAÇÃO COM TAXAS DE FILTRAÇÃO FIXAS NO FAAG E NO FRD	118
5.4.4.1 Determinação dos tempos de contato dos oxidantes para os ensaios com pré-oxidação	118
5.4.4.2 Ensaio 8 - sem pré-oxidação	121
5.4.4.3 Ensaio 9 - Pré-oxidação com Ozônio	124
5.4.4.4 Ensaio 10 - Pré-oxidação com Peróxido de Hidrogênio	131
5.4.4.5 Ensaio 11 - Pré-oxidação com Tricloro-s-triazina-triona.....	136
5.4.4.6 Ensaio 12 - Pré-oxidação com Dióxido de Cloro	141
5.4.4.7 Ensaio 13 - Pré-oxidação com Permanganato de Potássio	145
5.4.4.8 Ensaio 14 - Pré-oxidação com Peroxônio	149
5.4.4.9 Ensaio 15 - Pré-oxidação com Hipoclorito de Sódio	154
5.4.5 Formação de Subprodutos da Pré-Oxidação e Pós-Cloração	163
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	171
ANEXOS	174
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	371

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Principais vias propostas para a formação das substâncias húmicas pela decomposição de resíduos animais e vegetais no solo. Fonte: ROCHA & ROSA, 2003.	7
Figura 3.2 – Configurações dos sistemas de filtração direta.	26
Figura 3.3 – Diagrama de coagulação com sulfato de alumínio.	30
Figura 4.1 – Fluxograma geral das etapas do trabalho experimental.	39
Figura 4.2 – Sacos de celofane amarrados com elástico, contendo o extrato de substâncias húmicas submetidos à diálise.	40
Figura 4.3 – Foto do equipamento de jarteste e filtros de laboratório de areia (FLAs).	42
Figura 4.4 – Foto da instalação piloto.	44
Figura 4.5 – Esquema da Instalação piloto.	45
Figura 4.6 – Tanques com agitador para o preparo das soluções de coagulante, de extrato de substâncias húmicas, de acidificante e de oxidantes.	46
Figura 4.7 – Turbidímetros de escoamento contínuo (modelo 1720 C – HACH).	46
Figura 4.8 – Esquema da caixa de nível constante.	47
Figura 4.9 – Foto da caixa de nível constante e da caixa de homogeneização de substâncias húmicas.	47
Figura 4.10 – Caixa de homogeneização da solução diluída de extrato de substâncias húmicas e agitador mecânico.	48
Figura 4.11 – Vista lateral da caixa de mistura rápida.	49
Figura 4.12 – Sistema de ajuste de vazão de água coagulada.	49
Figura 4.13 – Detalhes da entrada de água na interface pedregulho-areia no FAAG, da saída de água no FRD e da derivação do efluente do FRD para o turbidímetro de escoamento contínuo.	50
Figura 4.14 – Gerador de ozônio EAGLESAT.	51
Figura 4.15 – Medidor de O_3 na fase gasosa AFX (IN USA).	51
Figura 4.16 – Sensor instalado em linha para a medida de O_3 na fase líquida.	51
Figura 4.17 – Medidor de O_3 na fase líquida (<i>Dulcometer</i> – ProMinent).	51
Figura 4.18 – Destruidor de ozônio.	52
Figura 4.19 – Entrada de água de estudo no topo da coluna de ozonização.	52
Figura 4.20 – Pedra difusora para a distribuição de ozônio, localizada na parte inferior da coluna de ozonização.	52
Figura 4.21 – Distribuição do ozônio da parte inferior para o meio da coluna de ozonização.	53
Figura 4.22 - Distribuição de ozônio do meio para a parte superior da coluna de ozonização.	53
Figura 4.23 – Curva granulométrica da areia utilizada no FAAG e no FRD.	54

Figura 4.24 – Esquema do FAAG e do FRD, com detalhes das subcamadas de material granular e das tomadas piezométricas (DE PAULA, 2003).....	55
Figura 4.25 – Gerador de dióxido de cloro.	62
Figura 4.26 – Frascos utilizados para armazenamento das amostras de água pós cloradas para análise de subprodutos.....	69
Figura 4.27 – Massa específica da água em função da temperatura.	74
Figura 4.28 – Viscosidade absoluta da água em função da temperatura.	74
Figura 5.1 – Espectro da região do infravermelho das substâncias húmicas.	78
Figura 5.2 – Espectro de UV-Vísivel na região de 400 a 800 nm para a amostra de substâncias húmicas.....	79
Figura 5.3 – Curvas de variação da cor verdadeira em função da absorvância ($\lambda = 455$ nm) em relação ao pH.....	81
Figura 5.4 – Evolução da perda de carga no FAAG ($240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 1, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 1.3 do ANEXO B.	88
Figura 5.5 – Variação de cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 12 a 29 uH e na AE de 76 a 133 uH, durante o ensaio 1 (FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 1.1 do ANEXO B.	88
Figura 5.6 – Variação de turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	89
Figura 5.7 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 1.2 do ANEXO B.	89
Figura 5.8 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 1.2 do ANEXO B. ...	90
Figura 5.9 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 2, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 2.3 no ANEXO B.	91
Figura 5.10 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 10 a 26 uH e na AE de 78 a 121 uH, durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.1 do ANEXO B.	93
Figura 5.11 – Variação de turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	93
Figura 5.12 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.2 do ANEXO B.	94
Figura 5.13 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.2 do ANEXO B. ...	94

Figura 5.14 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 3, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 3.3 do ANEXO B.	96
Figura 5.15 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 21 a 33 uH e na AE de 83 a 120 uH, durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 3.1 do ANEXO B.	97
Figura 5.16 – Variação de turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	97
Figura 5.17 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela 3.2 do ANEXO B.	98
Figura 5.18 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 3.2 do ANEXO B. ...	98
Figura 5.19 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 4, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 4.3 do ANEXO B.	100
Figura 5.20 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 14 a 25 uH e na AE de 82 a 112 uH, durante o ensaio 4 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.1 do ANEXO B.	101
Figura 5.21 – Variação de absorvância 254 nm na AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.2 do ANEXO B.	101
Figura 5.22 – Variação de COD da AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.2 do ANEXO B.	102
Figura 5.23 – Evolução da perda de carga no FAAG ($120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 5, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 5.3 do ANEXO B.	104
Figura 5.24 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 18 a 28 uH e na AE de 85 a 116 uH, durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.1 do ANEXO B.	104
Figura 5.25 – Variação da turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	105
Figura 5.26 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.2 do ANEXO B.	105
Figura 5.27 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.2 do ANEXO B.	106

Figura 5.28 – Evolução da perda de carga no FAAG ($120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 6, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 6.3 do ANEXO B.	107
Figura 5.29 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 14 a 33 uH e na AE de 76 a 119 uH, durante o ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 6.1 do ANEXO B.	108
Figura 5.30 – Variação da turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	109
Figura 5.31 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 6.2 do ANEXO B.	109
Figura 5.32 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 6.2 do ANEXO B.	110
Figura 5.33 – Evolução da perda de carga no FAAG ($120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 7, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 7.3 do ANEXO B.	112
Figura 5.34 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 15 a 23 uH e na AE de 86 a 120 uH, durante o ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela 7.1 do ANEXO B.	112
Figura 5.35 – Variação da turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	113
Figura 5.36 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 7.2 do ANEXO B.	113
Figura 5.37 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 7.2 do ANEXO B.	114
Figura 5.38 – Tempo de detenção do traçador na coluna de ozonização, sem introdução de ar.	119
Figura 5.39 – Tempo de detenção do traçador na coluna de ozonização, com introdução de ar.	120
Figura 5.40 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 1.3 do ANEXO C.	122
Figura 5.41 – Variação de cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 21 a 27 uH e na AE de 93 a 105 uH, durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 1.1 do ANEXO C.	123
Figura 5.42 – Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG.	123

Figura 5.43 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 1.2 do ANEXO C.	124
Figura 5.44 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 1.2 do ANEXO C.	124
Figura 5.45 – Evolução da perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) para T = 20°C durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 2.3 do ANEXO C.	128
Figura 5.46 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 14 a 28 uH, na AE de 83 a 106 uH e na APO de 23 a 91 uH, durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 2.1 do ANEXO C.	130
Figura 5.47 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG (180 m ³ /m ² d) e FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG.	130
Figura 5.48 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 2.2 do ANEXO C.	131
Figura 5.49 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 2.2 do ANEXO C.	131
Figura 5.50 – Evolução da perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) para T = 20°C durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 3.3 do ANEXO C.	132
Figura 5.51 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 18 a 31 uH, na AE de 90 a 121 uH e na APO de 91 a 117 uH, durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 3.1 do ANEXO C.	134
Figura 5.52 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG (180 m ³ /m ² d) e FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG.	135
Figura 5.53 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10, pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 3.2 do ANEXO C.	135
Figura 5.54 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10, pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 3.2 do ANEXO C.	136

Figura 5.55 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 4.3 do ANEXO C.	138
Figura 5.56 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 12 a 16 uH, na AE de 92 a 102 uH e na APO de 83 a 96 uH, durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$). Fonte: Tabela C 4.1 do ANEXO C.	138
Figura 5.57 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG.....	139
Figura 5.58 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11, pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 4.2 do ANEXO C.....	140
Figura 5.59 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11, pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 4.2 do ANEXO C.....	140
Figura 5.60 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 5.3 do ANEXO C.	141
Figura 5.61 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 12 a 16 uH, na AE de 94 a 107 uH e na APO de 88 a 102 uH, durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = $180 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$).....	143
Figura 5.62 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG.....	144
Figura 5.63 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 5.2 do ANEXO C.....	144
Figura 5.64 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 5.2 do ANEXO C.....	145
Figura 5.65 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 6.3 do ANEXO C.	146
Figura 5.66 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira a AB de 12 a 14 uH, na AE de 96 a 111 uH e na APO de 124 a 144 uH, durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio. Fonte: Tabela C 6.1 do ANEXO C.....	148

Figura 5.67 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG.	148
Figura 5.68 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.2 do ANEXO C.	149
Figura 5.69 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.2 do ANEXO C.	149
Figura 5.70 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 14, pré-oxidação com peróxênio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 7.3 do ANEXO C.	150
Figura 5.71 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 17 a 22 uH, na AE de 94 a 109 uH e na APO de 51 a 71 uH, durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peróxênio. Fonte: Tabela C 7.1 do ANEXO C.	152
Figura 5.72 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peróxênio e sem DFIs no FAAG. .	152
Figura 5.73 – Variação de absorvância 254 nm da AB, AE, APO e dos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14, pré-oxidação com peróxênio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.2 do ANEXO C.	153
Figura 5.74 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14, pré-oxidação com peróxênio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.2 do ANEXO C.	153
Figura 5.75 - Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 8.3 do ANEXO C.	154
Figura 5.77 - Variação da turbidez na AB e dos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG.	156
Figura 5.78 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.2 do ANEXO C.	157
Figura 5.79 – Variação de COD da AB, AE, APO e dos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.2 do ANEXO C.	157
Figura 5.80 - Formação de trialometanos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 4,9 a 5,2) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração	

de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	164
Figura 5.81 - Formação de trialometanos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 7,0 a 8,6) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	165
Figura 5.82 - Formação de trialometanos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e do efluente do FRD (pH de 9,0 a 10,5) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	165
Figura 5.83 - Formação de haloacetoneitrilas, halocetonas e halopicrinas nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 4,9 a 5,2) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	166
Figura 5.84 - Formação de haloacetoneitrilas, halocetonas e halopicrinas nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 7,0 a 8,6) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	166
Figura 5.85 - Formação de haloacetoneitrilas, halocetonas e halopicrinas nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 9,0 a 10,5) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	167
Figura 5.86 - Formação de ácidos haloacéticos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 4,9 a 5,2) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	167

Figura 5.87 - Formação de ácidos haloacéticos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 7,0 a 8,6) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	168
Figura 5.88 - Formação de ácidos haloacéticos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 9,0 a 10,5) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m ³ /m ² d (FAAG) e 280 m ³ /m ² d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.	168
Figura B 1.1 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = 240 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 1.3 – ANEXO B.	177
Figura B 1.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FAAG durante o ensaio 1 (FAAG = 240 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 1.3 – ANEXO B.	177
Figura B 2.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 200 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 2.3 – ANEXO B.	186
Figura B 2.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 200 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 2.3 – ANEXO B.	186
Figura B 3.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 240 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 3.3 – ANEXO B.	196
Figura B 3.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 240 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 3.3 – ANEXO B.	196
Figura B 4.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 4.3 – ANEXO B.	205
Figura B 4.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 4.3 – ANEXO B.	205
Figura B 5.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 160 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 5.3 – ANEXO B.	214

Figura B 5.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 160 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 5.3 – ANEXO B.....	214
Figura B 6.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 200 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 6.3 – ANEXO B.....	223
Figura B 6.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 200 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 6.3 – ANEXO B.....	223
Figura B 7.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 7 sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 240 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 7.3 – ANEXO B.....	236
Figura B 7.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 7 sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d e FRD = 240 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela B 7.3 – ANEXO B.....	236
Figura C 1.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 1.3 – ANEXO C.	245
Figura C 1.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 1.3 – ANEXO C.	245
Figura C 2.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 2.3 – ANEXO C.....	251
Figura C 2.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 2.3 – ANEXO C.	251
Figura C 3.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 3.3 – ANEXO C.....	257
Figura C 3.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 3.3 – ANEXO C.	257
Figura C 4.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 4.3 – ANEXO C.....	263
Figura C 4.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 280 m ³ /m ² d). Fonte: Tabela C 4.3 – ANEXO C.	263

Figura C 5.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 5.3 – ANEXO C.	269
Figura C 5.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 5.3 – ANEXO C.	269
Figura C 6.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.3 – ANEXO C.	275
Figura C 6.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.3 – ANEXO C.	275
Figura C 7.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.3 – ANEXO C.	281
Figura C 7.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.3 – ANEXO C.	281
Figura C 8.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.3 – ANEXO C.	236
Figura C 8.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.3 – ANEXO C.	236

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Comparação da composição elementar típica de substâncias húmicas aquáticas e composição elementar média das substâncias húmicas extraídas de solo.	9
Tabela 3.2 - Principais características estruturais das substâncias húmicas aquáticas (LANGLAIS <i>et al.</i> , 1991).	10
3.3 Processos Utilizados para Remoção de Substâncias Húmicas	11
Tabela 3.3 – Parâmetros sugeridos para projeto e operação da Filtração Direta Ascendente.	32
Tabela 3.4 – Parâmetros sugeridos para projeto e operação da Dupla Filtração.	34
Tabela 4.1 - Composição do meio granular utilizado no FAAG e no FRD, recomendado por DI BERNARDO (1993) e utilizado por DE PAULA (2003).	53
Tabela 4.2 – Características da água, amostra, método e equipamento.	63
Tabela 4.3 – Taxas de filtração utilizadas nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	64
Tabela 4.4 – Ensaios realizados na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação com taxas de filtração fixas no FAAG de 180 m ³ /m ² d e no FRD de 280 m ³ /m ² d.	66
Tabela 4.5 – Resumo da curva analítica para trialometanos, haloacetoneitrilas, halocetonas e halopiricinas (em µg/L).	70
Tabela 4.6 – Resumo da curva analítica para os ácidos haloacéticos (em µg/L).	71
Tabela 4.7 – Variações da massa específica e viscosidade absoluta da água em função da temperatura.	73
Tabela 5.1 – Composição elementar das substâncias húmicas e as razões atômicas.	77
Tabela 5.2 – Resultados das análises de metais no extrato de substâncias húmicas.	80
Tabela 5.3 – Resultados dos ensaios em reatores estáticos para a escolha do tipo de areia utilizada nos filtros de laboratório de areia (FLAs).	82
Tabela 5.4 – Resultados dos ensaios em reatores estáticos com variação do volume de HCl (0,07 M) adicionado em cada jarro para a escolha do pH de coagulação.	83
Tabela 5.5 – Resultados dos ensaios em reatores estáticos para a escolha do gradiente de velocidade de mistura rápida (G_{mr}).	84
Tabela 5.6 – Características da água bruta e da água de estudo durante a execução dos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo.	85
Tabela 5.7 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 1 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	87
Tabela 5.8 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 2 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	91

Tabela 5.9 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 3 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	95
Tabela 5.10 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 4 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	99
Tabela 5.11 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 5 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	103
Tabela 5.12 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 6 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	107
Tabela 5.13 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 7 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	111
Tabela 5.14 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 1, 2, 3 e 4 na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação, durante a Fase 1.	115
Tabela 5.15 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 5, 6 e 7 na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação, durante a Fase 1.	116
Tabela 5.16 – Resultados de eficiência na produção de água filtrada para as diferentes taxas de filtração utilizadas.	117
Tabela 5.17 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 8 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.	121
Tabela 5.18 – Características da água de estudo e da água pré-oxidada com ozônio durante os ensaios em reatores estáticos (RE).	125
Tabela 5.19 – Resultados obtidos nos ensaios RE1, RE2, RE3 e RE4 em reatores estáticos.	126
Tabela 5.20 – Variação da dosagem de coagulante, do pH de coagulação e do alumínio residual durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio.	127
Tabela 5.21 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 9 (pré-oxidação com ozônio). ...	129
Tabela 5.22 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio.	133
Tabela 5.23 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona.	137
Tabela 5.24 – Valores de COT para amostras de água destilada com extrato de substâncias húmicas (ESH), não cloradas e cloradas com NaClO e tricloro-s-triazina-triona.	139
Tabela 5.25 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro.	142
Tabela 5.26 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio.	147
Tabela 5.27 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 14, pré-oxidação com peroxônio.	151
Tabela 5.28 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio.	155

Tabela 5.29 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 8 e 9 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.....	159
Tabela 5.30 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 10 e 11 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.....	160
Tabela 5.31 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 12 e 13 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.....	161
Tabela 5.32 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 14 e 15 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.....	162
Tabela B 1.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 240 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	178
Tabela B 1.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 240 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	179
Tabela B 1.3 – Perda de carga no FAAG (240 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 1, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.180	
Tabela B 1.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 – sem pré-oxidação e com DFIs (FAAG = 240 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	178
Tabela B 2.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 200 m ³ /m ² d).....	180
Tabela B 2.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 200 m ³ /m ² d).....	181
Tabela B 2.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (200 m ³ /m ² d) durante o ensaio 2, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.183	
Tabela B 2.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 - sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 200 m ³ /m ² d)....	187
Tabela B 3.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 240 m ³ /m ² d).....	189
Tabela B 3.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 240 m ³ /m ² d).....	190
Tabela B 3.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (240 m ³ /m ² d) durante o ensaio 3, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.192	
Tabela B 3.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 240 m ³ /m ² d)...	197

Tabela B 4.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 240 m ³ /m ² d).....	199
Tabela B 4.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	200
Tabela B 4.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 4, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.202	
Tabela B 4.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d)...	206
Tabela B 5.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 160 m ³ /m ² d).....	208
Tabela B 5.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 160 m ³ /m ² d).....	209
Tabela B 5.3 – Perda de carga no FAAG (120 m ³ /m ² d) e no FRD (160 m ³ /m ² d) durante o ensaio 5, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.211	
Tabela B 5.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 160 m ³ /m ² d)...	215
Tabela B 6.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 200 m ³ /m ² d).....	217
Tabela B 6.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 200 m ³ /m ² d).....	218
Tabela B 6.3 – Perda de carga no FAAG (120 m ³ /m ² d) e no FRD (200 m ³ /m ² d) durante o ensaio 6, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.220	
Tabela B 6.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 200 m ³ /m ² d)...	224
Tabela B 7.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 240 m ³ /m ² d).....	226
Tabela B 7.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 240 m ³ /m ² d).....	227
Tabela B 7.3 – Perda de carga no FAAG (120 m ³ /m ² d) e no FRD (240 m ³ /m ² d) durante o ensaio 7, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.229	

Tabela B 7.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m ³ /m ² d; FRD = 240 m ³ /m ² d)...	237
Tabela B 8.1 – Resultados de produção efetiva de água filtrada para os ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo – Fase 1.....	239
Tabela C 1.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	241
Tabela C 1.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	242
Tabela C 1.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.	243
Tabela C 1.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	246
Tabela C 2.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	247
Tabela C 2.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	248
Tabela C 2.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.	249
Tabela C 2.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	252
Tabela C 3.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	253
Tabela C 3.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	254
Tabela C 3.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 10, pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.	255
Tabela C 3.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	258
Tabela C 4.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	259

Tabela C 4.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	260
Tabela C 4.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 11, pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.	261
Tabela C 4.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).	264
Tabela C 5.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	265
Tabela C 5.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	266
Tabela C 5.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.....	267
Tabela C 5.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	270
Tabela C 6.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	271
Tabela C 6.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	272
Tabela C 6.3 – Perda de carga no FAAG (180 m ³ /m ² d) e no FRD (280 m ³ /m ² d) durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.	273
Tabela C 6.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	276
Tabela C 7.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	277
Tabela C 7.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = 180 m ³ /m ² d; FRD = 280 m ³ /m ² d).....	278

Tabela C 7.3 – Perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 14, pré-oxidação com peroxônio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.	279
Tabela C 7.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	282
Tabela C 8.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	283
Tabela C 8.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).	284
Tabela C 8.3 – Perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 15, pré-oxidação com cloro (hipoclorito de sódio) e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.	285
Tabela D 1.1 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH – ENSAIOS 8 e 9.	238
Tabela D 1.2 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH– ENSAIOS 10 e 11.	239
Tabela D 1.3 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH – ENSAIOS 12 e 13.	240
Tabela D 1.4 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH – ENSAIOS 14 e 15.	241

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	- Água Bruta
AE	- Água de Estudo
AH	- Ácido Húmico
AHAs	- Ácidos Haloacéticos
AF	- Ácido Fúlvico
APO	- Água Pré-oxidada
COA	- Carbono Orgânico Assimilável
COD	- Carbono Orgânico Dissolvido
CODB	- Carbono Orgânico Dissolvido Biodegradável
COT	- Carbono Orgânico Total
CT	- Concentração de Desinfetante e Tempo de Contato
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
EPA	- Environmental Protection Agency
ETA II	- Estação de Tratamento de Água II
ESH	- Extrato de Substância Húmica
FAAG	- Filtro Ascendente de Areia Grossa
FLAs	- Filtros de Laboratório de Areia
FRD	- Filtro Rápido Descendente
G_{mr}	- Gradiente de Mistura Rápida
HANs	- Haloacetoneitrilas
HCs	- Halocetonas
HP	- Halopicrinas
IV	- Infravermelho
MON	- Matéria Orgânica Natural
MTBE	- Metil-terc-butílico-éter
ND	- Não Detectado
NMP	- Número Mais Provável
NR	- Não Realizado
RMN- ¹³ C	- Ressonância Magnética Nuclear – Carbono 13
SR	- Sem Referência
T_{mr}	- Tempo de Mistura Rápida
TAMs	- Trialometanos
UA	- Unidade de Absorvância

UFC	- Unidade Formadora de Colônia
UNAERP	- Universidade de Ribeirão Preto
USP	- Universidade de São Paulo
UV	- Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{FAAG}	- Área do FAAG
A_{FRD}	- Área do FRD
$Al_2(SO_4)_3 \cdot n H_2O$	- Solução comercial de sulfato de alumínio
C	- Concentração de oxidante aplicada
C_{ab}	- Concentração de oxidante na água bruta
C_{SE}	- Concentração da solução estoque do oxidante
ClO_2	- Dióxido de cloro
DDF	- Duração da descarga de fundo
DCF	- Duração da carreira de filtração
DFs	- Descargas de fundo
DFIs	- Descargas de fundo intermediárias
DFI_{C50}	- Descarga de fundo intermediária executada quando a cor aparente do efluente do FAAG atingia valor ≥ 50 uH
DFI_{PC}	- Descarga de fundo intermediária executada por perda de carga
DL_{FAAG}	- Duração da lavagem do FAAG
DL_{FRD}	- Duração da lavagem do FRD
D_{SA}	- Dosagem de sulfato de alumínio
h_{20}	- Perda de carga corrigida para a temperatura de 20°C
h_t	- Perda de carga na temperatura t
HCl	- Ácido clorídrico
H_2O_2	- Peróxido de hidrogênio
$KMnO_4$	- Permanganato de potássio
$Lav.FRD_{PC}$	- Lavagem do FRD quando atingiu a perda de carga limite
$Lav.FRD_{transpasse}$	- Lavagem do FRD quando ocorreu o transpasse
NaCl	- Cloreto de sódio
NaClO	- Hipoclorito de Sódio
NaOH	- Hidróxido de Sódio
$N^{\circ} DFIs_{FAAG}$	- Número de DFIs executadas no FAAG
NL_{FAAG}	- Número de lavagens executadas no FAAG
NL_{FRD}	- Número de lavagens executadas no FRD
O_3	- Ozônio
PE	- Produção efetiva de água filtrada

PT	- Produção total de água filtrada
Q_{ab}	- Vazão afluyente de água bruta
Q_{bd}	- Vazão da bomba dosadora
TDF	- Taxa de descarga de fundo
TF	- Taxa de filtração
TL_{FAAG}	- Taxa de aplicação de água para lavagem do FAAG
TL_{FRD}	- Taxa de aplicação de água para lavagem do FRD
VDF_{final}	- Consumo de água utilizada para a descarga de fundo final
$VDFIs$ intermediárias	- Consumo de água utilizada para as descargas de fundo intermediárias
VL_{FAAG}	- Consumo de água utilizada para as lavagens do FAAG
VL_{FRD}	- Consumo de água utilizada para as lavagens do FRD
$\Delta H_{final} \text{ FAAG}$	- Perda de carga final no FAAG
$\Delta H_{final} \text{ FRD}$	- Perda de carga final no FRD
$\Delta H_{prevista} \text{ FAAG}$	- Perda de carga prevista no FAAG
$\Delta H_{prevista} \text{ FRD}$	- Perda de carga prevista no FRD
μ_{20}	- Viscosidade absoluta da água na temperatura de 20°C
μ_t	- Viscosidade absoluta da água na temperatura t
ρ_t	- Massa específica da água na temperatura t
ρ_{20}	- Massa específica da água na temperatura de 20°C

RESUMO

WIECHETECK, G. K. (2005). *Remoção de Substâncias Húmicas em Tratamento de Água por Meio de Pré-Oxidação e Dupla Filtração*. São Carlos, 376 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Para estudar a remoção de substâncias húmicas da água, foi utilizada uma instalação piloto de pré-oxidação e dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa (FAAG) e filtro rápido descendente (FRD). Ozônio, peróxido de hidrogênio, peroxônio, tricloro-s-triazina-triona, dióxido de cloro, permanganato de potássio e hipoclorito de sódio foram utilizados como pré-oxidantes. A água de estudo era proveniente do Ribeirão do Feijão (São Carlos – SP) com adição de extrato de substâncias húmicas até cor verdadeira de 90 a 110 uH. O trabalho experimental foi realizado em quatro etapas: i) extração de substâncias húmicas; ii) ensaios em reatores estáticos; iii) ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação com taxas de filtração no FAAG entre 120 e 240 m³/m²d e no FRD entre 160 e 280 m³/m²d e; iv) ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação com taxas de filtração de 180 m³/m²d no FAAG e 280 m³/m²d no FRD. Houve eficiência de remoção de substâncias húmicas nos ensaios sem pré-oxidação e com variação de taxas de filtração, eventualmente, observou-se residual de alumínio maior que 0,2 mg/L no efluente do FRD. Nos ensaios com pré-oxidação obteve-se redução de 50% na dosagem de coagulante, resultando em menores concentrações de alumínio residual nos filtros, e redução de 43 a 63% na perda de carga final do FAAG, comparando-se com o ensaio sem pré-oxidação. As amostras pré-oxidadas com ozônio apresentaram maiores concentrações de ácidos haloacéticos. No efluente do FRD, observou-se aumento das concentrações de trialometanos com o aumento do pH. Nos ensaios com dióxido de cloro e permanganato de potássio observaram-se menores concentrações de subprodutos.

Palavras-chave: Tratamento de Água, Dupla Filtração, Pré-Oxidação, Oxidantes, Remoção de Substâncias Húmicas, Formação de Subprodutos.

ABSTRACT

WIECHETECK, G. K. (2005). *Removal of Humic Substances in Water Treatment through Preoxidation and Double Filtration*. São Carlos, 376 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A pilot plant of preoxidation and double filtration with coarse sand upflow filter (CSUF) and downflow filter (DF) was used with the purpose of removing humic substances of the water. Ozone, hydrogen peroxide, peroxone, chlorine, chlorine dioxide and potassium permanganate were used as preoxidants. The water of study was originating from Ribeirão Feijão (São Carlos - SP) with addition of extract of humic substances until true color from 90 to 110 uH. The experimental work was accomplished in four stages: i) extraction of humic substances; ii) tests in static reactors; iii) runs in the pilot plant in continuous flow without preoxidation with filtration rates in the upflow filter between 120 and 240 m³/m²d and in the downflow filter between 160 and 280 m³/m²d and; iv) runs in the pilot plant in continuous flow with and without preoxidation with filtration rates of 180 m³/m²d in the upflow filter and 280 m³/m²d in the downflow filter. There was efficiency of removal of humic substances in the runs without preoxidation with variation of filtration rates, but the effluent of the downflow filter presented aluminum residual larger than 0,2 mg/L. In the runs with preoxidation a reduction in the coagulant dosage of 50% was observed and consequently smaller concentration of aluminum residual in the effluent of the downflow filter, and reduction of 43 to 63% in the final load loss in the upflow filter, compared with the run without preoxidation. The preoxidated water with ozone was verified higher concentration of haloacetic acids. In the effluent of the downflow filter was observed increase of trihalomethane concentrations with the increase of the pH. In the runs with chlorine dioxide and potassium permanganate were observed lower concentrations of byproducts.

Keywords: Water Treatment, Double Filtration, Preoxidation, Oxidants, Removal of Humic Substances, Byproduct Formation.

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos compostos de natureza orgânica presente em mananciais de abastecimento é proveniente da decomposição da matéria orgânica natural (MON) e são chamados de substâncias húmicas, sendo a causa principal da presença de cor em águas naturais. Substâncias húmicas são macromoléculas com caráter predominantemente aromático e de grande massa molecular.

De acordo com OWEN *et al.* (1995), MON é um termo usado para descrever a complexa matriz de material orgânico presente em águas naturais, a qual influencia significativamente o desempenho das unidades de tratamento de água (oxidação, coagulação, adsorção), a aplicação de desinfetantes, e a estabilidade biológica. Além disso, a MON interfere na qualidade da água tratada com a formação de subprodutos da desinfecção, aumento de cor, sabor e odor, e do crescimento de microrganismos no sistema de distribuição.

Novas tecnologias e processos de tratamento para a remoção de MON vêm sendo estudados, objetivando a redução ou eliminação de substâncias húmicas.

De acordo com BOLTO *et al.* (1999), a eficiência dos processos de tratamento de água na remoção de MON varia com a natureza, tamanho molecular e polaridade da MON, e com as características da água bruta, tais como turbidez e dureza. Em alguns casos, o tratamento em ciclo completo com sulfato de alumínio é ineficiente. EIKEBROKK (1999) relata que a otimização do processo de coagulação seguida da filtração direta tem apresentado valores da ordem de 75 a 90% e 40 a 70% de remoção de cor e carbono orgânico, respectivamente.

A filtração direta ascendente pode ser considerada como uma das principais tecnologias de tratamento de água, sendo utilizada com sucesso em diversos países. Segundo DI BERNARDO (1993), a filtração direta ascendente foi aplicada pela primeira vez no Brasil, nas cidades de Colatina (ES) e Ponta Grossa (PR). A estação de tratamento de água de Ponta Grossa apresentou custo de implantação correspondente a cerca de 40% do custo de uma estação de tratamento em ciclo completo.

Com a necessidade de se melhorar a qualidade da água filtrada, surgiram estudos aplicando-se a filtração rápida descendente precedida da filtração direta ascendente, originando a dupla filtração, apresentando também menor custo comparado ao do tratamento em ciclo completo. A dupla filtração permite o tratamento de água com pior qualidade, possibilita o uso de taxas de filtração mais elevadas no filtro ascendente, oferece maior segurança do ponto de vista operacional em relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, apresenta melhor remoção de microrganismos aumentando a segurança em relação à desinfecção final, além de outras vantagens com relação à filtração direta ascendente (DI BERNARDO, 2003).

O uso de oxidantes químicos tais como cloro, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio ou a combinação deles no pré e pós-tratamento de água tem apresentado benefícios à qualidade da água tratada. A pré-oxidação apresenta vantagens como remoção de cor, controle de sabor e odor, redução de poluentes orgânicos específicos, precipitação de metais, redução na dosagem de coagulante e melhoria no processo de coagulação.

No entanto, quando o cloro é adicionado à água bruta, ele reage com a MON e pode produzir clorofórmio (CHCl_3), ácidos mono-, di- e tricloroacético, e outros subprodutos clorados provenientes da desinfecção. Se a água contém apreciável quantidade de bromo, o cloro oxidará o bromo a ácido hipobromoso (HBrO), o qual por sua vez reagirá com a MON e produzirá bromofórmio (CHBr_3) e ácidos acéticos bromados e outros subprodutos da desinfecção (SINGER, 1999).

Os principais fatores que influenciam na formação de subprodutos da desinfecção são: pH, tempo de contato, temperatura, natureza e concentração da MON, dosagem de cloro aplicada, residual de cloro livre e concentração de brometos (DI BERNARDO, 1993). O consumo de cloro e a produção de subprodutos da desinfecção são proporcionais principalmente à concentração de carbono orgânico contido na MON.

A aplicação de oxidantes alternativos como o ozônio, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio associado ao ozônio (peroxônio), permanganato de potássio, são eficientes na remoção de matéria orgânica e na minimização do potencial de formação de subprodutos indesejados. No entanto, alguns destes oxidantes apresentam custo elevado, sendo necessários mais estudos com relação ao seu custo-benefício.

A ação do ozônio sobre substâncias húmicas em pH neutro pode conduzir à redução dos compostos que dão origem à cor, à diminuição na fração de maior massa molecular e ao aumento na fração de menor massa molecular e nos grupos funcionais carboxílicos.

De acordo com FREESE *et al.* (1999), o uso combinado de ozônio e peróxido de hidrogênio proporciona maior reatividade, com o peróxido de hidrogênio promovendo o máximo efeito do ozônio, reduzindo a sua dosagem.

No Brasil, a maioria das estações de tratamento de água utiliza o cloro como oxidante ou desinfetante, sem a preocupação das conseqüências de seu uso. Portanto, é necessário o estudo de diferentes oxidantes para a produção de água tratada de melhor qualidade.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi estudar a eficiência da pré-oxidação e da dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa (FAAG) e filtro rápido descendente (FRD) na remoção de substâncias húmicas de água com cor verdadeira de 90 a 110 uH.

Os objetivos específicos foram:

- ♦ verificar a eficiência da dupla filtração sem pré-oxidação na remoção de substâncias húmicas da água, com taxas de filtração de 120, 180 e 240 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e de 160, 200, 240 e 280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD, utilizando sulfato de alumínio como coagulante;
- ♦ comparar a eficiência da dupla filtração sem e com pré-oxidação utilizando diferentes oxidantes (ozônio, peróxido de hidrogênio, cloro, dióxido de cloro, permanganato de potássio e peroxônio) na remoção de substâncias húmicas, com taxas de filtração de 180 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e de 280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD;
- ♦ identificar e quantificar os subprodutos formados (trialometanos, haloacetoneitrilas, halocetonas, halopicrinas e ácidos haloacéticos) decorrentes da pré-oxidação e pós-cloração.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Considerações Gerais

O desenvolvimento de tecnologias de tratamento de água, ocorrido na segunda metade do século 20, levou à aceitação da idéia de que os mananciais que recebem efluentes industriais contendo micropoluentes sintéticos, orgânicos e inorgânicos, poderiam ser convenientemente tratados, permitindo a produção de água com qualidade segura. Independentemente dos níveis de poluição desses mananciais, acreditava-se que os processos e operações unitárias de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, seriam suficientes para tornar a água segura para abastecimento doméstico, eliminando os agentes etiológicos causadores das doenças de veiculação hídrica, que eram naquela época, a principal preocupação de saúde pública associada ao abastecimento de água (HESPANHOL, 1999).

Com a evolução industrial, introduziram-se na sociedade, no meio ambiente e nos corpos de água superficiais e subterrâneos, milhares de compostos orgânicos e inorgânicos sintéticos, surgindo os riscos de doenças crônicas, associadas às concentrações muito baixas de micropoluentes, orgânicos e inorgânicos, que podem não ser removidos em sistemas convencionais de tratamento de água.

Com o aumento rápido da urbanização e a crescente demanda por recursos hídricos disponíveis em lagos, rios e águas subterrâneas, os riscos do consumo de água contaminada aumentaram e com isso, novas tecnologias de tratamento de água e a utilização de novos produtos químicos oxidantes (ozônio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, permanganato de potássio, etc) tem sido proposta para a remoção de metais pesados e compostos orgânicos sintéticos e naturais, como os ácidos húmicos e fúlvicos.

Os ácidos húmicos e fúlvicos compreendem a fração húmica proveniente da decomposição da matéria orgânica natural (MON) em águas superficiais, com característica hidrofílica e alta massa molecular, conferindo cor à água. A fração não-húmica corresponde às proteínas, aos aminoácidos, aos carboidratos e aos ácidos orgânicos de baixa massa molecular. Em termos de propriedades químicas

e implicações para o tratamento de água, a fração da MON designada como substância húmica é considerada mais importante.

3.2 Origem das Substâncias Húmicas

A matéria orgânica presente em solos, turfas e sedimentos consiste em uma mistura de compostos orgânicos provenientes de plantas, animais e microrganismos, física e quimicamente heterogênea e em diferentes estágios de decomposição. Essa matéria é chamada de húmus, substâncias húmicas e substâncias não húmicas. A base de diferenciação é que as substâncias não húmicas são de estrutura definida como aminoácidos, carboidratos, proteínas e ácidos orgânicos, ao passo que as substâncias húmicas são de estrutura química complexa, compondo um grupo de compostos heterogêneos (SARGENTINI JÚNIOR *et al.*, 2001; CANELLAS *et al.*, 2001; RAUEN *et al.*, 2002; ROCHA & ROSA, 2003).

Substâncias húmicas são formadas pela transformação de biomoléculas durante a decomposição de resíduos vegetais e animais presentes no ambiente. O principal processo é a oxidação de substratos hidrolisados monoméricos, para conduzir a polímeros macromoleculares de cor mais ou menos escura e massa molecular elevada. As quatro vias, mostrada na Figura 3.1, podem ocorrer simultaneamente no solo, porém não com a mesma extensão e importância (ROCHA & ROSA, 2003).

De acordo com ROCHA & ROSA (2003), o mecanismo 1 propõe a formação do húmus a partir da polimerização não enzimática por condensação entre aminoácidos e açúcares formados como subprodutos da atividade microbiana. Os mecanismos 2 e 3 envolvem a participação de quinonas e, no mecanismo 4, as substâncias húmicas seriam derivadas de ligninas modificadas. Os mecanismos baseados na condensação polimérica de polifenóis e quinonas têm sido os mais aceitos por pesquisadores e pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas.

Figura 3.1 – Principais vias propostas para a formação das substâncias húmicas pela decomposição de resíduos animais e vegetais no solo. Fonte: ROCHA & ROSA, 2003.

Devido à natureza heterogênea e complexa das substâncias húmicas, pouco se sabe sobre sua estrutura química, elas apresentam-se como misturas heterogêneas de moléculas polidispersas, unidas entre si principalmente por interações hidrofóbicas, e com elevada massa molecular. Possuem alto teor de grupos funcionais contendo oxigênio na forma de carboxilas, hidroxilas fenólicas e carbonilas. Devido às suas características estruturais, as substâncias húmicas podem interagir com metais e compostos orgânicos como, por exemplo, pesticidas e herbicidas. Com base nas suas respectivas solubilidades, as substâncias húmicas podem ser classificadas em: humina (insolúvel em qualquer pH), ácidos fúlvicos (solúveis em meio ácido e meio alcalino) e ácidos húmicos (solúveis em meio alcalino) (SARGENTINI JÚNIOR *et al.*, 2001; CANELLAS *et al.*, 2001; RAUEN *et al.*, 2002).

A presença de substâncias húmicas em águas superficiais resulta das reações microbiológicas, químicas e fotoquímicas que ocorrem durante a degradação e polimerização da matéria vegetal, conferindo cor à água.

THURMAN & MALCOLM (1981) definiram substâncias húmicas aquáticas como uma porção não específica, amorfa, constituída de carbono orgânico dissolvido (COD) em pH 2 e adsorvente em coluna de resina XAD 8, não iônica,

com altos valores de coeficiente de distribuição. As substâncias húmicas aquáticas compreendem cerca de um terço ou metade do COD na água e são constituídas em sua maior parte por ácidos hidrofóbicos.

Grande parte do COD em sistemas aquáticos tropicais com coloração escura, por exemplo, o Rio Negro (AM), apresenta-se como substâncias húmicas aquáticas. Em geral, a concentração de substâncias húmicas em águas é baixa, por isso, são requeridos grandes volumes de amostra para se obter quantidades satisfatórias de substâncias húmicas aquáticas.

As substâncias húmicas aquáticas podem ser de origem alóctone, levadas por lixiviação e/ou erosão dos solos e transportadas aos lagos, rios e oceanos pelas águas das chuvas, pequenos cursos de água e águas subterrâneas, ou autóctones, derivadas dos constituintes celulares e da degradação de organismos aquáticos nativos. Embora haja alguma similaridade entre substâncias húmicas presentes no solo e na água, a diversidade no ambiente de formação e nos compostos de origem faz elas apresentarem diferenças peculiares. Entretanto, as similaridades entre diferentes substâncias húmicas aquáticas são mais significativas que suas diferenças. A natureza da água, lagos, rios ou mar, e a estação do ano também são fatores determinantes nos processos de formação das substâncias húmicas aquáticas (ROCHA & ROSA, 2003).

3.2.1 Características das Substâncias Húmicas

Geralmente 90% das substâncias húmicas aquáticas dissolvidas em águas são constituídas de ácidos fúlvicos e o restante (10%) correspondem aos ácidos húmicos (ROCHA & ROSA, 2003). Os ácidos húmicos diferem dos ácidos fúlvicos pela composição elementar, teor de grupos funcionais, intervalo de massa molecular e outras características.

Na Tabela 3.1 está apresentada uma comparação da composição elementar típica das substâncias húmicas aquáticas, fornecida pela *International Humic Substances Society* e citada por LANGLAIS *et al* (1991), e da composição média de substâncias húmicas extraídas de solo citada por ROCHA & ROSA (2003).

Tabela 3.1 – Comparação da composição elementar típica de substâncias húmicas aquáticas e composição elementar média das substâncias húmicas extraídas de solo.

Substâncias Húmicas	Ácido	% C	% H	% O	% N	% S	% P	Total
Aquáticas	Fúlvico	53,75	4,29	40,48	0,68	0,50	0,01	99,71
	Húmico	54,22	4,14	39,00	1,21	0,82	0,01	99,40
De solo	Fúlvico	40,7 – 50,6	3,8 – 7,0	39,7 – 49,8	0,9 – 3,3	0,1 – 3,6	-	-
	Húmico	53,8 – 58,7	3,2 – 6,2	32,8 – 38,3	0,8 – 4,3	0,1 – 1,5	-	-

Fonte: adaptado de LANGLAIS *et al.* (1991) e ROCHA & ROSA (2003).

Observa-se na Tabela 3.1 que o ácido húmico (AH) tem maior teor de carbono e menor teor de oxigênio que o ácido fúlvico (AF), tanto para as substâncias húmicas de origem aquática quanto para as extraídas de solo. A razão C/H é maior para o AH indicando maior aromaticidade e uma estrutura mais condensada. A razão C/N, associada ao grau de decomposição do material, não apresenta grande variação para os ácidos.

De acordo com ROCHA & ROSA (2003), substâncias húmicas com maiores teores de oxigênio possuem maiores concentrações de grupos funcionais, tornando-as com características mais hidrofílicas e diminuindo o acúmulo de compostos orgânicos não iônicos. Entretanto, a maior concentração de grupos oxigenados torna as substâncias húmicas com características mais ácidas, favorecendo a complexação com metais.

Muitas moléculas responsáveis pela cor da água contêm um ou mais anéis aromáticos que absorvem luz a 254 nm. Muitos pesquisadores têm demonstrado correlações entre medidas de cor em espectrofotômetro no comprimento de onda de 400 a 500 nm com a absorção UV a 254 nm. Embora nem todos os anéis aromáticos produzam cor, há certamente uma correlação entre cor e aromaticidade quando a cor é atribuída principalmente a ácidos húmicos (LANGLAIS *et al.*, 1991).

As substâncias húmicas possuem muitas propriedades químicas que surgem da presença de vários grupos funcionais em sua estrutura complexa pouco conhecida. Na Tabela 3.2 estão listadas algumas das características das substâncias húmicas aquáticas, com suas respectivas referências citadas por LANGLAIS *et al.* (1991).

Tabela 3.2 - Principais características estruturais das substâncias húmicas aquáticas (LANGLAIS *et al.*, 1991).

Característica estrutural	Valores citados na literatura	Referência
Massa molecular aparente	Depende do método analítico (UF, gel, raio X): AH = 2 - 5 kD e AF = 0,5 - 2 kD	Thurman (1985) ¹
Absorção UV	Nenhuma faixa característica de AH absorve mais que AF. Para 11 AF ($\lambda=254$ nm): 0,025 – 0,040 UA/mg C	Oliver & Thurman (1983) ² ; Legube <i>et al.</i> (1989a) ³
Carbono aromático	Por RMN- ¹³ C: 20 – 40 % de carbono total	Thurman (1985)
Funções carboxílicas	Por titulometria ou RMN- ¹³ C: 1 – 7 meq/g AH ou AF. Por titulometria para 11 AF: média de 12 meq/g C	Thurman (1985); Thurman & Malcolm (1983) ⁴ ; Legube <i>et al.</i> (1989a)
Funções OH-fenólicas	Por titulometria ou RMN- ¹³ C: 1 – 4 meq/g AH ou AF	Thurman (1985); Thurman & Malcolm (1983)
Carboidratos	2 – 4 % de carbono total	Thurman (1985)
Aminoácidos	0,5 – 1 % de carbono total	SR

Nota: AH = ácidos húmicos; AF = ácidos fúlvicos; UA = unidade de absorvância; RMN-¹³C = ressonância magnética nuclear – carbono 13. SR = sem referência; kD = quilo Dalton.

Além das características estruturais, LANGLAIS *et al.* (1991) apresentam as principais propriedades físicas e químicas das substâncias húmicas que interferem no tratamento de água, que são:

- ♦ forte reatividade com compostos halogenados, levando a um alto consumo de cloro no tratamento de água e produção de vários compostos halogenados voláteis e não voláteis, alguns de natureza fortemente mutagênica;
- ♦ possível complexação com metais tornando-os mais insolúveis, ou uma possível complexação com coagulantes, induzindo a precipitação das substâncias húmicas durante o processo de clarificação;
- ♦ possível combinação com micropoluentes orgânicos, incluindo alguns pesticidas.

¹ THURMAN, E.M. (1985) *Developments in Biogeochemistry: Organic Geochemistry of Natural Waters*. N. Nijhoff and Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

² OLIVER, B. G. & THURMAN, E. M. (1983) *Influence of Aquatic Humic Substances in Trihalomethane Potential*. In *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, vol.4, Edited by R. L. Jolley *et al.* Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Mich.

³ LEGUBE, B. *et al.* (1989a) *Etude sur les Acides Fulviques Extraits d'Eaux Superficielles Françaises: Extraction, Caractérisation et Réactivité avec le Chlore*. *Revue Française Sci. De l'Eau*, à paraître.

⁴ THURMAN, E. M. & MALCOLM, R. L. (1983) *Structural Study of Humic Substances: New Approaches and Methods*. Edited by R. F. Christman and E. T. Gjessing. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, Mich.

A massa molar de ácidos fúlvicos geralmente varia entre 200 e 2.000 Da, enquanto a de ácidos húmicos é maior que 2.000 Da, sendo Da = Dalton, unidade de massa atômica, igual a $1,66 \times 10^{-24}$ g. Assim, mesmo que as características usualmente medidas de duas águas sejam aproximadamente iguais, incluindo-se cor verdadeira, concentração de COT, etc., a coagulação de uma pode ser conseguida com sucesso, enquanto da outra não, resultado que pode estar relacionado ao tamanho das moléculas (DI BERNARDO, 2003).

De acordo com CROZES *et al.* (1995), as substâncias húmicas são caracterizadas pela sua solubilidade em água a um determinado pH. Os ácidos húmicos e os ácidos fúlvicos são polieletrólitos aniônicos com grau de ionização dependente do pH. Os autores relatam que pesquisadores realizaram uma titulação potenciométrica em soluções de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos e observaram dois pontos de inflexão, características dos grupos fenólicos (pH 8,0 a 8,2) e dos grupos carboxílicos (pH 4,6 a 4,9).

3.3 Processos Utilizados para Remoção de Substâncias Húmicas

A caracterização das substâncias húmicas inclui a distribuição de massa molecular aparente e a composição de grupos funcionais e aromáticos. As moléculas de ácidos húmicos e fúlvicos podem ser removidas por processos tais como coagulação química, adsorção em carvão ativado e filtração em membranas. Estas moléculas também podem ser transformadas, utilizando o processo de oxidação (pré-ozonização, processos avançados de oxidação), em subprodutos de menor massa molecular que podem ser menos reativos com cloro e que produzam menores valores de cor.

Segundo LANGLAIS *et al.* (1991), até 70% da cor verdadeira presente em águas superficiais pode ser removida por meio de filtração direta ou tratamento em ciclo completo que compreende as etapas de coagulação com sais de alumínio ou ferro, floculação, sedimentação e filtração.

LEMARCHAND *et al.* (1981)⁵ *apud* LANGLAIS *et al.* (1991) afirmaram que a eficiência de remoção de substâncias húmicas e cor da água se dá por adsorção em carvão ativado. Entretanto, o carvão ativado pode ter vida útil curta, dependendo do nível inicial de cor e da natureza dos compostos orgânicos na água.

⁵ LEMARCHAND *et al.* (1981) Charbon Actif et Matières Organiques dans le Traitement de l'Eau Potable. TSM l'Eau

As substâncias húmicas podem ser removidas da água utilizando-se diferentes processos de tratamento, pois são moléculas orgânicas de grande massa molecular transportando carga negativa, com comportamento similar ao dos colóides. Além do tratamento em ciclo completo utilizando-se coagulação e floculação, os processos de troca iônica e de adsorção em carvão ativado, bem como os processos de membrana filtrante e de oxidação/biofiltração, apresentam-se eficientes na remoção de substâncias húmicas (ODEGAARD *et al.*, 1999).

De acordo com a AWWA (1990), os agentes oxidantes atacam parte das moléculas das substâncias húmicas que absorvem luz visível, convertendo-as em formas químicas que não absorvem luz visível. Por exemplo, o cloro e o ozônio atacam as ligações de carbono, oxidam metais e rompem os quelatos, os quais podem contribuir para absorção de luz visível. A pré-oxidação combinada com coagulação química, floculação, sedimentação e filtração são usualmente os métodos adequados para a remoção de cor da água. Dos oxidantes comumente utilizados, o cloro, o ozônio e o dióxido de cloro são mais eficientes.

A ozonização de águas contendo substâncias húmicas reduz a cor da água, e pode promover a formação de produtos que são mais susceptíveis à degradação microbiológica do que as próprias substâncias húmicas.

O efeito da ozonização sobre as substâncias húmicas propicia a formação de grupos hidroxila, carbonila e carboxila, aumentando sua polaridade e hidrofilicidade, e diminuindo a adsorbabilidade (GOEL *et al.*, 1995).

Conforme SINGER (1999), as substâncias húmicas também reagem com ozônio para produzir aldeídos, aldo- e acetoácidos, e ácidos carboxílicos que contribuem para a fração de carbono orgânico biodegradável da água ozonizada. Se não forem controlados, estes subprodutos da oxidação podem levar à formação de biofilmes que podem interferir na qualidade da água tratada e no crescimento microbiano em sistemas de distribuição de água.

DALSASSO (1999) estudou a pré-ozonização de águas contendo carbofuran (pesticida) seguida de filtração direta, e afirma que a pré-ozonização apresentou benefícios quanto à remoção de cor aparente e absorvância UV 254 nm, quando submetida ao processo de filtração direta. A eficiência na remoção do carbofuran cresce com o aumento da dosagem de ozônio para um dado valor de carbono orgânico total (COT) da água bruta. Foi possível eliminar de 90 a 95% do carbofuran, com concentração da ordem de 70 a 80 µg/L na água bruta, com uma relação ozônio/COT de 0,6.

De acordo com O'MELIA *et al.* (1999), o ozônio pode beneficiar ou retardar a coagulação, dependendo do tipo de coagulante utilizado e da qualidade da água bruta. Para água bruta contendo concentração de COT maior que 4,0 mg/L, a dosagem de coagulante é determinada pela MON. Neste caso, a ozonização aumenta a dosagem ótima de coagulante ou reduz a remoção de COD. Para a água contendo baixa concentração de COT, menor que 4,0 mg/L, a dosagem ótima de coagulante é determinada pela turbidez. Neste caso, a ozonização reduz a dosagem ótima de coagulante.

A função do coagulante é neutralizar as cargas negativas das substâncias húmicas para a formação dos flocos, e também assegurar que estes flocos sejam retidos no meio filtrante. Os dois fatores mais importantes para se obter uma boa eficiência no processo de coagulação são a dosagem de coagulante e o pH de coagulação. Para que ocorra bom desempenho dos filtros, é necessário que se obtenha eficiência na etapa de coagulação.

De acordo com SINGER (1992)⁶ *apud* USEPA (1999) sais de alumínio e ferro podem remover quantidades variáveis de MON. Quando utiliza-se sulfato de alumínio, o pH ótimo de remoção de MON geralmente é de 5,5 a 6,0. Com a adição de sulfato de alumínio, o pH da água diminui, o que permite, em alguns casos, atingir esta faixa de pH sem a adição de ácido. No entanto, águas com alcalinidade muito alta ou muito baixa requerem a adição de acidificante ou alcalinizante para atingir a pH de coagulação ótimo para remoção de MON.

Em média, aproximadamente 90% do COT é dissolvido. O COD é definido como o COT que passa na membrana filtrante de 0,45 µm. A absorvância UV é uma boa técnica para avaliar a presença de COD, porque o COD consiste principalmente de substâncias húmicas, que contêm estruturas aromáticas que absorvem luz no espectro UV. A oxidação de COD reduz a absorvância UV da água, devido à oxidação de compostos orgânicos que absorvem luz no espectro UV (USEPA, 1999)

Portanto, as técnicas analíticas indiretas como UV 254 nm, COT e COD, potencial de formação de trihalometanos (PFTAM), etc, podem ser medidas de controle dos processos na remoção de compostos orgânicos. Para a quantificação de orgânicos sintéticos, que representam uma fração muito pequena quando avaliados através das medidas citadas, são utilizadas técnicas analíticas,

⁶ SINGER, P.C. (1992) *Formation and Characterization of Disinfection Byproducts*. Presented at the First International Conference on the Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical and Microbial Risks.

cromatografia líquida e gasosa e, na identificação de compostos orgânicos para concentrações muito baixas, estas técnicas devem estar associadas à espectrometria de massas (OWEN *et al.*, 1995).

3.4 Oxidantes e Formação de Subprodutos

Os oxidantes mais utilizados no tratamento de água são cloro, dióxido de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio e permanganato de potássio. Embora a inativação de organismos patogênicos seja sua função primária, os desinfetantes também são oxidantes utilizados no tratamento de águas de abastecimento para oxidar o ferro e o manganês, manter a estabilidade biológica e evitar que ocorra o crescimento de microrganismos no sistema de distribuição, remover sabor e odor, melhorar a eficiência da coagulação e filtração, impedir o crescimento de algas no decantador e nos filtros, remover cor, entre outros (AWWA, 1990).

Quanto à aplicação da oxidação química na remoção de substâncias húmicas, acredita-se que o tamanho das moléculas das substâncias húmicas influencia os tipos de subprodutos formados pela oxidação com cloro, ozônio, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, radiação ultravioleta, etc. Por isso, atualmente, há muito interesse de, na caracterização das substâncias húmicas, separar e quantificar as frações com diferentes massas molares, as quais, nas águas naturais, podem variar desde 200 Da até cerca de 100 kDa (DI BERNARDO, 2003).

O desempenho da oxidação química é influenciado pelo pH, temperatura, dosagem de oxidante, tempo de reação, e pela presença de substâncias que interferem com a desejada reação redox. Muitas vezes, o pH interfere na taxa de oxidação. Geralmente, as taxas de oxidação química aumentam com o aumento da temperatura e da dosagem de oxidante. O tempo de reação deve ser suficiente para permitir que as reações de oxidação química sejam eficientes e benéficas ao tratamento. Além disso, a utilização da oxidação química dependerá de sua economia comparada a outros métodos de remoção de contaminantes, da formação de subprodutos e seus efeitos à saúde, e todos os benefícios que ela proporcionará ao sistema de tratamento (AWWA, 1990).

A seguir estão descritas algumas considerações sobre os oxidantes utilizados em tratamento de água.

3.4.1 Cloro

O cloro é o oxidante mais comumente utilizado em tratamento de água por apresentar algumas características atrativas, como: i) é eficiente na inativação de muitos organismos patogênicos comumente presentes na água; ii) deixa residual na água facilmente medido e controlado; iii) é econômico; iv) possibilita melhoria no desempenho das unidades de tratamento de água. Há entretanto, alguns problemas com relação ao uso de cloro tais como: i) o cloro reage com muitos compostos orgânicos e inorgânicos na água formando subprodutos indesejáveis da desinfecção; ii) perigos associados com o uso de cloro, especificamente cloro gasoso, requerem cuidados especiais de segurança; iii) altas dosagens de cloro podem causar problemas de sabor e odor (USEPA, 1999).

3.4.1.1 Formas de Cloro

O cloro é fornecido na forma gasosa ou líquida, como uma solução aquosa concentrada (hipoclorito de sódio) ou um sólido (hipoclorito de cálcio). O cloro gasoso se hidrolisa rapidamente na água e forma o ácido hipocloroso (HOCl). O cloro também pode ser fornecido como cloro estabilizado em tabletes, mais utilizados para a desinfecção de piscinas, o ingrediente ativo é o tricloro-s-triazina-triona, com teor de cloro disponível de 90%.

A equação (3.1) apresenta a reação de hidrólise com cloro gasoso:

A adição de cloro gasoso na água reduz o pH da água devido à produção do íon H^+ . O ácido hipocloroso é um ácido fraco ($\text{pK}_a \cong 7,5$), que se dissocia em íons de hidrogênio e hipoclorito, como mostrado na equação (3.2):

O hipoclorito de sódio é produzido quando o cloro gasoso é dissolvido em solução de hidróxido de sódio. A solução de hipoclorito de sódio contém aproximadamente 12,5% de cloro disponível (USEPA, 1999). A reação entre o hipoclorito de sódio e a água é mostrada na equação (3.3):

A equação (3.3) mostra que a aplicação de hipoclorito de sódio na água produz ácido hipocloroso, da mesma forma que a reação com cloro gasoso (eq. 3.1). Entretanto, a adição de hipoclorito de sódio na água produz o radical livre hidroxila ($\text{OH}^\cdot$) que aumenta o pH da água.

O hipoclorito de cálcio é formado do precipitado que resulta do cloro gasoso dissolvido em uma solução de óxido de cálcio e hidróxido de sódio. O produto comercial de hipoclorito de cálcio granular contém 65% de cloro disponível (USEPA, 1999). A equação (3.4) mostra a reação do hipoclorito de cálcio na água:

A aplicação de hipoclorito de cálcio na água também produz ácido hipocloroso e íons hidroxila, que aumentam o pH da água.

3.4.1.2 Principais usos

O cloro é utilizado principalmente na desinfecção para a inativação de vírus, bactérias e protozoários. Também é utilizado como oxidante para controle de sabor e odor, prevenção do crescimento algal, remoção de ferro e manganês, remoção de cor, manutenção da qualidade da água no sistema de distribuição, e melhorar o processo de coagulação.

Sendo o cloro um forte oxidante e extremamente corrosivo, deve-se tomar muito cuidado com o armazenamento e manuseio do produto.

3.4.1.3 Formação de subprodutos

Quando o cloro livre reage com a MON são formados compostos orgânicos halogenados. Alguns fatores como o tipo e a concentração da MON, dosagem e forma de cloro aplicada, concentração de nitrogênio orgânico, pH, temperatura e outros, influem na formação de subprodutos halogenados. O nitrogênio orgânico influencia significativamente a formação de subprodutos como haloacetônitrilas e halopirinas.

De acordo com a USEPA (1999) a formação de trialometanos aumenta com o aumento do pH da água clorada, ao contrário de alguns subprodutos como o ácido tricloroacético, o dicloroacetoneitrila e o tricloropropanona que diminuem com o aumento do pH. STEVENS *et al.* (1989) relataram que há maior formação de trialometanos em pH = 9,4 do que em pH = 5,0. A formação de trialometanos e ácidos haloacéticos está relacionada com o teor de carbono orgânico total e com a concentração de bromo na água, bem como o pH durante a cloração.

3.4.2 Ozônio

O ozônio é um forte oxidante, capaz de oxidar muitos compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água. O ozônio se decompõe espontaneamente durante o tratamento de água por um mecanismo complexo que envolve a geração de radicais livres hidroxila. Estes radicais hidroxila são os mais reativos agentes oxidantes na água.

O ozônio pode reagir em solução aquosa de duas maneiras: oxidação direta por ozônio molecular ($O_{3(aq)}$) e/ou oxidação por radicais livres hidroxila formados durante a decomposição do ozônio.

Por ser uma molécula instável, o ozônio deverá ser gerado no ponto de aplicação para o uso em tratamento de água. A geração *in loco* economiza muito espaço de armazenagem. É formado pela combinação de um átomo de oxigênio com uma molécula de oxigênio (O_2), como mostrado na equação (3.5):

O ozônio pode ser gerado do O_2 presente no ar ou de O_2 com alto grau de pureza. Por ser um gás tóxico, sua produção e instalações de aplicação deverão ser projetadas para gerar, aplicar e controlar o gás. É importante o uso de equipamentos de proteção individual para os operadores. Os níveis de ozônio devem ser monitorados continuamente na estação de tratamento de água.

De acordo com a USEPA (1999), a utilização de ozônio apresenta algumas vantagens e desvantagens com relação aos demais oxidantes, como vantagens podem-se citar: i) é mais eficiente que o cloro, cloraminas e dióxido de cloro para a inativação de vírus, *Cryptosporidium* e *Giardia*; ii) oxida ferro e manganês; iii) pode algumas vezes melhorar o processo de clarificação e remoção de turbidez; iv) oxida compostos que conferem cor, sabor e odor na água; v) é um dos mais eficientes

desinfetantes, e requer pouco tempo de contato; vi) na ausência de bromo, não são formados subprodutos halogenados; vii) sob decomposição, forma oxigênio dissolvido como residual; viii) a atividade biocida não é influenciada pelo pH. Como desvantagens, o uso de ozônio pode apresentar: i) formação de subprodutos da desinfecção, particularmente na presença de bromo, aldeídos e cetonas; ii) o custo inicial do equipamento de ozonização é alto; iii) sua geração requer energia e deverá ser gerado *in loco*; iv) é altamente corrosivo e tóxico; v) são necessários filtros ativados biologicamente para remover carbono orgânico assimilável e subprodutos biodegradáveis da desinfecção; vi) ele se decompõe rapidamente a alto pH e temperaturas amenas; vii) não fornece residual; viii) requer altos níveis de habilidade e manutenção dos operadores.

A demanda de ozônio está associada com (USEPA, 1999):

- ◆ reações com a MON presente na água. A oxidação de MON leva à formação de aldeídos e ácidos orgânicos;
- ◆ subprodutos de oxidação orgânica, que são geralmente mais biodegradáveis e podem ser medidos como carbono orgânico assimilável (COA) ou carbono orgânico dissolvido biodegradável (CODB);
- ◆ compostos orgânicos sintéticos, que podem ser oxidados e mineralizados sob condições favoráveis. Para atingir a total mineralização, a oxidação por radical hidroxila deverá ser dominante, tais como nos processos de oxidação avançada (peroxônio);
- ◆ oxidação de íon Br^- , que leva à formação de ácido hipobromoso, íon hipobromito, íon bromato, orgânicos bromados, bromoaminas;
- ◆ íons bicarbonato e carbonato, comumente medidos como alcalinidade, que agem como seqüestradores dos radicais hidroxila e formam carbonatos. Estas reações são importantes nos processos de oxidação avançada onde a oxidação por radicais hidroxila é predominante.

3.4.2.1 Principais usos

O ozônio é usado principalmente na desinfecção e oxidação química. Como agente oxidante, pode ser usado para remover cor, aumentar a biodegradabilidade de compostos orgânicos, oxidar os compostos que conferem sabor e odor à água, reduzir os níveis de precursores de subprodutos da cloração, oxidar poluentes

inorgânicos, incluindo ferro e manganês, oxidar poluentes fenólicos e alguns pesticidas e reduzir a demanda de cloro.

3.4.2.2 Formação de subprodutos

Segundo a USEPA (1999), as variáveis que influem na eficiência do ozônio são: dosagem, pH, alcalinidade e principalmente a natureza dos compostos orgânicos. Para a maioria das substâncias húmicas, o pH crítico é 7,5, no qual a decomposição de ozônio a radicais livres hidroxila aumenta rapidamente, e as taxas de oxidação orgânica também aumentam. Portanto, as implicações a pH mais baixos (6,0 a 7,0), em que ozônio molecular predomina sobre os radicais livres hidroxila, os subprodutos precursores de trialometanos apresentam natureza diferente daqueles formados pelos radicais livres hidroxila, oxidados a níveis de pH mais altos.

Em pH neutro e níveis moderados de alcalinidade o potencial de formação de trialometanos é reduzido de 3 a 20 %, com dosagens de 0,2 a 1,6 mg O₃ / mg C (SINGER *et al*, 1989⁷; GEORGESON & KARIMI, 1988⁸ *apud* USEPA, 1999).

A aplicação de ozônio com a presença de bromo na água, ou se o cloro for adicionado como desinfetante secundário, podem ser formados subprodutos halogenados. Os ácidos orgânicos e aldeídos são também subprodutos da ozonização (USEPA, 1999).

3.4.3 Dióxido de cloro

O dióxido de cloro (ClO₂) é um forte oxidante e sua geração é feita no local de aplicação. Na geração de dióxido de cloro, o clorito de sódio reage com cloro gasoso, ácido hipocloroso (HOCl) ou ácido clorídrico (HCl). Estas reações estão representadas pelas equações (3.6), (3.7) e (3.8):

⁷ SINGER, P.C. et al. (1989) *Ozonation at Belle Glade, Florida: A Case History*. Conference proceeding. IOA Ninth Ozone World Conference.

⁸ GEORGESON, D. L. & KARIMI, A. A. (1988) *Water Quality Improvements with the Use of Ozone at the Los Angeles Water Treatment Plant*. Ozone Sci. Engrg. 10(3): 225-276.

O dióxido de cloro é um gás estável em água na ausência de luz e elevadas temperaturas. Ele apresenta algumas vantagens como: i) é mais eficiente que o cloro para a inativação de vírus, *Cryptosporidium* e *Giardia*; ii) oxida ferro, manganês e sulfito; iii) pode melhorar o processo de clarificação; iv) oxida os compostos que conferem cor, sabor e odor na água; v) é facilmente gerado; vi) não são formados subprodutos halogenados sob condições de geração controladas (por exemplo, sem excesso de cloro); vii) sua capacidade como agente desinfetante não é influenciada pelo pH; viii) fornece residual. Como desvantagens, o uso de dióxido de cloro pode apresentar: i) formação de subprodutos específicos indesejados como clorito e clorato; ii) dificuldade na otimização e na eficiência do gerador podem causar excesso de cloro a ser alimentado no ponto de aplicação, que potencializa a formação de subprodutos halogenados; iii) os custos associados ao treinamento, amostragem e ensaios em laboratório para análises de clorito e clorato são altos; iv) o custo de clorito de sódio é alto; v) deve ser gerado *in loco*; vi) se decompõe na presença de luz; vii) pode produzir odores nocivos em alguns sistemas (USEPA, 1999).

3.4.3.1 Principais usos

É usado como desinfetante principalmente para a inativação de vírus, bactérias e protozoários, controle de sabor e odor, redução de trialometanos totais e ácidos haloacéticos, oxidação de ferro e manganês, remoção de cor, destruição de compostos fenólicos.

3.4.3.2 Formação de subprodutos

De acordo com a USEPA (1999), AWWA (1990) e GATES (1998), o dióxido de cloro não produz trialometanos, ele reduz a formação de trialometanos e ácidos haloacéticos pela oxidação dos precursores destes subprodutos.

Quando adicionado na água, o dióxido de cloro reage com compostos orgânicos e inorgânicos e produz clorito (ClO_2^-) e clorato (ClO_3^-) como produtos finais, compostos responsáveis por efeitos prejudiciais à saúde humana, como a anemia hemolítica. De acordo com WERDEHOFF & SINGER (1987), o ClO_2^- é o

produto final da reação predominante, com aproximadamente 50 a 70% de dióxido de cloro convertido em ClO_2^- e 30% em ClO_3^- e Cl^- .

O clorito e o clorato são produzidos durante o tratamento com dióxido de cloro como produtos finais em proporções variadas. Os principais fatores que influem nas concentrações finais de dióxido de cloro, clorito e clorato são (USEPA, 1999): dosagem aplicada e demanda de oxidante; proporção dos produtos químicos utilizados na geração do dióxido de cloro; exposição da água contendo dióxido de cloro ao sol; reações entre cloro e clorito se o cloro livre é utilizado para manter o residual no sistema de distribuição; níveis de clorato no clorito de sódio armazenado para geração de dióxido de cloro.

De acordo com SINGER (1992)⁶ *apud* USEPA (1999), a dosagem aplicada de 2 mg/L de dióxido de cloro pode produzir de 1 a 1,4 mg/L de clorito. Portanto, deverá ser feito um estudo de demanda de dióxido de cloro para determinar a sua dosagem para obter o valor requerido de CT como desinfetante. Nos Estados Unidos, a dosagem de dióxido de cloro não poderá exceder 1,4 mg/L para limitar a concentração combinada total de ClO_2 , ClO_2^- , e ClO_3^- , de no máximo 1,0 mg/L. No Brasil, a Portaria 518/2004 limita este valor em 0,2 mg/L, restringindo desta forma, o uso de dióxido de cloro.

3.4.4 Permanganato de Potássio

De acordo com a USEPA (1999), no processo de oxidação com permanganato de potássio (KMnO_4) é reduzido a dióxido de manganês (MnO_2) o qual precipita. Todas as reações são exotérmicas. As equações (3.9) e (3.10) mostram como ocorrem as reações de oxidação, em meio ácido.

Em meio alcalino, a reação é mostrada na equação (3.11):

⁶ SINGER, P.C. (1992) *Formation and Characterization of Disinfection Byproducts*. Presented at the First International Conference on the Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical and Microbial Risks.

As taxas de reações para a oxidação de compostos presentes em águas naturais são relativamente rápidas e dependem da temperatura, pH e dosagem do oxidante. Não é desejável manter residual de permanganato de potássio na água, por conferir cor rosa à mesma.

O permanganato de potássio é fornecido em pó e a solução concentrada é preparada no local de aplicação.

O permanganato de potássio apresenta vantagens, dentre elas pode-se citar: oxida ferro e manganês; é fácil de transportar, estocar e aplicar; é útil no controle da formação de trihalometanos e outros subprodutos. Como desvantagens: requer longo tempo de contato; tende a conferir cor rosa à água; é tóxico e pode irritar a pele e as mucosas; quando aplicadas dosagens muito altas pode causar problemas de saúde tais como icterícia química e baixa pressão sanguínea (USEPA, 1999).

3.4.4.1 Principais usos

O permanganato de potássio é utilizado como oxidante para o controle de sabor e odor, remoção de cor, controle do crescimento de microrganismos em estações de tratamento de água e remoção de ferro e manganês. Também pode ser útil no controle da formação de trihalometanos e outros subprodutos, oxidando seus precursores e reduzindo a demanda de outros desinfetantes (USEPA, 1999). Embora o permanganato de potássio seja bastante utilizado como oxidante, como desinfetante ele é menos utilizado.

3.4.4.2 Formação de subprodutos

Não há na literatura confirmação da formação de subprodutos com a utilização de permanganato de potássio como oxidante. A pré-oxidação com KMnO_4 combinada com a pós-cloração resultará em concentrações mais baixas de subprodutos comparadas às concentrações formadas utilizando-se pré-oxidação com cloro (USEPA, 1999).

3.4.5 Peroxônio

Processos avançados de oxidação geram radicais livres hidroxila altamente reativos, para oxidar vários compostos presentes na água. Os radicais hidroxila são produzidos durante a decomposição espontânea de ozônio. Com o aumento da taxa de decomposição do ozônio, eleva-se a concentração de radicais hidroxila, ocasionando o aumento da taxa de oxidação. Muitos métodos têm sido usados para aumentar a decomposição do ozônio e produzir altas concentrações de radicais hidroxila. Um dos mais comuns envolve a adição de peróxido de hidrogênio à água ozonizada (USEPA, 1999).

O bom desempenho da ação oxidante do peroxônio depende da proporção peróxido de hidrogênio:ozônio, que deve ser menor ou igual a 0,3 (USEPA, 1999). No entanto, na otimização desta proporção devem ser considerados o tempo de contato e a finalidade do uso deste oxidante. TANGERINO (2003), que estudou a remoção de substâncias húmicas utilizando oxidação com peroxônio e filtração lenta, afirma que a proporção de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{O}_3$ não deve ser menor que 0,2.

O processo de oxidação com peroxônio depende principalmente da oxidação com o radical hidroxila. Nos processos com peroxônio, o ozônio residual tem “vida curta” porque a adição de peróxido de hidrogênio acelera a decomposição de ozônio. O processo de oxidação é mais reativo e muito mais rápido no processo com peroxônio comparado ao processo com ozônio molecular.

As reações e o potencial de oxidação do radical hidroxila e o ozônio são apresentados nas equações (3.12), (3.13) e (3.14):

O processo de oxidação com peroxônio apresenta algumas vantagens, podendo-se citar: é mais reativo e muito mais rápido comparado ao processo de oxidação com ozônio molecular; é eficiente na remoção de compostos orgânicos, tais como os que conferem sabor e odor à água; é eficiente em oxidar compostos halogenados. Dentre as desvantagens, têm-se: o peróxido é um forte oxidante e extremamente perigoso, pode ser armazenado *in loco*, mas deteriora gradualmente

mesmo quando armazenado corretamente; não fornece residual mensurável, não sendo possível calcular os valores CT (concentração de desinfetante e tempo de contato); a capacidade do peróxônio oxidar ferro e manganês é menos efetiva do que a aplicação de ozônio isoladamente (USEPA, 1999).

3.4.5.1 Principais usos

Com uso primário, a oxidação. Como agente oxidante o peróxônio pode ser usado para remover poluentes orgânicos sintéticos e aumentar a biodegradabilidade de compostos orgânicos. Não pode ser utilizado como desinfetante secundário porque é altamente reativo e não mantém residual no sistema de distribuição.

3.4.5.2 Formação de subprodutos

O peróxônio não forma subprodutos halogenados quando reage com a MON, entretanto, se houver bromo presente na água bruta, poderão ser formados compostos halogenados. Como no processo de oxidação com o ozônio, o principal benefício do uso de peróxônio é controlar a formação de trialometanos, com a redução da dosagem do desinfetante secundário, geralmente o cloro ou cloraminas.

Em estudo realizado por FERGUSON *et. al* (1990) para avaliar a utilização do peróxônio quanto à formação de subprodutos, foi feita a pré-oxidação com peróxônio e utilizado cloro e cloraminas como desinfetantes secundários. Quando o cloro foi o desinfetante secundário, as concentrações de trialometanos variaram de 67 a 160 µg/L, quando utilizou-se cloraminas, as concentrações de trialometanos apresentaram-se menores que 3,5 µg/L.

3.5 Tratamento de Água por Filtração Direta

Basicamente a filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam através de um meio permeável. Após um determinado tempo de funcionamento do filtro, com a retenção das partículas no meio poroso, há a necessidade da lavagem do filtro, geralmente feita pela introdução de água no sentido ascensional com velocidade relativamente

alta para promover a fluidificação do meio granular com liberação das partículas retidas nos seus poros.

Segundo DI BERNARDO (2003) os mecanismos responsáveis pela remoção de partículas durante a filtração com ação de profundidade são complexos e influenciados principalmente pelas características físicas e químicas das partículas, presentes na água e no meio filtrante, da taxa de filtração e do método de operação dos filtros. Considera-se a filtração o resultado da ação de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento.

Os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir as partículas suspensas para as proximidades da superfície dos coletores (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, que é a vazão afluyente ao filtro dividida pela área do filtro em planta, ou velocidade de aproximação, permanecer constante, a velocidade de escoamento nos poros, denominada de velocidade intersticial, aumenta em decorrência das partículas retidas e causa o arraste das partículas para as subcamadas inferiores (filtro descendente) ou superiores (filtro ascendente) do meio filtrante, podendo ocasionar o fenômeno conhecido como transpasse (DI BERNARDO, 2003).

De acordo com DI BERNARDO (2003) a filtração direta pode ser empregada para o tratamento de águas para abastecimento em três configurações básicas, apresentadas na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Configurações dos sistemas de filtração direta. Fonte: adaptado de DI BERNARDO, 2003.

A filtração pode se dar por ação de profundidade e por ação superficial. Na filtração rápida descendente, com ação de profundidade, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante. Em contraposição, na filtração de ação superficial a retenção das partículas é significativa apenas no topo do meio filtrante.

Segundo DI BERNARDO (2003), a filtração ascendente tem sido comumente considerada com ação de profundidade, embora, dependendo das características do meio granular e da taxa de filtração, a retenção de impurezas seja mais significativa na camada de pedregulho e subcamadas iniciais de areia. A filtração com ação de profundidade pode ser entendida como o resultado de uma sucessão de estágios relativos à colmatação das subcamadas que compõe o meio filtrante.

Nas três configurações de filtração direta apresentadas na Figura 3.2 é imprescindível que o processo de coagulação seja eficiente, para que o desempenho das unidades subseqüentes não seja prejudicado.

A remoção de impurezas da água bruta em estações de tratamento de água que empregam a coagulação química geralmente é feita utilizando-se sais de ferro

ou de alumínio como coagulante primário e, eventualmente, polímeros. A escolha do tipo de coagulante deve levar em consideração o custo, sua eficiência na estabilização das partículas presentes na água bruta, sua capacidade de atenuar flutuações na qualidade da água sem afetar a eficiência da coagulação, o volume de lodo produzido e sua influência sobre a duração das carreiras de filtração, sendo desejado que o coagulante reduza a perda de carga na unidade de filtração e o risco de ocorrência de transpasse (DI BERNARDO, 2003).

3.5.1 Coagulação

A dosagem de coagulante, o pH de coagulação e as características químicas da água bruta definem o mecanismo de coagulação predominante em cada processo. Os mecanismos de coagulação podem ser denominados de: compressão da camada difusa, adsorção-neutralização de cargas, varredura e adsorção-formação de pontes. Apresenta-se a seguir, uma breve descrição dos quatro mecanismos de coagulação citados.

a) Compressão da camada difusa

De acordo com DI BERNARDO (1993), desde o final do século XIX sabe-se que um sistema coloidal pode ser desestabilizado pela adição de íons com carga contrária à das partículas coloidais. Sais simples, cloreto de sódio, são considerados “eletrólitos indiferentes” e não têm características de hidrólise ou de adsorção, como ocorre com sais de ferro e alumínio. A introdução de um eletrólito indiferente num sistema coloidal irá causar aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuir a “esfera” de influência de partículas, ocorrendo a coagulação por compressão da camada difusa.

Neste mecanismo de coagulação a quantidade de eletrólitos necessários para conseguir a coagulação é praticamente independente da concentração de colóides na água, e não é possível causar a reversão de carga dos colóides (reestabilização), independentemente da quantidade de eletrólitos adicionada.

b) Adsorção-Neutralização de Cargas

Existem algumas espécies químicas capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais. Se estas espécies possuírem carga contrária à da superfície dos colóides, haverá desestabilização dos mesmos. A atração entre a

superfície e a espécie adsorvida resulta, provavelmente, de interações tais como ligação de hidrogênio, ligações covalentes e reações de troca iônica. É importante observar que a intensidade de tais fenômenos é superior aos efeitos eletrostáticos obtidos pela compressão da camada difusa, o que de certa forma esclarece a possibilidade de reestabilização da solução coloidal por reversão da carga superficial, quando ocorrer super dosagem de coagulante (DI BERNARDO, 1993).

São três as principais diferenças existentes entre os mecanismos de compressão da camada difusa e adsorção-neutralização de cargas: i) as espécies adsorvíveis são capazes de desestabilizar os colóides em dosagens muito inferiores às necessárias para a compressão da camada difusa; ii) a relação existente entre a concentração dos colóides e a quantidade necessária de espécies desestabilizadas por adsorção-neutralização de cargas segue uma relação estequiométrica; iii) no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas é possível ocorrer a reversão da carga superficial das partículas coloidais por meio da dosagem excessiva de espécies adsorvíveis (DI BERNARDO, 1993).

O mecanismo de adsorção-neutralização de cargas é adequado às tecnologias de tratamento que empregam a filtração direta, por não serem formados flocos grandes, mas partículas desestabilizadas que são retidas no filtro. Nesse mecanismo, a dosagem de coagulante geralmente é inferior à necessária quando a água é coagulada no mecanismo de varredura.

c) Varredura

De acordo com DI BERNARDO (1993), dependendo principalmente da dosagem de coagulante, do pH de mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água, poderá ocorrer a formação de precipitados. As partículas coloidais presentes comportam-se como núcleos de condensação para estes precipitados que, desta forma, são removidas por sedimentação. Com sais de ferro e alumínio, podem ser formados os precipitados $\text{Al}(\text{OH})_3 (p)$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3 (p)$.

O mecanismo de varredura é muito utilizado nas ETAs nas quais se tem floculação e sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação relativamente altas, quando comparados às dos flocos obtidos com a coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas. Este mecanismo é caracterizado por altas dosagens de coagulante, necessária para a formação de precipitado de hidróxido de alumínio ou de ferro, quando são utilizados sais destes metais como coagulante.

d) Adsorção e Formação de Pontes

Existe uma variedade de compostos naturais e sintéticos caracterizados por grande cadeia molecular, com a propriedade de apresentarem grupos com carga ao longo da cadeia e capazes de agirem como coagulantes eficientes. Tais compostos, denominados polieletrólitos, podem ser classificados como aniônicos, catiônicos, não iônicos. Pesquisas sobre o comportamento destes compostos têm mostrado que é possível a desestabilização de colóides carregados negativamente por ambos tipos de polímeros, catiônico e aniônico. Desta forma, nem o mecanismo de compressão da camada difusa e nem o de adsorção-neutralização podem ser considerados para caracterizar este mecanismo (DI BERNARDO, 1993).

AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) desenvolveram um diagrama de coagulação com sulfato de alumínio, apresentado na Figura 3.3, no qual são delimitadas as regiões em que ocorrem os três mecanismos de coagulação (compressão da camada difusa, adsorção-neutralização de cargas e varredura). Pode-se observar a influência do pH e da dosagem de coagulante na formação de espécies hidrolisadas de alumínio na definição do mecanismo de coagulação, ressaltando-se que a qualidade da água bruta exerce grande influência na delimitação destas regiões.

Quando utiliza-se um coagulante a base de ferro, o comportamento é bastante distinto comparado ao de alumínio, por exemplo, o cloreto férrico apresenta faixa de pH de coagulação mais ampla do que a do sulfato de alumínio (DI BERNARDO, 2003).

Figura 3.3 – Diagrama de coagulação com sulfato de alumínio. Fonte: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982).

Grande ênfase tem sido dada à remoção de matéria orgânica natural por coagulação química, uma vez que ela pode ser precursora da formação de subprodutos indesejáveis da desinfecção. Desta maneira, deve-se conciliar a remoção de turbidez, que constitui objetivo tradicional da coagulação realizada nas estações de tratamento de água, com a remoção de matéria orgânica natural, o que exige o emprego de maiores dosagens de coagulante, podendo inviabilizar o uso da filtração direta.

Quando a água bruta apresenta cor elevada, o tratamento por coagulação pode ser auxiliado pelo processo de oxidação química, o que deve permitir a redução da dosagem de coagulante empregada na ETA. No entanto, deve-se evitar o uso de cloro para oxidar a cor decorrente de matéria orgânica natural, pois os compostos resultantes podem ser potencialmente prejudiciais à saúde. O cloro pode ser utilizado em combinação com amônia (amoniocloração) ou na forma de

dióxido de cloro, os quais reduzem o risco de formação de subprodutos indesejados. Em todas as situações deve-se monitorar a formação de subprodutos (DI BERNARDO, 2003).

3.5.2 Filtração Direta Ascendente

Quando as características da água bruta forem favoráveis ao uso de filtração direta ascendente, ela apresenta vantagens em relação ao tratamento em ciclo completo utilizado na maioria das estações de tratamento de água no Brasil, destacando-se: redução das dimensões da estação de tratamento com a eliminação das unidades de floculação e decantação; redução da quantidade de coagulante utilizado; filtração no sentido do grão maior para o menor, em camada simples de areia, utilizando a altura total da camada para a retenção de impurezas, ao contrário do que acontece nos filtros convencionais de escoamento descendente; redução na perda de carga durante a filtração devido à remoção de uma quantidade substancial de impurezas na porção do meio filtrante de maior granulometria (DI BERNARDO, 1993).

Com o desenvolvimento de pesquisas realizadas utilizando-se a filtração direta ascendente, constatou-se que grande quantidade de impurezas era retida na camada suporte, de difícil remoção durante a lavagem, portanto optou-se por fazer a drenagem do filtro por meio de descargas de fundo, antes do início da lavagem. Essa situação que a princípio, configurava um problema, deu origem a uma das mais importantes alterações nessa tecnologia de tratamento, que é a filtração direta ascendente com descargas de fundo intermediárias (DI BERNARDO, 1993).

A camada suporte desempenha um papel de grande importância na filtração direta ascendente, sendo responsável pelo processo de floculação e pela remoção de grande parte dos sólidos presentes no afluente (MENDES (1985); PATERNIANI (1986); TEIXEIRA (1986); CRUZ VELEZ (1993); LARA PINTO (1994); ISAAC (1997); CASTILLA MIRANDA (1997)).

PATERNIANI (1986) estudou a influência de descargas de fundo na eficiência da remoção de microrganismos e concluiu que, quanto maior for o número mais provável (NMP) de coliformes totais por 100 mL do afluente, pior resulta a qualidade bacteriológica do efluente produzido, independente da realização das descargas de fundo. O autor recomenda que, quando houver descargas de fundo, a água filtrada seja descartada imediatamente após a

realização das mesmas, por um período de pelo menos 30 minutos, devido à grande quantidade de microrganismos presentes.

A produção de efluente com turbidez ou cor verdadeira baixa, depende da eficiência da coagulação. Quanto maior a turbidez ou a cor verdadeira da água bruta, maior será a dosagem de coagulante e, portanto, mais acentuada a taxa de crescimento de perda de carga, com menor duração da carreira de filtração.

Segundo MENDES (1985), para otimizar o desempenho do processo de filtração direta ascendente é necessário reduzir em pelo menos 25% a dosagem ótima de sulfato de alumínio utilizada em estações de tratamento convencional.

Para a determinação das dosagens de coagulante em reatores estáticos, GUSMÃO (2001) utilizou filtros de laboratório de areia, sendo mais apropriados do que os filtros de papel, uma vez que o meio filtrante apresentou maior sensibilidade à variação da dosagem do coagulante permitindo indicação mais precisa da melhor dosagem do coagulante.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos nos últimos vinte anos, na Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC – USP), sobre a filtração direta ascendente. Baseando-se nestes trabalhos DI BERNARDO & ISAAC (2001) sugerem alguns parâmetros de projeto e operação para a filtração direta ascendente, apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Parâmetros sugeridos para projeto e operação da Filtração Direta Ascendente.

Características da Água Bruta	
Parâmetro	Condição
Turbidez (uT)	90% do tempo menor que 25 95% do tempo menor que 50 100% do tempo menor que 100
Cor Verdadeira (uH)	90% do tempo menor que 20 95% do tempo menor que 50 100% do tempo menor que 100
DBO ₅ (mg/L)	< 5
Coliformes totais (UFC/100 mL)	< 5000
<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	< 1000
Carbono orgânico total (mg/L)	< 2
Concentração algal (UPA/mL)	< 500
Parâmetros de Projeto e Operação	
Taxa de filtração (m ³ /m ² d)	120 – 240
Número de descargas de fundo intermediárias (DFIs) durante a carreira de filtração	≥ 1
Taxa de aplicação de água na interface areia pedregulho durante as DFIs (m ³ /m ² d)	≥ 600

Fonte: adaptado de DI BERNARDO & ISAAC (2001).

3.5.2 Dupla Filtração

A dupla filtração consiste na filtração direta ascendente, recebendo água coagulada no mecanismo de neutralização de cargas, seguida da filtração descendente, cuja finalidade é reter as impurezas presentes no efluente da primeira etapa. Como o efluente do filtro ascendente não necessita apresentar turbidez inferior a 1 uT, a espessura da camada de areia pode ser menor, e a granulometria e a taxa de filtração podem ser maiores que as utilizadas na tecnologia de filtração direta ascendente. DI BERNARDO (1993) recomenda que tais unidades sejam projetadas de modo a possibilitar a realização de descargas de fundo intermediárias com introdução de água na interface pedregulho-areia.

O emprego do filtro com escoamento descendente após a filtração ascendente pode ser a solução adequada quando a qualidade microbiológica da água bruta não for apropriada ou quando houver suspeita da presença de outros organismos como o vibrião da cólera, a cercária da esquistossomose, protozoários e outros organismos.

Ao estudar a filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente, MEGDA (1999) concluiu que a eficiência global da instalação de dupla filtração foi relativamente alta quanto à remoção de turbidez, cor aparente, ferro e coliformes totais – em geral, a turbidez do efluente final foi sempre inferior a 1 uT, a cor aparente menor que 5 uH, o teor de ferro inferior a 0,1 mg/L e o NMP de coliformes totais menor que 5 ufc/100 mL.

Segundo DI BERNARDO (1993), existem no norte e nordeste do Brasil estações de tratamento de água utilizando a filtração direta ascendente que encontram-se funcionando satisfatoriamente. Apesar disso, seria recomendável a dupla filtração sempre que a qualidade da água bruta não atenda às condições sugeridas na Tabela 3.3, mas sim à Tabela 3.4, onde estão indicados os parâmetros de projeto para a dupla filtração.

Tabela 3.4 – Parâmetros sugeridos para projeto e operação da Dupla Filtração.

Características da Água Bruta		
Parâmetro	Condição	
	Areia grossa	Pedregulho
Turbidez (uT)	90% do tempo < 50	90% do tempo < 100
	95% do tempo < 100	95% do tempo < 150
	100% do tempo < 150	100% do tempo < 200
Cor Verdadeira (uH)	90% do tempo < 50	90% do tempo < 100
	95% do tempo < 100	95% do tempo < 150
	100% do tempo < 150	100% do tempo < 200
DBO ₅ (mg/L)	< 10	< 10
Coliformes totais (UFC/100 mL)	< 20000	< 20000
<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	< 5000	< 5000
Carbono orgânico total (mg/L)	< 5	< 52
Concentração algal (UPA/mL)	< 2000	< 2000
Parâmetros de Projeto e Operação		
Taxa de filtração no filtro ascendente (m ³ /m ² d)	120 – 240	24 – 144
Taxa de filtração no filtro descendente (m ³ /m ² d)	200 – 400	200 – 400
Número de descargas de fundo intermediárias (DFIs) durante a carreira de filtração	≥ 4	≥ 4
Taxa de aplicação de água na interface areia pedregulho durante as DFIs (m ³ /m ² d)	≥ 600	≥ 600

Fonte: adaptado de DI BERNARDO & ISAAC (2001), DI BERNARDO (2003).

GUSMÃO (2001) avaliou dois sistemas de dupla filtração, um de filtração direta ascendente em areia seguida de filtração rápida descendente (sistema 01), e outro de filtração direta ascendente em pedregulho seguida de filtração rápida descendente (sistema 02), variando as taxas na filtração ascendente, de 200 a 360 m³/m²dia (em areia) e de 80 a 190 m³/m²dia (em pedregulho) e na filtração rápida descendente de 115 a 480 m³/m²dia. No sistema 02, o crescimento da perda de carga no meio granular foi menos intenso na unidade de filtração ascendente do que no filtro rápido descendente, ocorrendo o inverso no sistema 01, no qual, em alguns ensaios, o filtro rápido descendente mostrou-se desnecessário em função da qualidade da água efluente do filtro ascendente. Em alguns casos, a floculação predominou na unidade de filtração direta ascendente em pedregulho, prejudicando a qualidade do seu efluente.

SALDANHA (2002) avaliou um sistema de dupla filtração em escala real, Estação de Tratamento de Água de São Carlos (ETA II), composta de três unidades de dupla filtração que funcionam em paralelo, a qual trata água bruta proveniente

do Ribeirão do Feijão. O material filtrante foi caracterizado e foram verificadas as condições operacionais da ETA II, definindo-se e acompanhando-se os principais problemas. Após esta etapa, foi realizada uma comparação da ETA em escala real com a escala piloto. Os resultados mostraram que a ETA II apresentou baixa produção efetiva de água e qualidade do efluente muitas vezes insatisfatória decorrente principalmente da existência de caminhos preferenciais e falta de material filtrante, confirmando, portanto, a importância da distribuição e da dosagem adequada de coagulante, bem como, a necessidade da qualificação dos operadores, evitando a ocorrência de problemas operacionais.

DE PAULA (2003) estudou em instalação piloto de dupla filtração com filtro ascendente em areia grossa e filtro descendente em areia, combinações de taxas de filtração variando de 120 a 360 m³/m²d no ascendente e de 200 a 400 m³/m²d no descendente, com simulação de um pico de turbidez de curta duração da ordem de 380 uT para as taxas de filtração de 160 m³/m²d no filtro ascendente e de 300 m³/m²d no filtro descendente. A turbidez resultante nos efluentes dos filtros apresentou-se menor que 1,0 uT nas 19 horas de duração da carreira de filtração. Um sistema de dupla filtração, com filtro ascendente de pedregulho e filtro descendente de areia foi operado em paralelo a este sistema, por KURODA (2002), com variações de taxas de filtração no filtro ascendente de 60 a 240 m³/m²d e no filtro descendente de 100 a 240 m³/m²d. O método de descargas de fundo intermediárias com esvaziamento total do filtro apresentou mais eficiência na recuperação da carga hidráulica, comparado ao método em que o esvaziamento se dava até o topo do meio filtrante. Para os dois sistemas, o efluente final apresentou valores dentro dos limites de potabilidade permissíveis pela Portaria 1469/2000.

BENINI (2003) utilizou a mesma instalação piloto de dupla filtração de KURODA (2002) para estudar a remoção de substâncias húmicas de água com cor verdadeira de 90 a 110 uH, turbidez ≤ 15 uT, pH ≅ 6,5; alcalinidade ≅ 9 mg/LCaCO₃. Os resultados obtidos, em termos de absorvância 254 nm (89,1 a 93,6%), cor aparente no efluente do filtro descendente (na maioria dos ensaios, apresentou valor ≤ 1 uH) e remoção de COD (27,5 a 48,7%), foram satisfatórios.

WIECHETECK *et al.* (2004) compararam a eficiência de remoção de substâncias húmicas de água proveniente de manancial superficial com adição de extrato de substâncias húmicas (água de estudo), utilizando dois sistemas de dupla filtração em paralelo, um com filtro ascendente de areia grossa (sistema 1) e outro com filtro ascendente de pedregulho (sistema 2), ambos com filtros descendentes

de areia independentes. Os dois sistemas foram comparados com relação à produção efetiva de água filtrada utilizando taxas de filtração que variaram de 80, 120 e 180 m³/m²d nos filtros ascendentes e de 80, 120, 150, 160, 180, 200, 240 e 280 m³/m²d nos filtros descendentes. A água de estudo apresentou as seguintes características: pH = 6,14 a 7,45; temperatura = 17 a 26°C; alcalinidade = 7,04 a 19,36 mg/L CaCO₃; cor verdadeira = 76 a 133 uH, cor aparente = 168 a 366 uH; turbidez = 8,8 a 25 uT, absorvância 254 nm = 0,144 a 0,225 cm⁻¹ e COD = 2,808 a 5,375 mg/L. A remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm foi eficiente, em média de 93% nos dois sistemas, quanto ao COD, as melhores eficiências obtidas foram de 53,7% no sistema 1 e de 48,7% no sistema 2. As melhores produções efetivas obtidas foram de 95,4% no sistema 1, para a combinação de taxas de filtração de 120 e 240 m³/m²d; e de 97,4% no sistema 2, para as taxas de filtração de 80 e 150 m³/m²d, nos filtros ascendentes e descendentes respectivamente.

DI BERNARDO (2004) estudou o desempenho de dois sistemas de dupla filtração, sendo um constituído de filtro ascendente de areia grossa e filtro descendente de areia (sistema 1) e outro de filtro ascendente de pedregulho e filtro descendente de areia (sistema 2), nos quais foi realizada investigação experimental com águas de estudo preparadas com caulinita, dois tipos de água, água tipo I com turbidez em torno de 100 uT e água tipo II com turbidez em torno de 300 uT. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio, não necessitando o uso de acidificante ou alcalinizante. Foram variadas as taxas de filtração nos filtros ascendentes e descendentes, em 120 a 240 m³/m²d e 180 a 300 m³/m²d, respectivamente. Os ensaios foram feitos com e sem descargas de fundo intermediárias (DFIs) nos filtros ascendentes. A principal conclusão do trabalho foi que os dois sistemas foram capazes de produzir água filtrada com turbidez consistentemente menor que 0,5 uT e que a produção efetiva de água depende da turbidez da água de estudo, das taxas de filtração, da execução das DFIs e da carga hidráulica disponível para a retenção de sólidos.

3.6 Considerações Finais

A revisão bibliográfica evidenciou que o entendimento dos mecanismos pelos quais as substâncias húmicas interferem nos processos de tratamento de água, e suas propriedades associadas ao transporte, labilidade e complexação de íons metálicos no sistema aquático são relevantes do ponto de vista ambiental. No tratamento de água, as substâncias húmicas podem reagir com o cloro, produzindo compostos orgânicos halogenados. É necessária a remoção de substâncias húmicas da água para que não ocorra a formação destes compostos orgânicos halogenados.

A utilização de diferentes oxidantes como ozônio, peróxido de hidrogênio, peroxônio, dióxido de cloro, permanganato de potássio e outros, pode ser uma alternativa benéfica à saúde humana, com a redução ou não-formação destes compostos orgânicos.

Algumas considerações técnicas associadas ao uso de oxidantes devem ser avaliadas na escolha do oxidante mais apropriado, além é claro do tipo de manancial de abastecimento, superficial ou subterrâneo, que interfere na qualidade da água bruta, e na tecnologia de tratamento de água:

- ◆ Formação de trialometanos, compostos orgânicos halogenados: a formação de subprodutos da oxidação depende da concentração e dos tipos de precursores presentes na água;
- ◆ Formação de subprodutos inorgânicos: clorato, clorito e brometo associados com dióxido de cloro e ozônio;
- ◆ Necessidade de qualificação e habilidade dos operadores com relação ao manuseio e à aplicação dos oxidantes.

Os avanços obtidos sobre a aplicabilidade da dupla filtração, com os estudos realizados na EESC – USP com relação à remoção de turbidez, apresentados por MEGDA (1999), GUSMÃO (2001), KURODA (2002), DE PAULA (2003), DI BERNARDO (2004) confirma a potencialidade desta tecnologia de tratamento. No entanto, devem ser conduzidos estudos a respeito da remoção de substâncias húmicas utilizando-se a dupla filtração com a variação do meio filtrante no filtro ascendente, o que foi feito no presente trabalho. BENINI (2003) obteve resultados satisfatórios quanto à eficiência de remoção de substâncias húmicas em instalação piloto de dupla filtração com filtro ascendente de pedregulho. A utilização

da dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa na remoção de substâncias húmicas, a aplicação da pré-oxidação e a formação de subprodutos decorrentes das reações dos oxidantes com a matéria orgânica natural presente na água são avaliados neste trabalho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritas as três etapas que compreenderam o trabalho experimental, sendo que cada etapa foi dividida em duas fases, conforme fluxograma da Figura 4.1. São apresentados também uma descrição da instalação piloto utilizada nos ensaios em escoamento contínuo, o funcionamento das unidades componentes do sistema de tratamento de água, as características da água, as frequências de amostragem, os equipamentos utilizados e as metodologias adotadas, e a forma da análise de dados para cada fase correspondente aos ensaios na instalação piloto.

Figura 4.1 – Fluxograma geral das etapas do trabalho experimental.

4.1 Extração de Substâncias Húmicas

As substâncias húmicas foram extraídas de solo turfoso coletado próximo ao Rio Mogi-Guaçu, no município de Luís Antônio (SP). A turfa foi seca à temperatura ambiente, triturada e peneirada.

As extrações foram feitas com soluções de NaOH na concentração de 0,5 mol/L, por 4 horas com agitação mecânica e na proporção turfa/extrator 1:20 (m/v), como recomendado por ROSA *et al.* (2000).

Após a extração, deixava-se a solução em repouso por 48 horas para que os sólidos sedimentassem. O sobrenadante era colocado em papel celofane e amarrado com elástico para submeter à diálise em água proveniente do poço artesiano da EESC-USP, com adição de ácido clorídrico até $\text{pH} \leq 2$, a qual era substituída 3 vezes ao dia, durante 2 dias (ver Figura 4.2).

Figura 4.2 – Sacos de celofane amarrados com elástico, contendo o extrato de substâncias húmicas submetidos à diálise.

Para a eliminação de cloretos, o extrato de substâncias húmicas era transferido para a diálise em água do poço da EESC-USP, até que o teste com solução de nitrato de prata apresentasse negativo. Após a extração das substâncias húmicas armazenava-se o extrato em bombonas de 200 L.

4.1.1 Caracterização do extrato das substâncias húmicas

Para a caracterização das substâncias húmicas foram liofilizados 200 mL do extrato em um liofilizador da marca Edwards, modelo F101-02-000. Foram feitas análises elementar, de infravermelho e de ultravioleta visível. Estas análises foram

feitas por CAMPOS (2004) no Instituto de Química de São Carlos (IQSC). Além destas análises, fez-se também a determinação de metais.

a) Análise Elementar

As análises químicas elementares das substâncias húmicas foram feitas utilizando-se um aparelho CHNS-O da marca Fisons, EA 1108. As porcentagens dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) foram obtidas diretamente e o elemento oxigênio (O) foi obtido por diferença.

b) Análises de Infravermelho (IV)

O espectrômetro de IV, por transformada de Fourier, utilizado foi da marca Bomem MB-102. Para a análise foram feitas pastilhas do material liofilizado na proporção aproximada de 1:100 (1 mg de amostra e 100 mg de KBr). Foram realizadas 16 varreduras com 4 cm^{-1} de resolução nos espectros obtidos.

c) Análises de Ultravioleta Visível (UV/Vis)

Para as análises de UV/Vis foi utilizado um equipamento Hitachi modelo U3501. Foi dissolvida uma pequena quantidade de substâncias húmicas em 10 mL de solução de NaHCO_3 0,05 mol/L e determinou-se as razões entre as absorvâncias lidas nos comprimentos de onda de 465 e 665 nm (E_4/E_6).

d) Análises de Metais

Estas análises foram feitas no Laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP, e o método utilizado foi de espectrofotometria por absorção atômica (APHA *et al.*, 1998), sendo empregado o gerador de hidreto com vapor frio para determinação de arsênio. Para estas análises foi utilizado um equipamento de absorção atômica AA Analyst 700, marca Perkin Elmer.

Um volume de 50 mL de amostra do extrato de substâncias húmicas foi previamente digerido com a adição de porções iguais de ácido nítrico e ácido clorídrico com aquecimento seguido de filtração. O extrato digerido obtido foi aspirado no equipamento de absorção atômica.

4.1.2 Variação da cor verdadeira da água em relação ao pH

Para as leituras de cor verdadeira e cor aparente das amostras da água de estudo foi necessário obter uma curva de leitura no espectrofotômetro UV DR 4000, a partir de soluções diluídas com o extrato de substâncias húmicas. Com o extrato de substâncias húmicas preparou-se uma “solução-mãe” com cor verdadeira equivalente a 500 mg Pt-Co. Esta “solução-mãe” foi diluída até que se obtivessem soluções com cor verdadeira variando de 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100 e 120 uH. Para verificar a variação da cor verdadeira em relação ao pH, estas soluções foram ajustadas para valores de pH de 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 e 7,0. Para cada variação de cor e pH foram feitas as leituras de absorvância correspondentes ao comprimento de onda do pico de melhor absorção, após varredura de 400 a 700 nm. Foram obtidas as curvas que relacionam absorvância com cor verdadeira para cada valor de pH.

4.2 Ensaio em Reatores Estáticos

Estes ensaios foram realizados em equipamento de jarreste e filtros de laboratório de areia (FLAs) como mostrado na Figura 4.3, e compreendem duas fases nas quais a temperatura da água foi mantida em $20 \pm 1^\circ\text{C}$. A água utilizada nestes ensaios era proveniente do Ribeirão do Feijão com adição de extrato de substâncias húmicas até cor verdadeira de 90 a 110 uH.

Figura 4.3 – Foto do equipamento de jarreste e filtros de laboratório de areia (FLAs).

4.2.1 Escolha da granulometria da areia utilizada nos FLAs

Para a escolha da granulometria da areia dos FLAs foram utilizados três tipos de areia variando-se a faixa granulométrica de 0,30 a 0,59 mm (Tipo 1); 0,42 a 0,84 mm (Tipo 2) e 0,59 a 1,41 mm (Tipo 3). Nestes ensaios fixou-se o gradiente de velocidade (G_{mr}) em 1000 s^{-1} e o tempo de mistura rápida (T_{mr}) em 25 s e variou-se a dosagem de coagulante ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3\text{ H}_2\text{O}$) em 5, 10, 15, 20, 25 e 30 mg/L, o pH de coagulação de 6,36 a 6,99 e o tipo de areia dos FLAs. Após a escolha da granulometria da areia dos FLAs em que obteve-se menores resultados de cor aparente remanescente, procedeu-se aos ensaios para a determinação da dosagem do coagulante e pH de coagulação.

4.2.2 Determinação da dosagem de coagulante e pH de coagulação e definição das condições de mistura rápida

Nesta fase, foi fixada a dosagem de coagulante e variado o pH de coagulação e vice-versa, até que se obtivesse um par de valores que apresentasse menores resultados de cor remanescente nos FLAs.

A definição das condições de mistura rápida foi feita variando-se o gradiente de velocidade (500, 750 e 1000 s^{-1}) e o tempo de mistura rápida (15, 20, 25, 30, 35 e 40 s), até que se obtivesse um gradiente de velocidade que apresentasse menor variação na remoção de cor remanescente nos FLAs, em relação ao tempo de mistura rápida. Esta determinação foi importante devido às diferentes taxas de filtração que foram utilizadas nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo, que alteravam o tempo de mistura rápida resultante nos diferentes ensaios em função da taxa de filtração adotada.

4.3 Ensaios na Instalação Piloto em Escoamento Contínuo

4.3.1 Descrição Geral da Instalação Piloto

A instalação piloto utilizada nos ensaios experimentais foi montada nas dependências da Estação de Tratamento de Água de São Carlos II (ETA II). A água de estudo era proveniente do Ribeirão do Feijão com adição de extrato de substâncias húmicas. Na Figura 4.4 está a foto da instalação piloto.

Figura 4.4 – Foto da instalação piloto.

Basicamente, a instalação piloto era constituída de: sistema de dupla filtração, com filtro ascendente de areia grossa (FAAG) e filtro descendente (FRD) com camada única de areia; bomba centrífuga instalada no reservatório de armazenamento de água bruta da ETA II; caixa de nível constante; caixa de homogeneização com agitador para mistura da solução diluída do extrato de substâncias húmicas (Figura 4.10); caixa de mistura rápida; tacômetro digital com sensor acoplado na paleta do agitador mecânico, para controle do gradiente de velocidade da mistura rápida; gerador de ozônio; coluna de ozonização; tanques providos de bomba dosadora e agitador para dosagem e mistura das soluções de coagulante, do extrato de substâncias húmicas, de acidificante e oxidantes; tubulações individuais para alimentação do sistema de dupla filtração; medidores de vazão (rotâmetros); filtro de laboratório de areia (FLA) para ajuste da dosagem de coagulante e pH de coagulação; turbidímetros de escoamento contínuo (Figura 4.7) e placa de aquisição de dados em microcomputador; quadros de piezômetros para medidas de perda de carga ao longo do meio granular dos filtros ascendente e descendente; sistema de lavagem de filtros incluindo reservatório de armazenamento de água, bomba centrífuga e compressor de ar. Na Figura 4.5 está apresentado um esquema da instalação piloto.

Figura 4.5 – Esquema da Instalação piloto.

A água bruta era bombeada do reservatório de armazenamento para a caixa de nível constante, em seguida, para a caixa de homogeneização com agitador, na qual eram adicionados o extrato de substâncias húmicas, as soluções do acidificante (HCl) e dos oxidantes (quando utilizados). Após a caixa de homogeneização, a água era encaminhada para a câmara de mistura rápida onde era adicionada a solução de coagulante. Nos ensaios com pré-oxidação, antes da caixa de mistura rápida, a água passava pela coluna de ozonização, que servia como câmara de contato. Finalmente a água de estudo (com cor verdadeira de 90 a 110 uH), pré-oxidada (quando utilizada a pré-oxidação) e coagulada era encaminhada ao sistema de dupla filtração.

Figura 4.6 – Tanques com agitador para o preparo das soluções de coagulante, de extrato de substâncias húmicas, de acidificante e de oxidantes.

Figura 4.7 – Turbidímetros de escoamento contínuo (modelo 1720 C – HACH)

A caixa de nível constante era de PVC e constituída de tubulação de entrada da água bruta, extravasor de água central, o qual mantinha o nível de água constante na caixa, e tubulação roscável de saída da água bruta para a caixa de homogeneização de substâncias húmicas com vazão ajustada por meio de um “cap” com orifício central. Conhecendo-se o diâmetro do orifício do “cap” e a vazão de água necessária, determinava-se a altura da lâmina d’água sobre o orifício, pela equação (4.1):

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * h} \Rightarrow h = \frac{Q^2}{C_d^2 * A^2 * 2 * g} \quad (4.1)$$

em que:

Q = vazão desejada (m^3/s);

C_d = coeficiente de descarga ($C_d = 0,60$);

A = área do orifício (m^2);

g = aceleração da gravidade ($g = 9,81 m/s^2$);

h = altura da lâmina líquida sobre o orifício (m).

Nas Figuras 4.8 e 4.9 estão apresentados respectivamente, o esquema e a foto da caixa de nível constante.

Figura 4.8 – Esquema da caixa de nível constante

Figura 4.9 – Foto da caixa de nível constante e da caixa de homogeneização de substâncias húmicas.

A caixa de homogeneização de substâncias húmicas era de PVC e constituída de entrada de água bruta (proveniente da caixa de nível constante), saída da água de estudo (água bruta + extrato de substâncias húmicas) e agitador mecânico com paleta giratória com dois braços. O extrato de substâncias húmicas era adicionado por meio de mangueira e bomba dosadora. Na Figura 4.10 está mostrada uma foto da caixa de homogeneização.

Figura 4.10 – Caixa de homogeneização da solução diluída de extrato de substâncias húmicas e agitador mecânico.

Na saída da caixa de homogeneização era adicionada a solução de acidificante (HCl 0,07 M) e de oxidante (quando utilizado).

A caixa de mistura rápida era de acrílico e possuía as mesmas dimensões do jarro do equipamento de jarteste. Era dividida em dois compartimentos por uma placa de acrílico com orifícios. No primeiro compartimento, era adicionada a solução de coagulante por meio de mangueira e bomba dosadora, a mistura era feita com um agitador mecânico com paleta giratória. Junto à paleta havia um sensor que transmitia a rotação por minuto para um tacômetro digital, para controle do gradiente de velocidade na mistura rápida. O segundo compartimento era constituído de extravasor central, o qual mantinha o nível de água constante, e tubulação roscável de saída de água para o sistema de dupla filtração. No topo da tubulação de saída de água foi colocado um “cap” com orifício no qual era ajustada a lâmina d’água sobre o orifício e conseqüentemente a vazão requerida, da mesma forma como na caixa de nível constante. Nas Figuras 4.11 e 4.12 estão mostradas as fotos da caixa de mistura rápida (vista lateral) e do sistema de ajuste de vazão.

Figura 4.11 – Vista lateral da caixa de mistura rápida.

Figura 4.12 – Sistema de ajuste de vazão de água coagulada.

O FAAG possuía diâmetro externo de 153 mm e interno de 141 mm e o FRD possuía diâmetro externo de 100 mm e interno de 91,4 mm, ambos construídos em acrílico transparente. A tubulação de alimentação do FAAG possuía desvio da água coagulada para o FLA, para os ajustes da dosagem de coagulante e do pH de coagulação. Uma vez constatada a condição desejável de coagulação, a água coagulada entrava pela parte inferior do FAAG e a água clarificada era coletada na sua parte superior e conduzida para o FRD. A vazão de água na entrada do FRD era ajustada em um rotâmetro com capacidade máxima de 600 L/h.

O FAAG possuía entrada de água na interface pedregulho-areia para a injeção de água por ocasião da execução de descargas de fundo intermediárias (DFIs). O FRD tinha saída de água filtrada posicionada um pouco acima da cota do topo do meio filtrante. Na Figura 4.13 podem ser observados estes detalhes nos filtros ascendente e descendente.

Figura 4.13 – Detalhes da entrada de água na interface pedregulho-areia no FAAG, da saída de água no FRD e da derivação do efluente do FRD para o turbidímetro de escoamento contínuo.

4.3.1.1 Sistema de Ozonização

O ozônio era gerado *in loco*, a partir do ar atmosférico por descarga elétrica (efeito corona). O sistema de ozonização era constituído de: coluna de ozonização; gerador de ozônio; medidor de ozônio na fase gasosa; medidor de ozônio na fase líquida; rotâmetro de gás com vazão máxima de 60 L/h; destruidor de ozônio e válvulas reguladoras de vazão.

O gerador de ozônio era da marca EAGLESAT, modelo OZ-7, com capacidade de produção de 7 g/h (ver Figura 4.14). O equipamento era dotado de válvulas reguladoras de vazão e pressão, permitindo a variação na concentração de ozônio, que era controlada por um medidor de ozônio na fase gasosa modelo AFX – IN USA, apresentado na Figura 4.15.

A determinação de ozônio gasoso era contínua e feita por absorção UV, com compensação automática de pressão, de temperatura e de massa molecular, no próprio equipamento.

O ozônio na fase líquida era medido continuamente por um equipamento *Dulcometer*, marca ProMinent, com sensor e válvula solenóide em linha o qual transmitia o sinal para o medidor, cuja faixa de medida era de 0 a 2 mg/L de ozônio (ver Figuras 4.16 e 4.17).

Figura 4.14 – Gerador de ozônio EAGLESAT.

Figura 4.15 – Medidor de O_3 na fase gasosa AFX (IN USA).

Figura 4.16 – Sensor instalado em linha para a medida de O_3 na fase líquida.

Figura 4.17 – Medidor de O_3 na fase líquida (*Dulcometer* – ProMinent).

Na saída do gerador de ozônio foi instalado um rotâmetro, no qual era regulada a vazão necessária para a distribuição de O_3 na coluna de ozonização. Por meio de uma válvula de agulha regulava-se a vazão de O_3 para a coluna de ozonização, para o medidor de O_3 na fase gasosa, onde era controlada a concentração de O_3 , e o excesso era encaminhado ao destruidor de O_3 (ver Figura 4.18).

Figura 4.18 – Destruidor de ozônio.

A coluna de ozonização era de acrílico transparente, com diâmetro externo de 153 mm e interno de 141 mm e 6 m de altura. A distribuição de ozônio na coluna era feita por meio de uma pedra difusora, em contra-corrente. A entrada da água de estudo estava localizada na parte superior da coluna, o ozônio era aplicado na parte inferior da coluna e a água ozonizada era coletada na parte inferior e encaminhada para a caixa de mistura rápida. Nas Figuras 4.19 e 4.20 estão mostrados alguns detalhes do topo e do fundo da coluna de ozonização.

O medidor de ozônio na fase líquida foi calibrado utilizando-se o método iodométrico e o excesso de ozônio também foi medido pelo método iodométrico (APHA *et al.*, 1998).

Figura 4.19 – Entrada de água de estudo no topo da coluna de ozonização.

Figura 4.20 – Pedra difusora para a distribuição de ozônio, localizada na parte inferior da coluna de ozonização.

Na Figura 4.20 observa-se a formação de caminhos preferenciais na distribuição do ozônio, ocorrendo somente neste local da coluna de ozonização, sendo que ao longo da coluna a distribuição de ozônio foi uniforme, como pode ser observado nas Figuras 4.21 e 4.22.

Figura 4.21 – Distribuição do ozônio da parte inferior para o meio da coluna de ozonização.

Figura 4.22 - Distribuição de ozônio do meio para a parte superior da coluna de ozonização.

4.3.1.2 Material Filtrante

O material filtrante utilizado nos filtros ascendente e descendente foi o mesmo utilizado por DE PAULA (2003). Na Tabela 4.1 está apresentada a composição do material filtrante no FAAG e no FRD e na Figura 4.23 está a curva granulométrica da areia utilizada no FAAG e no FRD. O FRD possuía placa perfurada no fundo, sobre a qual estava disposta uma tela metálica onde foi colocado o material filtrante.

Tabela 4.1 - Composição do meio granular utilizado no FAAG e no FRD, recomendado por DI BERNARDO (1993) e utilizado por DE PAULA (2003).

Filtro	Material	Subcamada	Tamanho dos grãos (mm)	Espessura (cm)
FAAG	PEDREGULHO (camada suporte)	fundo	25,4 – 19,0	10
		primeira	12,7 – 19,0	10
		segunda	6,4 – 12,7	10
		terceira	3,2 – 6,4	15
		quarta	6,4 – 12,7	7,5
		superior	12,7 – 19,0	7,5
	AREIA: tamanho dos grãos = 1,0 – 2,4 mm; tamanho efetivo = 1,4 mm; espessura da camada = 1,6 m			
FRD	AREIA: tamanho dos grãos = 0,30 – 1,41 mm; tamanho efetivo = 0,43 mm; espessura da camada = 0,7 m

Figura 4.23 – Curva granulométrica da areia utilizada no FAAG e no FRD. Fonte: DE PAULA, 2003.

Na Figura 4.24 é mostrado o esquema dos filtros ascendente e descendente com as espessuras das subcamadas e suas respectivas faixas granulométricas. Estão indicados os pontos onde foram instaladas as tomadas piezométricas ao longo do meio filtrante, sendo três no FAAG e quatro no FRD.

4.3.1.3 Funcionamento dos Filtros Ascendente e Descendente

Nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo correspondentes à Fase 1 foram executadas descargas de fundo intermediárias (DFIs) no FAAG, e na Fase 2 não foram realizadas DFIs no FAAG. A execução ou não de DFIs foi determinada pelo fato de que na Fase 1 não utilizou-se a pré-oxidação e houve variação nas taxas de filtração no FAAG e no FRD; na Fase 2, o objetivo foi avaliar e comparar a eficiência da pré-oxidação com diferentes oxidantes sem a variação de taxas de filtração nos filtros, portanto não foram realizadas as DFIs no FAAG.

Os critérios para a execução das DFIs foram estabelecidos conforme duas situações distintas:

- com base nos resultados obtidos por DE PAULA (2003) foram definidas 4 DFIs no FAAG adotando-se o seguinte procedimento: subtraía-se o valor da perda de carga inicial da perda de carga final (2,20 m) e o valor obtido era dividido por 5 pelo fato de serem 4 DFIs;
- quando a cor aparente do efluente do FAAG atingia valor maior ou igual a 50 uH.

A taxa de aplicação das DFIs e da descarga de fundo final no FAAG era de 1000 a 1200 m³/m²d, durante 2 minutos com introdução de água na interface pedregulho-areia.

O encerramento da carreira de filtração era definido quando:

- atingia a perda de carga limite no meio granular, de 2,20 m no FAAG ou 2,10 m no FRD ou;
- a turbidez do efluente do filtro descendente extrapolava 1 uT ou;
- atingia 72 horas de funcionamento na Fase 1 e 36 horas de funcionamento na Fase 2.

4.3.1.4 Limpeza e Lavagem dos Filtros

No FAAG após a descarga de fundo final, introduzia-se água para lavagem com velocidade ascensional de 1,8 m/min, promovendo expansão no meio filtrante de 20 a 30%, durante o período necessário para que a turbidez do efluente resultasse inferior a 5 uT.

A lavagem do FRD era efetuada por meio de insuflação de ar durante 3 minutos, com taxa de aplicação de 15 L/s.m^2 , seguida de água para promover expansão de 30% na camada de areia, com velocidade ascensional de $0,6 \text{ m/min}$, durante 7 minutos.

A água utilizada na lavagem dos filtros e para introdução na interface pedregulho-areia durante as DFs, era água filtrada da ETA II, armazenada previamente em caixa de polietileno.

Para a insuflação de ar durante a lavagem do FRD foi utilizado um compressor de ar de $\frac{1}{2}$ HP, marca DOUAT, modelo MC – 3,5. A vazão de ar era ajustada em um rotâmetro com capacidade de 400 L/h , por meio de válvula agulha.

4.3.2 Produtos Químicos Utilizados

4.3.2.1 Coagulante

O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio líquido, fornecido pela Nheel Química Ltda (Rio Claro – SP), na forma de solução comercial. Esta solução é produzida a partir de sulfato de alumínio sólido contendo 17% de Al_2O_3 . Considerando que o sulfato de alumínio comercial sólido tem a fórmula geral $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$, foi estimado em 14,3 o número (n) de moléculas de H_2O nessa fórmula.

Para o preparo da solução estoque de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$, foi determinada a massa específica que corresponde a uma determinada concentração de sulfato de alumínio. Esta correlação entre a massa específica e a concentração de sulfato de alumínio foi fornecida pelo fabricante do produto e está apresentada na Tabela A1 do ANEXO A. Sabendo-se a concentração da solução comercial e a concentração da solução estoque, preparava-se a solução estoque com a diluição da solução comercial de sulfato de alumínio em determinado volume de água filtrada da ETA II (água de diluição), baseando-se no cálculo da equação (4.2).

$$C_{SA} * V_{SA} = C_{SE} * V_{SE} \quad (4.2)$$

em que:

C_{SA} = concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ /L solução comercial (mg/L);

V_{SA} = volume de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ da solução comercial (L);

C_{SE} = concentração da solução estoque (mg/L);

V_{SE} = volume da solução estoque (L).

O volume total da solução estoque correspondia ao volume de água de diluição, no máximo 50 L, que era a capacidade do tanque de mistura (Figura 4.6), menos o volume de sulfato de alumínio determinado.

As massas específicas da solução comercial de sulfato de alumínio obtidas, com suas respectivas concentrações foram de:

♦ Ensaio na Instalação Piloto - Fase 1:

$\rho = 1332 \text{ g/L} \Rightarrow C = 683,2 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O/L}$ solução comercial.

♦ Ensaio na Instalação Piloto – Fase 2:

$\rho = 1315 \text{ g/L} \Rightarrow C = 637,8 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O/L}$ solução comercial.

Por exemplo, para o preparo de uma solução estoque de sulfato de alumínio com concentração de 6000 mg/L e volume de 40 L, considerando a concentração da solução comercial de sulfato de alumínio de 683,2 g/L, calculava-se o volume da solução comercial de sulfato de alumínio:

$$683200 \text{ mg/L} * V_{SA} \text{ (L)} = 6000 \text{ mg/L} * 40 \text{ L} \therefore V_{SA} = 0,351 \text{ L} = 351 \text{ mL}$$

O volume total de água de diluição era igual a $40 \text{ L} - 0,351 \text{ L} = 39,649 \text{ L}$.

As dosagens de coagulante foram calculadas utilizando-se a equação (4.3):

$$D_{SA} = D_{SC} * \frac{C_{SA}}{\rho} \quad (4.3)$$

em que:

D_{SA} = dosagem de sulfato de alumínio aplicada (mg/L);

D_{SC} = dosagem da solução comercial de sulfato de alumínio (mg/L);

ρ = massa específica da solução comercial de sulfato de alumínio (mg/L).

Conhecendo-se a dosagem de sulfato de alumínio a ser aplicada, determinava-se a dosagem da solução comercial. Calculava-se a vazão na bomba dosadora aplicando-se a equação (4.4):

$$D_{SC} = \frac{Q_{bd} * C_{SE}}{Q_{bd} + Q_{ab}} \quad (4.4)$$

em que:

Q_{bd} = vazão na bomba dosadora (L/h);

Q_{ab} = vazão da água bruta (L/h).

Aplicando-se as equações (4.3) e (4.4), por exemplo, em um ensaio em que a $D_{SA} \cong 8$ mg/L, a $C_{SE} \cong 6000$ mg/L e a $Q_{ab} = 170$ L/h, obtinha-se a Q_{bd} :

$$8 = D_{SC} * \frac{0,6832}{1,332} \Rightarrow D_{SC} = 15,6 \text{ mg/L} \therefore 15,6 = \frac{Q_{bd} * 6000}{Q_{bd} + 170} \Rightarrow Q_{bd} = 0,44 \text{ L/h}$$

4.3.2.2 Acidificante

O acidificante utilizado foi o ácido clorídrico (HCl) comercial, da Synth. A solução estoque era preparada no tanque de mistura (Figura 4.6), com concentração de 0,07 M. A água de diluição utilizada para o preparo da solução estoque era água filtrada da ETA II. A solução era agitada por 10 minutos e em seguida iniciava-se a adição de HCl (0,07 M) para ajuste do pH de coagulação. A vazão da bomba dosadora variava para cada ensaio, e era dependente da taxa de filtração aplicada no FAAG e do pH de coagulação desejado.

4.3.2.3 Oxidantes

Além do ozônio gerado *in loco*, conforme descrito no item 4.3.1.1, foram utilizados peróxido de hidrogênio, cloro nas formas de tricloro-s-triazina-triona e hipoclorito de sódio, dióxido de cloro, permanganato de potássio e peroxônio, os quais eram preparados em soluções estoque com diferentes concentrações, homogeneizadas no tanque de mistura (Figura 4.6) e dosadas com bomba dosadora cuja vazão era calculada utilizando-se a equação (4.5).

$$C = \frac{C_{ab} * Q_{ab} + C_{SE} * Q_{bd}}{Q_{ab} + Q_{bd}} \quad (4.5)$$

em que:

C = concentração de oxidante aplicada (mg/L);

C_{ab} = concentração de oxidante na água bruta (mg/L);

Q_{ab} = vazão afluyente de água bruta = vazão afluyente ao FAAG + vazão de água pré-oxidada e coagulada desviada para o FLA (L/h);

C_{SE} = concentração da solução estoque do oxidante (mg/L);

Q_{bd} = vazão da bomba dosadora (L/h).

Com exceção do ozônio em que as dosagens foram determinadas em reatores estáticos, as dosagens dos demais oxidantes aplicadas nos ensaios foi determinada em ensaio preliminar na instalação piloto em escoamento contínuo variando-se a dosagem de oxidante, dosagem de coagulante e o pH de coagulação. Além da cor aparente remanescente no efluente do FRD, o residual de oxidante foi determinante na dosagem de oxidante.

a) Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂)

Foi utilizada solução comercial de peróxido de hidrogênio Clamarim 503 da Degussa-Hüls, armazenada em bombona de 50 litros.

A concentração da solução comercial foi determinada pelo método recomendado por MASSCHELEN (1977), que consiste na adição de 5 mL de H₂SO₄ 20% em 10 mL da solução de H₂O₂ e titulometria com KMnO₄ (0,1 N) até obter a cor rosa. O cálculo foi feito utilizando-se a equação (4.6).

$$\text{mg/L H}_2\text{O}_2 = (\text{mL gastos de KMnO}_4 \text{ 0,1 N}) * 170,1 \text{ ou}$$

$$\% \text{ H}_2\text{O}_2 = (\text{mL gastos de KMnO}_4 \text{ 0,1 N}) * 0,017 \quad (4.6)$$

Em seguida preparou-se a solução estoque de H₂O₂ diluída com água filtrada da ETA II, com concentração determinada pelo mesmo método descrito anteriormente, e calculava-se a vazão da bomba dosadora utilizando-se a equação (4.5).

As medidas do residual de H₂O₂ foram feitas utilizando-se o método espectrofotométrico UV ($\lambda = 260 \text{ nm}$) com cobalto e bicarbonato para a faixa de leitura de 0,02 a 0,2 mg/L, recomendado por MASSCHELEN (1977) e utilizado por COELHO (2002) e TANGERINO (2003). O método consiste na adição sucessiva de 1 mL de solução de hexametáfosfato e 1 mL de solução de cobalto em 80 mL de amostra em balão volumétrico de 100 mL. Completava-se o volume com solução de bicarbonato de sódio saturada. Fez-se uma curva de calibração, com concentrações variando de 0,03 a 0,180 mg/L no espectrofotômetro UV ($\lambda = 260 \text{ nm}$) para realizar as leituras do residual de H₂O₂ das amostras.

b) Cloro

Foram utilizados cloro sólido (tricloro-s-triazina-triona), e cloro em solução de hipoclorito de sódio (NaClO). O tricloro-s-triazina-triona foi utilizado pela facilidade de obtenção e quando aplicado à água não provoca alterações bruscas no pH, o hipoclorito de sódio foi utilizado para comparar com os resultados obtidos com tricloro-s-triazina-triona.

O cloro sólido é fornecido em tabletes de 200 g, da marca GENCO, usado para desinfecção de piscinas, cujo ingrediente ativo é o tricloro-s-triazina-triona, com teor de cloro ativo disponível de 90%. Este produto foi colocado em 1 litro de água destilada em frasco com tampa e coberto com papel alumínio para evitar a incidência de luz, e deixado em repouso durante três dias dentro da geladeira, pois ele dissolve-se lentamente.

Com a solução concentrada de cloro, preparou-se a solução estoque no tanque de mistura, com água de diluição (água filtrada da ETA II) com concentração conhecida. Utilizando-se a equação (4.5) foi possível determinar a vazão na bomba dosadora.

No ensaio com hipoclorito de sódio, a solução estoque de cloro foi preparada com a diluição de NaClO em água filtrada da ETA II, no tanque de mistura (Figura 4.6).

O residual de cloro foi determinado utilizando-se o método colorimétrico DPD, e as leituras eram feitas no espectrofotômetro UV DR 4000, no comprimento de onda de 530 nm e faixa de leitura de 0 a 2 mg/L.

c) Dióxido de cloro (ClO_2)

A solução de dióxido de cloro foi gerada no laboratório de instalações piloto da EESC – USP, em um gerador da marca ProMinent com capacidade de 50 g/h (ver Figura 4.25), a partir de soluções diluídas de clorito de sódio e ácido clorídrico.

Como a solução de dióxido de cloro gerada já era diluída, foi gerada uma quantidade suficiente de dióxido de cloro para a execução do ensaio, não sendo necessária outra diluição. Tendo-se o conhecimento da concentração da solução estoque, a dosagem de dióxido de cloro a ser aplicada e a vazão afluenta ao sistema, a vazão da bomba dosadora foi determinada pela equação (4.5).

O residual de dióxido de cloro foi medido pelo método colorimétrico DPD, no espectrofotômetro UV DR 4000, em que se determinava o teor de cloro livre e o resultado era multiplicado por 1,9 (correção estequiométrica).

Não foram feitas determinações de clorito e clorato por não haver equipamento para a execução destas análises.

Figura 4.25 – Gerador de dióxido de cloro.

d) Permanganato de potássio (KMnO_4)

Foi utilizado KMnO_4 em pó, da Synth, com teor de pureza de 99%, o qual foi diluído em água filtrada da ETA II para preparo da solução estoque com concentração conhecida. Com a determinação da dosagem de permanganato de potássio a ser aplicada, em ensaio preliminar na instalação piloto em escoamento contínuo, com a concentração da solução estoque e a vazão afluyente ao sistema, foi possível calcular a vazão na bomba dosadora utilizando-se a equação (4.5).

As medidas do residual de permanganato de potássio foram feitas em espectrofotômetro UV DR 4000 no comprimento de onda de 530 nm, utilizando-se uma curva de calibração preparada com concentrações de 0 a 5 mg/L de KMnO_4 .

e) Peroxônio ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_3$)

Foi preparada uma solução estoque de H_2O_2 com concentração conhecida. Adicionava-se H_2O_2 na saída da caixa de homogeneização de substâncias húmicas e aplicava-se O_3 na coluna de ozonização. A relação de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{O}_3$ utilizada foi de 0,5. Devido às instabilidades observadas no gerador de O_3 , provocando variações na dosagem de O_3 , ajustava-se a vazão da bomba dosadora da solução estoque de H_2O_2 mantendo-se a relação $\text{H}_2\text{O}_2:\text{O}_3$ em 0,5.

Medidas de O_3 na fase líquida e gasosa eram controladas nos respectivos medidores, e o *off gas* era determinado pelo método iodométrico (APHA *et al.*,

1998). O residual de H_2O_2 era medido pelo método espectrofotométrico cobalto – bicarbonato ($\lambda = 260$ nm), recomendado por MASSCHELEN (1977).

4.3.3 Características da Água, Métodos e Equipamentos

A coleta, a conservação e a determinação das características físicas e químicas das amostras de água foram feitas de acordo com a APHA *et al.* (1998). As principais características da água, os pontos de amostragem e os métodos e equipamentos utilizados estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Características da água, amostra, método e equipamento.

Característica	Amostra	Método	Equipamento
Turbidez (uT)	AB, efluentes do FAAG e FRD	Nefelométrico	Turbidímetro de escoamento contínuo (1720 C – HACH)
Cor aparente (uH)	AB, AE, APO ^(*) , efluentes FAAG e FRD	Espectrofotométrico ($\lambda = 455$ nm)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
Cor verdadeira (uH)	AB, AE, APO ^(*)	Espectrofotométrico ($\lambda = 455$ nm)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
pH	AC, AE, AB, APO ^(*)	Potenciométrico	Potenciômetro de bancada 230 A (Orion)
Temperatura (°C)	AE	Leitura direta	Termômetro de mercúrio
Alcalinidade (mg/L $CaCO_3$)	AB, AE, APO ^(*)	Titulação potenciométrica	Bureta digital e potenciômetro de bancada
Alumínio residual (mg/L)	AB, AE, efluentes FAAG e FRD	Espectrofotométrico ($\lambda = 535$ nm)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
Absorvância 254 nm	AB, AE, APO ^(*) , efluentes FAAG e FRD	Espectrofotométrico ($\lambda = 254$ nm)	Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
Carbono orgânico dissolvido (mg/L)	AB, AE, APO ^(*) , efluentes FAAG e FRD	Analizador de gás infravermelho	Total Organic Carbon Analyser 5000 A (Schimadzu)
Ferro (mg/L) ^(*)	AB, AE, APO, efluentes FAAG e FRD	Absorção atômica	AA Analyst 700 (Perkin Elmer)
Manganês (mg/L) ^(*)	AB, AE, APO, efluentes FAAG e FRD	Absorção atômica	AA Analyst 700 (Perkin Elmer)
Residual de oxidantes (mg/L) ^(*)	Efluentes FAAG e FRD	Iodométrico (O_3) Espectrofotométrico (demais oxidantes)	Bureta manual Espectrofotômetro DR 4000 (HACH)
Subprodutos da oxidação e pós-cloração ($\mu g/L$) ^(*)	APO e efluente FRD	EPA 551.1 EPA 552.2	Cromatógrafo gasoso 3600 CX (Varian)

AB = água bruta; AE = água de estudo; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada. ^(*) somente nos ensaios com pré-oxidação.

A cor aparente, cor verdadeira, pH e temperatura da água de estudo e dos efluentes dos filtros ascendente e descendente foram medidos a cada 2 horas. A

alcalinidade e a absorvância 254 nm foram analisadas a cada 6 horas, e o alumínio e carbono orgânico dissolvido uma vez por dia, nos ensaios correspondentes à Fase 1, ou a cada 12 horas, nos ensaios correspondentes à Fase 2. As análises de ferro e manganês foram feitas no Laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP, com as amostras previamente digeridas com adição de porções iguais de ácido nítrico e ácido clorídrico, com aquecimento seguido de filtração, foram feitas duas coletas por ensaio (a cada 18 horas). O residual de oxidantes foi medido a cada 9 horas, e os subprodutos da pré-oxidação e pós-cloração, 1 vez por ensaio. As vazões dos filtros ascendente e descendente e dos turbidímetros de escoamento contínuo eram medidas volumetricamente com auxílio de cronômetro e proveta, e as leituras piezométricas eram feitas a cada 1 hora.

As leituras de cor aparente e cor verdadeira eram feitas no espectrofotômetro UV DR - 4000 utilizando-se a curva de calibração feita com a “solução-mãe” de extrato de substâncias húmicas, a cor verdadeira era obtida após filtração das amostras em membrana de 0,45 µm.

4.3.4 Ensaios sem Pré-Oxidação e com Variação das Taxas de Filtração

Nesta etapa do trabalho experimental foram realizados sete ensaios com variação nas taxas de filtração utilizadas nos filtros ascendente e descendente, e com execução de DFIs no FAAG. Durante esta etapa do trabalho experimental, BENINI (2003) operou um sistema de dupla filtração instalado em paralelo, utilizando filtro ascendente de pedregulho para remoção de substâncias húmicas, possibilitando desta maneira a operação dos dois sistemas com duração de 72 horas. Na Tabela 4.3 estão apresentadas as taxas de filtração utilizadas no FAAG e FRD para cada ensaio.

Tabela 4.3 – Taxas de filtração utilizadas nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

Ensaio	Taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD
1	240	280
2	180	200
3	180	240
4	180	280
5	120	160
6	120	200
7	120	240

Antes do início da carreira de filtração, preparavam-se as soluções de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$, ácido clorídrico (0,07 M) e extrato de substâncias húmicas. A solução estoque de substâncias húmicas era preparada no tanque de mistura (Figura 4.6), com água de diluição (água filtrada da ETA II) e extrato de substâncias húmicas, na proporção de n+1:n (volume:volume), esta foi a concentração requerida para se trabalhar dentro da faixa de vazão da bomba dosadora (0 a 1,2 L/h) até que se atingisse cor verdadeira de 90 a 110 uH. Agitava-se a solução por 10 minutos e dosava-se o extrato de substâncias húmicas na água bruta. Em seguida, iniciava-se a dosagem do acidificante e do coagulante e realizava-se um ensaio no FLA para verificar se as condições de coagulação apresentavam eficiência de remoção de cor aparente e turbidez. Uma vez constatada a condição desejável de coagulação, a água coagulada entrava pela parte inferior do FAAG e a água clarificada era coletada na parte superior e conduzida para o FRD.

No início da carreira de filtração ajustavam-se as vazões dos filtros e as de saída dos turbidímetros de escoamento contínuo, coletavam-se amostras da água bruta, da água de estudo e dos efluentes do FAAG e do FRD, e faziam-se as leituras nos piezômetros para obter a perda de carga inicial nos filtros.

Para avaliar o desempenho do sistema de dupla filtração e comparar os resultados obtidos nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com variação das taxas de filtração no FAAG e no FRD, fez-se a correção da perda de carga em função da temperatura e calculou-se a produção efetiva de água filtrada para cada ensaio, conforme descrito nos itens 4.3.6.1 e 4.3.6.2.

4.3.5 Ensaio sem e com Pré-Oxidação e com Taxas de Filtração Fixas

Foram realizados oito ensaios, com as taxas de filtração fixas no FAAG e no FRD em 180 e 280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ respectivamente, e não foram executadas DFIs no FAAG. Foram utilizados como oxidantes: ozônio, peróxido de hidrogênio, cloro na forma de tricloro-s-triazina-triona e hipoclorito de sódio, dióxido de cloro, permanganato de potássio e peroxônio. Na Tabela 4.4 está apresentada a ordem de execução dos ensaios e os oxidantes utilizados.

A duração da carreira de filtração, na maioria dos ensaios foi de 36 horas, com exceção do ensaio 15, em que foi utilizado hipoclorito de sódio, que teve duração de 16 horas devido a problemas ocorridos com a água afluenta à ETA II, e conseqüentemente à instalação piloto, que estava sendo pré-oxidada com

hipoclorito de sódio. Com o funcionamento intermitente da ETA II, quando interrompia-se o funcionamento da ETA II, o pH da água bruta aumentava devido à concentração de hipoclorito de sódio, prejudicando a operação da instalação piloto.

Tabela 4.4 – Ensaio realizados na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação com taxas de filtração fixas no FAAG de 180 m³/m²d e no FRD de 280 m³/m²d.

Ensaio	Variável
8	Sem pré-oxidação
9	Pré-oxidação com ozônio
10	Pré-oxidação com peróxido de hidrogênio
11	Pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona
12	Pré-oxidação com dióxido de cloro
13	Pré-oxidação com permanganato de potássio
14	Pré-oxidação com peroxônio
15	Pré-oxidação com hipoclorito de sódio

4.3.5.1 Determinação da dosagem de oxidantes, coagulante e pH de coagulação

No ensaio 8 foram determinados a dosagem de coagulante e o pH de coagulação na instalação piloto em escoamento contínuo. Variava-se a dosagem de coagulante e o pH de coagulação e vice-versa, a água coagulada era desviada para o FLA e realizava-se o ensaio de filtração até que se obtivesse cor aparente remanescente ≤ 5 uH.

No ensaio 9 a determinação da dosagem de coagulante e pH de coagulação foi feita na instalação piloto em escoamento contínuo com a água de estudo, adotando-se o seguinte procedimento:

- ♦ iniciava-se a geração de ozônio, esperava-se o tempo necessário para a estabilização do gerador e determinava-se a concentração necessária para sua aplicação, com auxílio da equação (4.7):

$$C = \frac{C_{\text{água}} \cdot Q_{\text{água}} + C_{\text{oxidante}} \cdot Q_{\text{oxidante}}}{Q_{\text{água}} + Q_{\text{oxidante}}} \quad (4.7)$$

em que:

C = concentração de O₃ aplicada (mg/L);

C_{água} = concentração de O₃ na água afluyente à coluna de ozonização (mg/L);

Q_{água} = vazão de água afluyente à coluna de ozonização, dependente da taxa de filtração no FAAG (L/h);

C_{oxidante} = concentração de O_3 , dada pelo medidor de O_3 na fase gasosa (mg/L);

Q_{oxidante} = vazão de ozônio aplicada na coluna de ozonização e ajustada no rotâmetro instalado na saída do gerador de O_3 (L/h).

- ♦ aplicava-se O_3 na coluna de ozonização e a água pré-oxidada era coletada em um balde, após o tempo de contato de aproximadamente 10 minutos, determinado preliminarmente com ensaio de traçador;
- ♦ a água pré-oxidada era transferida aos jarros do jarreste, nos quais eram variadas as dosagens de coagulante e procedia-se ao ensaio nos reatores estáticos e FLAs.

Nos ensaios 10 a 15, a determinação das dosagens de oxidante e coagulante e do pH de coagulação foi feita preliminarmente, na instalação piloto em escoamento contínuo, variando-se a dosagem do oxidante e de coagulante e ajustando-se o pH de coagulação, até que se obtivesse cor aparente remanescente ≤ 5 uH e turbidez ≤ 1 uT no efluente do FRD. Para cada variação nas dosagens de oxidante e coagulante e ajustes no pH de coagulação, esperava-se o tempo de aproximadamente 1 hora para a coleta de amostras de água no efluente do FRD. Após a determinação das dosagens de oxidante e coagulante e ajuste do pH de coagulação, interrompia-se este ensaio preliminar, lavavam-se os filtros, compactavam-se os meios filtrantes e iniciavam-se os ensaios sem interrupções.

No período de execução do ensaio 8, a água bruta afluenta à ETA II e à instalação piloto estava sendo pré-oxidada com hipoclorito de sódio. A dosagem de NaClO na instalação piloto era ajustada com base na dosagem aplicada na água bruta da ETA II. Este ensaio ficou prejudicado, devido ao funcionamento intermitente da ETA II, que era interrompido das 19:00 às 22:00 h, sendo observado um aumento no teor de cloro na água bruta e conseqüentemente aumento de pH da água pelo uso de NaClO. Com o aumento do pH da água bruta foi necessário um acréscimo excessivo de acidificante, além disso, ocorreu a interrupção na adição de extrato de substâncias húmicas devido a um vazamento na mangueira. Este problema não pôde ser solucionado devido à dificuldade de acesso em que se localizava o furo, ocorrendo a interrupção deste ensaio com 16 horas de funcionamento.

4.3.5.2 Determinação do tempo de contato para os ensaios com pré-oxidação

A coluna de ozonização foi utilizada como câmara de contato para todos os ensaios com pré-oxidação. Devido ao fato do ozônio ser um oxidante gasoso, e os demais oxidantes eram em solução, foi necessário determinar tempos de contato diferentes. O escoamento na coluna de ozonização era em contra-corrente quando utilizou-se o ozônio como pré-oxidante, com entrada de água na parte superior, introdução de ozônio na parte inferior por meio de pedra difusora, e saída de água pré-oxidada na parte inferior.

Após o ajuste da vazão de entrada de água na coluna de ozonização, considerando a taxa de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ utilizada no FAAG, que resulta em uma vazão aproximada de 117 L/h, e a vazão do desvio de água coagulada de aproximadamente 50 L/h, deu-se início aos ensaios para determinação dos tempos de contato na coluna de ozonização.

Os ensaios para determinar os tempos de contato basearam-se na introdução de uma solução de cloreto de sódio com concentrações de 20 e 40 mg/L (traçador) na entrada de água na coluna de ozonização (topo) e com auxílio de um medidor de condutividade, instalado em linha na tubulação de saída da água pré-oxidada, obtiveram-se as concentrações de cloreto em diferentes tempos. O equipamento de medida de condutividade utilizado era da marca *Texas Instrumentation*, o qual armazenava os dados obtidos.

Para o ozônio, introduziu-se ar com vazão de 60 L/h na parte inferior da coluna de ozonização, que era distribuído pela pedra difusora, e procedeu-se o ensaio da mesma maneira.

4.3.5.3 Coleta de amostra e verificação da formação de subprodutos

Após 6 horas de funcionamento de cada ensaio, amostras de 1 litro da água pré-oxidada e do efluente do FRD foram coletadas, separadas e armazenadas em frascos âmbar (ver Figura 4.26) e cloradas com cloro na forma de tricloro-s-triazina-triona com dosagem de 2 vezes o valor do COD da amostra (BECKER *et al.*, 2001), durante o tempo de contato de 24 horas, para verificar a formação de subprodutos decorrentes da pré-oxidação. Foram coletados 3 litros do efluente do FRD, sendo variado o pH das amostras, a primeira era clorada sem alteração do pH e nas outras duas era adicionado algumas gotas de solução de hidróxido de sódio (0,5 N) até pH de aproximadamente 7 e 9, as quais eram cloradas e armazenadas em

frascos âmbar até que completasse o tempo de contato de 24 horas. Após este tempo, coletava-se 100 mL da amostra clorada e adicionava-se aproximadamente 1 g de ácido ascórbico para cessar a reação do cloro.

Figura 4.26 – Frascos utilizados para armazenamento das amostras de água pós cloradas para análise de subprodutos.

As análises de trihalometanos, haloacetoneitrilas, haloacetonas, halopirinas e ácidos haloacéticos foram feitas no Laboratório de Cromatografia da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), utilizando-se um cromatógrafo a gás da marca VARIAN, modelo 3600 CX, com detector de captura de elétrons (DCE). Para estas análises foram utilizados os métodos 551.1 e 552.2 (USEPA, 1995), desenvolvidos por PASCHOALATO *et al.* (2004).

♦ Método EPA 551.1:

Extração de subprodutos: foi utilizada a extração líquido-líquido com adição de 20 μ L de padrão interno (diclorometano) e de 4 mL de metil-terc-butílico-éter (MTBE), em 10 mL de amostra e aproximadamente 1 g de sulfato de sódio como agente secante. Agitou-se vigorosamente por 1 minuto seguido de repouso por 2 minutos em 4°C. Em seguida, 1 μ L do extrato da fase orgânica de MTBE foi injetado no cromatógrafo gasoso.

Condições cromatográficas: utilizou-se uma coluna capilar de sílica fundida DB – 1 com 0,32mm de diâmetro interno x 30m e 0,5 μ m de micro filme. O gás de arraste foi o nitrogênio com fluxo de 3,4 mL/min e pressão de 15 Psi. A temperatura isoterma foi de 40°C por 1 minuto, com rampa de aquecimento até 125°C por 2 minutos, em uma razão de 5°C/min, e aquecimento a 150°C numa razão de 20°C/min por 2 min. A temperatura do injetor era de 160°C e a do detector de 290°C. Cada análise durava 25 minutos. Os padrões cromatográficos utilizados foram da marca Supelco (EPA 551A, 4-8045 e EPA 551B, 4-8046), em meio

acetona. Foi feita uma curva analítica com concentrações de 25, 50, 75, 100 e 150 µg/L, conforme apresentada na Tabela 4.5.

Com este método foram identificados os seguintes subprodutos:

Trialometanos (TAMs): Clorofórmio, bromofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano.

Haloacetonitrilas (HANs): dicloroacetonitrila, tricloroacetonitrila, dibromoacetonitrila e bromocloroacetonitrila.

Halocetonas (HCs): 1,1-dicloropropanona, 1,1,1-tricloropropanona.

Halopicrinas (HP): cloropicrinas.

Na Tabela 4.5 está apresentado um resumo da curva de calibração dos subprodutos listados anteriormente.

Tabela 4.5 – Resumo da curva analítica para trialometanos, haloacetonitrilas, halocetonas e halopicrinas (em µg/L).

Compostos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Padrão interno	20	20	20	20	20
Clorofórmio	25	50	75	100	150
Tricloroacetonitrila	25	50	75	100	150
Dicloroacetonitrila	25	50	75	100	150
Bromodiclorometano	25	50	75	100	150
1,1-dicloropropanona	25	50	75	100	150
Cloropicrina	25	50	75	100	150
Dibromoclorometano	25	50	75	100	150
1,1,1-tricloropropanona	25	50	75	100	150
Bromocloroacetonitrila	25	50	75	100	150
Dibromoacetonitrila	25	50	75	100	150
Bromofórmio	25	50	75	100	150

♦ Método EPA 552.2:

Extração de subprodutos: foi feita uma derivatização por metilação ácida seguida de extração líquido-líquido com MTBE. Foi colocado 50 mL da amostra resfriada a 4°C em balão volumétrico, adicionados 50 µL de padrão interno (2,3 ácido dibromopropiônico – solução com concentração de 20 mg/L), aproximadamente 2 g de CuSO₄ e 16 g de Na₂SO₄, e 1 mL de H₂SO₄ concentrado e agitou-se. Foram adicionados 5 mL de MTBE na solução gelada, agitou-se novamente o balão volumétrico durante 10 minutos e a solução foi colocada na geladeira. Foi retirado 3 mL da fase orgânica e transferido para um frasco de 10 mL, no qual foi adicionado 1 mL de solução ácida de metanol (10%). O frasco com o extrato foi deixado em banho a 50°C por 2 horas, depois de resfriado, adicionou-

se 4 mL de solução saturada de bicarbonato de sódio em incrementos de 1 mL. Após este procedimento, 1 µL do extrato foi injetado no cromatógrafo a gás.

Condições cromatográficas: utilizou-se uma coluna capilar de sílica fundida DB-1701 de 0,32 mm diâmetro interno x 30 m e 0,25µm de micro filme. O gás de arraste foi o nitrogênio com fluxo de 1,4 mL/min e pressão de 6 Psi. A temperatura isoterma foi de 40°C por 3 minutos com rampa de aquecimento até 180°C por 3 minutos. A temperatura do injetor era de 250°C e a do detector de 300°C. O padrão cromatográfico utilizado foi da marca Supelco (EPA 552.2, 4-7787) em meio MTBE, com padrão interno (2,3 dibromopropiônico) adicionado aos padrões, branco e amostras. Foi feita uma curva analítica com as concentrações apresentadas na Tabela 4.6.

Com este método foram identificados os seguintes subprodutos:

Ácidos Haloacéticos (AHAs): ácido cloroacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido bromoacético, ácido dibromoacético, ácido tribromoacético, ácido bromocloroacético, ácido bromodicloroacético, ácido clorodibromoacético.

Tabela 4.6 – Resumo da curva analítica para os ácidos haloacéticos (em µg/L).

Compostos	Concentração (mg/L)	Pontos da curva analítica				
		1	2	3	4	5
ácido cloroacético	600	6	12	18	24	30
ácido bromoacético	400	4	8	12	16	20
ácido dicloroacético	600	6	12	18	24	30
ácido tricloroacético	200	2	4	6	8	10
ácido bromocloroacético	400	4	8	12	16	20
ácido bromodicloroacético	400	4	8	12	16	20
ácido dibromoacético	200	2	4	6	8	10
ácido clorodibromoacético	1000	10	20	30	40	50
ácido tribromoacético	2000	20	40	60	80	100
padrão interno	20	50	50	50	50	50

4.3.6 Análise de Dados

Os resultados obtidos nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo foram analisados conforme os objetivos propostos pelo trabalho, com necessidade de alguns ajustes, como por exemplo, a correção da perda de carga para a temperatura de 20°C para uma comparação mais real dos resultados. Além

da remoção de substâncias húmicas, foi avaliada a produção efetiva de água filtrada para cada ensaio correspondente à Fase 1, considerando as condições de operação. E para os ensaios com pré-oxidação foi avaliada a formação de subprodutos utilizando-se os métodos descritos no item 4.3.5.3. A seguir estão descritas as formas de análise de dados para comparação e discussão dos resultados.

4.3.6.1 Correção da perda de carga em função da temperatura da água

Para comparar a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD durante os ensaios experimentais na instalação piloto em escoamento contínuo nas fases 1 e 2, e devido a variação da temperatura da água, foi feita a correção da perda de carga em função da temperatura, considerando a variação da massa específica e da viscosidade da água, utilizando a equação (4.8).

Como a temperatura da água variou de 16 a 26°C em todos os ensaios, optou-se por corrigir a perda de carga dos filtros para a temperatura de 20°C.

$$h_{20} = \frac{h_t \cdot \rho_t \cdot \mu_{20}}{\rho_{20} \cdot \mu_t} \quad (4.8)$$

em que:

h_{20} = perda de carga corrigida para a temperatura de 20°C (m);

h_t = perda de carga na temperatura t (m);

ρ_t = massa específica da água na temperatura t (kg/m³);

μ_{20} = viscosidade absoluta da água na temperatura de 20°C (N.s/m²);

ρ_{20} = massa específica da água na temperatura de 20°C (kg/m³);

μ_t = viscosidade absoluta da água na temperatura t (N.s/m²).

Na Tabela 4.7 estão apresentadas as variações da massa específica e viscosidade absoluta da água em função da temperatura.

Tabela 4.7 – Variações da massa específica e viscosidade absoluta da água em função da temperatura.

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m ³)	Viscosidade absoluta $\times 10^{-3}$ (N.s/m ²)
10	999,702	1,308
11	999,607	1,271
12	999,500	1,236
13	999,379	1,203
14	999,246	1,171
15	999,102	1,140
16	998,945	1,111
17	998,777	1,083
18	998,598	1,056
19	998,407	1,030
20	998,206	1,005
21	997,995	0,981
22	997,773	0,958
23	997,541	0,936
24	997,299	0,914
25	997,048	0,894
26	996,787	0,874
27	996,517	0,855
28	996,237	0,836
29	995,949	0,818
30	995,651	0,801

Fonte: DI BERNARDO (2004).

Com os dados da Tabela 4.7 foram ajustadas as curvas relacionando a temperatura com a massa específica e a viscosidade absoluta da água, obtendo-se as equações e os respectivos coeficientes de correlação, conforme apresentados nas Figuras 4.27 e 4.28. Com as equações das curvas ajustadas foi possível calcular a massa específica e a viscosidade absoluta da água na temperatura t lida durante os ensaios.

Figura 4.27 – Massa específica da água em função da temperatura.

Figura 4.28 – Viscosidade absoluta da água em função da temperatura.

4.3.6.2 Determinação da produção efetiva de água filtrada

Para os ensaios da Fase 1 foi calculada a produção efetiva de água filtrada, considerando principalmente o fato de que a carreira foi, na maioria das vezes, interrompida em 72 horas de funcionamento, não chegando a atingir a perda de

carga prevista (2,20 m no FAAG). O cálculo da produção efetiva foi feito a partir da equação (4.9), com auxílio das equações (4.10) a (4.14):

$$PE = PT - VL_{FAAG} - VDF_{final} - VDFIs - VL_{FRD} \quad (4.9)$$

em que:

PE = produção efetiva de água filtrada (m^3/m^2);

PT = produção total de água filtrada (m^3/m^2);

VL_{FAAG} = consumo de água utilizada para as lavagens do FAAG (m^3/m^2);

VDF_{final} = consumo de água utilizada na interface areia-pedregulho durante a execução da descarga de fundo final (m^3/m^2);

$VDFIs$ = consumo de água utilizada na interface areia-pedregulho durante as descargas de fundo intermediárias (m^3/m^2);

VL_{FRD} = consumo de água utilizada para as lavagens do FRD (m^3/m^2).

Sendo:

$$PT = TF * DCF \quad (4.10)$$

em que:

TF = taxa de filtração (m^3/m^2d);

DCF = duração da carreira de filtração (d).

$$VL_{FAAG} = NL_{FAAG} * TL_{FAAG} * DL_{FAAG} * (\Delta H_{final} FAAG / \Delta H_{prevista} FAAG) \quad (4.11)$$

em que:

NL_{FAAG} = número de lavagens executadas no FAAG;

TL_{FAAG} = taxa de aplicação de água para lavagem do FAAG (m^3/m^2d);

DL_{FAAG} = duração da lavagem do FAAG (d);

$\Delta H_{final} FAAG$ = perda de carga final no FAAG (m);

$\Delta H_{prevista} FAAG$ = perda de carga prevista no FAAG (m).

$$VDF_{final} = TDF * DDF * (\Delta H_{final} FAAG / \Delta H_{prevista} FAAG) \quad (4.12)$$

em que:

TDF = taxa de descarga de fundo (m^3/m^2d);

DDF = duração da descarga de fundo (d).

$$VDFIs = N^{\circ} DFIs_{FAAG} * TDF * DDF \quad (4.13)$$

em que:

$N^{\circ} DFIs_{FAAG}$ = número de DFIs executadas no FAAG.

$$VL_{FRD} = (NL_{FRD} + 1 * (\Delta H_{final\ FRD} / \Delta H_{prevista\ FRD})) * TL_{FRD} * DL_{FRD} * (A_{FRD} / A_{FAAG}) \quad (4.14)$$

em que:

NL_{FRD} = número de lavagens executadas no FRD;

$\Delta H_{final\ FRD}$ = perda de carga final no FRD (m);

$\Delta H_{prevista\ FRD}$ = perda de carga prevista no FRD (2,10 m);

TL_{FRD} = taxa de aplicação de água para lavagem do FRD (m^3/m^2d);

DL_{FRD} = duração da lavagem no FRD (d);

A_{FRD} = área do FRD (m^2);

A_{FAAG} = área do FAAG (m^2).

Obs: no primeiro termo da equação 4.14 considera-se o número de lavagens executadas no FRD, em que o encerramento da carreira de filtração se deu por atingir a perda de carga prevista ou quando ocorreu o transpasse, mais a última lavagem (representada na equação pelo número 1) vezes a relação entre a perda de carga final e a perda de carga prevista, considerando o fato de que a carreira de filtração se prolongaria até que atingisse a perda de carga prevista, se não fosse encerrada pelo critério de 72 horas de funcionamento dos filtros.

4.3.6.3 Remoção de substâncias húmicas e eficiência global do sistema de dupla filtração

Técnicas analíticas indiretas como COD, absorvância 254 nm e a remoção de cor foram utilizadas para avaliar e comparar os resultados obtidos nos ensaios na instalação piloto, com relação à eficiência de remoção de substâncias húmicas.

É importante destacar que na eficiência global do sistema de dupla filtração sem e com pré-oxidação, com e sem variação de taxas de filtração, com ou sem DFIs no FAAG foram avaliados não só a remoção de substâncias húmicas, mas também as condições operacionais, a produção efetiva de água e o residual de alumínio no efluente do FRD e a formação de subprodutos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das Substâncias Húmicas

a) Análise Elementar

Na Tabela 5.1 estão apresentados os resultados obtidos na análise elementar das substâncias húmicas e as razões atômicas.

Tabela 5.1 – Composição elementar das substâncias húmicas e as razões atômicas.

Massa (%)				Razões atômicas		
C	H	N	O	H/C	O/C	C/N
40,30	4,37	1,82	53,31	1,30	0,99	25,77

A composição elementar das substâncias húmicas apresentou alta porcentagem de oxigênio, indicando a presença de compostos carboxílicos e carboidratos. De acordo com ROCHA & ROSA (2003), as razões molares H/C e C/N geralmente têm sido utilizadas para estimar o grau de aromaticidade e de humificação das substâncias húmicas, respectivamente. A razão molar H/C = 1,30 indica elevada aromaticidade e a razão molar C/N indica alto grau de humificação.

b) Análises de Infravermelho (IV)

Na Figura 5.1 está mostrado o espectro na região do infravermelho das substâncias húmicas, o qual exibiu bandas típicas de absorção no IV. Segundo ROCHA & ROSA (2003), os espectros na região do infravermelho das substâncias húmicas mostram bandas largas provavelmente por causa da sobreposição das bandas de absorção dos constituintes individuais da mistura heterogênea de grupos que constituem as substâncias húmicas.

Na região de 3390 cm^{-1} observa-se uma banda larga, que é caracterizada pela ligação de H^+ a grupos OH^- provenientes de grupos alcoólicos e carboxílicos.

Em 2900 cm^{-1} aparece uma banda característica de vibrações de grupos CH_3 e CH_2 , próxima a moléculas de oxigênio de cadeias alifáticas. Uma banda forte aparece na região próxima a 1600 cm^{-1} , podendo ser atribuída às vibrações COO^- e $\text{C}=\text{C}$ de aromáticos, junto com as bandas de olefinas $\text{C}-\text{C}$.

Próximo de 1400 cm^{-1} aparece uma banda característica de deformação $\text{O}-\text{H}$, deformação angular CH_3 , $\text{C}-\text{O}$ característico de estiramento de grupamentos fenólicos OH e estiramento anti-simétrico de COO^- . Ainda nessa região pode-se atribuir em 1450 cm^{-1} um estiramento característico de grupos CH de alifáticos (ROCHA & ROSA, 2003).

Na região entre $500\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ aparecem bandas que podem ser atribuídas a estiramentos $\text{C}-\text{O}$ de polissacarídeos e ainda a vibrações de ligações $\text{C}-\text{C}$ de alifáticos ou CH de anéis aromáticos.

Figura 5.1 – Espectro da região do infravermelho das substâncias húmicas. Fonte: CAMPOS (2004).

c) Análises de Ultravioleta Visível (UV/Vis)

Na Figura 5.2 está apresentado o espectro de UV-Vísível na região de 400 a 800 nm para a amostra de substâncias húmicas, de onde foi possível calcular a razão de absorção no comprimento de onda de 465 nm e 665 nm (razão E_4/E_6).

Figura 5.2 – Espectro de UV-Vísivel na região de 400 a 800 nm para a amostra de substâncias húmicas. Fonte: CAMPOS (2004).

O valor da razão E_4/E_6 encontrado foi de 3,20, indicando que as substâncias húmicas se apresentavam em um estágio de humificação avançado. De acordo com TRAINA *et al.* (1990)¹⁰ *apud* ROCHA & ROSA (2003) a aromaticidade das substâncias húmicas pode ser estimada quantitativamente por espectroscopia na região UV/Vis. O tamanho molecular das substâncias húmicas também influi na quantidade de unidades aromáticas. Frações com maior tamanho molecular contém maior número de estruturas aromáticas, ocorrendo uma gradual diminuição das estruturas aromáticas nas frações com menor tamanho molecular.

d) Análises de Metais

Na Tabela 5.2 estão apresentados os resultados obtidos das análises de metais. Observa-se uma grande quantidade de ferro na amostra analisada.

¹⁰ TRAINA, S. J.; NOVAK, J.; SMECK, N.E (1990) *An Ultraviolet Absorbance Method of Estimating the Percent Aromatic Carbon Content of Humic Acids*. J. Environmental Quality, v. 19, p. 151-3.

Tabela 5.2 – Resultados das análises de metais no extrato de substâncias húmicas.

Metais	Resultado	Unidade de medida
Manganês	0,113	mg/L
Ferro	18,690	mg/L
Zinco	0,405	mg/L
Níquel	0,119	mg/L
Cobre	1,542	mg/L
Arsênio	0,043	µg/L
Cobalto	0,061	mg/L
Estanho	2,128	mg/L
Cromo	0,612	mg/L
Vanádio	< 0,05	mg/L
Prata	0,008	mg/L

A escolha do método e do procedimento analítico a ser utilizado na determinação das espécies metálicas em substâncias húmicas é de fundamental importância. O método deve ser de elevada sensibilidade, para permitir a quantificação das concentrações de metais em ng/mL, dependendo do analito de interesse e dos interferentes presentes na matriz. Os métodos baseados em espectrometria atômica utilizando-se atomizadores de chama, forno de grafite, plasma ou fluorescência total com reflectância de raio X têm sido preferencialmente utilizados (ROCHA & ROSA, 2003).

5.2 Variação de Cor Verdadeira em relação ao pH

Segundo DI BERNARDO *et al.* (2002), o tamanho molecular das substâncias húmicas varia com o pH e com o grau de polimerização (entre 3,5 e 10 nm), portanto a medida de cor depende do pH da amostra de água, o que pode ser observado na Figura 5.3.

Com a “solução-mãe” preparada com o extrato de substâncias húmicas, obteve-se o pico de melhor absorção a 455 nm no espectrofotômetro UV. Com as amostras diluídas de cor verdadeira de 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100 e 120 uH, variando-se o pH de cada amostra de 4,5 a 7,0 foram obtidas as curvas de pH em função da cor, representadas na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Curvas de variação da cor verdadeira em função da absorvância ($\lambda = 455$ nm) em relação ao pH.

MENDES (1985) estudou a variação de cor da água em função da absorvância ($\lambda = 455$ nm) em relação ao pH e concluiu que quanto menor o pH, maior o valor da cor verdadeira, como tendência observada na Figura 5.3.

Esta verificação da variação da cor verdadeira em função do pH definiu a curva analítica para as medidas de cor no espectrofotômetro UV DR 4000 ($\lambda = 455$ nm), a qual foi utilizada nos ensaios experimentais subseqüentes.

5.3 Ensaios em Reatores Estáticos

5.3.1 Escolha da Granulometria da Areia Utilizada nos FLAs

Foram estudados três tipos de areia com faixas granulométricas diferentes para os FLAs. Como mostra a Tabela 5.3, os melhores resultados de remoção de cor e turbidez nos ensaios em reatores estáticos foram para os FLAs constituídos de areia com granulometria de 0,30 a 0,59 mm (tipo 1), em que a melhor dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ foi de 20 mg/L e o pH de coagulação de 6,82.

Tabela 5.3 – Resultados dos ensaios em reatores estáticos para a escolha do tipo de areia utilizada nos filtros de laboratório de areia (FLAs).

AREIA TIPO 1 (0,30 a 0,59 mm)										
Jarro / FLA	D _{SA} (mg/L)	pH de coagulação	Cor aparente remanescente nos FLAs (uH)				Turbidez remanescente nos FLAs (uT)			
			Tempo de Filtração (min)				Tempo de Filtração (min)			
			10	20	30	40	10	20	30	40
1	5	6,87	130	130	135	133	7,7	7,9	7,9	7,7
2	10	6,86	54	35	36	34	2,8	1,9	1,8	1,7
3	15	6,85	3	< 1	6	< 1	0,5	0,3	0,3	0,2
4	20	6,82	< 1	< 1	< 1	< 1	0,3	0,3	0,2	0,2
5	25	6,63	19	4	< 1	< 1	1,3	0,4	0,2	0,2
6	30	6,43	45	52	52	38	3,2	3,2	2,9	2,0
AREIA TIPO 2 (0,42 a 0,84 mm)										
1	5	6,99	143	148	145	148	8,7	8,8	8,3	8,2
2	10	6,84	63	61	61	61	2,8	3,0	3,0	2,7
3	15	6,85	6	6	9	10	0,6	0,3	0,4	0,3
4	20	6,70	2	4	6	7	0,3	0,3	0,2	0,2
5	25	6,63	19	6	6	6	1,1	0,3	0,2	0,2
6	30	6,45	69	59	48	53	4,2	3,2	2,4	2,4
AREIA TIPO 3 (0,59 a 1,41 mm)										
1	5	6,87	153	142	141	143	9,3	8,5	8,4	8,5
2	10	6,82	76	72	71	71	3,6	3,5	3,6	3,5
3	15	6,84	18	10	7	6	1,0	0,7	0,5	0,5
4	20	6,75	10	3	2	< 1	0,7	0,3	0,4	0,3
5	25	6,57	53	12	5	3	3,0	0,8	0,5	0,3
6	30	6,36	112	96	90	81	6,8	5,8	5,4	4,6

D_{SA} = dosagem de sulfato de alumínio; FLA = filtro de laboratório de areia.

A partir deste ensaio, a areia utilizada nos FLAs quando realizavam-se ensaios em reatores estáticos, ou quando verificavam-se as condições de coagulação na instalação piloto com desvio da água coagulada para o FLA, era do Tipo 1 com faixa granulométrica de 0,30 a 0,59 mm. Os procedimentos de operação e lavagem dos FLAs utilizados neste trabalho foram os recomendados por GUSMÃO (2001). A espessura da camada de areia e a taxa de filtração utilizada foram de 15 cm e 600 m³/m²d, respectivamente. A lavagem do FLA era feita com introdução de água no sentido ascensional durante o tempo necessário para a limpeza do meio filtrante.

5.3.2 Determinação da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação e Definição das Condições de Mistura Rápida

Fixando-se a dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O em 20 mg/L e variando-se o pH de coagulação com solução de HCl 0,07 M, obteve-se o pH de coagulação para a melhor remoção de cor aparente e turbidez, que foi de 5,16, conforme resultados apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados dos ensaios em reatores estáticos com variação do volume de HCl (0,07 M) adicionado em cada jarro para a escolha do pH de coagulação.

Jarro / FLA	Volume HCl (mL)	pH de coagulação	Cor aparente remanescente nos FLAs (uH)				Turbidez remanescente nos FLAs (uT)			
			Tempo de filtração (min)				Tempo de filtração (min)			
			10	20	30	40	10	20	30	40
1	7,5	6,48	23	21	21	13	1,4	1,2	1,1	0,9
2	12,5	5,93	76	83	97	99	3,8	4,1	4,4	4,6
3	17,5	5,49	16	17	19	16	0,6	0,6	0,7	0,7
4	22,5	5,16	2	5	4	1	0,2	0,1	0,2	0,2
5	27,5	4,71	5	6	7	4	0,2	0,1	0,1	0,2
6	32,5	4,40	6	8	6	4	0,3	0,2	0,2	0,2

É importante salientar que este ensaio para a determinação da dosagem de coagulante e pH de coagulação foi realizado com a água de estudo em condições controladas de temperatura. No entanto, devido ao período de execução deste ensaio, a água de estudo apresentou características diferentes das observadas durante os ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo, havendo alterações na dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$. Na maioria dos ensaios na instalação piloto correspondentes à Fase 1, a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ foi de aproximadamente 8 mg/L, enquanto que na Fase 2 a variação da dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ foi de 3,5 a 7 mg/L.

Para a escolha do gradiente de velocidade de mistura rápida (G_{mr}), fixou-se a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ em 20 mg/L e manteve-se o pH de coagulação entre 5 e 5,6. Os resultados apresentados na Tabela 5.5 indicaram que o gradiente de velocidade de 750 s^{-1} foi o que apresentou menor variação na eficiência de remoção de cor aparente, com a variação do tempo de mistura rápida.

Tabela 5.5 – Resultados dos ensaios em reatores estáticos para a escolha do gradiente de velocidade de mistura rápida (G_{mr}).

$G_{mr} = 500 \text{ s}^{-1}$										
Jarro / FLA	Tempo de mistura (s)	pH de coagulação	Cor remanescente nos FLAs (uH)				Turbidez remanescente nos FLAs (uT)			
			Tempo de filtração (min)				Tempo de filtração (min)			
			10	20	30	40	10	20	30	40
1	15	5,50	4	2	3	2	0,4	0,3	0,3	0,2
2	20	5,53	3	2	2	2	0,3	0,3	0,2	0,2
3	25	5,54	2	2	3	2	0,3	0,3	0,2	0,3
4	30	5,57	3	2	3	2	0,3	0,3	0,2	0,3
5	35	5,52	6	3	3	2	0,4	0,3	0,3	0,2
6	40	5,55	3	2	2	2	0,3	0,2	0,3	0,2
$G_{mr} = 750 \text{ s}^{-1}$										
1	15	5,59	2	1	< 1	< 1	0,3	0,3	0,3	0,3
2	20	5,50	3	1	< 1	< 1	0,3	0,3	0,3	0,3
3	25	5,47	3	2	< 1	< 1	0,3	0,3	0,3	0,3
4	30	5,46	2	1	< 1	< 1	0,3	0,4	0,3	0,4
5	35	5,48	3	1	< 1	< 1	0,3	0,3	0,3	0,3
6	40	5,50	4	1	< 1	< 1	0,3	0,3	0,4	0,4
$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$										
1	15	5,49	5	2	1	1	0,4	0,4	0,3	0,4
2	20	5,46	2	2	1	1	0,4	0,5	0,3	0,4
3	25	5,52	4	2	1	2	0,4	0,4	0,3	0,5
4	30	5,50	2	2	1	1	0,5	0,4	0,3	0,4
5	35	5,47	2	2	1	1	0,5	0,4	0,4	0,3
6	40	5,51	2	2	1	1	0,4	0,4	0,3	0,4

5.4 Ensaios na Instalação Piloto em Escoamento Contínuo

Os resultados obtidos nesta etapa do trabalho experimental estão apresentados nos anexos B e C, estando no ANEXO B as tabelas com os resultados dos ensaios correspondentes à Fase 1, e no ANEXO C, as tabelas com os resultados dos ensaios correspondentes à Fase 2.

5.4.1 Características da Água de Estudo

Na Tabela 5.6 estão as características da água bruta e da água de estudo durante a execução dos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo realizados nos períodos de julho a outubro de 2002, Fase 1, e março a outubro de 2003, Fase 2.

Tabela 5.6 – Características da água bruta e da água de estudo durante a execução dos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo.

Características	Água Bruta		Água de Estudo	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
pH	6,22 a 7,63	6,34 a 7,41	6,14 a 7,45	6,38 a 7,27
Temperatura (°C)	17 a 26	16 a 25,5	17 a 26	16 a 25,5
Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	6,60 a 19,58	4,84 a 16,32 ^(**)	7,04 a 19,36	5,50 a 16,56 ^(**)
Cor verdadeira (uH)	10 a 33	12 a 31	76 a 133 ^(*)	83 a 121
Cor aparente (uH)	80 a 238 ^(*)	73 a 184	168 a 366 ^(*)	155 a 262
Turbidez (uT)	8,8 a 48,9 ^(*)	7,0 a 28,5	8,8 a 48,9 ^(*)	7,0 a 28,5
Absorvância 254 nm (cm ⁻¹)	0,045 a 0,102	0,042 a 0,107	0,144 a 0,225	0,166 a 0,230
COD (mg/L)	2,2 a 4,0 ^(*)	1,5 a 4,0	2,8 a 5,4 ^(*)	2,2 a 6,6 ^(***)

^(*) Valores observados devido a ocorrência de chuva durante o ensaio 1. ^(**) Valores observados no ensaio com pré-oxidação com NaClO. ^(***) Valores observados no ensaio com Cl₂ (tricloro-s-triazina-triona).

Observando-se a Tabela 5.6 nota-se que praticamente não ocorreram mudanças no pH da água de estudo comparada à água bruta. A temperatura variou de 16 a 26°C, esta variação foi decorrente aos diferentes períodos em que foram executados os ensaios na instalação piloto. Observam-se grandes variações na alcalinidade da água bruta e água de estudo. A água bruta apresentou cor verdadeira relativamente baixa (10 a 33 uH). A cor verdadeira da água de estudo apresentou-se fora da faixa proposta (90 a 110 uH), no entanto foram poucos os valores observados que se afastaram desta faixa, e isto ocorreu provavelmente devido à frequência de amostragem para as medidas de cor (2 horas) e a inexperiência durante os primeiros ensaios, já que na Fase 2 a variação foi menor (83 a 121 uH).

Com relação à cor aparente e à turbidez da água bruta, foram observados valores altos (238 uH e 48,9 uT) pela ocorrência de chuva forte durante o ensaio 1. Os valores de absorvância 254 nm e COD da água de estudo mostram o impacto da adição do extrato de substâncias húmicas na água bruta, caracterizado pelo aumento da concentração de matéria orgânica.

5.4.2 Ensaios sem pré-oxidação e com variação de taxas de filtração no FAAG e FRD

A duração da carreira de filtração na maioria dos ensaios foi de 72 horas com exceção dos ensaios 1 e 4 que tiveram duração de 50 e 70 horas, respectivamente.

Embora a melhor dosagem de coagulante obtida nos ensaios em reatores estáticos tenha sido 20 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$, a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo (Fase 1) foi da ordem de 8 mg/L e o pH de coagulação esteve entre 4,7 e 5,1, com exceção do ensaio 4, em que a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ foi de 10 mg/L e o pH de coagulação esteve entre 4,6 e 5,5. Esta variação na dosagem de coagulante foi provavelmente devido às mudanças nas características da água bruta, principalmente turbidez, pH e alcalinidade, decorrentes da época do ano em que foram realizados os ensaios.

Em todas as figuras correspondentes à evolução da perda de carga e à variação de turbidez foram adotadas as seguintes abreviações: DFI_{PC} = DFI executada quando a perda de carga atingiu o valor obtido conforme apresentado no item 4.3.1.3; DFI_{C50} = DFI executada quando a cor aparente do efluente do FAAG apresentou valor $\geq 50 \text{ uH}$; $\text{Lav.FRD}_{\text{PC}}$ = lavagem do filtro rápido descendente quando atingiu a perda de carga limite; $\text{Lav.FRD}_{\text{transpasse}}$ = lavagem do filtro rápido descendente quando ocorreu o transpasse.

5.4.2.1 Ensaio 1 (FAAG = 240 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d)

Neste ensaio, as taxas de filtração médias no FAAG e no FRD foram de 243 e 289 m³/m²d respectivamente, conforme Tabela B 1.4 do ANEXO B. Esta variação nas taxas de filtração ocorreu devido aos ajustes de vazões feitos durante as 50 horas de funcionamento dos filtros. O resumo dos resultados obtidos no ensaio 1 estão apresentados na Tabela 5.7 e nas Tabelas B 1.1 a B 1.4 do ANEXO B estão os dados coletados durante o ensaio conforme a frequência de coleta e análise das amostras.

Os resultados obtidos no ensaio 1 foram determinantes para limitar a taxa de filtração utilizada no FAAG. A evolução da perda de carga e a quantidade de DFIs executadas quando a cor aparente no efluente do FAAG apresentava valor $\geq 50 \text{ uH}$ durante o ensaio demonstraram que a taxa de filtração de 280 m³/m²d aplicada no FAAG foi muito alta, pois a cada 2 horas o efluente do FAAG apresentava cor aparente $\geq 50 \text{ uH}$ (ver Figura 5.4). Nos ensaios subseqüentes foram adotadas taxas de filtração menores no FAAG (120 e 180 m³/m²d).

Nas Figuras B 1.1 e B 1.2 do ANEXO B estão apresentadas as perdas de carga na camada suporte e camada de areia grossa do FAAG e as perdas de carga

ao longo do meio filtrante no FRD, respectivamente. Observa-se na Figura B 1.1 que ocorre maior retenção de partículas na camada suporte do FAAG, com recuperação da carga hidráulica disponível após a execução das DFIs. No FRD a retenção de partículas é mais intensa na subcamada superior, observando-se na Figura B 1.2 a recuperação da carga hidráulica disponível após a lavagem do filtro. As subcamadas intermediária e inferior do FRD apresentaram perda de carga praticamente constante.

Tabela 5.7 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 1 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

ENSAIO 1				
Taxas de filtração médias	FAAG = 243 m ³ /m ² d e FRD = 289 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,80 a 6,03; temperatura = 18,5 a 22,0° C			
Duração da carreira (h)	50			
Produção Efetiva (%)	93,4			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,28 a 6,95	6,31 a 7,05	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,6 a 10,6	8,6 a 10,6	NR	NR
Cor aparente (uH)	80 a 238	168 a 366	< 1 a 59	< 1 a 4
Cor verdadeira (uH)	12 a 29	76 a 133	NR	NR
Turbidez (uT)	8,8 a 48,9 ^(*)	NR	0,02 a 1,0	< 0,01 a 0,6
Absorvância 254 nm	0,045 a 0,099	0,144 a 0,225	0,008 a 0,023	0,007 a 0,032
COD (mg/L)	2,6 a 4,0	3,0 a 5,4	2,4 a 4,9	0,9 a 4,0
Alumínio residual (mg/L)	NR	NR	NR	NR

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

A cor aparente no efluente do FRD se manteve menor que 1,0 uH durante a maior parte do tempo de funcionamento do filtro. Na Figura 5.5 pode-se observar a variação da cor aparente do efluente do FAAG decorrente da execução consecutiva de DFIs no FAAG. Da mesma forma observam-se na Figura 5.6 as variações na turbidez do efluente do FAAG, sendo que no efluente do FRD a turbidez foi ≤ 1 uT, com exceção da ocorrência do transpasse com aproximadamente 35 horas de funcionamento, sendo necessária a lavagem do filtro.

Na Figura 5.6 observa-se o pico de turbidez no efluente do FRD próximo das 25 horas de funcionamento, decorrente do aumento da perda de carga no FRD, ocasião em que a duração da carreira de filtração no FRD encerrava por atingir a perda de carga limite (2,10 m), conforme apresentado na Figura 5.4.

Nas Figuras 5.7 e 5.8 estão representadas as variações da absorvância 254 nm e do COD, que foram os métodos indiretos utilizados para avaliar a eficiência de remoção de substâncias húmicas da água de estudo durante os ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo.

Figura 5.4 – Evolução da perda de carga no FAAG (240 m³/m²d) e FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 1, para T = 20°C, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 1.3 do ANEXO B.

Figura 5.5 – Variação de cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 12 a 29 uH e na AE de 76 a 133 uH, durante o ensaio 1 (FAAG = 240 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela B 1.1 do ANEXO B.

Figura 5.6 – Variação de turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).

Figura 5.7 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 1.2 do ANEXO B.

Figura 5.8 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 1.2 do ANEXO B.

A remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm variou de 88,9 a 95,6% no FAAG e de 84,5 a 96,2% no FRD, podendo ser observado na Figura 5.7. Com relação ao COD, observa-se na Figura 5.8 que a eficiência de remoção de COD não foi tão significativa comparada à absorvância 254 nm. As variações de remoção foram de 9,3 a 32,2% no FAAG e de 11,5 a 81,8% no FRD.

5.4.2.2 Ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

As taxas de filtração médias neste ensaio foram de 183 e $210 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e no FRD respectivamente, conforme apresentado na Tabela B 2.4 do ANEXO B. O resumo dos resultados obtidos neste ensaio está apresentado na Tabela 5.8 e nas Tabelas B 2.1 a B 2.4 do ANEXO B estão todos os dados coletados durante o ensaio 2.

Na Figura 5.9 está a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C , observam-se as DFIs executadas no FAAG, sendo realizada uma lavagem no FRD por ter atingido a perda de carga limite, com aproximadamente 52 horas de funcionamento, coincidentemente a carreira de filtração do FRD foi novamente encerrada por perda de carga com 72 horas de funcionamento, com o encerramento do ensaio. Na Figura B 2.1 do ANEXO B estão

apresentadas as perdas de carga na camada suporte e camada de areia grossa do FAAG e na Figura B 2.2 do ANEXO B estão as perdas de carga ao longo do meio filtrante do FRD. A recuperação da carga hidráulica disponível varia após a execução das DFI's no FAAG.

Tabela 5.8 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 2 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

	ENSAIO 2			
Taxas de filtração médias	FAAG = 183 m ³ /m ² d e FRD = 210 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,91 a 5,11; temperatura = 19,0 a 22,5° C			
Duração da carreira (h)	72			
Produção Efetiva (%)	94,1			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,23 ^(*) a 6,56	6,28 a 7,25	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	7,0 a 10,8	7,0 a 11,4	NR	NR
Cor aparente (uH)	88 ^(*) a 127	178 a 210	< 1 a 51	< 1 a 4
Cor verdadeira (uH)	10 a 26	78 a 121	NR	NR
Turbidez (uT)	10,0 a 17,5	NR	< 0,01 a 20,0	< 0,01 a 0,7
Absorvância 254 nm	0,051 a 0,077 ^(*)	0,174 a 0,203	0,001 a 0,031 ^(*)	0,003 a 0,030 ^(*)
COD (mg/L)	2,3 a 3,1	4,1 a 4,6 ^(*)	2,0 a 3,4 ^(*)	2,1 a 3,1 ^(*)
Alumínio residual (mg/L)	NR	NR	NR	NR

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Figura 5.9 – Evolução da perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e FRD (200 m³/m²d) durante o ensaio 2, para T = 20°C, com execução de DFI's no FAAG. Fonte: Tabela B 2.3 no ANEXO B.

A cor aparente no efluente do FRD foi, na maior parte do tempo, menor que 1,0 uH, com exceção dos tempos de 21 e 23 horas de funcionamento em que apresentou valores de 3,0 e 4,0 uH. Na Figura 5.10 observam-se as variações na cor aparente do efluente do FAAG, decorrentes da execução das DFIs, as quais promovem a recuperação da qualidade da água com redução da cor e da turbidez.

Na Figura 5.11 está apresentada a variação de turbidez durante o ensaio 2, notam-se os picos de turbidez no FAAG até o momento em que o efluente do FAAG atingia cor aparente ≥ 50 uH e então executavam-se as DFIs. Observa-se o pico de turbidez no FRD, decorrente do aumento da perda de carga, encerrando a carreira de filtração em aproximadamente 52 horas de funcionamento do filtro, conforme mostrado na Figura 5.9.

Nas Figuras 5.12 e 5.13 estão representadas as variações da absorvância 254 nm e do COD, que foram utilizados como métodos indiretos para avaliar a eficiência de remoção de substâncias húmicas da água durante os ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo.

A remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm variou de 83,2 a 99,4% no FAAG e de 83,7 a 98,3% no FRD, podendo ser observado na Figura 5.12. Com relação ao COD, observa-se na Figura 5.13 que a eficiência na remoção de COD foi menor que a comparada com a absorvância 254 nm. As variações de remoção foram de 26,0 a 55,4% no FAAG e de 33,1 a 53,8% no FRD.

Figura 5.10 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 10 a 26 uH e na AE de 78 a 121 uH, durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.1 do ANEXO B.

Figura 5.11 – Variação de turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).

Figura 5.12 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.2 do ANEXO B.

Figura 5.13 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.2 do ANEXO B.

5.4.2.3 Ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

As taxas de filtração médias obtidas neste ensaio foram de 180 e 247 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e no FRD, respectivamente (ver Tabela B 3.4 do ANEXO B). O resumo dos resultados obtidos neste ensaio está apresentado na Tabela 5.9 e nas

Tabelas B 3.1 a B 3.4 do ANEXO B estão todos os dados coletados durante o ensaio 3.

Na Figura 5.14 está a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C, observam-se as DFIs executadas no FAAG, sendo realizadas três lavagens no FRD, duas por ter atingido a perda de carga limite, com aproximadamente 39 e 51 horas de funcionamento. A carreira de filtração do FRD foi encerrada por transpasse quando completava 63 horas de funcionamento, em que procedeu-se a lavagem de filtro e deu-se sequência ao ensaio.

Nas Figuras B 3.1 e B 3.2 do ANEXO B estão as perdas de carga obtidas na camada suporte e camada de areia grossa do FAAG e ao longo do meio filtrante do FRD. Ocorreu maior retenção de impurezas na camada suporte do FAAG e na subcamada superior do FRD.

Tabela 5.9 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 3 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

ENSAIO 3				
Taxas de filtração médias	FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 247 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,90 a 5,05; temperatura = 19,0 a 22,5° C			
Duração da carreira (h)	72			
Produção Efetiva (%)	93,9			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,38 a 6,75	6,32 a 6,82	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	7,70 a 11,22	7,46 a 11,44	NR	NR
Cor aparente (uH)	95 a 128	174 a 226	< 1 a 69	< 1 a 19 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	21 a 33	83 a 120	NR	NR
Turbidez (uT)	9,8 a 15,5	NR	< 0,01 a 29,7	< 0,01 a 1,0
Absorvância 254 nm	0,066 a 0,081	0,164 a 0,208	0,008 a 0,030	0,008 a 0,032
COD (mg/L)	2,6 a 3,2 ^(*)	4,2 a 5,0	2,7 a 4,3 ^(*)	2,8 a 4,6 ^(*)
Alumínio residual (mg/L)	NR	NR	NR	NR

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Figura 5.14 – Evolução da perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e FRD (240 m³/m²d) durante o ensaio 3, para T = 20°C, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 3.3 do ANEXO B.

A cor aparente no efluente do FRD foi, na maior parte do tempo, menor que 1,0 uH, conforme mostra a Figura 5.15. Observam-se as variações na cor aparente do efluente do FAAG, decorrentes da execução das DFIs, as quais promoviam a recuperação da qualidade da água com redução da cor aparente e da turbidez.

Na Figura 5.16 está apresentada a variação de turbidez durante o ensaio 3, notam-se os picos de turbidez no FAAG até que fossem executadas as DFIs por atingir cor aparente ≥ 50 uH. Observam-se picos de turbidez no FRD, decorrentes do aumento da perda de carga e pela ocorrência do transpasse, encerrando a carreira de filtração para a lavagem do filtro, conforme mostrado nas Figuras 5.14 e 5.16.

Nas Figuras 5.17 e 5.18 estão representadas as variações da absorvância 254 nm e do COD durante o ensaio 3. A remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm variou de 85,6 a 95,8% no FAAG e de 82,1 a 95,6% no FRD, podendo ser observado na Figura 5.17. Com relação ao COD, observa-se na Figura 5.18 que a eficiência na remoção de COD foi menor comparada com a absorvância 254 nm. As variações de remoção foram de 32,2 a 41,3% no FAAG e de 20,8 a 45,0% no FRD.

Figura 5.15 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 21 a 33 uH e na AE de 83 a 120 uH, durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 3.1 do ANEXO B.

Figura 5.16 – Variação de turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).

Figura 5.17 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela 3.2 do ANEXO B.

Figura 5.18 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 3.2 do ANEXO B.

5.4.2.4 Ensaio 4 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

Neste ensaio as condições de coagulação foram diferentes dos demais ensaios, com dosagem de coagulante de aproximadamente 10 mg/L e pH de coagulação entre 4,64 a 5,49, o que contribuiu para que a duração da carreira de filtração no FAAG fosse de 70 horas, com o encerramento do ensaio.

As taxas de filtração médias no FAAG e no FRD foram de 176 e 285 m³/m²d, respectivamente, decorrentes das variações de vazões nos filtros (ver Tabela B 4.4 do ANEXO B). O resumo dos resultados obtidos neste ensaio está apresentado na Tabela 5.10 e nas Tabelas B 4.1 a B 4.4 do ANEXO B estão todos os dados coletados durante o ensaio 4.

Na Figura 5.19 está a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C, observam-se as DFIs executadas no FAAG, sendo realizadas três lavagens no FRD, duas por ter atingido a perda de carga limite, com aproximadamente 57 e 69 horas de funcionamento, e uma por transpasse com o encerramento da carreira de filtração do FRD com 63 horas de funcionamento.

Nas Figuras B 4.1 e B 4.2 do ANEXO B estão apresentadas as perdas de carga na camada suporte e camada de areia grossa do FAAG e ao longo do meio filtrante do FRD. Observa-se a retenção de impurezas na camada suporte do FAAG e na subcamada superior do FRD, com destaque para a recuperação da carga hidráulica disponível após a execução das DFIs no FAAG e após as lavagens do FRD.

Tabela 5.10 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 4 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

ENSAIO 4				
Taxas de filtração médias	FAAG = 176 m ³ /m ² d e FRD = 285 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 10 mg/L; pH de coagulação = 4,64 a 5,49; temperatura = 18,0 a 22,0° C			
Duração da carreira (h)	70			
Produção Efetiva (%)	93,9			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,31 a 7,63	6,33 a 7,45	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	8,1 a 19,6	9,2 a 19,4	NR	NR
Cor aparente (uH)	84 a 116	175 a 219	< 1 a 43	< 1 a 5
Cor verdadeira (uH)	14 a 25	82 a 112	NR	NR
Turbidez (uT)	10,4 a 14,3	NR	0,2 a 9,0	0,1 a 0,5
Absorvância 254 nm	NR	0,158 a 0,198	0,010 a 0,034	0,005 a 0,021
COD (mg/L)	2,2 a 3,1	3,1 ^(*) a 4,2	2,4 a 3,3	2,2 a 3,2
Alumínio residual (mg/L)	NR	NR	NR	NR

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Figura 5.19 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 4, para $T = 20^\circ\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 4.3 do ANEXO B.

A cor aparente no efluente do FRD foi, na maior parte do tempo, menor que $1,0 \text{ uH}$, conforme mostra a Figura 5.20. Observa-se que a partir de 51 horas de funcionamento ocorreu o início do transpasso no FAAG, aumentando gradativamente a cor aparente no efluente do FAAG até 43 uH , não sendo necessárias a execução de DFIs por atingir valores de cor aparente $\geq 50 \text{ uH}$ durante todo o ensaio. As DFIs no FAAG foram executadas somente com o critério da perda de carga, como mostra a Figura 5.19.

Neste ensaio ocorreram problemas na placa de aquisição de dados dos turbidímetros de escoamento contínuo, e as medidas de turbidez foram feitas em turbidímetro de bancada, da marca HACH, modelo 2100 P, cujos resultados estão apresentados na Tabela B 4.1 do ANEXO B.

Nas Figuras 5.21 e 5.22 estão representadas as variações da absorvância 254 nm e do COD durante o ensaio 4. A remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm variou de $80,8$ a $94,4\%$ no FAAG e de $88,5$ a $97,4\%$ no FRD, podendo ser observado na Figura 5.21. Neste ensaio a absorvância 254 nm da AB não foi medida. Com relação ao COD, observa-se na Figura 5.22 que a eficiência na remoção de COD foi menor comparada com a absorvância 254 nm . As variações de remoção foram de $11,6$ a $39,4\%$ no FAAG e de $14,0$ a $44,3\%$ no FRD.

Figura 5.20 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 14 a 25 uH e na AE de 82 a 112 uH, durante o ensaio 4 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.1 do ANEXO B.

Figura 5.21 – Variação de absorvância 254 nm na AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.2 do ANEXO B.

Figura 5.22 – Variação de COD da AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.2 do ANEXO B.

5.4.2.5 Ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

Neste ensaio as taxas de filtração médias foram de 124 e $165 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e no FRD, respectivamente (ver Tabela B 5.4 do ANEXO B). O resumo dos resultados obtidos neste ensaio está apresentado na Tabela 5.11 e nas Tabelas B 5.1 a B 5.4 do ANEXO B estão todos os dados coletados durante o ensaio 5.

Na Figura 5.23 está a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C , foram executadas quatro DFIs no FAAG pelo critério de perda de carga, não sendo necessárias lavagens no FRD durante as 72 horas de funcionamento. A perda de carga no FRD permaneceu praticamente constante durante todo o ensaio.

Nas Figuras B 5.1 e B 5.2 do ANEXO B estão apresentadas as perdas de carga na camada suporte e camada de areia grossa do FAAG e ao longo do meio filtrante do FRD.

Tabela 5.11 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 5 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

	ENSAIO 5			
Taxas de filtração médias	FAAG = 124 m ³ /m ² d e FRD = 165 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,67 a 5,06; temperatura = 22,5 a 26,0° C			
Duração da carreira (h)	72			
Produção Efetiva (%)	93,6			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,68 a 6,91	6,62 a 6,94	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	7,0 a 12,3	8,4 a 12,1	NR	NR
Cor aparente (uH)	119 a 146	201 a 247	< 1 a 19 ^(*)	< 1 a 3 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	18 a 28	85 a 116	NR	NR
Turbidez (uT)	11,6 a 22,8	NR	< 0,01 a 1,1	< 0,01 a 0,6
Absorvância 254 nm	0,063 a 0,078	0,177 a 0,211 ^(*)	0,008 a 0,023 ^(*)	0,008 a 0,023 ^(*)
COD (mg/L)	2,0 a 2,4	2,6 a 3,9	1,8 a 2,5	1,8 a 2,4
Alumínio residual (mg/L)	0,01 a 0,05	0,01 a 0,07	0,46 a 0,60	0,10 a 0,21

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

O efluente do FAAG apresentou cor aparente ≤ 1 uH na maior parte do tempo, sendo observado o valor de 19,0 uH no início do funcionamento dos filtros. No efluente do FRD a cor aparente também foi ≤ 1 uH, como mostra a Figura 5.24.

Na Figura 5.25 está mostrada a variação de turbidez na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD. Observa-se que a turbidez no efluente do FAAG apresentou valores ≤ 1 uT durante todo o ensaio, sem a necessidade do FRD. Com os resultados obtidos neste ensaio, as taxas de filtração no FRD foram aumentadas para 200 e 240 m³/m²d nos ensaios 6 e 7 respectivamente.

Nas Figuras 5.26 e 5.27 estão representados os resultados de absorvância 254 nm e de COD obtidos no ensaio 5. A eficiência de remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm variou de 87,5 a 95,6% no FAAG e de 89,1 a 95,6% no FRD. Com relação ao COD, a variação de remoção foi de 26,6 a 46,3% no FAAG e de 16,0 a 48,3% no FRD.

Figura 5.23 – Evolução da perda de carga no FAAG ($120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 5, para $T = 20^{\circ}\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 5.3 do ANEXO B.

Figura 5.24 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 18 a 28 uH e na AE de 85 a 116 uH, durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.1 do ANEXO B.

Figura 5.25 – Variação da turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).

Figura 5.26 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.2 do ANEXO B.

Figura 5.27 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.2 do ANEXO B.

5.4.2.6 Ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

As taxas de filtração médias obtidas neste ensaio foram de 124 e 205 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e no FRD respectivamente (ver Tabela B 6.4 do ANEXO B). O resumo dos resultados obtidos neste ensaio está apresentado na Tabela 5.12 e nas Tabelas B 6.1 a B 6.4 do ANEXO B estão todos os dados coletados durante o ensaio 6.

Na Figura 5.28 está a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C. Foram executadas seis DFIs no FAAG, a primeira DFI foi executada pelo critério de perda de carga e as demais pelo efluente do FAAG apresentar valores de cor aparente $\geq 50 \text{ uH}$, e uma lavagem no FRD por perda de carga após 54 horas de funcionamento.

Na Figura B 5.1 do ANEXO B estão apresentadas as perdas de carga na camada suporte e na camada de areia grossa do FAAG e na Figura B 5.2 do ANEXO B estão apresentadas as perdas de carga ao longo do meio filtrante no FRD.

Tabela 5.12 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 6 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

ENSAIO 6				
Taxas de filtração	FAAG = 124 m ³ /m ² d e FRD = 205 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≈ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,86 a 5,10; temperatura = 17,0 a 20,5° C			
Duração da carreira (h)	72			
Produção Efetiva (%)	94,8			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,22 a 6,51	6,14 a 6,67	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,8 a 9,2	7,3 a 10,8	NR	NR
Cor aparente (uH)	90 a 133	174 a 242	< 1 a 77	< 1 a 5 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	14 a 33	76 a 119	NR	NR
Turbidez (uT)	9,8 a 22,6	NR	< 0,01 a 18,5	< 0,01 a 0,2
Absorvância 254 nm	0,064 a 0,102	0,181 a 0,209	0,007 a 0,019	0,011 a 0,021 ^(*)
COD (mg/L)	2,6 a 3,3 ^(*)	4,0 a 5,0	2,2 a 3,0 ^(*)	2,2 a 3,3 ^(*)
Alumínio residual (mg/L)	0,02 a 0,04	0,02 a 0,04	NR	0,17 a 0,25

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Figura 5.28 – Evolução da perda de carga no FAAG (120 m³/m²d) e FRD (200 m³/m²d) durante o ensaio 6, para T = 20°C, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 6.3 do ANEXO B.

Nas Figuras 5.29 e 5.30 está mostrada a variação de cor aparente e de turbidez, respectivamente, durante o ensaio 6. Na Figura 5.29 observam-se os picos de cor aparente no efluente do FAAG, até atingir valores ≥ 50 uH, quando eram executadas as DFIs. A cor aparente do efluente do FRD permaneceu ≤ 1 uH, com exceção do início do ensaio em que o valor medido foi de 5,0 uH.

Figura 5.29 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 14 a 33 uH e na AE de 76 a 119 uH, durante o ensaio 6 (FAAG = 120 m³/m²d e FRD = 200 m³/m²d). Fonte: Tabela B 6.1 do ANEXO B.

Com relação à turbidez, observam-se na Figura 5.30 os picos de turbidez no efluente do FAAG, com o início do transpasse antes de cada DFI. A turbidez do efluente do FRD manteve-se abaixo de 1 uT durante todo o ensaio.

Nas Figuras 5.31 e 5.32 estão representadas as variações de absorvância 254 nm e de COD. A eficiência de remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm variou de 87,5 a 95,6% no FAAG e de 89,1 a 95,6% no FRD. Com relação ao COD, a variação foi de 35 a 51,2% no FAAG e de 28,7 a 52,4% no FRD.

Figura 5.30 – Variação da turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).

Figura 5.31 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 6.2 do ANEXO B.

Figura 5.32 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 6.2 do ANEXO B.

5.4.2.7 Ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

As taxas de filtração médias obtidas neste ensaio foram de 126 e 244 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e no FRD respectivamente (ver Tabela B 7.4 do ANEXO B). O resumo dos resultados obtidos neste ensaio está apresentado na Tabela 5.13 e nas Tabelas B 7.1 a B 7.4 do ANEXO B estão todos os dados coletados durante o ensaio 7.

Na Figura 5.33 está a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C , foram executadas quatro DFI's no FAAG, a primeira DFI foi executada pelo critério de perda de carga e as demais pelo efluente do FAAG ter apresentado cor aparente $\geq 50 \text{ uH}$, e duas lavagens no FRD, uma por perda de carga com 47 horas de funcionamento e outra por transpasse, após 62 horas de funcionamento.

Na Figura B 7.1 do ANEXO B estão apresentadas as perdas de carga na camada suporte e na camada de areia grossa do FAAG e na Figura B 7.2 do ANEXO B estão as perdas de carga ao longo do meio filtrante do FRD.

A cor aparente do efluente do FRD manteve-se menor que 1 uH na maior parte do tempo. Na Figura 5.34 observa-se a variação da cor aparente do efluente do FAAG, decorrente da execução das DFI's, com recuperação da qualidade da água do FAAG após as DFI's.

Quanto à turbidez, observa-se na Figura 5.35 que o efluente do FRD apresentou turbidez menor que 1 uT, com exceção de picos de turbidez observados antes da lavagem do filtro. O primeiro pico de turbidez foi devido ao aumento da perda de carga pela retenção das impurezas ao longo do meio filtrante, o segundo pico de turbidez foi devido à ocorrência de transpasse no filtro, necessitando sua lavagem. No FAAG ocorreram picos de turbidez antes das DFIs e após as DFIs observou-se a recuperação da qualidade da água.

Tabela 5.13 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 7 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

ENSAIO 7				
Taxas de filtração médias	FAAG = 126 m ³ /m ² d e FRD = 244 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,80 a 5,13; temperatura = 20,5 a 24,0° C			
Duração da carreira (h)	72			
Produção Efetiva (%)	95,4			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,22 a 6,67	6,38 ^(*) a 6,84	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	8,1 a 10,1	8,4 a 10,3	NR	NR
Cor aparente (uH)	114 a 153	196 a 231	< 1 a 80	< 1 a 7 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	15 a 23	86 a 120	NR	NR
Turbidez (uT)	11,2 a 17,8	NR	< 0,01 a 41,8	< 0,01 a 1,2
Absorvância 254 nm	0,059 a 0,073	0,172 a 0,205	0,008 a 0,021	0,014 a 0,040 ^(*)
COD (mg/L)	2,4 a 3,2	2,8 a 4,2 ^(*)	1,9 a 2,4	1,8 a 2,8 ^(*)
Alumínio residual (mg/L)	0,02 a 0,07	0,02 a 0,06	0,81 a 0,84	0,51

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Figura 5.33 – Evolução da perda de carga no FAAG ($120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 7, para $T = 20^{\circ}\text{C}$, com execução de DFIs no FAAG. Fonte: Tabela B 7.3 do ANEXO B.

Figura 5.34 – Variação da cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD, e cor verdadeira na AB de 15 a 23 uH e na AE de 86 a 120 uH, durante o ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela 7.1 do ANEXO B.

Figura 5.35 – Variação da turbidez na AB e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$).

Nas Figuras 5.36 e 5.37 estão os resultados de absorvância 254 nm e COD, respectivamente, obtidos durante o ensaio 7. A eficiência de remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm variou de 88,6 a 96,1% no FAAG e de 79,4 a 93,1% no FRD. Com relação ao COD, a eficiência de remoção foi de 14,2 a 53,6% no FAAG e de 11,7 a 53,7% no FRD.

Figura 5.36 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 7.2 do ANEXO B.

Figura 5.37 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 (FAAG = 120 m³/m²d e FRD = 240 m³/m²d). Fonte: Tabela B 7.2 do ANEXO B.

Nas Tabelas 5.14 e 5.15, estão apresentados o resumo geral dos resultados obtidos em todos os ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo, correspondentes à Fase 1 da 3ª etapa do trabalho experimental.

Nos ensaios em que foram realizadas as análises de alumínio residual, podem ser observados os elevados valores de alumínio no efluente do FRD (> 0,2 mg/L), devido à coagulação ocorrer em pH $\cong$ 5,0 favorecendo melhor eficiência de remoção de substâncias húmicas, provavelmente com a formação de complexos solúveis de substância húmica e alumínio. GREGOR *et al.* (1997) estudaram a remoção de matéria orgânica natural (MON) de águas com baixa turbidez com o ajuste do pH de coagulação utilizando sulfato de alumínio. Os autores afirmaram que o controle do pH de coagulação é um dos fatores mais importantes na remoção de MON e o ajuste do pH entre 4,0 e 5,0, antes da adição do coagulante, estimula a formação de complexos solúveis de MON e alumínio. Segundo LU *et al.* (1999), a melhor remoção de substâncias húmicas ocorre em pH entre 5,0 e 7,0, devido à adsorção das substâncias húmicas na superfície de Al(OH)_{3(s)}.

O critério da execução de DFIs, na maioria dos ensaios, ocorreu quando a cor aparente no FAAG atingia valores $\geq$ 50 uH e se dava a partir da 2ª DFI, geralmente executada após 20 horas de funcionamento para a taxa de 180 m³/m²d e após 30 horas de funcionamento para a taxa de 120 m³/m²d.

Tabela 5.14 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 1, 2, 3 e 4 na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação, durante a Fase 1.

	ENSAIO 1				ENSAIO 2			
Taxas de filtração médias	FAAG = 243 m ³ /m ² d e FRD = 289 m ³ /m ² d				FAAG = 183 m ³ /m ² d e FRD = 210 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,80 a 6,03; temperatura = 18,5 a 22,0° C				D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,91 a 5,11; temperatura = 19,0 a 22,5° C			
Duração da carreira (h)	50				72			
Produção Efetiva (%)	93,4				94,1			
Características	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
pH	6,28 a 6,95	6,31 a 7,05	NR	NR	6,23 ^(*) a 6,56	6,28 a 7,25	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,6 a 10,6	8,6 a 10,6	NR	NR	7,0 a 10,8	7,0 a 11,4	NR	NR
Cor aparente (uH)	80 a 238	168 a 366	< 1 a 59	< 1 a 4	88 ^(*) a 127	178 a 210	< 1 a 51	< 1 a 4
Cor verdadeira (uH)	12 a 29	76 a 133	NR	NR	10 a 26	78 a 121	NR	NR
Turbidez (uT)	8,8 a 48,9 ^(*)	NR	0,02 a 1,0	< 0,01 a 0,6	10,0 a 17,5	NR	< 0,01 a 20,0	< 0,01 a 0,7
Absorvância 254 nm	0,045 a 0,099	0,144 a 0,225	0,008 a 0,023	0,007 a 0,032	0,051 a 0,077 ^(*)	0,174 a 0,203	0,001 a 0,031 ^(*)	0,003 a 0,030 ^(*)
COD (mg/L)	2,6 a 4,0	3,0 a 5,4	2,4 a 4,9	0,9 a 4,0	2,3 a 3,1	4,1 a 4,6 ^(*)	2,0 a 3,4 ^(*)	2,1 a 3,1 ^(*)
Alumínio residual (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	ENSAIO 3				ENSAIO 4			
Taxas de filtração médias	FAAG = 180 m ³ /m ² d e FRD = 247 m ³ /m ² d				FAAG = 176 m ³ /m ² d e FRD = 285 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,90 a 5,05; temperatura = 19,0 a 22,5° C				D _{SA} ≅ 10 mg/L; pH de coagulação = 4,64 a 5,49; temperatura = 18,0 a 22,0° C			
Duração da carreira (h)	72				70			
Produção Efetiva (%)	93,9				93,9			
Características	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
pH	6,38 a 6,75	6,32 a 6,82	NR	NR	6,31 a 7,63	6,33 a 7,45	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	7,70 a 11,22	7,46 a 11,44	NR	NR	8,1 a 19,6	9,2 a 19,4	NR	NR
Cor aparente (uH)	95 a 128	174 a 226	< 1 a 69	< 1 a 19 ^(*)	84 a 116	175 a 219	< 1 a 43	< 1 a 5
Cor verdadeira (uH)	21 a 33	83 a 120	NR	NR	14 a 25	82 a 112	NR	NR
Turbidez (uT)	9,8 a 15,5	NR	< 0,01 a 29,7	< 0,01 a 1,0	10,4 a 14,3	NR	0,2 a 9,0	0,1 a 0,5
Absorvância 254 nm	0,066 a 0,081	0,164 a 0,208	0,008 a 0,030	0,008 a 0,032	NR	0,158 a 0,198	0,010 a 0,034	0,005 a 0,021
COD (mg/L)	2,6 a 3,2 ^(*)	4,2 a 5,0	2,7 a 4,3 ^(*)	2,8 a 4,6 ^(*)	2,2 a 3,1	3,1 ^(*) a 4,2	2,4 a 3,3	2,2 a 3,2
Alumínio residual (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Tabela 5.15 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 5, 6 e 7 na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação, durante a Fase 1.

	ENSAIO 5				ENSAIO 6			
Taxas de filtração médias	FAAG = 124 m ³ /m ² d e FRD = 165 m ³ /m ² d				FAAG = 124 m ³ /m ² d e FRD = 205 m ³ /m ² d			
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,67 a 5,06; temperatura = 22,5 a 26,0° C				D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,86 a 5,10; temperatura = 17,0 a 20,5° C			
Duração da carreira (h)	72				72			
Produção Efetiva (%)	93,6				94,8			
Características	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
pH	6,68 a 6,91	6,62 a 6,94	NR	NR	6,22 a 6,51	6,14 a 6,67	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	7,0 a 12,3	8,4 a 12,1	NR	NR	6,8 a 9,2	7,3 a 10,8	NR	NR
Cor aparente (uH)	119 a 146	201 a 247	< 1 a 19 ^(*)	< 1 a 3 ^(*)	90 a 133	174 a 242	< 1 a 77	< 1 a 5 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	18 a 28	85 a 116	NR	NR	14 a 33	76 a 119	NR	NR
Turbidez (uT)	11,6 a 22,8	NR	< 0,01 a 1,1	< 0,01 a 0,6	9,8 a 22,6	NR	< 0,01 a 18,5	< 0,01 a 0,2
Absorvância 254 nm	0,063 a 0,078	0,177 a 0,211 ^(*)	0,008 a 0,023 ^(*)	0,008 a 0,023 ^(*)	0,064 a 0,102	0,181 a 0,209	0,007 a 0,019	0,011 a 0,021 ^(*)
COD (mg/L)	2,0 a 2,4	2,6 a 3,9	1,8 a 2,5	1,8 a 2,4	2,6 a 3,3 ^(*)	4,0 a 5,0	2,2 a 3,0 ^(*)	2,2 a 3,3 ^(*)
Alumínio residual (mg/L)	0,01 a 0,05	0,01 a 0,07	0,46 a 0,60	0,10 a 0,21	0,02 a 0,04	0,02 a 0,04	NR	0,17 a 0,25
	ENSAIO 7							
Taxas de filtração médias	FAAG = 126 m ³ /m ² d e FRD = 244 m ³ /m ² d							
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 8 mg/L; pH de coagulação = 4,80 a 5,13; temperatura = 20,5 a 24,0° C							
Duração da carreira (h)	72							
Produção Efetiva (%)	95,4							
Características	AB	AE	FAAG	FRD				
pH	6,22 a 6,67	6,38 ^(*) a 6,84	NR	NR				
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	8,1 a 10,1	8,4 a 10,3	NR	NR				
Cor aparente (uH)	114 a 153	196 a 231	< 1 a 80	< 1 a 7 ^(*)				
Cor verdadeira (uH)	15 a 23	86 a 120	NR	NR				
Turbidez (uT)	11,2 a 17,8	NR	< 0,01 a 41,8	< 0,01 a 1,2				
Absorvância 254 nm	0,059 a 0,073	0,172 a 0,205	0,008 a 0,021	0,014 a 0,040 ^(*)				
COD (mg/L)	2,4 a 3,2	2,8 a 4,2 ^(*)	1,9 a 2,4	1,8 a 2,8 ^(*)				
Alumínio residual (mg/L)	0,02 a 0,07	0,02 a 0,06	0,81 a 0,84	0,51				

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Após as DFIs ocorria o desprendimento de flocos no FAAG com picos de turbidez da ordem de 40 uT, com conseqüente prejuízo à qualidade da água no efluente do FRD, o qual, em algumas vezes, teve a carreira encerrada por transpasse.

5.4.3 Produção Efetiva de Água Filtrada

Na Tabela B 8.1 do ANEXO B estão apresentados os resultados de produção efetiva de água filtrada para as diferentes combinações de taxas de filtração, e na Tabela 5.16 está apresentado o resumo dos resultados obtidos, com destaque para o ensaio 7, com taxas de filtração de 120 m³/m²d no FAAG e 240 m³/m²d no FRD, que apresentou a maior produção de água filtrada (95,4%).

Observa-se que os melhores resultados obtidos quanto à produção efetiva ocorreram quando foram utilizadas as menores taxas de filtração no filtro ascendente e para uma taxa intermediária no filtro descendente. Deve-se considerar o fato de que para as maiores taxas de filtração no FAAG, a duração da carreira seria mais curta, comparada à de menor taxa, o que não foi observado nestes ensaios devido ao encerramento das carreiras de filtração terem resultado, na maioria dos ensaios, com o critério de 72 horas de funcionamento. Somente no Ensaio 4, com taxas de filtração de 180 m³/m²d no FAAG e 280 m³/m²d no FRD, a duração do ensaio foi de 70 horas, provavelmente devido à dosagem de 10 mg/L de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O, apresentando produção efetiva igual a do ensaio 3 quando utilizou-se a combinação de taxas de 180 e 240 m³/m²d no FAAG e no FRD, respectivamente.

Tabela 5.16 – Resultados de eficiência na produção de água filtrada para as diferentes taxas de filtração utilizadas.

Ensaio	Taxas de filtração (m ³ /m ² d)		Produção Efetiva (%)
	FAAG	FRD	
1	240	280	93,4
2	180	200	94,1
3	180	240	93,9
4	180	280	93,9
5	120	160	93,6
6	120	200	94,4
7	120	240	95,4

Segundo DI BERNARDO (2003), para a adoção da melhor combinação de taxas de filtração e escolha da granulometria do filtro ascendente, é importante avaliar vários fatores além da produção efetiva, tais como, a qualidade da água bruta, a eficiência do tratamento, a operação e a manutenção do sistema, a disponibilidade de produtos químicos, entre outros.

5.4.4 Ensaios sem e com pré-oxidação com taxas de filtração fixas no FAAG e no FRD

Estes ensaios foram realizados sem DFIs no FAAG, cujo objetivo principal foi estudar a influência da pré-oxidação com diferentes oxidantes na remoção de substâncias húmicas, e as taxas de filtração foram fixadas em $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e em $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD. Estas taxas de filtração foram adotadas porque nesta fase do trabalho experimental, o sistema de dupla filtração com filtro ascendente de pedregulho não estava em funcionamento, sendo necessário trabalhar com taxas de filtração mais altas e duração do ensaio mais curto, pois havia somente uma pessoa para operar os filtros.

No primeiro ensaio desta fase não foi feita pré-oxidação com o intuito de comparar a influência da pré-oxidação no desempenho do sistema de dupla filtração e na remoção de substâncias húmicas. A duração de cada ensaio realizado nesta fase do trabalho experimental foi de 36 horas, com exceção do ensaio 15 que teve duração de 16 horas. Os resultados obtidos nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação (Fase 2) estão apresentados no ANEXO C.

Da mesma maneira como na fase 1, nas figuras correspondentes à evolução da perda de carga foram adotadas abreviações como: Lav.FRD_{PC} = lavagem do FRD quando atingiu a perda de carga limite; Lav.FRD_{transpasse} = lavagem do FRD quando ocorreu o transpasse.

5.4.4.1 Determinação dos tempos de contato dos oxidantes para os ensaios com pré-oxidação

Na Figura 5.38 está representado o tempo de detenção do traçador na coluna de ozonização sem introdução de ar, que é de aproximadamente 32 minutos, que corresponde ao tempo de detenção hidráulico teórico na coluna,

podendo ser obtido pela equação (5.1). Este tempo de detenção corresponde ao tempo de contato dos oxidantes em solução (peróxido de hidrogênio, cloro, dióxido de cloro e permanganato de potássio) dentro da coluna de ozonização.

$$\theta_t = \frac{V}{Q} \quad (5.1)$$

em que:

θ_t = tempo de detenção hidráulico teórico (min);

V = volume de água na coluna de ozonização (L);

Q = vazão de água de entrada na coluna de ozonização (L/min)

Considerando que a coluna de ozonização possuía diâmetro interno de 141 mm e altura de água igual a 5,7 m, o volume de água na coluna era de 89 L. A vazão de água afluyente à coluna de ozonização era de 167 L/h = 2,78 L/min, com a equação (5.1) foi possível determinar o tempo de detenção hidráulico na coluna:

$$\theta_t = \frac{89}{2,78} = 32\text{min}$$

Com o ensaio com traçador na coluna de ozonização, cujos resultados estão apresentados na Figura 5.38 foi confirmado o tempo de contato de 32 minutos para os oxidantes em solução. Na Figura 5.38 observa-se que o escoamento não é completamente do tipo pistonado.

Figura 5.38 – Tempo de detenção do traçador na coluna de ozonização, sem introdução de ar.

Para a obtenção do tempo de contato do oxidante gasoso (ozônio), o ensaio com traçador foi realizado com introdução de ar na parte inferior da coluna de ozonização, com vazão de água de 167 L/h, vazão de ar igual a 60 L/h e concentração da solução de cloreto de sódio (NaCl) igual a 20 mg/L. Na Figura 5.39 está o gráfico que representa o tempo de detenção hidráulico teórico do traçador na coluna de ozonização com introdução de ar, que é de aproximadamente 9,6 minutos. Este tempo corresponde ao tempo de contato do ozônio na coluna de ozonização.

Observa-se nas Figuras 5.38 e 5.39 o comportamento hidráulico na coluna de ozonização diferenciado pela introdução de ar. Segundo INOUE (2001), que estudou o comportamento hidráulico de um sistema de ozonização, em um reator de contato em contra-corrente, avaliando a influência da variação da vazão de líquido e de gás, com o aumento da vazão de água, mantendo-se constante a vazão de gás, o comportamento hidráulico do reator de ozonização de contato tende a pistonado ideal. E com o aumento da vazão de gás, mantendo-se constante a vazão de água, o comportamento hidráulico do reator de ozonização de contato tende à mistura completa.

Avaliando o comportamento hidráulico da coluna de ozonização em estudo, e observando a Figura 5.39 e considerando que o escoamento foi em contra-corrente e não foram variadas as vazões de água e de ar, o comportamento hidráulico da coluna de ozonização tende à mistura completa.

Figura 5.39 – Tempo de detenção do traçador na coluna de ozonização, com introdução de ar.

5.4.4.2 Ensaio 8 - sem pré-oxidação

Neste ensaio a dosagem de coagulante e o pH de coagulação foram determinados em reatores estáticos e filtros de laboratório de areia. O ensaio foi iniciado com a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ de 7 mg/L e pH de coagulação de 5,21.

As taxas de filtração médias no FAAG e no FRD foram de 185 e 280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, respectivamente (ver Tabela C 1.4 do ANEXO C). Na Tabela 5.17 está apresentado o resumo dos resultados obtidos durante o ensaio 8 e nas Tabelas C 1.1 a C 1.4 do ANEXO C estão os dados coletados durante o ensaio.

Na Figura 5.40 observa-se a evolução da perda de carga nos filtros, sendo necessárias duas lavagens no FRD por atingir a perda de carga limite durante as 36 horas de funcionamento. O FAAG não atingiu a perda de carga limite, mas utilizou 86,6% da perda de carga disponível, podendo ser prolongada a duração da carreira de filtração se não fosse encerrada pelo critério das 36 horas de funcionamento.

Tabela 5.17 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 8 realizado na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação.

	ENSAIO 8 – sem pré-oxidação			
Taxas de filtração médias	FAAG = 185 e FRD = 280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$			
Condições de coagulação	$D_{SA} \cong 7 \text{ mg/L}$; pH de coagulação = 5,04 a 5,32; temperatura = 20 a 23°C			
Duração da carreira	36 h			
Características	AB	AE	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,52 a 6,60	6,44 a 6,69	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO_3)	6,4 a 9,5	7,0 a 9,0	NR	NR
Cor aparente (uH)	130 a 146	200 a 223	< 1 a 93	< 1 a 10 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	21 a 27	93 a 105	NR	NR
Turbidez (uT)	10,7 a 15,2	NR	< 0,01 a 3,13	< 0,01 a 1,46
Absorvância 254 nm	0,069 a 0,091	0,183 a 0,201	0,005 a 0,041	0,007 a 0,022
COD (mg/L)	1,5 a 2,0	2,6 a 3,6	1,7 a 2,0	1,7 a 2,0
Alumínio residual (mg/L)	ND	< 0,01 a 0,02	0,04 a 0,15	0,02 a 0,16

D_{SA} = dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$; AB = água bruta; AE = água de estudo; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. (*) Valor observado no início do ensaio.

Nas Figuras C 1.1 e C 1.2 do ANEXO C estão apresentadas as perdas de carga ao longo do meio filtrante do FAAG e do FRD respectivamente.

A cor aparente do efluente do FRD se manteve $\leq 1 \text{ uH}$, na maior parte do tempo, com exceção do início do ensaio em que observou-se cor aparente de 10

uH e após 28 horas de funcionamento que apresentou cor aparente de 5 uH. Na Figura 5.41 pode-se observar o início do transpasse no efluente do FAAG a partir das 15 horas de funcionamento, resultando em 96 uH ao término do ensaio.

A turbidez do efluente do FRD manteve-se < 1 uT durante todo tempo de funcionamento, com exceção de 1,46 uT observado no início do ensaio. Observa-se na Figura 5.42 a ocorrência do transpasse no FRD, devido ao acúmulo de impurezas no meio filtrante, o que proporcionou aumento na perda de carga e conseqüentemente a necessidade de lavagem do FRD.

Quanto à remoção de substâncias húmicas, em termos de absorvância 254 nm e COD, as porcentagens de remoção foram, respectivamente, da ordem de 89 a 96% e 12 a 59% no FRD. Nas Figuras 5.43 e 5.44 estão apresentadas as variações de absorvância 254 nm e de COD durante o ensaio 8.

Figura 5.40 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 1.3 do ANEXO C.

Figura 5.41 – Variação de cor aparente na AB, AE e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 21 a 27 uH e na AE de 93 a 105 uH, durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 1.1 do ANEXO C.

Figura 5.42 – Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG.

Figura 5.43 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 1.2 do ANEXO C.

Figura 5.44 – Variação de COD na AB, AE e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 1.2 do ANEXO C.

5.4.4.3 Ensaio 9 - Pré-oxidação com Ozônio

No ensaio 9, em que utilizou-se ozônio como pré-oxidante, a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ e o pH de coagulação foram determinados em reatores estáticos, com água ozonizada na coluna de ozonização fixando-se a dosagem de ozônio em 5 mg/L. Os ensaios em reatores estáticos (RE), utilizando equipamento

de jarreste e FLAs foram feitos de 4 maneiras diferentes: i) ensaio RE1 – sem adição de HCl (0,07M) e com variação das dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ de 4, 6, 8, 10, 12 e 14 mg/L; ii) ensaio RE2 – com adição de HCl (0,07M) na caixa de homogeneização da instalação piloto em escoamento contínuo com variação do pH de coagulação de 5,66 a 5,00 para as dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ de 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mg/L; iii) ensaio RE3 - com adição de HCl (0,07M) na caixa de homogeneização da instalação piloto em escoamento contínuo com variação do pH de coagulação de 5,17 a 4,62 para as dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ de 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mg/L; iv) ensaio RE4 – com dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ igual a 10 mg/L e variação do pH de coagulação de 4,77 a 5,16 nos reatores estáticos. Na Tabela 5.18 estão as características da água de estudo e da água pré-oxidada com O_3 para os ensaios em reatores estáticos.

Tabela 5.18 – Características da água de estudo e da água pré-oxidada com ozônio durante os ensaios em reatores estáticos (RE).

Ensaio	RE1 e RE2		RE3 e RE4	
Característica	AE	APO	AE	APO
Temperatura (°C)	24,5	24,5	23,5	23,5
pH	6,71	6,65 ⁽¹⁾ e 6,34 ⁽²⁾	6,63	6,53 ⁽¹⁾ e 5,79 ⁽²⁾
Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	NR	NR	8,58	5,28
Cor aparente (uH)	225	128	225	142
Cor verdadeira (uH)	99	35	97	34
Turbidez (uT)	16,6	14,5	16,2	15,3
Absorvância 254 nm	NR	NR	0,187	0,101

AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada. ⁽¹⁾Valores de pH sem adição de HCl (0,07 M);

⁽²⁾Valores de pH com adição de HCl (0,07 M); NR = não realizado.

As variações feitas nos ensaios em reatores estáticos foram devido aos resultados obtidos e apresentados na Tabela 5.19. Observa-se na Tabela 5.19 que no ensaio RE1 os melhores resultados obtidos foi para a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ de 14 mg/L e pH de coagulação de 5,05, sem a adição acidificante. Com o objetivo de reduzir a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ foi realizado o ensaio RE2, utilizando-se menores dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ e portanto sendo necessário adicionar acidificante para baixar o pH de coagulação. Os resultados do ensaio RE2 não foram satisfatórios, sendo necessária a realização do ensaio RE3, utilizando-se as mesmas dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ e pH de coagulação mais baixos. O melhor resultado obtido no ensaio RE3 foi para a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ de 10 mg/L e pH de coagulação de 4,62. Fixando-se a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ em 10 mg/L, realizou-se o ensaio

RE4 com a variação do pH de coagulação com adição de acidificante nos reatores estáticos. No ensaio RE4 não obteve-se melhores resultados, por isso optou-se por iniciar o ensaio na instalação piloto em escoamento contínuo com a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O} \cong 9,6 \text{ mg/L}$ e pH de coagulação da ordem de 4,6.

Tabela 5.19 – Resultados obtidos nos ensaios RE1, RE2, RE3 e RE4 em reatores estáticos.

ENSAIO RE1 – Sem adição de HCl (0,07 M)								
Jarro / FLA	D_{SA} (mg/L)	pH de coagulação	Cor remanescente nos FLAs (uH)			Turbidez remanescente nos FLAs (uT)		
			Tempo de filtração (min)			Tempo de filtração (min)		
			10	20	30	10	20	30
1	4	6,13	96	97	97	11,7	11,5	11,1
2	6	5,93	109	99	99	11,3	11,4	11,5
3	8	5,75	97	97	97	11,3	11,3	11,3
4	10	5,54	53	50	45	6,6	6,1	5,8
5	12	5,34	9	4	< 1	1,1	0,7	0,4
6	14	5,05	3	1	< 1	0,5	0,3	0,1
ENSAIO RE2 – Com adição de HCl (0,07 M) na instalação piloto em escoamento contínuo								
Jarro / FLA	D_{SA} (mg/L)	pH de coagulação	Cor remanescente nos FLAs (uH)			Turbidez remanescente nos FLAs (uT)		
			Tempo de filtração (min)			Tempo de filtração (min)		
			10	20	30	10	20	30
1	5	5,66	92	89	87	11,5	11,3	11,2
2	6	5,53	94	92	89	11,5	11,5	11,3
3	7	5,49	92	91	89	11,5	11,5	11,3
4	8	5,29	87	85	81	10,9	10,8	10,7
5	9	5,11	70	65	59	9,3	-	8,4
6	10	5,00	22	89	6	4,2	3,1	2,5
ENSAIO RE3 – Com adição de HCl (0,07 M) na instalação piloto em escoamento contínuo								
Jarro / FLA	D_{SA} (mg/L)	pH de coagulação	Cor remanescente nos FLAs (uH)			Turbidez remanescente nos FLAs (uT)		
			Tempo de filtração (min)			Tempo de filtração (min)		
			10	20	30	10	20	30
1	5	5,17	88	86	85	10,3	10,1	9,9
2	6	5,02	90	89	87	10,3	10,3	9,7
3	7	4,88	84	78	70	9,6	9,1	8,6
4	8	4,81	35	30	24	5,1	4,5	3,6
5	9	4,70	24	8	6	3,2	1,5	1,0
6	10	4,62	2	< 1	< 1	0,5	0,3	0,2
ENSAIO RE4 – Com dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ fixa (= 10 mg/L) e variação do pH de coagulação com adição de HCl (0,07 M) nos jarros								
Jarro / FLA	D_{SA} (mg/L)	pH de coagulação	Cor remanescente nos FLAs (uH)			Turbidez remanescente nos FLAs (uT)		
			Tempo de filtração (min)			Tempo de filtração (min)		
			10	20	30	10	20	30
1	10	4,77	38	9	4	4,6	1,2	0,8
2	10	4,80	13	7	4	1,9	0,9	1,0
3	10	4,85	46	14	8	5,4	1,8	1,2
4	10	4,91	23	14	9	2,8	1,7	1,3
5	10	5,04	33	17	12	4,0	2,2	-
6	10	5,16	34	24	19	4,1	3,0	2,6

D_{SA} = dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$).

Durante o ensaio na instalação piloto em escoamento contínuo, a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ foi reduzida lentamente até que se obteve uma dosagem de 3,3 mg/L (ver Tabela 5.20), sem que alterasse a qualidade do efluente do FRD, para a dosagem média aplicada de ozônio de aproximadamente 6 mg/L. Com a redução na dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ e aumento do pH de coagulação, obtiveram-se menores residuais de alumínio no efluente dos filtros, que apresentavam concentrações maiores que 0,2 mg/L, limite máximo permitido pelo Padrão de Potabilidade prescrito na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Tabela 5.20 – Variação da dosagem de coagulante, do pH de coagulação e do alumínio residual durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio.

Tempo de funcionamento dos filtros (h)	Dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ (mg/L)	pH de coagulação	Alumínio Residual (mg/L)	
			Efluente do FAAG	Efluente do FRD
0 – 8	9,6	4,57 a 4,69	NR	NR
8 – 12	8,3	4,66 a 4,86	0,90	0,80
12 – 22	7,5	4,82 a 4,96	NR	NR
22 – 32,5	5,0	4,82 a 4,98	0,34	0,34
32,5 – 36	3,3	4,95 a 5,39	0,10	0,08

NR = não realizado.

Conforme LANGLAIS *et al.* (1991), ensaios em escala de laboratório demonstram que a pré-ozonização retarda a coagulação, produzindo muitas vezes, resultados que não correspondem à mesma eficiência na escala real. Um dos efeitos do ozônio na MON é o aumento dos grupos funcionais oxigenados, especialmente os ácidos carboxílicos, os quais melhoram a remoção de COD por coagulação com alumínio, devido ao: i) aumento da formação de humatos de alumínio insolúveis; ii) neutralização de cargas com a complexação com o alumínio, ou; iii) aumento da adsorção de substâncias húmicas em flocos de hidróxido de alumínio. A pré-ozonização pode aumentar o grau de adsorção da MON com alumina e hidróxido de alumínio.

A redução na dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ durante o ensaio na instalação piloto em escoamento contínuo, foi devido aos resultados obtidos no ensaio com reatores estáticos que não corresponderam à mesma eficiência na instalação piloto, como observado por LANGLAIS *et al.* (1991). A partir deste ensaio, a determinação da dosagem de coagulante, de oxidante e o pH de coagulação foi feita na instalação piloto em escoamento contínuo, não sendo mais utilizados os reatores estáticos.

As taxas de filtração médias neste ensaio foram de 186 e 283 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e no FRD respectivamente (ver Tabela C 2.4 do ANEXO C). Na Figura 5.45 está apresentada a evolução da perda de carga no FAAG e FRD durante o ensaio 9 para a temperatura de 20°C. Em 33 horas de funcionamento foi necessária a lavagem do FRD por ocorrência do transpasse. A perda de carga final no FAAG foi de 70 cm, correspondendo à aproximadamente 29% de sua perda de carga limite. Comparando com o ensaio 8, houve redução de 66% na perda de carga final do FAAG, conseqüentemente maior duração na carreira de filtração se não fosse encerrada pelo critério de 36 horas de funcionamento.

Figura 5.45 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 2.3 do ANEXO C.

Na Tabela 5.21 está apresentado o resumo dos resultados obtidos durante o ensaio 9 com pré-oxidação com ozônio. Nas Tabelas C 2.1 a C 2.4 do ANEXO C estão todos os resultados obtidos no ensaio 9. Nas Figuras C 2.1 e C 2.2 estão apresentadas as perdas de carga ao longo do meio filtrante do FAAG e do FRD respectivamente.

A cor aparente do efluente do FRD se manteve $\leq 1 \text{ uH}$, na maior parte do tempo, com exceção de dois valores observados de 2 uH, após 24 e 28 horas de funcionamento. Na Figura 5.46 pode-se observar o início do transpasse no efluente

do FAAG a partir das 18 horas de funcionamento, resultando em 106 uH ao término do ensaio.

A turbidez do efluente do FRD manteve-se < 1 uT durante a maior parte do tempo, com exceção do transpasse que iniciou após 26 horas de funcionamento sendo necessária a lavagem do filtro. Observa-se na Figura 5.47 o início do transpasse no FAAG após 18 horas de funcionamento, em consequência disto, o aumento da cor observada na Figura 5.46.

Tabela 5.21 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 9 (pré-oxidação com ozônio).

ENSAIO 9 – pré-oxidação com ozônio					
Taxas de filtração médias	FAAG = 186 e FRD = 283 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} $\cong$ 3,3 a 9,6 mg/L; pH de coagulação = 4,57 a 5,39; temperatura = 20 a 25,5°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de O ₃ $\cong$ 6 mg/L				
Duração da carreira	36 h				
Características	AB	AE	APO	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,64 a 6,74	6,56 a 6,75	5,91 a 6,13	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	7,3 a 12,8	6,8 a 10,8	4,62 a 6,38	NR	NR
Cor aparente (uH)	142 a 165	197 a 240	118 a 192	< 1 a 106	< 1 a 2
Cor verdadeira (uH)	14 a 28	83 a 106	23 a 91	NR	NR
Turbidez (uT)	11,6 a 28,5	NR	NR	$< 0,01$ a 12,9	$< 0,01$ a 1
Absorvância 254 nm	0,072 a 0,086	0,184 a 0,201	0,095 a 0,105	0,009 a 0,030	0,008 a 0,022
COD (mg/L)	1,8 a 2,3	2,2 a 2,7	2,5 a 2,8	2,2 a 2,3	2,2
Ferro (mg/L)	1,716	1,482	1,696	0,417	0,399
Manganês (mg/L)	0,100	0,078	0,098	0,044	0,034
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	ND	ND
Alumínio residual (mg/L)	$< 0,01$ a 0,03	$< 0,01$ a 0,05	NR	0,10 a 0,90	0,08 a 0,85

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ⁽¹⁾ Valor observado no início do ensaio.

Figura 5.46 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 14 a 28 uH, na AE de 83 a 106 uH e na APO de 23 a 91 uH, durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 2.1 do ANEXO C.

Figura 5.47 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG (180 m³/m²d) e FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG.

Quanto à remoção de substâncias húmicas, em termos de absorvância 254 nm e COD, as porcentagens de remoção foram respectivamente, da ordem de 88 a

96% e 12 a 16% no FRD. Nas Figuras 5.48 e 5.49 estão apresentados os resultados de absorvância a 254 nm e COD durante o ensaio 9. Neste ensaio não foram coletadas amostras de água no início de funcionamento dos filtros para análises de COD.

Figura 5.48 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 2.2 do ANEXO C.

Figura 5.49 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 2.2 do ANEXO C.

5.4.4.4 Ensaio 10 - Pré-oxidação com Peróxido de Hidrogênio

Foi preparada uma solução estoque de peróxido de hidrogênio diluída com água filtrada da ETA II, com concentração de 12400 mg/L. A dosagem de peróxido

de hidrogênio aplicada foi de 35 mg/L e a vazão na bomba dosadora foi calculada pela equação (4.5):

Para $C = 35 \text{ mg/L}$; $C_{SE} = 12400 \text{ mg/L}$ e $Q_{ab} = 170 \text{ L/h}$:

$$35 = \frac{0 \cdot 170 + 12400 \cdot Q_{bd}}{170 + Q_{bd}} \Rightarrow Q_{bd} = 0,48 \text{ L/h}$$

Em ensaio preliminar na instalação piloto em escoamento contínuo obteve-se dosagem de peróxido de hidrogênio de 35 mg/L, dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ de 3,5 mg/L e pH de coagulação de 5,5. As vazões nas bombas dosadoras foram ajustadas e o ensaio foi iniciado.

Na Figura 5.50 está apresentada a evolução da perda de carga no FAAG e FRD durante o ensaio 10 para a temperatura de 20°C. Após 28 horas de funcionamento foi necessária a lavagem do FRD por ocorrência do transpasse e após 34 horas foi necessária outra lavagem do FRD por atingir a perda de carga limite, ocorrendo duas lavagens consecutivas no espaço de tempo de 5 horas. A perda de carga final no FAAG foi de 118,1 cm, correspondendo aproximadamente a 49% da carga hidráulica disponível. Comparando com o ensaio 8, houve redução de 43% na perda de carga final do FAAG, conseqüentemente maior duração na carreira de filtração se não fosse encerrada pelo critério de 36 horas de funcionamento.

Figura 5.50 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 3.3 do ANEXO C.

As taxas de filtração médias no FAAG e no FRD foram de 188 e 280 m³/m²d respectivamente (ver Tabela C 3.4 do ANEXO C). Na Tabela 5.22 está apresentado o resumo dos resultados obtidos durante o ensaio 10, e nas Tabelas C 3.1 a C 3.4 estão todos os resultados obtidos durante o ensaio 10. Nas Figuras C 3.1 e C 3.2 do ANEXO C estão as perdas de carga ao longo do meio filtrante no FAAG e no FRD.

A cor aparente do efluente do FRD se manteve ≤ 1 uH, na maior parte do tempo, com exceção de valores observados da ordem de 21, 9 e 5 uH, após 1, 2 e 28 horas de funcionamento respectivamente. Na Figura 5.51 pode-se observar o início do transpasse no efluente do FAAG a partir das 15 horas de funcionamento, resultando em 106 uH ao término do ensaio.

Tabela 5.22 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio.

ENSAIO 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio					
Taxas de filtração médias	FAAG = 188 e FRD = 280 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} $\approx$ 3,5 mg/L; pH de coagulação = 5,18 a 5,52; temperatura = 19,5 a 22°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de H ₂ O ₂ $\approx$ 35 mg/L				
Duração da carreira	36 h				
Características	AB	AE	APO	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,44 a 6,60	6,38 a 6,60	5,90 a 6,24	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	3,5 a 7,9	5,5 a 8,4	3,1 a 5,7	NR	NR
Cor aparente (uH)	130 a 184	197 a 262	192 a 259	< 1 a 106	< 1 a 21 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	18 a 31	90 a 121	91 a 117	NR	NR
Turbidez (uT)	10,88 a 19,00	NR	NR	0,02 a 6,4	0,02 a 1
Absorvância 254 nm	0,075 a 0,107	0,176 a 0,230	0,186 a 0,248	0,018 a 0,079	0,021 a 0,083
COD (mg/L)	2,4 a 3,2	3,0 a 4,4	3,6 a 5,3	2,1 a 2,5	2,1 a 2,9
Ferro (mg/L)	1,211 a 1,688	1,521 a 2,408	0,893 a 1,537	0,301 a 1,059	0,012 a 0,198
Manganês (mg/L)	0,041 a 0,056	0,026 a 0,043	0,040 a 0,053	0,028 a 0,044	0,011 a 0,022
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	0,065 a 0,109	0,088 a 0,095
Alumínio residual (mg/L)	ND	< 0,01 a 0,01	NR	0,06 a 0,11	0,03 a 0,07

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

A turbidez do efluente do FRD manteve-se < 1 uT durante a maior parte do tempo, com exceção do transpasse que iniciou após 25 horas de funcionamento sendo necessária a lavagem do filtro. Observa-se na Figura 5.52 o início do

transpasse no FAAG após 15 horas de funcionamento, da mesma forma, na Figura 5.51 é observado o aumento da cor aparente no efluente do FAAG.

Quanto à remoção de substâncias húmicas, em termos de absorvância 254 nm e COD, as porcentagens de remoção foram respectivamente, da ordem de 53 a 91% e 14 a 53% no FRD. Nas Figuras 5.53 e 5.54 estão apresentadas as variações na absorvância 254 nm e no COD durante o ensaio 10.

Figura 5.51 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 18 a 31 uH, na AE de 90 a 121 uH e na APO de 91 a 117 uH, durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 3.1 do ANEXO C.

Figura 5.52 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG.

Figura 5.53 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10, pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 3.2 do ANEXO C.

Figura 5.54 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10, pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 3.2 do ANEXO C.

5.4.4.5 Ensaio 11 - Pré-oxidação com Tricloro-s-triazina-triona

Foi preparada uma solução estoque de tricloro-s-triazina-triona, no tanque de mistura, com concentração de 1000 mg/L. A dosagem de cloro aplicada durante o ensaio foi no início de 7 mg/L e de 4 mg/L após 4 horas de funcionamento. Utilizando-se a equação (4.5) foi possível determinar a vazão na bomba dosadora.

Para C = 4 mg/L; C_{SE} = 1000 mg/L e Q_{ab} = 170 L/h:

$$4 = \frac{0 \cdot 170 + 1000 \cdot Q_{bd}}{170 + Q_{bd}} \Rightarrow Q_{bd} = 0,68 \text{ L/h}$$

As dosagens de cloro e Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O e o pH de coagulação foram determinados em ensaio preliminar na instalação piloto em escoamento contínuo e resultaram em: dosagem de cloro ≅ 7 mg/L, D_{SA} ≅ 4 mg/L e pH de coagulação ≅ 5,0. Durante o ensaio 11 ocorreu redução na dosagem de cloro para 4 mg/L e de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O para 3,5 mg/L, sem alterações na eficiência de remoção de cor no efluente do FRD.

As taxas de filtração médias no FAAG e no FRD foram de 186 e 281 m³/m²d respectivamente (ver Tabela C 4.4 do ANEXO C). Na Tabela 5.23 está apresentado o resumo dos resultados obtidos durante o ensaio 11. Nas Tabelas C 4.1 a C 4.4 do ANEXO C estão apresentados todos os dados obtidos durante o ensaio 11. Nas Figuras C 4.1 e C 4.2 do ANEXO C estão apresentadas as perdas de carga ao longo do meio filtrante no FAAG e no FRD.

Tabela 5.23 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona.

ENSAIO 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona					
Taxas de filtração médias	FAAG = 186 e FRD = 281 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 3,0 a 4,0 mg/L; pH de coagulação = 4,95 a 5,60; temperatura = 17 a 21°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de Cl ₂ ≅ 4,0 a 7,0 mg/L				
Duração da carreira	36 h				
Características	AB	AE	APO	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,61 a 6,76	6,64 a 6,87	5,73 a 6,51	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	5,1 a 8,8	5,5 a 7,5	3,5 a 7,0	NR	NR
Cor aparente (uH)	96 a 109	171 a 193	163 a 192	< 1 a 81	< 1 a 5
Cor verdadeira (uH)	12 a 16	92 a 102	83 a 96	NR	NR
Turbidez (uT)	8,5 a 12,8	NR	NR	< 0,01 a 10,7	< 0,01 a 1
Absorvância 254 nm	0,048 a 0,054	0,170 a 0,188	0,161 a 0,182	0,014 a 0,021	0,018 a 0,025
COD (mg/L)	2,7 a 4,0	4,6 a 6,6	4,7 a 5,5	3,3 a 4,2	3,1 a 6,3
Ferro (mg/L)	0,752 a 1,404	0,786 a 1,166	1,325 a 1,362	0,162 a 0,854	0,205 a 0,268
Manganês (mg/L)	0,008 a 0,026	0,007 a 0,018	0,024 a 0,026	0,005 a 0,019	0,004 a 0,007
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	0,35 a 3,56	0,28 a 3,36
Alumínio residual (mg/L)	< 0,01 a 0,04	< 0,01 a 0,03	NR	0,10 a 0,18	0,07 a 0,15 ^(*)

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Na Figura 5.55 está apresentada a evolução da perda de carga no FAAG e FRD durante o ensaio 11. Ocorreram duas lavagens no FRD devido à ocorrência do transpasse no filtro, as lavagens foram executadas com 30 e 35 horas de funcionamento. A perda de carga final no FAAG foi de 94,1 cm, com redução de 55% comparada ao ensaio 8 (sem pré-oxidação).

A cor aparente do efluente do FRD se manteve ≤ 1 uH, na maior parte do tempo, com exceção do valor de 5 uH observado em 14 horas de funcionamento. Na Figura 5.56 pode-se observar o início do transpasse no efluente do FAAG a partir das 20 horas de funcionamento, resultando em 81 uH ao término do ensaio.

A turbidez do efluente do FRD manteve-se < 1 uT durante a maior parte do tempo, com exceção da ocorrência de dois transpasses no filtro que iniciaram após 27 e 32 horas de funcionamento. Ocorreu um pico de turbidez no efluente do FRD após 11 horas de funcionamento, atingindo o valor de 0,41 uT, e após este pico e com ajustes nas dosagens de oxidante, coagulante e do pH de coagulação a turbidez voltou a apresentar valores menores que 0,1 uT. Observa-se na Figura

5.57 o início do transpasse no FAAG após 18 horas de funcionamento, ocorrendo também o aumento gradual na cor aparente do efluente do FAAG, mostrado na Figura 5.56.

Figura 5.55 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 4.3 do ANEXO C.

Figura 5.56 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 12 a 16 uH, na AE de 92 a 102 uH e na APO de 83 a 96 uH, durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$). Fonte: Tabela C 4.1 do ANEXO C.

Figura 5.57 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG.

Quanto à remoção de substâncias húmicas, em termos de absorvância 254 nm e COD, as porcentagens de remoção foram respectivamente, de 85 a 90% e 4 a 44% no FRD. Devido a este baixo valor de remoção de COD (4%) foram realizadas medidas de carbono orgânico total (COT), no Laboratório de Saneamento da EESC-USP, de amostras de água com extrato de substâncias húmicas até cor verdadeira de aproximadamente 100 uH e do padrão de COT com concentração aproximada de 50 mg/L, sem cloração, cloradas com hipoclorito de sódio (NaClO) e cloradas com tricloro-s-triazina-triona. A dosagem de cloro aplicada nas amostras foi de 10 mg/L e o tempo de contato de 30 minutos. Na Tabela 5.24 estão apresentados os resultados de COT para as diferentes amostras.

Tabela 5.24 – Valores de COT para amostras de água destilada com extrato de substâncias húmicas (ESH), não cloradas e cloradas com NaClO e tricloro-s-triazina-triona

Nº	AMOSTRA	COT (mg/L)
1	Água com ESH (cor = 107 uH) sem cloro	$2,824 \pm 0,031$
2	Água com ESH (cor = 107 uH) clorada c/ NaClO	$2,771 \pm 0,070$
3	Água com ESH (cor = 107 uH) clorada c/ tricloro-s-triazina-triona	$4,790 \pm 0,028$
4	Padrão de COT ($\cong 50 \text{ mg/L}$) sem cloro	$48,86 \pm 0,047$
5	Padrão de COT clorado c/ NaClO	$47,30 \pm 0,221$
6	Padrão de COT clorado c/ tricloro-s-triazina-triona	$51,23 \pm 0,606$

ESH = extrato de substâncias húmicas.

Observou-se um aumento no COT das amostras cloradas com tricloro-s-triazina-triona, podendo haver compostos orgânicos na composição deste produto, e nas amostras cloradas com NaClO os valores de COT apresentaram-se mais baixos.

Nas Figuras 5.58 e 5.59 estão apresentadas as variações de absorvância 254 nm e de COD obtidas durante o ensaio 11.

Figura 5.58 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11, pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 4.2 do ANEXO C.

Figura 5.59 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11, pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 4.2 do ANEXO C.

5.4.4.6 Ensaio 12 - Pré-oxidação com Dióxido de Cloro

A concentração da solução estoque de dióxido de cloro foi de 160 mg/L. A dosagem de dióxido de cloro aplicada no ensaio na instalação piloto foi de 0,4 mg/L, e a dosagem da bomba dosadora foi determinada pela equação (4.5):

Para $C = 0,4$ mg/L; $C_{SE} = 160$ mg/L e $Q_{ab} = 170$ L/h:

$$0,4 = \frac{0 \cdot 170 + 160 \cdot Q_{bd}}{170 + Q_{bd}} \Rightarrow Q_{bd} = 0,43 \text{ L/h}$$

Com o ensaio preliminar na instalação piloto em escoamento contínuo foram determinadas as dosagens de dióxido de cloro e de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$, de 0,4 e 4,0 mg/L respectivamente, para pH de coagulação da ordem de 5,5.

As taxas de filtração médias no FAAG e no FRD foram de 186 e 279 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ respectivamente (ver Tabela C 5.4 do ANEXO C). Na Figura 5.60 está apresentada a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C. Pode-se observar que foram executadas duas lavagens no FRD devido à ocorrência do transpasse, nos tempos de 27,5 e 34 horas de funcionamento. A perda de carga final no FAAG foi de 100,8 cm, com redução de 51,5% comparada ao ensaio 8 (sem pré-oxidação).

Nas Figuras C 5.1 e 5.2 do ANEXO C estão as perdas de carga ao longo do meio filtrante no FAAG e no FRD.

Figura 5.60 – Evolução da perda de carga no FAAG (180 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD (280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 5.3 do ANEXO C.

Na Tabela 5.25 está apresentado o resumo das condições de coagulação e oxidação, e das características da água bruta, água de estudo, água pré-oxidada e efluentes do FAAG e FRD durante o ensaio 12.

Tabela 5.25 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro.

ENSAIO 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro					
Taxas de filtração médias	FAAG = 186 e FRD = 279 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 5,09 a 5,47; temperatura = 16 a 22°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de ClO ₂ ≅ 0,4 mg/L				
Duração da carreira	36 h				
Características	AB	AE	APO	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,58 a 6,70	6,70 a 7,00	6,25 a 6,57	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,4 a 7,7	7,3 a 8,8	4,8 a 6,4	NR	NR
Cor aparente (uH)	88 a 103	167 a 184	161 a 179	< 1 a 88	< 1 a 10 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	12 a 16	94 a 107	88 a 102	NR	NR
Turbidez (uT)	7,4 a 12,1	NR	NR	< 0,01 a 7,3	< 0,01 a 1
Absorvância 254 nm	0,043 a 0,056	0,174 a 0,189	0,165 a 0,181	0,007 a 0,021	0,010 a 0,023
COD (mg/L)	1,5 a 2,4	3,5 a 4,2	3,2 a 4,0	1,6 a 4,3	1,4 a 2,5
Ferro (mg/L)	1,179 a 1,328	1,164 a 1,436	0,958 a 1,063	0,453 a 0,517	0,126 a 0,202
Manganês (mg/L)	0,046 a 0,056	0,047 a 0,048	0,020 a 0,041	0,013 a 0,021	0,016 a 0,019
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	< 0,01	< 0,01
Alumínio residual (mg/L)	< 0,01 a 0,01	ND	NR	0,04 a 0,11	0,02 a 0,10

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Nas Tabelas C 5.1 a C 5.4 do ANEXO C estão apresentados todos os resultados obtidos durante o ensaio 12.

A cor aparente do efluente do FRD se manteve ≤ 1 uH, na maior parte do tempo, com exceção de valores de 3, 6 e 10 uH observados nos tempos de 24, 26 e 34 horas de funcionamento, caracterizados pelos inícios dos transpasses no FRD, observados na Figura 5.61. O início do transpasse no FAAG ocorreu a partir das 16 horas de funcionamento, chegando a cor aparente de 88 uH ao término do ensaio.

Figura 5.61 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 12 a 16 uH, na AE de 94 a 107 uH e na APO de 88 a 102 uH, durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = $180 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$).

A turbidez do efluente do FRD manteve-se $< 1 \text{ uT}$ durante a maior parte do tempo, com exceção da ocorrência de dois transpasses no filtro que iniciaram após 20 e 30 horas de funcionamento, sendo necessária a lavagem do filtro. Observa-se na Figura 5.62 o início do transpasse no FAAG após 14 horas de funcionamento, ocorrendo também o aumento gradual na cor aparente do efluente do FAAG, mostrado na Figura 5.61.

Quanto à remoção de substâncias húmicas, em termos de absorvância 254 nm e COD, as porcentagens de remoção foram respectivamente, da ordem de 87 a 94% e 38 a 62% no FRD. Nas Figuras 5.63 e 5.64 estão as variações da absorvância 254 nm e do COD durante o ensaio 12.

Figura 5.62 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG.

Figura 5.63 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 5.2 do ANEXO C.

Figura 5.64 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela C 5.2 do ANEXO C.

5.4.4.7 Ensaio 13 - Pré-oxidação com Permanganato de Potássio

Foi preparada uma solução estoque de permanganato de potássio com concentração de 500 mg/L. Com o ensaio preliminar na instalação piloto em escoamento contínuo foram determinadas as dosagens de permanganato de potássio e de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O, de 1,0 e 4,0 mg/L respectivamente, para pH de coagulação da ordem de 5,5. A vazão na bomba dosadora foi calculada pela equação (4.5):

Para C = 1 mg/L; C_{SE} = 500 mg/L e Q_{ab} = 170 L/h:

$$1 = \frac{0 \cdot 170 + 500 \cdot Q_{bd}}{170 + Q_{bd}} \Rightarrow Q_{bd} = 0,34 \text{ L/h}$$

As taxas de filtração médias no FAAG e no FRD durante este ensaio foram de 184 e 279 m³/m²d respectivamente (ver Tabela C 6.4 do ANEXO C). Na Figura 5.65 está apresentada a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD para a temperatura de 20°C. Foram executadas duas lavagens no FRD devido à ocorrência do transpasse, nos tempos de 27 e 34 horas de funcionamento. A perda de carga final no FAAG foi de 107,7 cm, com redução de 48% comparada ao ensaio 8 - sem pré-oxidação. Nas Figuras C 6.1 e C 6.2 do ANEXO C estão as perdas de carga ao longo do meio filtrante do FAAG e do FRD.

Figura 5.65 – Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 6.3 do ANEXO C.

Na Tabela 5.26 está apresentado o resumo das condições de coagulação e oxidação, e das características da água bruta, água de estudo, água pré-oxidada e efluentes do FAAG e FRD durante o ensaio 13. Nas Tabelas C 6.1 a C 6.4 do ANEXO C estão todos os resultados obtidos no ensaio 13.

A cor aparente do efluente do FRD se manteve $\leq 1 \text{ uH}$, na maior parte do tempo, com exceção de valores de 4, 10 e 6 uH observados nos tempos de 26, 28 e 34 horas de funcionamento, caracterizados pelos inícios dos transpasses no FRD, observados na Figura 5.66. O início do transpasse no FAAG ocorreu a partir das 16 horas de funcionamento, chegando à cor aparente de 111 uH ao término do ensaio.

A turbidez do efluente do FRD manteve-se $< 1 \text{ uT}$ durante a maior parte do tempo, com exceção da ocorrência de dois transpasses no filtro que iniciaram após 20 e 30 horas de funcionamento, sendo necessária a lavagem do filtro. Observa-se na Figura 5.67 o início do transpasse no FAAG após 14 horas de funcionamento, ocorrendo também um aumento gradual na cor aparente do efluente do FAAG, mostrado na Figura 5.66.

Tabela 5.26 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio.

ENSAIO 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio					
Taxas de filtração médias	FAAG = 184 e FRD = 279 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 5,20 a 5,61; temperatura = 18 a 22°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de KMnO ₄ ≅ 1,0 mg/L				
Duração da carreira	36 h				
Características	AB	AE	APO	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,34 a 6,56	6,52 a 6,68	6,23 a 6,50	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	4,8 a 7,3	6,8 a 8,8	5,5 a 7,5	NR	NR
Cor aparente (uH)	73 a 85	155 a 186	220 a 252	< 1 a 115	< 1 a 10 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	12 a 14	96 a 111	124 a 144	NR	NR
Turbidez (uT)	7 a 11,2	NR	NR	0,03 a 14,0	< 0,01 a 1
Absorvância 254 nm	0,042 a 0,051	0,166 a 0,183	0,183 a 0,198	0,003 a 0,013	0,007 a 0,016
COD (mg/L)	2,1 a 3,1	3,5 a 4,3	3,2 a 4,0	1,9 a 2,9	2,0 a 2,9
Ferro (mg/L)	0,587 a 0,842	0,780 a 0,847	0,731 a 1,536	0,054 a 0,204	0,016 a 0,071
Manganês (mg/L)	0,301 a 0,408	0,515 a 0,416	0,401 a 0,510	0,157 a 0,353	0,056 a 0,087
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	0,03 a 0,073	0,026 a 0,047
Alumínio residual (mg/L)	< 0,01 a 0,01	< 0,01 a 0,01	NR	0,04 a 0,17	0,03 a 0,15

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. (*) Valor observado no início do ensaio.

Quanto à remoção de substâncias húmicas, em termos de absorvância 254 nm e COD, as porcentagens de remoção foram respectivamente, da ordem de 91 a 96% e 32 a 53% no FRD. Nas Figuras 5.68 e 5.69 estão as variações da absorvância 254 nm e do COD durante o ensaio 13.

Figura 5.66 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira a AB de 12 a 14 uH, na AE de 96 a 111 uH e na APO de 124 a 144 uH, durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio. Fonte: Tabela C 6.1 do ANEXO C.

Figura 5.67 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG.

Figura 5.68 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.2 do ANEXO C.

Figura 5.69 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.2 do ANEXO C.

5.4.4.8 Ensaio 14 - Pré-oxidação com Peroxônio

Foi preparada uma solução estoque de peróxido de hidrogênio com concentração de 250 mg/L. Adicionava-se peróxido de hidrogênio na saída da caixa

de homogeneização de substâncias húmicas e aplicava-se ozônio na coluna de ozonização.

Neste ensaio fixou-se a dosagem de ozônio e variou-se a dosagem de peróxido de hidrogênio na proporção de aproximadamente 1:2 de $\text{H}_2\text{O}_2:\text{O}_3$. A dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ e o pH de coagulação foram variados até obter o par de valores que resultasse cor aparente no efluente do FRD $\leq 5 \text{ uH}$, no ensaio preliminar na instalação piloto em escoamento contínuo. Para esta condição, as melhores dosagens obtidas foram: 1 mg/L de H_2O_2 :2 mg/L de O_3 , dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O} \cong 4 \text{ mg/L}$ e pH de coagulação da ordem de 5,5.

Para $C = 1,0 \text{ mg/L}$; $C_{\text{SE}} = 250 \text{ mg/L}$ e $Q_{\text{ab}} = 170 \text{ L/h}$, a vazão na bomba dosadora foi de:

$$1 = \frac{0 \cdot 170 + 250 \cdot Q_{\text{bd}}}{170 + Q_{\text{bd}}} \Rightarrow Q_{\text{bd}} = 0,68 \text{ L/h}$$

As taxas de filtração médias no FAAG e no FRD foram de 183 e 282 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ respectivamente (ver Tabela C 7.4 do ANEXO C). Na Figura 5.70 está apresentada a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD durante o ensaio 14, para a temperatura de 20°C. Neste ensaio não foi necessária a lavagem do FRD e a perda de carga final no FAAG foi de 100,3 cm, com redução de 51,7% comparada ao ensaio 8. Nas Figuras C 7.1 e C 7.2 estão as perdas de carga ao longo do meio filtrante no FAAG e no FRD.

Figura 5.70 – Evolução da perda de carga no FAAG (180 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD (280 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 14, pré-oxidação com peroxônio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 7.3 do ANEXO C.

Na Tabela 5.27 está apresentado o resumo das condições de coagulação e oxidação, e das características da água bruta, água de estudo, água pré-oxidada e efluentes do FAAG e FRD durante o ensaio 14. Nas Tabelas C 7.1 a C 7.4 do ANEXO C estão todos os resultados obtidos durante o ensaio 14.

Na Figura 5.71 observa-se que a cor aparente do efluente do FRD se manteve ≤ 1 uH durante todo o tempo, com exceção do valor de 6 uH no início do ensaio. O início do transpasse no FAAG ocorreu a partir das 24 horas de funcionamento, chegando à cor aparente de 49 uH ao término do ensaio.

A turbidez do efluente do FRD manteve-se < 1 uT durante a maior parte do tempo. Observa-se na Figura 5.72 o início do transpasse no FAAG após 22 horas de funcionamento, ocorrendo também um aumento gradual na cor aparente do efluente do FAAG, mostrado na Figura 5.71.

Tabela 5.27 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 14, pré-oxidação com peroxônio.

ENSAIO 14 – pré-oxidação com peroxônio					
Taxas de filtração médias	FAAG = 183 e FRD = 282 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} $\cong$ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 5,12 a 5,51; temperatura = 21 a 25°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem de H ₂ O ₂ $\cong$ 1,0 a 1,3 mg/L; dosagem de O ₃ $\cong$ 2,0 a 2,6 mg/L (H ₂ O ₂ :O ₃ $\cong$ 0,5)				
Duração da carreira	36 h				
Características	AB	AE	APO	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,80 a 7,41	6,77 a 7,08	6,15 a 6,61	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	8,4 a 11,5	9,4 a 11,3	6,5 a 8,4	NR	NR
Cor aparente (uH)	106 a 118	179 a 201	126 a 148	< 1 a 49	< 1 a 6 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	17 a 22	94 a 109	51 a 71	NR	NR
Turbidez (uT)	7,7 a 12,1	NR	NR	0,05 a 3,7	< 0,01 a 1
Absorvância 254 nm	0,065 a 0,073	0,183 a 0,197	0,113 a 0,137	0,008 a 0,026	0,011 a 0,030
COD (mg/L)	2,3 a 2,6	3,7 a 4,5	3,4 a 4,0	2,5 a 3,0	2,2 a 2,8
Ferro (mg/L)	1,224 a 1,453	1,425 a 1,515	1,371 a 1,479	0,099 a 0,173	0,036 a 0,098
Manganês (mg/L)	0,302 a 0,515	0,323 a 0,497	0,328 a 0,396	0,104 a 0,270	0,059 a 0,081
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	ND	ND
Alumínio residual (mg/L)	ND	ND	NR	0,15 a 0,23	0,13 a 0,20

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Figura 5.71 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 17 a 22 uH, na AE de 94 a 109 uH e na APO de 51 a 71 uH, durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio. Fonte: Tabela C 7.1 do ANEXO C.

Figura 5.72 - Variação da turbidez na AB e nos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio e sem DFIs no FAAG.

Quanto à remoção de substâncias húmicas, em termos de absorvância 254 nm e COD, as porcentagens de remoção foram respectivamente, da ordem de 84 a 94% e 30 a 45% no FRD. Nas Figuras 5.73 e 5.74 estão as variações da absorvância 254 nm e do COD durante o ensaio 14.

Figura 5.73 – Variação de absorvância 254 nm da AB, AE, APO e dos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14, pré-oxidação com peroxônio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.2 do ANEXO C.

Figura 5.74 – Variação de COD na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14, pré-oxidação com peroxônio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.2 do ANEXO C.

5.4.4.9 Ensaio 15 - Pré-oxidação com Hipoclorito de Sódio

No ensaio com cloro, utilizando hipoclorito de sódio, a solução estoque foi preparada com concentração de 500 mg/L. A dosagem de cloro aplicada no ensaio na instalação piloto em escoamento contínuo foi de 1 mg/L, e a vazão na bomba dosadora foi obtida pela equação (4.5):

Para $C = 1 \text{ mg/L}$; $C_{SE} = 500 \text{ mg/L}$ e $Q_{ab} = 170 \text{ L/h}$:

$$1 = \frac{0 \cdot 170 + 500 \cdot Q_{bd}}{170 + Q_{bd}} \Rightarrow Q_{bd} = 0,34 \text{ L/h}$$

Na Figura 5.75 está a evolução da perda de carga no FAAG e no FRD. Observa-se que os dois filtros apresentaram praticamente a mesma perda de carga final, não ocorrendo nenhuma lavagem no FRD durante as 36 horas de funcionamento.

Na Tabela 5.28 está apresentado o resumo dos resultados obtidos durante o ensaio 15, nas Tabelas C 8.1 a C 8.4 do ANEXO C estão todos os resultados obtidos durante o ensaio 15.

Figura 5.75 - Evolução da perda de carga no FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e no FRD ($280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para $T = 20^\circ\text{C}$ durante o ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG. Fonte: Tabela C 8.3 do ANEXO C.

Tabela 5.28 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio.

ENSAIO 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio					
Taxas de filtração médias	FAAG = 183 e FRD = 286 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 4,88 a 5,67; temperatura = 21 a 23°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de cloro = 1 mg/L				
Duração da carreira	16 h				
Características	AB	AE	APO	Efluente do FAAG	Efluente do FRD
pH	6,68 a 7,36	6,67 a 7,27	5,30 a 6,47	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	9,4 a 16,3	9,1 a 16,6	5,7 a 7,7	NR	NR
Cor aparente (uH)	107 a 121	155 a 220	178 a 217	< 1 a 19	< 1 a 12 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	20 a 23	42 a 113	90 a 108	NR	NR
Turbidez (uT)	10,43 a 14,64	NR	NR	0,04 a 2,08	< 0,01 a 1,03 ^(*)
Absorvância 254 nm	0,079 a 0,081	0,192 a 0,200	0,184 a 0,190	0,014 a 0,028	0,025 a 0,034
COD (mg/L)	2,5 a 2,7	4,0 a 4,2	3,8 a 4,2	2,0 a 2,4	2,1 a 2,7
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	0,37 a 1,73	0,35 a 1,59
Alumínio residual (mg/L)	0,01	0,01	NR	0,10 a 0,13	0,10 a 0,15

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

A cor aparente do efluente do FRD manteve-se ≤ 1 uH durante a maior parte do tempo, apresentando 12 uH no início do ensaio e 5 uH após 14 horas de funcionamento do filtro. Na Figura 5.76 está apresentada a variação da cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD, bem como a cor verdadeira na AB, AE e APO.

Na Figura 5.77 observa-se que os efluentes do FAAG e do FRD apresentaram turbidez < 1 uT, com pico de turbidez nos dois filtros após 8 horas de funcionamento, devido provavelmente aos problemas operacionais que ocorreram durante este ensaio, com relação às variações no pH de coagulação.

Quanto à remoção de substâncias húmicas em termos de absorvância 254 nm e COD, a eficiência de remoção no FRD variou de 83 a 87% e de 31,2 a 47,1% respectivamente. Nas Figuras 5.78 e 5.79 estão as variações da absorvância 254 nm e de COD durante o ensaio 15.

Figura 5.76 – Variação de cor aparente na AB, AE, APO e efluentes do FAAG e FRD, e cor verdadeira na AB de 20 a 23 uH, na AE de 42 a 113 uH e na APO de 90 a 108 uH, durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio. Fonte: Tabela C 8.1 do ANEXO C.

Figura 5.77 - Variação da turbidez na AB e dos efluentes do FAAG ($180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e FRD ($280 \text{ m}^2/\text{m}^3\text{d}$) durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG.

Figura 5.78 – Variação de absorvância 254 nm na AB, AE, APO e nos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.2 do ANEXO C.

Figura 5.79 – Variação de COD da AB, AE, APO e dos efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15, pré-oxidação com hipoclorito de sódio e sem DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.2 do ANEXO C.

Nas Tabelas 5.29, 5.30, 5.31 e 5.32, estão apresentados os resumos gerais dos resultados obtidos em todos os ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo, correspondentes à Fase 2 da 3ª etapa do trabalho experimental.

Com exceção do ensaio com pré-oxidação com ozônio, as determinações das dosagens de coagulante, oxidantes e o pH de coagulação foram feitas em ensaios preliminares na instalação piloto em escoamento contínuo, obtendo-se melhores resultados comparados aos ensaios em reatores estáticos. As dosagens de oxidantes foram determinadas com base nas concentrações de residual de oxidantes obtidas nos ensaios preliminares.

Observa-se que, com a redução da dosagem de coagulante nos ensaios com pré-oxidação comparados ao ensaio sem pré-oxidação, foi possível trabalhar com pH de coagulação mais alto em que obtiveram-se menores concentrações de alumínio residual no efluente do FRD.

Com a dosagem aplicada de ozônio de aproximadamente 6 mg/L, a cor verdadeira da água pré-oxidada variou de 23 a 91 uH, apresentando remoção da ordem de 62 a 76% somente com a pré-oxidação; enquanto que, com os demais oxidantes a cor verdadeira da água pré-oxidada muitas vezes aumentou.

Em geral, a cor aparente no efluente do FRD variou de < 1 a 10 uH e a turbidez manteve-se menor que 1 uT, exceto nas ocasiões em que ocorreu o transpasse no filtro e procedia-se a lavagem do FRD.

Tabela 5.29 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 8 e 9 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.

	ENSAIO 8 – sem pré-oxidação				ENSAIO 9 – pré-oxidação com ozônio				
Taxas de filtração médias	FAAG = 185 e FRD = 280 m ³ /m ² d				FAAG = 186 e FRD = 283 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 7 mg/L; pH de coagulação = 5,04 a 5,32; temperatura = 20 a 23°C				D _{SA} ≅ 3,3 a 9,6 mg/L; pH de coagulação = 4,57 a 5,39; temperatura = 20 a 25,5°C				
Condições de pré-oxidação	-				Dosagem aplicada de O ₃ ≅ 6 mg/L				
Duração da carreira	36 h				36 h				
Características	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD
pH	6,52 a 6,60	6,44 a 6,69	NR	NR	6,64 a 6,74	6,56 a 6,75	5,91 a 6,13	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,4 a 9,5	7,0 a 9,0	NR	NR	7,3 a 12,8	6,8 a 10,8	4,62 a 6,38	NR	NR
Cor aparente (uH)	130 a 146	200 a 223	< 1 a 93	< 1 a 10 ^(*)	142 a 165	197 a 240	118 a 192	< 1 a 106	< 1 a 2
Cor verdadeira (uH)	21 a 27	93 a 105	NR	NR	14 a 28	83 a 106	23 a 91	NR	NR
Turbidez (uT)	10,7 a 15,2	NR	< 0,01 a 3,13	< 0,01 a 1,46	11,6 a 28,5	NR	NR	< 0,01 a 12,9	< 0,01 a 1
Absorvância 254 nm	0,069 a 0,091	0,183 a 0,201	0,005 a 0,041	0,007 a 0,022	0,072 a 0,086	0,184 a 0,201	0,095 a 0,105	0,009 a 0,030	0,008 a 0,022
COD (mg/L)	1,5 a 2,0	2,6 a 3,6	1,7 a 2,0	1,7 a 2,0	1,8 a 2,3	2,2 a 2,7	2,5 a 2,8	2,2 a 2,3	2,2
Ferro (mg/L)	NR	NR	NR	NR	1,716	1,482	1,696	0,417	0,399
Manganês (mg/L)	NR	NR	NR	NR	0,100	0,078	0,098	0,044	0,034
Alumínio residual (mg/L)	ND	< 0,01 a 0,02	0,04 a 0,15	0,02 a 0,16	NR	NR	NR	ND	ND

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Tabela 5.30 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 10 e 11 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.

	ENSAIO 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio					ENSAIO 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona				
Taxas de filtração médias	FAAG = 188 e FRD = 280 m ³ /m ² d					FAAG = 186 e FRD = 281 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 3,5 mg/L; pH de coagulação = 5,18 a 5,52; temperatura = 19,5 a 22°C					D _{SA} ≅ 3,0 a 4,0 mg/L; pH de coagulação = 4,95 a 5,60; temperatura = 17 a 21°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de H ₂ O ₂ ≅ 35 mg/L					Dosagem aplicada de Cl ₂ ≅ 4,0 a 7,0 mg/L				
Duração da carreira	36 h					36 h				
Características	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD
pH	6,44 a 6,60	6,38 a 6,60	5,90 a 6,24	NR	NR	6,61 a 6,76	6,64 a 6,87	5,73 a 6,51		NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	3,5 a 7,9	5,5 a 8,4	3,1 a 5,7	NR	NR	5,1 a 8,8	5,5 a 7,5	3,5 a 7,0	NR	NR
Cor aparente (uH)	130 a 184	197 a 262	192 a 259	< 1 a 106	< 1 a 21 ^(*)	96 a 109	171 a 193	163 a 192	< 1 a 81	< 1 a 5
Cor verdadeira (uH)	18 a 31	90 a 121	91 a 117	NR	NR	12 a 16	92 a 102	83 a 96	NR	NR
Turbidez (uT)	10,88 a 19,00	NR	NR	0,02 a 6,4	0,02 a 1	8,5 a 12,8	NR	NR	< 0,01 a 10,7	< 0,01 a 1
Absorvância 254 nm	0,075 a 0,107	0,176 a 0,230	0,186 a 0,248	0,018 a 0,079	0,021 a 0,083	0,048 a 0,054	0,170 a 0,188	0,161 a 0,182	0,014 a 0,021	0,018 a 0,025
COD (mg/L)	2,4 a 3,2	3,0 a 4,4	3,6 a 5,3	2,1 a 2,5	2,1 a 2,9	2,7 a 4,0	4,6 a 6,6	4,7 a 5,5	3,3 a 4,2	3,1 a 6,3
Ferro (mg/L)	1,211 a 1,688	1,521 a 2,408	0,893 a 1,537	0,301 a 1,059	0,012 a 0,198	0,752 a 1,404	0,786 a 1,166	1,325 a 1,362	0,162 a 0,854	0,205 a 0,268
Manganês (mg/L)	0,041 a 0,056	0,026 a 0,043	0,040 a 0,053	0,028 a 0,044	0,011 a 0,022	0,008 a 0,026	0,007 a 0,018	0,024 a 0,026	0,005 a 0,019	0,004 a 0,007
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	0,065 a 0,109	0,088 a 0,095	NR	NR	NR	0,35 a 3,56	0,28 a 3,36
Alumínio residual (mg/L)	ND	< 0,01 a 0,01	NR	0,06 a 0,11	0,03 a 0,07	< 0,01 a 0,04	< 0,01 a 0,03	NR	0,10 a 0,18	0,07 a 0,15 ^(*)

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Tabela 5.31 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 12 e 13 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.

	ENSAIO 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro					ENSAIO 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio				
Taxas de filtração médias	FAAG = 186 e FRD = 279 m ³ /m ² d					FAAG = 184 e FRD = 279 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 5,09 a 5,47; temperatura = 16 a 22°C					D _{SA} ≅ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 5,20 a 5,61; temperatura = 18 a 22°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de ClO ₂ ≅ 0,4 mg/L					Dosagem aplicada de KMnO ₄ ≅ 1,0 mg/L				
Duração da carreira	36 h					36 h				
Características	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD
pH	6,58 a 6,70	6,70 a 7,00	6,25 a 6,57	NR	NR	6,34 a 6,56	6,52 a 6,68	6,23 a 6,50	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,4 a 7,7	7,3 a 8,8	4,8 a 6,4	NR	NR	4,8 a 7,3	6,8 a 8,8	5,5 a 7,5	NR	NR
Cor aparente (uH)	88 a 103	167 a 184	161 a 179	< 1 a 88	< 1 a 10 ^(*)	73 a 85	155 a 186	220 a 252	< 1 a 115	< 1 a 10 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	12 a 16	94 a 107	88 a 102	NR	NR	12 a 14	96 a 111	124 a 144	NR	NR
Turbidez (uT)	7,4 a 12,1	NR	NR	< 0,01 a 7,3	< 0,01 a 1	7 a 11,2	NR	NR	0,03 a 14,0	< 0,01 a 1
Absorvância 254 nm	0,043 a 0,056	0,174 a 0,189	0,165 a 0,181	0,007 a 0,021	0,010 a 0,023	0,042 a 0,051	0,166 a 0,183	0,183 a 0,198	0,003 a 0,013	0,007 a 0,016
COD (mg/L)	1,5 a 2,4	3,5 a 4,2	3,2 a 4,0	1,6 a 4,3	1,4 a 2,5	2,1 a 3,1	3,5 a 4,3	3,2 a 4,0	1,9 a 2,9	2,0 a 2,9
Ferro (mg/L)	1,179 a 1,328	1,164 a 1,436	0,958 a 1,063	0,453 a 0,517	0,126 a 0,202	0,587 a 0,842	0,780 a 0,847	0,731 a 1,536	0,054 a 0,204	0,016 a 0,071
Manganês (mg/L)	0,046 a 0,056	0,047 a 0,048	0,020 a 0,041	0,013 a 0,021	0,016 a 0,019	0,301 a 0,408	0,515 a 0,416	0,401 a 0,510	0,157 a 0,353	0,056 a 0,087
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	< 0,01	< 0,01	NR	NR	NR	0,03 a 0,073	0,026 a 0,047
Alumínio (mg/L)	< 0,001 a 0,01	ND	NR	0,04 a 0,11	0,02 a 0,10	< 0,01 a 0,01	< 0,01 a 0,01	NR	0,04 a 0,17	0,03 a 0,15

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

Tabela 5.32 – Resumo geral dos resultados obtidos nos ensaios 14 e 15 na instalação piloto em escoamento contínuo sem e com pré-oxidação, durante a Fase 2.

	ENSAIO 14 – pré-oxidação com peroxônio					ENSAIO 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio				
Taxas de filtração médias	FAAG = 183 e FRD = 282 m ³ /m ² d					FAAG = 183 e FRD = 286 m ³ /m ² d				
Condições de coagulação	D _{SA} ≅ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 5,12 a 5,51; temperatura = 21 a 25°C					D _{SA} ≅ 4,0 mg/L; pH de coagulação = 4,88 a 5,67; temperatura = 21 a 23°C				
Condições de pré-oxidação	Dosagem de H ₂ O ₂ ≅ 1,0 a 1,3 mg/L; dosagem de O ₃ ≅ 2,0 a 2,6 mg/L (H ₂ O ₂ :O ₃ ≅ 0,5)					Dosagem aplicada de cloro = 1 mg/L				
Duração da carreira	36 h					16 h				
Características	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD
pH	6,80 a 7,41	6,77 a 7,08	6,15 a 6,61	NR	NR	6,68 a 7,36	6,67 a 7,27	5,30 a 6,47	NR	NR
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	8,4 a 11,5	9,4 a 11,3	6,5 a 8,4	NR	NR	9,4 a 16,3	9,1 a 16,6	5,7 a 7,7	NR	NR
Cor aparente (uH)	106 a 118	179 a 201	126 a 148	< 1 a 49	< 1 a 6 ^(*)	107 a 121	155 a 220	178 a 217	< 1 a 19	< 1 a 12 ^(*)
Cor verdadeira (uH)	17 a 22	94 a 109	51 a 71	NR	NR	20 a 23	42 a 113	90 a 108	NR	NR
Turbidez (uT)	7,7 a 12,1	NR	NR	0,05 a 3,7	< 0,01 a 1	10,43 a 14,64	NR	NR	0,04 a 2,08	< 0,01 a 1,03 ^(*)
Absorvância 254 nm	0,065 a 0,073	0,183 a 0,197	0,113 a 0,137	0,008 a 0,026	0,011 a 0,030	0,079 a 0,081	0,192 a 0,200	0,184 a 0,190	0,014 a 0,028	0,025 a 0,034
COD (mg/L)	2,3 a 2,6	3,7 a 4,5	3,4 a 4,0	2,5 a 3,0	2,2 a 2,8	2,5 a 2,7	4,0 a 4,2	3,8 a 4,2	2,0 a 2,4	2,1 a 2,7
Ferro (mg/L)	1,224 a 1,453	1,425 a 1,515	1,371 a 1,479	0,099 a 0,173	0,036 a 0,098	NR	NR	NR	NR	NR
Manganês (mg/L)	0,302 a 0,515	0,323 a 0,497	0,328 a 0,396	0,104 a 0,270	0,059 a 0,081	NR	NR	NR	NR	NR
Residual de oxidante (mg/L)	NR	NR	NR	ND	ND	NR	NR	NR	0,37 a 1,73	0,35 a 1,59
Alumínio residual (mg/L)	ND	ND	NR	0,15 a 0,23	0,13 a 0,20	0,01	0,01	NR	0,10 a 0,13	0,10 a 0,15

D_{SA} = dosagem de Al₂(SO₄)₃.14,3 H₂O; AB = água bruta; AE = água de estudo; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; COD = carbono orgânico dissolvido; ND = não detectado; NR = não realizado. ^(*) Valor observado no início do ensaio.

5.4.5 Formação de Subprodutos da Pré-Oxidação e Pós-Cloração

Os resultados das análises de formação de subprodutos da pré-oxidação e pós-cloração estão apresentados nas Tabelas D 1.1 a D 1.4 do ANEXO D e os cromatogramas referentes a estes resultados também estão apresentados no ANEXO D. Nas Figuras 5.80 a 5.88 estão identificados e quantificados os subprodutos formados com a utilização dos diferentes oxidantes utilizados nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação.

Após a coleta das amostras de água pré-oxidada e do efluente do FRD, foi feita a pós-cloração com tricloro-s-triazina-triona, com dosagem de cloro variando de 4 a 6 mg/L ($D_{Cl_2} : COD_{amostra} = 2$), cuja variação foi decorrente do valor do COD da amostra, e tempo de contato de 24 horas. O pH da água pré-oxidada variou de 5,7 a 6,5 e das amostras do efluente do FRD variaram de 4,9 a 5,2 (amostra 1, $pH \cong 5,0$); 7,0 a 8,6 (amostra 2, $pH \cong 7,0$); e 9,0 a 10,5 (amostra 3, $pH \cong 9,0$).

Não foram feitas as análises de formação de subprodutos do efluente do FRD para os ensaios 8 (sem pré-oxidação), 9 (pré-oxidação com ozônio) e 10 (pré-oxidação com peróxido de hidrogênio), e no ensaio 11 (pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona) foram feitas somente as análises de formação de trialometanos. Os fatores que impediram a realização destas análises foram o atraso na importação dos padrões cromatográficos e conseqüentemente no desenvolvimento dos métodos para as análises dos subprodutos, e o tempo de armazenamento das amostras recomendado pelos métodos, de 7 dias da amostra sem extração e 7 dias das amostras extraídas.

No período de realização dos ensaios 11, 12, 13, 14 e 15 os métodos para a quantificação de subprodutos já haviam sido desenvolvidos e foi possível a realização das análises. Com o objetivo de verificar a formação de subprodutos utilizando-se ozônio e peróxido de hidrogênio, que corresponderiam aos ensaios 9 e 10, fez-se pré-ensaios na instalação piloto, com pré-oxidação da água de estudo, nas mesmas condições dos ensaios 9 e 10, e foram coletadas amostras de água pré-oxidada, as quais foram cloradas e após tempo de contato de 24 horas foram submetidas às análises de formação de subprodutos, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas D 1.1 e D 1.2 do ANEXO D e nas Figuras 5.80 a 5.88.

Nas Figuras 5.80, 5.81 e 5.82 estão apresentados os trialometanos (clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio), nas Figuras 5.83, 5.84 e 5.85 estão apresentadas as haloacetoneitrilas, halocetonas e

halopictinas (tricloroacetona, dicloroacetona, bromocloroacetona, dibromoacetona, cloropictina, 1,1-dicloropropanona, 1,1,1-tricloropropanona) e nas Figuras 5.86, 5.87 e 5.88 estão apresentados os ácidos haloacéticos (ácido cloroacético, ácido bromoacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido bromocloroacético, ácido bromodicloroacético, ácido dibromoacético, ácido clorodibromoacético e ácido tribromoacético) das amostras pré-oxidadas e do efluente do FRD, com variação do pH, e pós-cloradas.

Figura 5.80 - Formação de trialometanos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 4,9 a 5,2) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m³/m²d (FAAG) e 280 m³/m²d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.81 - Formação de trialometanos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 7,0 a 8,6) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m³/m²d (FAAG) e 280 m³/m²d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.82 - Formação de trialometanos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e do efluente do FRD (pH de 9,0 a 10,5) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m³/m²d (FAAG) e 280 m³/m²d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.83 - Formação de haloacetoneitrilas, haloacetonas e halopícrinas nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 4,9 a 5,2) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m³/m²d (FAAG) e 280 m³/m²d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.84 - Formação de haloacetoneitrilas, haloacetonas e halopícrinas nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 7,0 a 8,6) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m³/m²d (FAAG) e 280 m³/m²d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.85 - Formação de haloacetoneitrilas, haloacetonas e halopícrinas nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 9,0 a 10,5) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (FAAG) e $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.86 - Formação de ácidos haloacéticos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 4,9 a 5,2) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (FAAG) e $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.87 - Formação de ácidos haloacéticos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 7,0 a 8,6) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m³/m²d (FAAG) e 280 m³/m²d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Figura 5.88 - Formação de ácidos haloacéticos nas amostras de APO (pH de 5,7 a 6,5) e no efluente do FRD (pH de 9,0 a 10,5) pós-cloradas com dosagem de cloro de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 horas, coletadas após 6 horas de funcionamento dos filtros nos

ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo com pré-oxidação e taxas de filtração de 180 m³/m²d (FAAG) e 280 m³/m²d (FRD). Fonte: Tabelas D 1.1 a D 1.4 e cromatogramas do ANEXO D.

Em todas as amostras de água pré-oxidadas e pós-cloradas foi observada a formação de subprodutos. A presença de clorofórmio e bromodiclorometano foi evidente em todos os ensaios, com valores máximos de 14,92 µg/L (pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona) e 7,0 µg/L (pré-oxidação com peróxido de hidrogênio) respectivamente, sendo encontrado em menor concentração nos ensaios 12 (pré-oxidação com dióxido de cloro) e 13 (pré-oxidação com permanganato de potássio). Com relação às haloacetonitrilas, halocetonas e halopicrinas, houve formação em menores concentrações em todos os ensaios (< 10 µg/L), com exceção da formação do composto bromocloroacetonitrila, no ensaio 15 (pré-oxidação com hidróxido de sódio) que apresentou valor de 39,0 µg/L. Quanto aos ácidos haloacéticos, os maiores valores observados foram de 223,47 µg/L de ácido cloroacético e de 177,57 µg/L de ácido dicloroacético na amostra de água pré-oxidada com ozônio e pós-clorada; e de 120,82 µg/L de ácido cloroacético na amostra de água pré-oxidada com peróxido de hidrogênio e pós-clorada. Nos demais ensaios houve formação de ácidos haloacéticos em menores concentrações, com valores menores que 70 µg/L.

Nas Figuras 5.80, 5.81 e 5.82 observa-se o aumento de clorofórmio e bromodiclorometano nas amostras do efluente do FRD com o aumento do pH das amostras, principalmente nas amostras do ensaio 11 (pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona). Para este ensaio, na amostra do efluente do FRD com pH = 4,9 não houve formação de trialometanos, no entanto, as amostras 2 e 3, com pH = 8,4 e pH = 10,2 respectivamente, apresentaram valores de clorofórmio e bromoclorometano maiores que os apresentados na amostra de água pré-oxidada (ver Tabela D 1.2 do ANEXO D). Em geral, nas amostras do efluente do FRD obteve-se menores concentrações de trialometanos do que nas amostras de água pré-oxidada, com exceção do ensaio 12 (pré-oxidação com dióxido de cloro) em que se obtiveram maiores concentrações de clorofórmio e bromodiclorometano na amostra do efluente do FRD com pH = 10,5. Em todos os ensaios, a concentração de clorofórmio nas amostras do efluente do FRD foi menor que 27 µg/L e de bromodiclorometano, menor que 6 µg/L.

Com relação à formação de haloacetonitrilas, halocetonas e halopicrinas, concentrações menores que 5 µg/L foram obtidas nas amostras do efluente do FRD, com diferentes valores de pH.

Comparando-se as Figuras 5.86, 5.87 e 5.88 observa-se um aumento gradual na formação de ácidos haloacéticos nas amostras do efluente do FRD com o aumento do pH, com exceção do ensaio 14 (pré-oxidação com peroxônio) em que ocorreu diminuição nas concentrações de ácido dicloroacético com o aumento do pH. Em geral, as concentrações de ácidos haloacéticos obtidas para as amostras do efluente do FRD com diferentes valores de pH, foram menores que 50 µg/L.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados na instalação piloto em escoamento contínuo correspondentes à Fase 1, conclui-se:

- a) Houve eficiência de remoção de substâncias húmicas nos ensaios sem pré-oxidação em termos de cor aparente, absorvância 254 nm e carbono orgânico dissolvido, no entanto, devido a coagulação ocorrer em pH próximo de 5,0, o efluente do filtro descendente apresentou, nos ensaios em que foram realizadas as análises de residual de alumínio, concentrações que ultrapassaram o limite permitido pelo Padrão de Potabilidade prescrito na Portaria 518/2004;
- b) A taxa de filtração de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG, utilizada no ensaio 1, foi relativamente alta, devido à necessidade de execução de DFIs quando o efluente do FAAG atingia cor aparente $\geq 50 \text{ uH}$, em média a cada 2 horas, inviabilizando a operação e recuperação da qualidade do efluente do FAAG;
- c) Dos ensaios com duração de 72 horas, o ensaio 7, com taxas de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e $240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD, foi o que apresentou maior produção efetiva de água filtrada, com 95,4%, e o ensaio 5, com taxas de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD, foi o ensaio em que se obteve menor produção efetiva de água filtrada, com 93,6%;
- d) No ensaio 5, com taxas de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAAG e de $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FRD, o efluente do FAAG apresentou cor aparente menor ou igual a 1 uH e turbidez menor que 1 uT, não havendo necessidade do filtro descendente, no que se refere a estas características da água;
- e) Na maioria dos ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG, o critério de execução de DFIs quando a cor aparente do FAAG atingiu valor $\geq 50 \text{ uH}$ foi predominante, em geral a partir da 2ª DFI.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados na instalação piloto em escoamento contínuo correspondentes à Fase 2, conclui-se:

- a) Nos ensaios com pré-oxidação a dosagem de sulfato de alumínio foi reduzida em aproximadamente 50% e o pH de coagulação variou de 5,0 a

5,6, resultando em menores concentrações de alumínio residual no efluente do filtro descendente, com valores abaixo do limite permitido pelo Padrão de Potabilidade prescrito na Portaria 518/2004;

- b) Observou-se redução de 43 a 63% na perda de carga final do filtro ascendente de areia grossa nos ensaios com pré-oxidação, comparados ao ensaio sem pré-oxidação, com taxas de filtração de 180 m³/m²d no FAAG e de 280 m³/m²d no FRD;
- c) Com relação à formação de trihalometanos e considerando o limite exigido na Portaria 518/2004, não ocorreu formação significativa destes subprodutos, apresentando valores menores que 15 µg/L de clorofórmio e menores que 7 µg/L de bromodiclorometano nas amostras de água pré-oxidadas e pós-cloradas, e menores que 27 µg/L e 6 µg/L de clorofórmio e bromodiclorometano respectivamente, nas amostras do efluente do filtro descendente pós-cloradas e com variação do pH, observando-se o aumento das concentrações destes subprodutos com o aumento do pH, principalmente no ensaio 11 com pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona;
- d) Quanto à formação de haloacetônitrilas, halocetonas e halopicrinas, as concentrações estiveram abaixo de 10 µg/L, com exceção de 39 µg/L de bromocloroacetônitrila observado na amostra de água pré-oxidada e pós-clorada, no ensaio 15 com pré-oxidação com hipoclorito de sódio, nas amostras do efluente do FRD com variação do pH, as concentrações obtidas destes subprodutos foram menores que 5 µg/L;
- e) Os ácidos haloacéticos apresentaram as concentrações mais elevadas comparadas aos demais subprodutos, com concentrações de 121 e 223 µg/L de ácido cloroacético e de 73 e 208 µg/L de ácido dicloroacético, na amostra de água pré-oxidada e pós-clorada quando utilizou-se peróxido de hidrogênio e ozônio respectivamente, com os demais pré-oxidantes houve formação de ácidos haloacéticos em concentrações de no máximo 88 µg/L, nas amostras do efluente do FRD com diferentes valores de pH, as concentrações obtidas foram menores que 48 µg/L;
- f) Os pré-oxidantes que apresentaram menores concentrações de subprodutos foram o dióxido de cloro e o permanganato de potássio, tanto na água pré-oxidada quanto no efluente do FRD.

Com base no trabalho realizado, as seguintes recomendações são apresentadas:

- a) Verificar a eficiência de remoção de substâncias húmicas com pré-oxidação e dupla filtração, em ensaios em instalação piloto, utilizando-se substâncias húmicas aquáticas;
- b) Em ensaios em instalação piloto, quando utilizar pré-oxidação, determinar as dosagens de coagulante, oxidante e o pH de coagulação em escoamento contínuo, evitando desta maneira, erros na aplicabilidade dos resultados determinados em reatores estáticos;
- c) Descartar o efluente do filtro ascendente logo após as descargas de fundo intermediárias, durante o tempo suficiente para a eliminação das partículas que se dependem do topo do meio filtrante, evitando deste modo, lavagens do filtro descendente em períodos muito curtos;
- d) Quando utilizar pré-oxidação, sempre verificar a formação de subprodutos, por representarem risco à saúde humana;
- e) Não utilizar tricloro-s-triazina-triona em tratamento de água, e sim, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio ou cloro gasoso na pré-oxidação e pós-cloração;
- f) Quando utilizar sulfato de alumínio como coagulante, verificar o alumínio residual na água filtrada;
- g) Quando utilizar dióxido de cloro, monitorar residuais de clorito e clorato.

ANEXOS

ANEXO A

Características do Sulfato de Alumínio

Tabela A.1 – Massa específica e concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$ à temperatura de 20 a 24° C.

Massa específica (kg/L)	Concentração (g/L)	Massa específica (kg/L)	Concentração (g/L)
1,005	11,6	1,175	319,6
1,010	19,7	1,180	330,4
1,015	27,4	1,185	340,1
1,020	35,7	1,190	349,9
1,025	43,6	1,195	360,9
1,030	52,0	1,200	372,0
1,035	60,0	1,205	382,6
1,040	68,6	1,210	393,3
1,045	76,8	1,215	404,0
1,050	85,6	1,220	414,8
1,055	93,9	1,225	426,3
1,060	102,8	1,230	437,9
1,065	111,3	1,235	448,3
1,070	119,8	1,240	458,8
1,075	129,0	1,245	470,6
1,080	138,2	1,250	482,5
1,085	147,0	1,255	493,9
1,090	155,9	1,260	505,3
1,095	164,8	1,265	516,8
1,100	173,8	1,270	528,3
1,105	182,9	1,275	540,6
1,110	192,0	1,280	553,0
1,115	201,3	1,285	564,1
1,120	210,6	1,290	575,3
1,125	220,5	1,295	587,9
1,130	230,5	1,300	600,6
1,135	239,5	1,305	613,4
1,140	240,5	1,310	626,2
1,145	258,8	1,315	637,8
1,150	269,1	1,320	649,4
1,155	279,5	1,325	662,5
1,160	290,0	1,330	675,6
1,165	299,4	1,335	688,2
1,170	308,9	1,340	700,8

Fonte: NHEEL QUÍMICA LTDA – Rio Claro (SP)

ANEXO B

Resultados obtidos nos Ensaaios na Instalação
Piloto em Escoamento Contínuo – Fase 1

Tabela B 1.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 240 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0	20,0	81	185			13	92
1	19,5	89	197	< 1,0	< 1,0	12	96
3	19,0		202	< 1,0	< 1,0		112
5	19,0		182	< 1,0	< 1,0		93
7	19,0	85	192	< 1,0	< 1,0	18	109
9	18,5		179	< 1,0	< 1,0		95
11	19,0		201	4,0	< 1,0		93
13	20,0	117	221	30,0	< 1,0	17	114
15	21,5		205	44,0	< 1,0		91
17	22,0		200	15,0	< 1,0		109
19	22,0	91	197	49,0	< 1,0	20	109
21	21,0		168	17,0	< 1,0		85
23	20,0		201	36,0	< 1,0		113
26	19,5	80	190	38,0	< 1,0	17	76
27	19,5		210	9,0	< 1,0		128
29	19,5		184	31,0	< 1,0		104
31	19,5	80	185	39,0	< 1,0	20	94
33	19,5		186	14,0	< 1,0		122
35	19,5		192	55,0	< 1,0		87
37	19,5	210	294	11,0	< 1,0	26	97
39	20,0		329	< 1,0	< 1,0		133
41	20,0		366	57,0	< 1,0		112
43	20,0	235	340	59,0	< 1,0	27	106
45	20,0		337	37,0	4,0		109
47	19,5		321	35,0	< 1,0		103
50	19,0	238	308	26,0	< 1,0	29	101
Média	19,8	131	230	24,4	0,6	20	103
Mínimo	18,5	80	168	< 1,0	< 1,0	12	76
Máximo	22,0	238	366	59,0	4,0	29	133
DP	0,89	68,22	62,70	19,98	0,70	5,78	13,31

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 1.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 240 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH			Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)		Absorvância 254 nm				COD (mg/L)				Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	AC	AB	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,37	6,42	4,96	9,68	10,56	0,053	0,182			2,923	4,145			-	-	-	-
1	6,30	6,62	5,01	10,56	10,34	0,045	0,183	0,008	0,007	2,929	3,013	2,422	2,667	-	-	-	-
3	6,61	6,76	4,99														
5	6,71	6,92	4,97														
7	6,60	6,62	5,05	9,68	10,58	0,054	0,183	0,018	0,012								
9	6,95	7,05	5,07														
11	6,83	7,03	5,00														
13	6,58	6,76	4,90	7,92	9,24	0,054	0,191	0,015	0,013	2,591	4,682	3,174	0,853				
15	6,40	6,66	4,80														
17	6,53	6,46	4,94														
19	6,50	6,38	4,87			0,057	0,189	0,020	0,024								
21	6,52	6,35	4,92														
23	6,39	6,53	5,01														
26	6,39	6,37	6,03	7,26	9,90	0,058	0,144	0,009	0,010					-	-	-	-
27	6,29	6,49	5,04														
29	6,62	6,40	5,03														
31	6,28	6,42	5,03	8,14	8,80	0,059	0,179	0,012	0,016								
33	6,60	6,52	4,99														
35	6,94	6,77	5,00														
37	6,32	6,51	4,92	7,26	8,62	0,097	0,204	0,016	0,015	4,026	5,375	4,877	3,970				
39	6,49	6,37	4,88														
41	6,52	6,40	4,93														
43	6,51	6,31	4,91			0,095	0,225	0,018	0,019								
45	6,55	6,41	5,00														
47	6,51	6,38	4,94														
50	6,45	6,74	5,00	6,60	8,80	0,099	0,207	0,023	0,032	3,801	4,681	4,044	3,659	-	-	-	-
Média	6,53	6,56	5,01	8,39	9,61	0,067	0,189	0,015	0,016	3,254	4,379	3,629	2,787	-	-	-	-
Mínimo	6,28	6,31	4,80	6,60	8,62	0,045	0,144	0,008	0,007	2,591	3,013	2,422	0,853	-	-	-	-
Máximo	6,95	7,05	6,03	10,56	10,58	0,099	0,225	0,023	0,032	4,026	5,375	4,877	3,970	-	-	-	-
DP	0,18	0,21	0,22	1,42	0,84	0,021	0,021	0,005	0,008	0,622	0,880	1,064	1,404	-	-	-	-

Tabela B 1.3 – Perda de carga no FAAG (240 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 1, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (cm)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,0	66,9	68,5	20,0	21,9	1,6	23,5	21,7	1,6	23,3	12,1	39,6	61,0	84,0	27,5	21,4	23,0	71,9	27,3	21,2	22,8	71,4
1	46,0	69,6	72,2	19,5	23,6	2,6	26,2	23,1	2,5	25,7	12,1	39,5	61,0	87,2	27,4	21,5	26,2	75,1	26,9	21,1	25,7	73,6
2	46,0	72,3	76,0	19,5	26,3	3,7	30,0	25,8	3,6	29,4	12,1	39,2	60,6	87,4	27,1	21,4	26,8	75,3	26,6	21,0	26,3	73,8
3	46,0	74,5	78,9	19,0	28,5	4,4	32,9	27,6	4,3	31,9	12,1	39,3	60,9	88,7	27,2	21,6	27,8	76,6	26,4	20,9	26,9	74,2
4	46,0	77,2	82,4	19,0	31,2	5,2	36,4	30,2	5,0	35,3	12,1	39,5	61,2	89,7	27,4	21,7	28,5	77,6	26,5	21,0	27,6	75,2
4,5	46,0	79,7	85,7	19,0	33,7	6,0	39,7	32,6	5,8	38,5	12,0	38,5	59,6	87,5	26,5	21,1	27,9	75,5	25,7	20,4	27,0	73,1
5	46,0	79,1	82,2	19,0	33,1	3,1	36,2	32,1	3,0	35,1	12,0	39,1	60,6	89,6	27,1	21,5	29,0	77,6	26,3	20,8	28,1	75,2
6	46,0	81,5	85,7	19,0	35,5	4,2	39,7	34,4	4,1	38,5	12,0	39,5	61,4	91,0	27,5	21,9	29,6	79,0	26,6	21,2	28,7	76,5
7	46,0	84,5	90,0	19,0	38,5	5,5	44,0	37,3	5,3	42,6	12,0	39,4	61,5	91,4	27,4	22,1	29,9	79,4	26,5	21,4	29,0	76,9
8	46,0	88,4	95,1	18,5	42,4	6,7	49,1	40,6	6,4	47,0	12,0	39,6	61,6	92,0	27,6	22,0	30,4	80,0	26,4	21,1	29,1	76,6
9	46,0	90,6	99,3	18,5	44,6	8,7	53,3	42,7	8,3	51,0	12,0	39,7	61,9	92,5	27,7	22,2	30,6	80,5	26,5	21,2	29,3	77,1
10	46,0	95,9	104,6	19,0	49,9	8,7	58,6	48,3	8,4	56,8	12,0	39,9	62,0	93,0	27,9	22,1	31,0	81,0	27,0	21,4	30,0	78,5
11	46,1	99,9	109,5	19,0	53,8	9,6	63,4	52,1	9,3	61,4	12,0	40,0	62,5	94,3	28,0	22,5	31,8	82,3	27,1	21,8	30,8	79,7
12	46,1	102,8	113,0	20,0	56,7	10,2	66,9	56,3	10,1	66,4	12,0	41,2	64,5	100,0	29,2	23,3	35,5	88,0	29,0	23,1	35,2	87,3
13	46,2	106,1	116,9	20,0	59,9	10,8	70,7	59,5	10,7	70,2	12,1	40,3	63,0	104,6	28,2	22,7	41,6	92,5	28,0	22,5	41,3	91,8
13,4	46,1	107,8	119,0	21,5	61,7	11,2	72,9	63,5	11,5	75,0	12,1	41,4	65,0	113,3	29,3	23,6	48,3	101,2	30,2	24,3	49,7	104,2
14	46,1	108,7	120,0	21,5	62,6	11,3	73,9	64,4	11,6	76,1	12,2	42,0	66,2	118,0	29,8	24,2	51,8	105,8	30,7	24,9	53,3	108,9
15	46,1	111,5	123,2	22,0	65,4	11,7	77,1	68,1	12,2	80,3	12,1	37,7	59,5	116,5	25,6	21,8	57,0	104,4	26,7	22,7	59,4	108,8
15,2	46,1	112,5	124,7	22,0	66,4	12,2	78,6	69,2	12,7	81,9	12,0	37,9	60,2	120,7	25,9	22,3	60,5	108,7	27,0	23,2	63,0	113,2
16	46,1	107,5	112,4	22,0	61,4	4,9	66,3	64,0	5,1	69,1	12,2	39,6	65,3	138,5	27,4	25,7	73,2	126,3	28,5	26,8	76,3	131,6
17	46,1	111,5	117,6	22,0	65,4	6,1	71,5	68,1	6,4	74,5	12,2	39,8	66,0	141,2	27,6	26,2	75,2	129,0	28,8	27,3	78,3	134,4
18	46,1	116,0	123,5	21,0	69,9	7,5	77,4	71,1	7,6	78,7	12,2	40,2	67,2	147,2	28,0	27,0	80,0	135,0	28,5	27,5	81,3	137,3
19	46,1	121,0	129,5	21,0	74,9	8,5	83,4	76,2	8,6	84,8	12,2	41,0	69,5	158,5	28,8	28,5	89,0	146,3	29,3	29,0	90,5	148,8
20	46,1	94,0	97,2	20,0	47,9	3,2	51,1	47,5	3,2	50,7												
21	46,1	99,8	105,0	20,0	53,7	5,2	58,9	53,3	5,2	58,5	12,0	39,3	66,5	166,4	27,3	27,2	99,9	154,4	27,1	27,0	99,2	153,2

(continuação)

22	46,0	106,2	113,0	19,5	60,2	6,8	67,0	59,0	6,7	65,7	11,9	41,9	71,9	184,0	30,0	30,0	112,1	172,1	29,4	29,4	109,9	168,8
22	46,0	106,2	113,0	19,5	60,2	6,8	67,0	59,0	6,7	65,7	11,9	41,9	71,9	184,0	30,0	30,0	112,1	172,1	29,4	29,4	109,9	168,8
23	46,0	110,3	118,3	19,5	64,3	8,0	72,3	63,1	7,8	70,9	11,8	41,0	68,9	186,9	29,2	27,9	118,0	175,1	28,6	27,4	115,7	171,7
24	46,0	113,9	123,0	19,5	67,9	9,1	77,0	66,6	8,9	75,5	11,9	43,8	73,8	205,7	31,9	30,0	131,9	193,8	31,3	29,4	129,3	190,0
25	46,0	118,3	128,3	19,5	72,3	10,0	82,3	70,9	9,8	80,7	11,8	42,5	72,1	211,4	30,7	29,6	139,3	199,6	30,1	29,0	136,6	195,7
25,4				19,5							11,8	43,3	73,6	221,8	31,5	30,3	148,2	210,0	30,9	29,7	145,3	205,9
26	45,9	123,0	134,5	19,5	77,1	11,5	88,6	75,6	11,3	86,9												
27	46,0	125,0	131,0	19,5	79,0	6,0	85,0	77,5	5,9	83,4	11,8	40,1	61,9	91,8	28,3	21,8	29,9	80,0	27,8	21,4	29,3	78,4
28	46,0	130,1	137,8	19,5	84,1	7,7	91,8	82,5	7,6	90,0	11,9	40,4	62,5	97,6	28,5	22,1	35,1	85,7	27,9	21,7	34,4	84,0
29	46,0	136,5	146,0	19,5	90,5	9,5	100,0	88,7	9,3	98,1	11,8	40,5	63,2	105,7	28,7	22,7	42,5	93,9	28,1	22,3	41,7	92,1
30	46,0	140,3	150,6	19,5	94,3	10,3	104,6	92,5	10,1	102,6	11,8	40,8	65,0	113,1	29,0	24,2	48,1	101,3	28,4	23,7	47,2	99,3
31	46,0	144,5	155,8	19,5	98,5	11,3	109,8	96,6	11,1	107,7	11,8	39,7	65,0	117,0	27,9	25,3	52,0	105,2	27,4	24,8	51,0	103,2
32	46,0	149,5	162,1	19,5	103,5	12,6	116,1	101,5	12,4	113,8	11,8	39,5	66,6	124,9	27,7	27,1	58,3	113,1	27,2	26,6	57,2	110,9
33	46,0	149,6	156,0	19,5	103,6	6,4	110,0	101,6	6,3	107,9	11,8	40,2	69,9	136,1	28,4	29,7	66,2	124,3	27,8	29,1	64,9	121,9
34	46,0	155,3	163,3	19,5	109,3	8,0	117,3	107,2	7,8	115,0	11,8	41,4	72,8	142,7	29,6	31,4	69,9	130,9	29,0	30,8	68,5	128,4
35	46,0	161,7	171,5	19,5	115,7	9,8	125,5	113,5	9,6	123,1	11,8	40,5	72,4	144,3	28,7	31,9	71,9	132,5	28,1	31,3	70,5	129,9
36	46,0	136,4	142,7	20,0	90,4	6,3	96,7	89,7	6,3	96,0	12,1	38,1	57,0	79,4	26,0	18,9	22,4	67,3	25,8	18,8	22,2	66,8
37	46,0	141,3	149,5	20,0	95,3	8,2	103,5	94,6	8,1	102,7	12,1	39,2	58,9	85,2	27,1	19,7	26,3	73,1	26,9	19,6	26,1	72,6
38	46,0	149,8	160,4	20,0	103,8	10,6	114,4	103,0	10,5	113,5	12,2	40,1	63,8	105,0	27,9	23,7	41,2	92,8	27,7	23,5	40,9	92,1
39	46,1	109,5	113,9	20,0	63,4	4,4	67,8	62,9	4,4	67,3	12,3	40,2	60,4	105,5	27,9	20,2	45,1	93,2	27,7	20,0	44,8	92,5
40	46,1	118,1	124,2	20,0	72,0	6,1	78,1	71,5	6,1	77,5	12,1	39,0	58,7	105,5	26,9	19,7	46,8	93,4	26,7	19,6	46,5	92,7
41	46,1	126,8	158,8	20,0	80,7	32,0	112,7	80,1	31,8	111,9	12,2	39,6	59,9	118,8	27,4	20,3	58,9	106,6	27,2	20,1	58,5	105,8
42	46,1	112,3	118,4	20,0	66,2	6,1	72,3	65,7	6,1	71,8	12,2	40,0	61,2	128,3	27,8	21,2	67,1	116,1	27,6	21,0	66,6	115,2
43	46,1	126,1	133,7	20,0	80,0	7,6	87,6	79,4	7,5	86,9	12,2	40,6	62,7	135,4	28,4	22,1	72,7	123,2	28,2	21,9	72,2	122,3
44	46,0	120,3	125,6	20,0	74,3	5,3	79,6	73,7	5,3	79,0												
45	46,0	131,2	138,8	19,5	85,2	7,6	92,8	83,5	7,5	91,0	12,2	42,5	67,3	136,0	30,3	24,8	68,7	123,8	29,7	24,3	67,4	121,4
46	46,0	124,7	129,1	19,5	78,7	4,4	83,1	77,2	4,3	81,5												
47	46,0	137,1	144,7	19,5	91,1	7,6	98,7	89,3	7,5	96,8	12,0	40,1	64,8	156,2	28,1	24,7	91,4	144,2	27,6	24,2	89,6	141,4
48	46,0	142,7	151,6	19,0	96,7	8,9	105,6	93,7	8,6	102,3	12,2	42,2	68,8	167,0	30,0	26,6	98,2	154,8	29,1	25,8	95,1	150,0

(continuação)

48,2	46,0	145,0	154,5	19,0	99,0	9,5	108,5	95,9	9,2	105,1	12,1	41,1	67,1	167,2	29,0	26,0	100,1	155,1	28,1	25,2	97,0	150,3
49	46,0	145,3	151,7	19,0	99,3	6,4	105,7	96,2	6,2	102,4	12,1	42,0	69,3	175,4	29,9	27,3	106,1	163,3	29,0	26,4	102,8	158,2
50	46,0	154,0	162,6	19,0	108,0	8,6	116,6	104,6	8,3	113,0	12,0	40,7	67,4	176,5	28,7	26,7	109,1	164,5	27,8	25,9	105,7	159,4

Média (°C) = 19,8

TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; **DFIs = descargas de fundo intermediárias por perda de carga**; **DFIs = descargas de fundo intermediárias quando a cor aparente do FAAG atingiu valor ≥ 50 uH**; **Lavagem do FRD por perda de carga**; **Lavagem do FRD por transpasse**.

Figura B 1.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 1 (FAAG = 240 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela B 1.3 – ANEXO B.

Figura B 1.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 1 (FAAG = 240 m³/m²d e FRD = 280 m³/m²d). Fonte: Tabela B 1.3 – ANEXO B.

Tabela B 1.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 1 – sem pré-oxidação e com DFIs (FAAG = 240 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	54,07	55,26	30,90	22,60	162,83	77,86	250	285
1	51,94	56,42	28,35	22,26	158,97	78,68	244	288
2	53,59	56,03	28,27	22,07	159,96	78,10	246	286
3	54,74	54,82	27,95	21,99	159,50	76,81	245	281
4	53,26	57,67	29,40	22,56	162,89	80,23	250	293
5	53,98	54,65	29,39	23,28	161,30	77,93	248	285
6	52,67	55,86	28,24	22,76	160,05	79,14	246	289
7	53,27	53,96	28,01	23,12	158,00	76,72	243	281
8	52,41	53,95	28,49	22,22	157,97	77,07	243	282
9	53,23	56,19	28,36	22,46	160,00	78,41	246	287
10	53,52	55,54	28,14	23,55	159,66	78,00	245	285
11	53,91	53,79	28,42	22,61	159,67	77,34	245	283
12	48,66	57,71	26,32	23,38	155,30	80,32	239	294
13	54,01	56,95	23,36	22,57	157,70	80,33	242	294
14	53,33	53,46	21,87	22,92	151,23	76,03	232	278
15	63,09	52,20	21,25	23,23	159,46	75,12	245	275
16	58,91	57,54	17,07	22,90	156,75	80,77	241	295
17	59,04	58,07	17,14	23,50	157,15	80,97	242	296
18	60,90	57,49	16,35	21,99	158,24	80,99	243	296
19	57,30	58,09	16,15	22,77	153,53	80,08	236	293
20	53,65	54,05	30,49	23,23	160,96	76,82	247	281
21	49,93	54,42	35,89	23,00	163,47	77,65	251	284
22	48,95	51,86	39,15	22,89	162,96	74,86	250	274
23	38,10	57,22	38,54	22,97	156,75	80,11	241	293
24	53,43	56,76	22,80	23,83	155,96	79,73	240	292
25	57,96	56,49	18,92	23,01	157,20	80,32	242	294
26	56,55	57,12	16,62	22,94	153,30	80,13	236	293
28	65,52	56,42	13,76	24,06	159,76	80,48	246	294
29	62,90	54,00	13,77	22,24	152,91	76,24	235	279
30	63,17	55,82	12,45	22,74	154,18	78,56	237	287
31	62,33	58,08	12,48	22,47	155,36	80,55	239	295
32	68,69	53,72	12,29	23,88	158,58	77,60	244	284
33	66,48	55,45	12,89	23,34	158,16	78,79	243	288
34	69,41	56,69	11,56	23,97	161,63	80,66	248	295
35	65,19	56,97	11,78	23,31	157,25	80,28	242	294
36	62,38	49,05	19,89	23,12	154,44	72,17	237	264
37	60,38	57,06	17,68	23,23	158,35	80,29	243	294
38	59,39	57,09	14,40	23,24	154,12	80,33	237	294
39	63,12	58,05	14,52	22,81	158,50	80,86	244	296
40	66,58	57,02	13,92	23,72	161,24	80,74	248	295
41	65,93	55,57	12,64	22,71	156,85	78,28	241	286
42	68,21	57,60	11,36	22,90	160,07	80,50	246	294
43	64,19	57,60	11,70	22,97	156,46	80,57	240	295
44	66,11	57,86	9,63	22,70	156,30	80,56	240	295

(continuação)

45	63,52	58,04	9,41	22,86	153,83	80,90	236	296
46	69,61	56,76	8,15	22,77	157,29	79,53	242	291
47	52,05	52,81	23,29	23,39	151,54	76,20	233	279
48	61,24	57,06	18,87	23,16	160,33	80,22	246	293
49	59,26	56,74	17,98	23,44	157,42	80,18	242	293
50	63,24	56,69	17,90	23,51	161,34	80,20	248	293
Mínima					151,23	72,17	232	264
Média					157,93	78,90	243	289
Máxima					163,47	80,99	251	296
DP					2,99	1,97	4,60	7,19

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 2.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 200 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0	21,5	88	188	< 1,0	< 1,0	12	82
1	22,0	93	196	< 1,0	< 1,0	10	78
3	22,0		205	2,0	< 1,0		92
5	21,0		204	< 1,0	< 1,0		107
7	20,5	94	194	< 1,0	< 1,0	18	96
9	20,5		188	< 1,0	< 1,0		102
11	20,5		203	< 1,0	< 1,0		115
13	20,0	102	186	< 1,0	< 1,0	23	105
15	20,0		187	< 1,0	< 1,0		92
17	19,0		202	< 1,0	< 1,0		104
19	19,5	127	208	18,0	< 1,0	25	98
21	20,5		206	43,0	3,0		96
23	21,5		210	13,0	4,0		106
26	22,0	114	209	11,0	< 1,0	25	120
27	22,0		190	21,0	< 1,0		87
29	21,0		181	32,0	< 1,0		90
31	21,0	105	185	7,0	< 1,0	24	103
33	21,0		199	18,0	< 1,0		86
35	20,5		210	37,0	< 1,0		121
37	20,5	100	197	44,0	< 1,0	20	102
39	20,0		198	19,0	< 1,0		101
41	20,0		193	39,0	< 1,0		106
43	20,5	109	182	5,0	< 1,0	22	92
45	21,0		189	9,0	< 1,0		85
47	22,0		206	20,0	< 1,0		116
50	22,5	96	182	28,0	< 1,0	26	90
51	22,0		186	42,0	< 1,0		92
53	21,5		178	23,0	< 1,0		89
55	21,0	89	185	14,0	< 1,0	21	99
57	21,0		204	45,0	< 1,0		102
59	21,0		202	6,0	< 1,0		106
61	20,0	126	193	6,0	< 1,0	21	105
63	20,0		196	17,0	< 1,0		103
65	20,0		193	38,0	< 1,0		105
67	20,5	121	207	51,0	< 1,0	21	98
69	21,5		209	16,0	< 1,0		109
71	22,0		201	29,0	< 1,0		108
72	22,5	126	190	40,0	< 1,0	22	103
Média	20,9	106	196	18,4	0,7	21	100
Mínimo	19,0	88	178	< 1,0	< 1,0	10	78
Máximo	22,5	127	210	51,0	4,0	26	121
DP	0,86	14,18	9,45	16,11	0,69	4,66	10,09

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 2.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 200 m³/m²d).

[illegible]

(continuação)

53		6,40	5,03														
55	6,33	6,46	5,05	9,02	10,72	0,071	0,197	0,015	0,008								
57		6,45	5,04														
59		6,67	5,07														
61	6,40	6,49	5,03	7,70	10,78	0,062	0,183	0,005	0,012								
63		6,43	5,04														
65		6,44	5,08														
67	6,37	6,47	5,04	10,78	9,46	0,066	0,191	0,012	0,011								
69		6,48	4,99														
71		6,41	4,97														
72	6,50	6,56	5,00	9,24	10,12	0,069	0,190	0,011	0,011	2,761	4,526	2,018	2,093	-	-	-	-
Média	6,39	6,49	5,01	8,94	9,72	0,066	0,184	0,011	0,013	2,722	4,329	2,492	2,458	-	-	-	-
Mínimo	6,23	6,28	4,91	7,04	7,04	0,051	0,174	0,001	0,003	2,316	4,088	2,018	2,093	-	-	-	-
Máximo	6,56	7,25	5,11	10,78	11,44	0,077	0,203	0,031	0,030	3,077	4,628	3,425	3,095	-	-	-	-
DP	0,09	0,15	0,05	1,15	1,34	0,008	0,009	0,007	0,006	0,325	0,234	0,647	0,396	-	-	-	-

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 2.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (200 m³/m²d) durante o ensaio 2, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	44,9	61,3	62,8	21,5	16,4	1,5	17,9	16,9	1,5	18,4	11,7	30,5	45,9	57,2	18,8	15,4	11,3	45,5	19,3	15,8	11,6	46,8
1	46,0	62,2	64,4	22,0	16,2	2,2	18,4	16,9	2,3	19,2	11,8	30,6	47,9	60,7	18,8	17,3	12,8	48,9	19,6	18,0	13,3	50,9
2	46,0	63,6	66,7	22,0	17,6	3,1	20,7	18,3	3,2	21,6	11,7	30,4	45,9	58,6	18,7	15,5	12,7	46,9	19,5	16,1	13,2	48,9
3	46,0	65,3	69,0	22,0	19,3	3,7	23,0	20,1	3,9	24,0	11,7	30,4	46,0	58,7	18,7	15,6	12,7	47,0	19,5	16,3	13,2	49,0
4	46,0	67,1	71,7	22,0	21,1	4,6	25,7	22,0	4,8	26,8	11,7	30,6	46,4	59,6	18,9	15,8	13,2	47,9	19,7	16,5	13,8	49,9
5	46,0	69,0	74,2	21,0	23,0	5,2	28,2	23,4	5,3	28,7	11,7	30,9	47,0	60,5	19,2	16,1	13,5	48,8	19,5	16,4	13,7	49,6
6	46,0	70,7	76,5	21,0	24,7	5,8	30,5	25,1	5,9	31,0	11,6	31,1	47,5	61,2	19,5	16,4	13,7	49,6	19,8	16,7	13,9	50,4
7	46,0	73,4	80,2	20,5	27,4	6,8	34,2	27,5	6,8	34,4	11,8	35,5	55,4	72,4	23,7	19,9	17,0	60,6	23,8	20,0	17,1	60,9
8	45,9	74,9	82,1	20,5	29,0	7,2	36,2	29,1	7,2	36,4	11,6	31,3	47,7	61,6	19,7	16,4	13,9	50,0	19,8	16,5	14,0	50,2
9	45,9	77,2	85,2	20,5	31,3	8,0	39,3	31,4	8,0	39,5	11,6	30,8	46,9	60,7	19,2	16,1	13,8	49,1	19,3	16,2	13,9	49,3
9,6	45,9	78,2	86,5	20,5	32,3	8,3	40,6	32,4	8,3	40,8	11,6	30,8	46,9	60,8	19,2	16,1	13,9	49,2	19,3	16,2	14,0	49,4
10	45,9	73,2	75,4	20,5	27,3	2,2	29,5	27,4	2,2	29,6	11,6	31,7	48,4	62,9	20,1	16,7	14,5	51,3	20,2	16,8	14,6	51,5
11	45,9	75,5	78,7	20,5	29,6	3,2	32,8	29,7	3,2	33,0	11,6	31,1	47,5	61,8	19,5	16,4	14,3	50,2	19,6	16,5	14,4	50,4
12	45,9	77,8	82,0	20,5	31,9	4,2	36,1	32,0	4,2	36,3	11,6	31,2	47,7	62,2	19,6	16,5	14,5	50,6	19,7	16,6	14,6	50,8
13	45,9	80,3	85,4	20,0	34,4	5,1	39,5	34,1	5,1	39,2	11,5	30,5	46,4	60,3	19,0	15,9	13,9	48,8	18,9	15,8	13,8	48,4
14	45,9	83,0	88,9	20,0	37,1	5,9	43,0	36,8	5,9	42,7	11,5	30,5	46,4	60,5	19,0	15,9	14,1	49,0	18,9	15,8	14,0	48,6
15	45,9	85,3	91,8	20,0	39,4	6,5	45,9	39,1	6,5	45,6	11,5	30,7	46,9	61,3	19,2	16,2	14,4	49,8	19,1	16,1	14,3	49,4
16	45,9	87,4	96,1	20,0	41,5	8,7	50,2	41,2	8,6	49,8	11,5	31,6	48,5	63,4	20,1	16,9	14,9	51,9	20,0	16,8	14,8	51,5
17	45,9	91,0	99,3	19,0	45,1	8,3	53,4	43,7	8,0	51,7	11,6	31,8	48,8	64,0	20,2	17,0	15,2	52,4	19,6	16,5	14,7	50,8
18	45,9	94,8	103,8	19,0	48,9	9,0	57,9	47,4	8,7	56,1	11,6	31,9	49,0	64,5	20,3	17,1	15,5	52,9	19,7	16,6	15,0	51,3
19	46,0	97,4	107,2	19,5	51,4	9,8	61,2	50,4	9,6	60,0	11,6	32,6	50,2	67,3	21,0	17,6	17,1	55,7	20,6	17,3	16,8	54,6
20	45,9	100,3	110,7	19,5	54,4	10,4	64,8	53,3	10,2	63,5	11,6	31,1	47,6	67,5	19,5	16,5	19,9	55,9	19,1	16,2	19,5	54,8
21	45,9	102,3	113,1	20,5	56,4	10,8	67,2	56,7	10,8	67,5	11,6	30,7	46,7	71,4	19,1	16,0	24,7	59,8	19,2	16,1	24,8	60,1
22	46,0	104,9	116,5	20,5	58,9	11,6	70,5	59,2	11,7	70,8	11,6	30,7	46,8	75,5	19,1	16,1	28,7	63,9	19,2	16,2	28,8	64,2

(continuação)

23	45,9	80,0	83,0	21,5	34,1	3,0	37,1	35,1	3,1	38,2	11,8	31,1	47,4	85,5	19,3	16,3	38,1	73,7	19,9	16,8	39,2	75,9
24	46,0	82,5	86,3	21,5	36,5	3,8	40,3	37,6	3,9	41,5												
25	46,0	84,3	89,1	22,0	38,3	4,8	43,1	39,9	5,0	44,9	11,7	30,3	46,2	86,2	18,6	15,9	40,0	74,5	19,4	16,6	41,7	77,6
26	46,0	87,5	93,4	22,0	41,5	5,9	47,4	43,2	6,1	49,4	11,7	30,9	47,3	90,5	19,2	16,4	43,2	78,8	20,0	17,1	45,0	82,1
27	46,0	90,5	97,1	22,0	44,5	6,6	51,1	46,4	6,9	53,2	11,7	31,9	49,5	98,0	20,2	17,6	48,5	86,3	21,0	18,3	50,5	89,9
28	46,0	93,6	101,6	22,0	47,6	8,0	55,6	49,6	8,3	57,9	11,7	31,0	47,0	99,0	19,3	16,0	52,0	87,3	20,1	16,7	54,2	90,9
29	46,0	96,1	104,8	21,0	50,1	8,7	58,8	50,9	8,8	59,8												
30	45,7	98,4	107,8	21,0	52,7	9,4	62,1	53,6	9,6	63,1	11,7	30,3	48,2	107,0	18,6	17,9	58,8	95,3	18,9	18,2	59,8	96,9
31	45,8	90,5	94,1	21,0	44,7	3,6	48,3	45,5	3,7	49,1	11,6	30,6	51,4	120,7	19,0	20,8	69,3	109,1	19,3	21,2	70,5	110,9
32	45,8	93,4	98,4	21,0	47,6	5,0	52,6	48,4	5,1	53,5	11,6	30,9	52,0	121,3	19,3	21,1	69,3	109,7	19,6	21,5	70,5	111,5
33	45,8	97,7	104,8	21,0	51,9	7,1	59,0	52,8	7,2	60,0	11,6	31,1	53,1	125,0	19,5	22,0	71,9	113,4	19,8	22,4	73,1	115,3
34	45,8	100,7	108,0	21,0	54,9	7,3	62,2	55,8	7,4	63,2	11,6	31,3	54,4	129,0	19,7	23,1	74,6	117,4	20,0	23,5	75,9	119,4
35	45,8	103,7	111,7	20,5	57,9	8,0	65,9	58,2	8,0	66,2	11,6	31,4	56,0	135,0	19,8	24,6	79,0	123,4	19,9	24,7	79,4	124,0
36	45,8	107,3	116,5	20,5	61,5	9,2	70,7	61,8	9,2	71,0	11,7	31,9	58,2	141,0	20,2	26,3	82,8	129,3	20,3	26,4	83,2	129,9
37	45,8	109,3	119,0	20,5	63,5	9,7	73,2	63,8	9,7	73,5	11,6	32,4	60,9	148,7	20,8	28,5	87,8	137,1	20,9	28,6	88,2	137,7
37,5	45,9	111,7	121,9	20,5	65,8	10,2	76,0	66,1	10,2	76,4	11,6	32,0	60,9	150,0	20,4	28,9	89,1	138,4	20,5	29,0	89,5	139,0
38	45,9	109,6	114,4	20,5	63,7	4,8	68,5	64,0	4,8	68,8	11,5	31,3	60,4	151,4	19,8	29,1	91,0	139,9	19,9	29,2	91,4	140,5
39	45,9	113,8	119,5	20,0	67,9	5,7	73,6	67,4	5,7	73,1	11,5	31,5	61,3	152,5	20,0	29,8	91,2	141,0	19,9	29,6	90,5	139,9
40	45,9	118,0	125,0	20,0	72,1	7,0	79,1	71,6	6,9	78,5	11,5	31,8	62,3	156,0	20,3	30,5	93,7	144,5	20,1	30,3	93,0	143,4
41	45,8	121,0	129,0	20,0	75,2	8,0	83,2	74,6	7,9	82,6	11,5	31,9	63,2	159,0	20,4	31,3	95,8	147,5	20,2	31,1	95,1	146,4
42	45,9	125,6	134,7	20,0	79,7	9,1	88,8	79,1	9,0	88,1	11,5	32,3	64,7	165,6	20,8	32,4	100,9	154,1	20,6	32,2	100,1	153,0
43	45,9	122,3	128,2	20,5	76,4	5,9	82,3	76,8	5,9	82,7	11,5	33,5	68,2	176,3	22,0	34,7	108,1	164,8	22,1	34,9	108,6	165,6
44	45,9	126,2	133,7	20,5	80,3	7,5	87,8	80,7	7,5	88,2	11,5	33,3	67,1	172,8	21,8	33,8	105,7	161,3	21,9	34,0	106,2	162,0
45	45,9	129,4	137,8	21,0	83,5	8,4	91,9	84,9	8,5	93,4	11,5	32,3	64,8	167,5	20,8	32,5	102,7	156,0	21,2	33,0	104,4	158,6
46	45,9	133,2	143,0	21,0	87,3	9,8	97,1	88,8	10,0	98,7	11,6	34,2	69,8	183,8	22,6	35,6	114,0	172,2	23,0	36,2	115,9	175,1
47	46,0	136,1	146,6	22,0	90,1	10,5	100,6	93,9	10,9	104,8	11,6	33,4	68,0	182,0	21,8	34,6	114,0	170,4	22,7	36,0	118,8	177,5
48				22,0							11,6	33,5	68,5	189,3	21,9	35,0	120,8	177,7	22,8	36,5	125,8	185,1
49	46,0	142,8	155,7	22,5	96,8	12,9	109,7	102,1	13,6	115,7	11,5	32,7	64,9	190,4	21,2	32,2	125,5	178,9	22,4	34,0	132,3	188,6
50	46,0	146,4	160,1	22,5	100,4	13,7	114,1	105,9	14,4	120,3	11,5	32,3	66,2	195,7	20,8	33,9	129,5	184,2	21,9	35,7	136,5	194,2

(continuação)

51	46,0	149,5	164,2	22,0	103,5	14,7	118,2	107,8	15,3	123,1	11,5	33,0	68,5	212,5	21,5	35,5	144,0	201,0	22,4	37,0	150,0	209,4
51,7	46,0	151,8	167,0	22,0	105,8	15,2	121,0	110,2	15,8	126,0	11,5	33,6	70,4	223,0	22,1	36,8	152,6	211,5	23,0	38,3	159,0	220,3
52	46,0	153,0	168,7	22,0	107,0	15,7	122,7	111,5	16,4	127,8	11,9	30,4	45,0	61,1	18,5	14,6	16,1	49,2	19,3	15,2	16,8	51,3
52,5	46,0	154,8	170,6	22,0	108,8	15,8	124,6	113,3	16,5	129,8	11,5	29,3	43,3	61,4	17,8	14,0	18,1	49,9	18,5	14,6	18,9	52,0
53	45,9	154,4	160,7	21,5	108,5	6,3	114,8	111,7	6,5	118,2	11,5	29,6	43,9	76,0	18,1	14,3	32,1	64,5	18,6	14,7	33,0	66,4
54	46,0	157,8	165,5	21,5	111,8	7,7	119,5	115,1	7,9	123,0	11,5	30,5	45,5	85,5	19,0	15,0	40,0	74,0	19,6	15,4	41,2	76,2
55	45,9	143,6	151,5	21,0	97,7	7,9	105,6	99,3	8,0	107,4	11,5	29,4	43,5	86,0	17,9	14,1	42,5	74,5	18,2	14,3	43,2	75,8
56	45,9	166,7	177,5	21,0	120,8	10,8	131,6	122,8	11,0	133,8	11,5	29,5	43,7	95,0	18,0	14,2	51,3	83,5	18,3	14,4	52,2	84,9
57	45,9	170,3	182,4	21,0	124,4	12,1	136,5	126,5	12,3	138,8	11,5	30,3	45,3	108,2	18,8	15,0	62,9	96,7	19,1	15,3	64,0	98,3
58	45,9	173,7	187,0	21,0	127,8	13,3	141,1	130,0	13,5	143,5	11,5	30,9	46,2	121,6	19,4	15,3	75,4	110,1	19,7	15,6	76,7	112,0
59	45,9	159,2	164,9	21,0	113,3	5,7	119,0	115,2	5,8	121,0	11,4	29,6	46,5	133,8	18,2	16,9	87,3	122,4	18,5	17,2	88,8	124,5
60	45,9	164,6	172,0	21,0	118,7	7,4	126,1	120,7	7,5	128,2	11,5	30,1	47,5	135,5	18,6	17,4	88,0	124,0	18,9	17,7	89,5	126,1
61	45,9	169,5	178,3	20,0	123,6	8,8	132,4	122,7	8,7	131,4	11,4	29,7	46,9	134,7	18,3	17,2	87,8	123,3	18,2	17,1	87,1	122,4
62	45,9	174,4	184,4	20,0	128,5	10,0	138,5	127,5	9,9	137,5	11,4	30,2	48,0	140,1	18,8	17,8	92,1	128,7	18,7	17,7	91,4	127,7
63	45,9	179,5	191,0	20,0	133,6	11,5	145,1	132,6	11,4	144,0	11,4	30,6	49,1	146,1	19,2	18,5	97,0	134,7	19,1	18,4	96,3	133,7
64	45,8	185,7	198,3	20,0	139,9	12,6	152,5	138,9	12,5	151,4	11,4	31,3	51,0	155,3	19,9	19,7	104,3	143,9	19,8	19,6	103,5	142,8
65	45,9	189,5	203,2	20,0	143,6	13,7	157,3	142,5	13,6	156,1	11,4	30,9	50,5	157,3	19,5	19,6	106,8	145,9	19,4	19,5	106,0	144,8
66	45,8	195,1	210,0	20,0	149,3	14,9	164,2	148,2	14,8	163,0	11,4	31,1	51,7	167,5	19,7	20,6	115,8	156,1	19,6	20,4	114,9	154,9
67	45,9	197,4	213,0	20,5	151,5	15,6	167,1	152,2	15,7	167,9	11,4	31,0	52,0	176,7	19,6	21,0	124,7	165,3	19,7	21,1	125,3	166,1
68	45,9	186,1	196,4	20,5	140,2	10,3	150,5	140,8	10,3	151,2	11,5	31,1	52,8	193,0	19,6	21,7	140,2	181,5	19,7	21,8	140,8	182,3
69	46,0	190,5	202,4	21,5	144,5	11,9	156,4	148,7	12,2	161,0	11,4	29,8	50,0	190,2	18,4	20,2	140,2	178,8	18,9	20,8	144,3	184,0
70	46,0	195,0	208,4	21,5	149,0	13,4	162,4	153,4	13,8	167,1	11,5	29,8	50,1	197,0	18,3	20,3	146,9	185,5	18,8	20,9	151,2	190,9
71	46,0	199,7	214,7	22,0	153,7	15,0	168,7	160,1	15,6	175,7	11,5	30,1	51,1	213,1	18,6	21,0	162,0	201,6	19,4	21,9	168,8	210,0
72	46,0	204,3	220,3	22,5	158,3	16,0	174,3	166,9	16,9	183,8	11,5	29,3	49,7	222,5	17,8	20,4	172,8	211,0	18,8	21,5	182,2	222,5

Média (°C) = 20,9

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Lavagem do FRD por perda de carga.

Figura B 2.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.3 – ANEXO B.

Figura B 2.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 2 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 2.3 – ANEXO B.

Tabela B 2.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 2 - sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 200 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	53,00	34,48	11,97	23,85	123,30	58,33	190	213
1	51,21	35,17	11,82	23,68	121,88	58,85	187	215
2	54,99	32,80	10,54	24,28	122,61	57,08	188	209
3	53,65	33,16	10,71	23,67	121,19	56,83	186	208
4	52,83	32,55	10,68	23,38	119,44	55,93	184	205
5	53,25	34,38	11,28	23,05	121,96	57,43	187	210
6	53,47	33,70	11,00	22,76	121,22	56,75	186	208
7	53,60	34,97	10,87	23,04	122,20	57,73	188	211
8	51,78	33,99	11,16	23,46	119,97	57,03	184	209
9	51,61	33,64	11,45	23,26	120,16	57,10	185	209
10	49,16	34,77	11,30	23,03	118,49	58,03	182	212
11	51,70	34,36	11,19	23,60	120,28	57,39	185	210
12	51,34	33,64	10,76	23,30	119,34	57,24	183	209
13	54,32	31,02	11,11	24,00	119,75	54,32	184	199
14	53,83	30,68	10,89	23,38	119,40	54,68	184	200
15	52,68	30,95	10,72	22,96	117,73	54,33	181	199
16	50,27	33,10	9,76	24,10	116,09	56,06	178	205
17	51,61	34,00	10,80	23,09	120,51	58,10	185	213
18	51,40	31,94	10,47	22,24	116,90	55,03	180	201
19	49,71	36,00	9,73	23,04	117,68	58,24	181	213
20	54,92	32,78	8,15	23,56	118,89	55,82	183	204
21	55,46	35,17	7,32	23,15	121,51	58,73	187	215
22	32,36	30,76	30,38	24,18	116,65	53,91	179	197
23	36,70	34,43	22,59	24,24	117,90	58,61	181	214
24	39,63	34,49	21,18	23,17	119,54	58,73	184	215
25	41,84	32,73	20,63	23,06	118,37	55,90	182	204
26	39,81	35,18	19,48	22,42	117,53	58,24	181	213
28	36,57	38,85	30,05	23,87	129,34	62,72	199	229
29	43,09	35,20	16,69	25,13	120,11	60,33	185	221
30	44,09	37,21	13,87	22,02	117,19	59,23	180	217
31	48,23	30,41	15,07	24,32	118,03	54,73	181	200
32	51,03	32,73	10,28	23,66	117,70	56,39	181	206
33	51,57	32,38	9,99	23,42	117,36	55,80	180	204
34	51,48	32,21	9,96	22,82	116,47	55,03	179	201
35	50,19	34,32	10,57	23,34	118,42	57,66	182	211
36	49,94	34,42	9,74	22,79	116,89	57,21	180	209
37	51,14	34,98	9,50	24,08	119,70	59,06	184	216
38	47,40	35,50	9,75	22,92	115,57	58,42	178	214
39	53,01	33,95	9,10	23,79	119,85	57,74	184	211
40	53,62	32,52	8,67	23,12	117,93	55,64	181	204
41	52,19	32,87	8,89	23,96	117,91	56,83	181	208
42	53,29	32,80	8,86	24,34	119,29	57,14	183	209
43	54,40	32,73	8,84	23,93	119,90	56,66	184	207
44	56,95	33,50	7,18	24,00	121,63	57,50	187	210

(continuação)

45	55,14	33,27	7,48	24,11	120,00	57,38	184	210
46	55,87	31,45	6,98	23,92	118,22	55,37	182	203
47	49,20	36,32	7,17	23,80	116,49	60,12	179	220
48	56,68	34,13	6,32	24,16	121,29	58,29	186	213
49	52,06	35,08	6,09	23,18	116,41	58,26	179	213
50	54,18	34,33	6,43	23,97	118,91	58,30	183	213
51	58,20	32,89	6,01	23,79	120,89	56,68	186	207
52	55,79	33,51	5,53	24,16	118,99	57,67	183	211
53	48,89	34,34	7,15	23,67	114,05	58,01	175	212
54	57,26	33,88	5,88	24,17	121,19	58,05	186	212
55	57,51	36,17	3,29	24,55	121,52	60,72	187	222
56	41,60	34,11	3,36	23,68	102,75	57,79	158	211
57	59,79	32,80	2,68	24,31	119,58	57,11	184	209
58	57,61	34,07	2,77	23,92	118,37	57,99	182	212
59	56,58	37,46	2,50	24,62	121,16	62,08	186	227
60	47,44	33,73	16,57	23,73	121,47	57,46	187	210
61	47,51	34,71	15,63	23,20	121,05	57,91	186	212
62	51,47	32,23	15,21	24,10	123,01	56,33	189	206
63	47,98	33,35	13,50	23,32	118,15	56,67	182	207
64	46,25	34,70	12,38	23,48	116,81	58,18	180	213
65	47,84	37,59	11,80	22,25	119,48	59,84	184	219
66	50,71	34,56	9,60	23,44	118,31	58,00	182	212
67	50,06	35,03	8,36	22,50	115,95	57,53	178	210
68	34,19	35,10	24,80	23,86	117,95	58,96	181	216
69	53,75	36,42	11,41	23,56	125,14	59,98	192	219
70	53,50	32,02	9,96	24,97	120,45	56,99	185	208
71	53,65	32,49	10,30	24,10	120,54	56,59	185	207
72	54,23	33,84	9,52	24,41	122,00	58,25	188	213
Mínima					102,75	53,91	158	197
Média					119,22	57,51	183	210
Máxima					129,34	62,72	199	229
DP					3,09	1,66	4,75	6,08

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela B 3.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 240 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0	22,0		194	18,0	19,0		95
1	22,5	120	202	2,0	< 1,0	27	102
3	22,0		206	3,0	< 1,0		95
5	21,5		185	4,0	< 1,0		98
7	21,0	95	174	< 1,0	< 1,0	33	83
9	20,0		221	< 1,0	< 1,0		119
11	19,5		191	< 1,0	< 1,0		86
13	19,5	107	189	< 1,0	< 1,0	24	91
15	19,5		194	< 1,0	< 1,0		105
17	19,0		187	< 1,0	< 1,0		91
19	20,0	106	190	< 1,0	< 1,0	23	107
21	21,0		218	< 1,0	< 1,0		98
23	22,0		218	16,0	< 1,0		111
26	22,0	118	203	38,0	< 1,0	25	92
27	22,0		202	11,0	< 1,0		91
29	21,0		199	30,0	< 1,0		110
31	21,0	95	186	38,0	< 1,0	22	91
33	20,5		187	44,0	< 1,0		87
35	20,0		207	17,0	< 1,0		120
37	20,0	96	187	42,0	< 1,0	23	106
39	20,0		178	11,0	< 1,0		85
41	19,5		180	31,0	< 1,0		90
43	20,0	128	222		4,0	27	112
45	21,5		216	35,0	< 1,0		110
47	22,0		226	17,0	2,0		117
50	22,5	128	216	40,0	< 1,0	27	110
51	22,5		185	22,0	< 1,0		85
53	21,5		197	32,0	< 1,0		93
55	21,0	122	198	69,0	< 1,0	22	97
57	21,0		196	32,0	< 1,0		93
59	20,5		201	55,0	< 1,0		95
61	20,0	100	195	20,0	< 1,0	27	100
63	20,0		195	42,0	5,0		96
65	20,0		193	16,0	< 1,0		106
67	21,0	96	193	34,0	< 1,0	25	111
69	21,0		212	18,0	< 1,0		101
71	21,0		209	37,0	< 1,0		96
72	21,5	115	202	52,0	< 1,0	21	107
Média	20,9	110	199	22,4	1,2	25	100
Mínimo	19,0	95	174	< 1,0	< 1,0	21	83
Máximo	22,5	128	226	69,0	19,0	33	120
DP	0,98	12,74	13,05	18,54	3,10	3,20	10,06

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 3.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 240 m³/m²d).

[illegible]

(continuação)

53		6,82	5,02														
55	6,60	6,49	5,02	10,34	9,90	0,066	0,182	0,012	0,018								
57		6,55	5,01														
59		6,65	5,02														
61	6,51	6,54	5,04	9,90	9,68	0,073	0,195	0,013	0,015								
63		6,58	5,02														
65		6,59	5,01														
67	6,54	6,62	5,02	11,22	9,68	0,069	0,198	0,014	0,011								
69		6,76	5,03														
71		6,55	4,99														
72	6,75	6,46	5,02	9,46	9,68	0,068	0,194	0,013	0,011	2,642	4,337	2,669	3,009	-	-	-	-
Média	6,56	6,59	4,99	9,48	9,56	0,073	0,189	0,015	0,016	2,931	4,465	3,144	3,439	-	-	-	-
Mínimo	6,38	6,32	4,90	7,70	7,46	0,066	0,164	0,008	0,008	2,642	4,246	2,669	2,769	-	-	-	-
Máximo	6,75	6,82	5,05	11,22	11,44	0,081	0,208	0,030	0,032	3,234	5,039	4,333	4,591	-	-	-	-
DP	0,09	0,12	0,04	1,17	0,91	0,004	0,012	0,005	0,006	0,259	0,332	0,681	0,701	-	-	-	-

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 3.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (240 m³/m²d) durante o ensaio 3, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD												
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C				
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	
0	44,9	60,0	61,4	22,0	15,1	1,4	16,5	15,7	1,5	17,2	11,9	31,0	46,8	62,1	19,1	15,8	15,3	50,2	19,9	16,5	15,9	52,3	
1	45,8	64,1	66,4	22,5	18,3	2,3	20,6	19,3	2,4	21,7	12,0	33,3	51,0	69,0	21,3	17,7	18,0	57,0	22,5	18,7	19,0	60,1	
3	46,0	66,7	70,3	22,5	20,7	3,6	24,3	21,8	3,8	25,6	12,0	33,0	50,5	69,1	21,0	17,5	18,6	57,1	22,1	18,5	19,6	60,2	
4	46,0	68,1	72,7	22,0	22,1	4,6	26,7	23,0	4,8	27,8	12,0	33,9	52,3	72,3	21,9	18,4	20,0	60,3	22,8	19,2	20,8	62,8	
5	46,0	68,4	72,0	22,0	22,4	3,6	26,0	23,3	3,8	27,1	12,0	34,1	52,8	73,0	22,1	18,7	20,2	61,0	23,0	19,5	21,0	63,5	
6	45,9	69,5	73,8	21,5	23,6	4,3	27,9	24,3	4,4	28,7	11,9	33,4	51,4	71,7	21,5	18,0	20,3	59,8	22,1	18,5	20,9	61,5	
7	45,9	72,4	78,3	21,5	26,5	5,9	32,4	27,3	6,1	33,3	12,0	34,8	53,9	75,6	22,8	19,1	21,7	63,6	23,5	19,7	22,3	65,5	
8	45,9	73,7	80,2	21,0	27,8	6,5	34,3	28,3	6,6	34,9	11,9	33,4	51,6	72,2	21,5	18,2	20,6	60,3	21,9	18,5	20,9	61,3	
9	45,9	76,7	84,1	21,0	30,8	7,4	38,2	31,3	7,5	38,8	11,9	34,1	53,0	74,0	22,2	18,9	21,0	62,1	22,6	19,2	21,4	63,1	
10	45,9	78,7	86,0	20,0	32,8	7,3	40,1	32,6	7,2	39,8	11,9	34,3	53,3	74,9	22,4	19,0	21,6	63,0	22,2	18,9	21,4	62,5	
10,2	45,9	79,3	86,7	20,0	33,4	7,4	40,8	33,2	7,3	40,5	11,9	34,4	53,4	75,0	22,5	19,0	21,6	63,1	22,3	18,9	21,4	62,6	
11	45,9	71,6	74,5	20,0	25,7	2,9	28,6	25,5	2,9	28,4	12,0	34,1	53,0	74,8	22,1	18,9	21,8	62,8	21,9	18,8	21,6	62,3	
12	45,8	73,2	77,5	19,5	27,4	4,3	31,7	26,9	4,2	31,1	11,8	34,5	53,6	75,5	22,7	19,1	21,9	63,7	22,3	18,7	21,5	62,5	
13	45,8	75,3	80,0	19,5	29,5	4,7	34,2	28,9	4,6	33,5	11,8	34,5	53,8	76,0	22,7	19,3	22,2	64,2	22,3	18,9	21,8	63,0	
14	45,8	78,0	84,1	19,5	32,2	6,1	38,3	31,6	6,0	37,6	11,8	34,2	53,1	75,2	22,4	18,9	22,1	63,4	22,0	18,5	21,7	62,2	
15	45,8	80,7	87,8	19,5	34,9	7,1	42,0	34,2	7,0	41,2	11,8	34,2	53,2	75,2	22,4	19,0	22,0	63,4	22,0	18,6	21,6	62,2	
16	45,8	83,0	91,1	19,5	37,2	8,1	45,3	36,5	7,9	44,4	11,7	34,1	52,9	74,9	22,4	18,8	22,0	63,2	22,0	18,4	21,6	62,0	
17	45,8	86,0	95,7	19,5	40,2	9,7	49,9	39,4	9,5	48,9	11,7	34,2	53,0	75,2	22,5	18,8	22,2	63,5	22,1	18,4	21,8	62,3	
18	45,8	88,6	98,7	19,0	42,8	10,1	52,9	41,5	9,8	51,3	11,7	34,1	53,0	75,2	22,4	18,9	22,2	63,5	21,7	18,3	21,5	61,5	
19	45,8	91,5	102,2	19,0	45,7	10,7	56,4	44,3	10,4	54,6	11,7	33,8	52,5	74,5	22,1	18,7	22,0	62,8	21,4	18,1	21,3	60,8	
20	45,8	95,3	107,1	20,0	49,5	11,8	61,3	49,1	11,7	60,8	11,7	33,8	52,5	74,7	22,1	18,7	22,2	63,0	21,9	18,6	22,0	62,5	
21	45,8	98,0	110,3	20,0	52,2	12,3	64,5	51,8	12,2	64,0	11,7	34,1	53,0	75,0	22,4	18,9	22,0	63,3	22,2	18,8	21,8	62,8	
22	45,9	101,0	114,0	21,0	55,1	13,0	68,1	56,0	13,2	69,2	11,8	34,0	52,7	75,1	22,2	18,7	22,4	63,3	22,6	19,0	22,8	64,4	
23	46,0	104,3	118,3	21,0	58,3	14,0	72,3	59,3	14,2	73,5	11,9	35,0	54,5	80,0	23,1	19,5	25,5	68,1	23,5	19,8	25,9	69,2	

(continuação)

24	46,0	107,2	121,8	22,0	61,2	14,6	75,8	63,8	15,2	79,0	11,9	34,5	58,7	83,3	22,6	24,2	24,6	71,4	23,5	25,2	25,6	74,4
25	46,0	109,8	125,1	22,0	63,8	15,3	79,1	66,5	15,9	82,4	11,9	33,9	52,5	88,7	22,0	18,6	36,2	76,8	22,9	19,4	37,7	80,0
25,8	45,9	111,5	127,3	22,0	65,6	15,8	81,4	68,3	16,5	84,8	11,9	33,6	52,2	93,7	21,7	18,6	41,5	81,8	22,6	19,4	43,2	85,2
26	45,9	91,8	95,7	22,0	45,9	3,9	49,8	47,8	4,1	51,9	11,9	33,1	51,2	96,6	21,2	18,1	45,4	84,7	22,1	18,9	47,3	88,2
27	45,9	95,2	100,8	22,0	49,3	5,6	54,9	51,4	5,8	57,2	11,9	33,9	54,1	114,0	22,0	20,2	59,9	102,1	22,9	21,0	62,4	106,4
28	45,9	98,6	105,6	22,0	52,7	7,0	59,7	54,9	7,3	62,2	11,9	34,4	55,3	119,0	22,5	20,9	63,7	107,1	23,4	21,8	66,4	111,6
29	45,9	102,2	110,3	22,0	56,3	8,1	64,4	58,6	8,4	67,1	11,9	34,4	56,1	124,7	22,5	21,7	68,6	112,8	23,4	22,6	71,5	117,5
30	45,9	104,7	113,5	21,0	58,8	8,8	67,6	59,8	8,9	68,7	11,8	33,4	55,0	125,4	21,6	21,6	70,4	113,6	22,0	22,0	71,6	115,5
31	45,9	107,6	117,5	21,0	61,7	9,9	71,6	62,7	10,1	72,8	11,8	33,8	57,1	134,2	22,0	23,3	77,1	122,4	22,4	23,7	78,4	124,5
32	45,9	111,2	122,2	21,0	65,3	11,0	76,3	66,4	11,2	77,6	11,7	33,8	58,5	141,0	22,1	24,7	82,5	129,3	22,5	25,1	83,9	131,5
33	45,9	114,0	126,2	21,0	68,1	12,2	80,3	69,2	12,4	81,7	11,7	34,5	60,8	150,3	22,8	26,3	89,5	138,6	23,2	26,7	91,0	140,9
33,4	45,9	115,3	127,7	20,5	69,4	12,4	81,8	69,7	12,5	82,2	11,7	34,9	61,9	154,7	23,2	27,0	92,8	143,0	23,3	27,1	93,2	143,7
34	45,8	104,2	110,1	20,5	58,4	5,9	64,3	58,7	5,9	64,6	11,6	35,8	65,1	175,2	24,2	29,3	110,1	163,6	24,3	29,4	110,6	164,4
35	45,8	107,1	114,1	20,5	61,3	7,0	68,3	61,6	7,0	68,6	11,7	36,4	66,2	176,8	24,7	29,8	110,6	165,1	24,8	29,9	111,1	165,9
36	45,8	110,8	119,2	20,0	65,0	8,4	73,4	64,5	8,3	72,9	11,6	36,5	66,7	181,6	24,9	30,2	114,9	170,0	24,7	30,0	114,0	168,7
37	45,8	113,7	123,0	20,0	67,9	9,3	77,2	67,4	9,2	76,6	11,6	36,8	67,9	189,0	25,2	31,1	121,1	177,4	25,0	30,9	120,2	176,1
38	45,8	117,3	128,1	20,0	71,5	10,8	82,3	71,0	10,7	81,7	11,6	37,3	69,4	197,7	25,7	32,1	128,3	186,1	25,5	31,9	127,3	184,7
38,7	45,8	96,0	100,9	20,0	50,2	4,9	55,1	49,8	4,9	54,7	11,6	64,0		225,0	52,4			213,4	52,0			211,8
39	45,8	97,9	103,7	20,0	52,1	5,8	57,9	51,7	5,8	57,5	11,7	30,8	49,7	73,0	19,1	18,9	23,3	61,3	19,0	18,8	23,1	60,8
40	45,8	100,2	107,0	20,0	54,4	6,8	61,2	54,0	6,7	60,7	11,8	31,8	52,1	78,8	20,0	20,3	26,7	67,0	19,9	20,1	26,5	66,5
41	45,8	103,4	111,3	20,0	57,6	7,9	65,5	57,2	7,8	65,0	11,8	32,3	53,5	87,8	20,5	21,2	34,3	76,0	20,3	21,0	34,0	75,4
42	45,8	106,2	115,4	19,5	60,4	9,2	69,6	59,2	9,0	68,3	11,8	31,9	52,6	93,2	20,1	20,7	40,6	81,4	19,7	20,3	39,8	79,8
42,6	45,8	108,7	118,8	19,5	62,9	10,1	73,0	61,7	9,9	71,6	11,8	31,9	53,6	101,1	20,1	21,7	47,5	89,3	19,7	21,3	46,6	87,6
43	45,8	99,8	104,8	20,0	54,0	5,0	59,0	53,6	5,0	58,6	11,8	31,6	53,2	104,6	19,8	21,6	51,4	92,8	19,7	21,4	51,0	92,1
44	45,9	103,6	110,6	20,0	57,7	7,0	64,7	57,3	6,9	64,2	11,8	31,2	56,5	137,5	19,4	25,3	81,0	125,7	19,3	25,1	80,4	124,8
45	45,9	106,8	115,2	21,5	60,9	8,4	69,3	62,7	8,6	71,3	11,8	31,5	57,4	145,0	19,7	25,9	87,6	133,2	20,3	26,7	90,2	137,1
46	46,0	110,5	120,5	21,5	64,5	10,0	74,5	66,4	10,3	76,7	11,9	32,0	59,3	156,6	20,1	27,3	97,3	144,7	20,7	28,1	100,1	148,9
46,5	46,0	112,0	122,3	22,0	66,0	10,3	76,3	68,8	10,7	79,5	11,9	32,1	59,7	161,3	20,2	27,6	101,6	149,4	21,0	28,8	105,8	155,6

(continuação)

47	46,0	113,7	122,4	22,0	67,7	8,7	76,4	70,5	9,1	79,6	12,0	32,8	61,6	175,6	20,8	28,8	114,0	163,6	21,7	30,0	118,8	170,4
48	46,0	116,8	126,6	22,5	70,8	9,8	80,6	74,7	10,3	85,0	11,9	31,1	58,0	170,1	19,2	26,9	112,1	158,2	20,2	28,4	118,2	166,8
49	46,0	120,0	131,5	22,5	74,0	11,5	85,5	78,0	12,1	90,2	11,9	31,6	59,8	187,4	19,7	28,2	127,6	175,5	20,8	29,7	134,5	185,0
50	45,9	123,6	136,4	22,5	77,7	12,8	90,5	81,9	13,5	95,4	11,9	31,3	59,5	206,0	19,4	28,2	146,5	194,1	20,5	29,7	154,5	204,7
50,8	45,9	104,6	110,5	22,5	58,7	5,9	64,6	61,9	6,2	68,1	11,9	32,1	61,0	223,0	20,2	28,9	162,0	211,1	21,3	30,5	170,8	222,6
51	45,9	106,7	113,3	21,5	60,8	6,6	67,4	62,6	6,8	69,4	11,8	31,7	49,2	68,0	19,9	17,5	18,8	56,2	20,5	18,0	19,3	57,8
52	45,9	111,6	120,2	21,5	65,7	8,6	74,3	67,6	8,9	76,5	11,8	31,6	49,2	70,2	19,8	17,6	21,0	58,4	20,4	18,1	21,6	60,1
53	45,9	116,3	126,5	21,0	70,4	10,2	80,6	71,6	10,4	82,0	11,8	32,0	50,0	77,3	20,2	18,0	27,3	65,5	20,5	18,3	27,8	66,6
54				21,0							11,8	31,8	49,8	84,2	20,0	18,0	34,4	72,4	20,3	18,3	35,0	73,6
54,5	45,9	121,0	133,6	21,0	75,1	12,6	87,7	76,4	12,8	89,2	11,8	31,8	49,9	89,2	20,0	18,1	39,3	77,4	20,3	18,4	40,0	78,7
55	45,9	110,7	117,6	21,0	64,8	6,9	71,7	65,9	7,0	72,9	11,7	31,5	52,0	123,0	19,8	20,5	71,0	111,3	20,1	20,8	72,2	113,2
56	45,9	115,1	123,6	20,5	69,2	8,5	77,7	69,5	8,5	78,1	11,7	32,7	54,5	129,2	21,0	21,8	74,7	117,5	21,1	21,9	75,0	118,0
57	45,9	119,1	129,0	20,5	73,2	9,9	83,1	73,5	9,9	83,5	11,7	32,4	54,5	133,6	20,7	22,1	79,1	121,9	20,8	22,2	79,5	122,5
58	45,9	124,1	135,8	20,0	78,2	11,7	89,9	77,6	11,6	89,2	11,7	32,9	55,1	142,0	21,2	22,2	86,9	130,3	21,0	22,0	86,3	129,3
59	45,9	127,2	132,5	20,0	81,3	5,3	86,6	80,7	5,3	86,0	11,7	33,2	57,9	151,1	21,5	24,7	93,2	139,4	21,3	24,5	92,5	138,4
60	45,9	114,9	123,0	20,0	69,0	8,1	77,1	68,5	8,0	76,5	11,7	36,3	65,5	186,7	24,6	29,2	121,2	175,0	24,4	29,0	120,3	173,7
61	45,8	118,6	127,8	20,0	72,8	9,2	82,0	72,3	9,1	81,4	11,6	34,7	62,3	180,0	23,1	27,6	117,7	168,4	22,9	27,4	116,8	167,1
62	45,9	123,8	135,2	20,0	77,9	11,4	89,3	77,3	11,3	88,6	11,5	34,0	60,9	181,5	22,5	26,9	120,6	170,0	22,3	26,7	119,7	168,7
63	45,9	128,3	141,2	20,0	82,4	12,9	95,3	81,8	12,8	94,6	11,5	34,1	61,6	189,0	22,6	27,5	127,4	177,5	22,4	27,3	126,5	176,2
63,3				20,0							11,5	34,2	62,0	191,8	22,7	27,8	129,8	180,3	22,5	27,6	128,8	179,0
64	45,9	133,0	147,5	20,0	87,1	14,5	101,6	86,5	14,4	100,8	11,8	33,6	51,8	73,9	21,8	18,2	22,1	62,1	21,6	18,1	21,9	61,6
65	45,9	124,2	133,0	21,0	78,3	8,8	87,1	79,6	8,9	88,6	11,8	33,8	62,7	102,2	22,0	28,9	39,5	90,4	22,4	29,4	40,2	91,9
66	46,0	128,8	139,2	21,0	82,8	10,4	93,2	84,2	10,6	94,8	11,7	33,1	61,5	102,0	21,4	28,4	40,5	90,3	21,8	28,9	41,2	91,8
67	46,0	133,0	144,9	21,0	87,0	11,9	98,9	88,5	12,1	100,6	11,7	33,9	51,7	106,4	22,2	17,8	54,7	94,7	22,6	18,1	55,6	96,3
68	46,1	140,3	154,5	21,0	94,2	14,2	108,4	95,8	14,4	110,2	11,8	34,0	55,0	120,0	22,2	21,0	65,0	108,2	22,6	21,4	66,1	110,0
69	46,1	130,5	140,4	21,0	84,4	9,9	94,3	85,8	10,1	95,9	11,8	33,7	56,6	137,4	21,9	22,9	80,8	125,6	22,3	23,3	82,2	127,7
70	46,0	136,4	148,5	21,0	90,4	12,1	102,5	91,9	12,3	104,2	11,8	34,9	59,1	147,4	23,1	24,2	88,3	135,6	23,5	24,6	89,8	137,9

(continuação)

71	46,0	140,0	153,5	21,5	94,0	13,5	107,5	96,7	13,9	110,6	11,9	36,2	61,9	160,0	24,3	25,7	98,1	148,1	25,0	26,5	101,0	152,4
72	46,0	144,7	160,0	21,5	98,7	15,3	114,0	101,6	15,7	117,3	11,8	34,0	58,2	162,0	22,2	24,2	103,8	150,2	22,8	24,9	106,8	154,6

Média (°C) = 20,8

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Descargas de fundo intermediárias por perda de carga;
Lavagem do FRD por perda de carga; Lavagem do FRD por transpasse

Figura B 3.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 240 m³/m²d). Fonte: Tabela B 3.3 – ANEXO B.

Figura B 3.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d e FRD = 240 m³/m²d). Fonte: Tabela B 3.3 – ANEXO B.

Tabela B 3.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 3 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 240 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	25,67	43,20	23,51	24,47	116,85	67,67	180	248
1	25,20	43,92	23,03	23,95	116,10	67,87	178	248
2	22,73	40,93	27,17	23,51	114,34	64,44	176	236
3	23,16	43,05	27,35	23,30	116,86	66,35	180	243
4	23,20	45,62	27,46	23,96	120,24	69,58	185	255
5	25,16	47,80	25,22	24,27	122,45	72,07	188	264
6	24,52	42,17	24,42	23,81	115,38	66,44	177	243
7	24,53	46,75	24,57	23,90	119,66	70,56	184	258
8	26,76	40,24	24,22	23,33	115,12	64,14	177	235
9	27,27	42,76	24,19	23,48	117,55	66,09	181	242
10	26,67	43,34	23,63	23,57	117,12	66,82	180	244
11	26,20	43,90	25,83	22,80	119,50	67,47	184	247
12	25,60	43,68	25,55	23,34	117,63	66,48	181	243
13	26,18	44,54	25,49	22,88	119,55	67,88	184	248
14	27,88	43,79	25,24	23,34	119,79	66,67	184	244
15	27,49	43,20	25,82	23,76	119,85	66,54	184	243
16	27,10	42,49	25,60	23,28	118,95	66,25	183	242
17	27,54	42,96	25,04	23,26	118,82	66,24	183	242
18	28,02	42,26	25,25	22,84	118,79	65,52	183	240
19	27,69	42,09	24,85	23,63	117,47	64,93	181	238
20	27,28	41,92	24,97	22,96	117,80	65,55	181	240
21	26,86	44,17	23,71	23,14	117,70	67,13	181	246
22	26,07	43,56	23,41	23,45	116,18	66,70	179	244
23	26,46	48,19	19,57	23,48	117,67	71,64	181	262
24	30,26	48,06	15,93	23,23	117,73	71,54	181	262
25	33,87	44,24	12,99	23,03	114,33	67,47	176	247
26	35,44	43,66	13,25	24,22	115,38	66,69	177	244
28	35,79	45,09	11,52	24,30	116,70	69,39	179	254
29	36,64	45,87	11,00	23,78	117,29	69,65	180	255
30	39,64	45,79	9,80	23,93	119,16	69,72	183	255
31	39,89	43,20	9,87	23,38	116,34	66,58	179	244
32	39,74	44,72	9,31	23,17	116,94	67,89	180	248
33	40,74	44,00	3,17	22,78	110,69	66,78	170	244
34	40,48	44,24	8,84	23,02	116,58	67,26	179	246
35	43,89	43,52	6,31	23,83	117,55	67,35	181	246
36	43,31	45,74	6,78	23,05	118,88	68,79	183	252
37	42,96	46,40	6,43	23,14	118,93	69,54	183	254
38	42,89	44,08	6,48	22,83	116,28	66,91	179	245
39	43,10	44,13	6,33	22,47	116,03	66,60	178	244
40	44,75	42,72	4,68	23,20	115,35	65,92	177	241
41	43,05	44,35	5,59	23,20	116,19	67,55	179	247
42	42,90	45,40	5,76	23,45	117,51	68,85	181	252
43	45,47	44,10	5,71	23,86	119,14	67,96	183	249
44	34,77	38,68	14,00	22,90	110,35	61,58	170	225

(continuação)

45	38,59	43,40	10,53	23,34	115,86	66,74	178	244
46	36,25	45,13	9,66	23,86	114,90	68,99	177	252
47	35,62	47,43	9,81	23,79	116,65	71,22	179	261
48	36,21	46,52	8,77	23,90	115,40	70,42	177	258
49	41,92	42,35	9,02	23,76	117,05	66,11	180	242
50	39,36	44,72	8,68	23,89	116,65	68,61	179	251
51	39,00	43,58	8,49	23,52	114,59	67,10	176	245
52	31,04	43,82	19,59	24,55	119,00	68,37	183	250
53	34,88	44,54	15,62	24,04	119,08	68,58	183	251
54	34,73	44,44	14,96	23,56	117,69	68,00	181	249
55	36,76	44,05	13,92	22,93	117,66	66,98	181	245
56	43,27	41,19	6,82	23,67	114,95	64,86	177	237
57	42,24	44,59	6,86	23,04	116,73	67,63	179	247
58	42,76	41,09	7,15	23,46	114,46	64,55	176	236
59	42,36	43,89	6,75	23,89	116,89	67,78	180	248
60	42,38	44,23	6,76	24,06	117,43	68,29	180	250
61	39,28	48,99	4,14	23,50	115,91	72,49	178	265
62	46,47	45,62	4,11	23,70	119,90	69,32	184	254
63	48,39	41,95	3,77	24,10	118,21	66,05	182	242
64	49,00	42,06	3,99	22,94	117,99	65,00	181	238
65	46,01	42,97	3,51	23,71	116,20	66,68	179	244
66	35,26	45,48	14,40	22,81	117,95	68,29	181	250
67	37,26	43,35	14,59	23,52	118,72	66,87	182	245
68	36,88	42,18	14,00	23,29	116,35	65,47	179	239
69	36,65	46,09	11,29	23,62	117,65	69,71	181	255
70	38,07	46,75	8,88	22,41	116,11	69,16	178	253
71	38,17	46,69	9,45	23,83	118,14	70,52	182	258
72	34,50	46,92	8,23	23,65	113,30	70,57	174	258
Mínima					110,35	61,58	170	225
Média					117,09	67,63	180	247
Máxima					122,45	72,49	188	265
DP					2,01	2,03	3,09	7,41

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela B 4.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 240 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0							
1	21,5		193	3,0	< 1,0		102
3	21,0		177	< 1,0	< 1,0		97
5	20,0	94	176	1,0	< 1,0	20	85
7	19,0		181	3,0	< 1,0		104
9	19,0	93	182	< 1,0	< 1,0	25	99
11	18,2		175	2,0	1,0		101
13	18,2	87	177	5,0	4,0	23	104
15	18,0		182	14,0	3,0		100
17	18,5	90	180	2,0	< 1,0	20	101
19	20,0		204	6,0	5,0		99
21	21,0	98	199	3,0	2,0	16	105
23	21,5		212	3,0	1,0		98
26	22,0	116	207	3,0	< 1,0	19	109
27							
29	20,0	89	176	< 1,0	< 1,0	14	82
31	19,0		187	< 1,0	< 1,0		99
33	19,0		183	< 1,0	< 1,0		103
35	19,0		185	< 1,0	< 1,0		106
37	18,5		183	6,0	< 1,0		104
39	18,5		180	18,0	1,0		104
41	19,0		184	8,0	3,0		98
43	19,5		219	10,0	< 1,0		112
45	20,5		212	20,0	< 1,0		110
47	21,0		204	6,0	< 1,0		112
50	21,5	96	189	7,0	< 1,0	17	91
51	20,0		192	17,0	< 1,0		95
53	19,5	87	184	25,0	< 1,0	22	101
55	19,0		184	21,0	< 1,0		89
57	18,5	93	193	30,0	2,0	22	97
59	18,0		191	27,0	< 1,0		93
61	18,0	84	189	32,0	< 1,0	16	95
63	18,0		190	39,0	< 1,0		93
65	18,5	116	217	42,0	1,0	19	111
67	19,5		211	36,0	< 1,0		98
69	21,0	105	206	43,0	1,0	19	101
Média	19,5	96	191	12,8	1,0	19	100
Mínimo	18,0	84	175	< 1,0	< 1,0	14	82
Máximo	22,0	116	219	43,0	5,0	25	112
DP	1,21	10,40	12,99	13,70	1,11	3,12	7,10

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 4.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

[illegible]

(continuação)

53	6,69	6,57	5,13				0,177	0,034	0,007								
55		6,54	4,99	8,80	9,24												
57	6,51	6,52	5,01	10,12	11,66		0,183	0,014	0,005								
59		6,45	5,02														
61	6,31	6,37	5,03				0,179	0,024	0,006	2,679	4,021	2,435	2,241				
63		6,49	5,01														
65	6,35	6,44	5,02	8,80	9,68		0,191	0,020	0,005								
67		6,60	4,97														
69	6,41	6,59	5,01	9,56	10,34		0,183	0,030	0,010								
Média	6,66	6,62	5,07	11,85	12,69		0,180	0,020	0,011	2,695	3,736	3,016	2,755	-	-	-	-
Mínimo	6,31	6,33	4,64	8,14	9,24		0,158	0,010	0,005	2,222	3,050	2,435	2,241	-	-	-	-
Máximo	7,63	7,45	5,49	19,58	19,36		0,198	0,034	0,021	3,061	4,174	3,345	3,180	-	-	-	-
DP	0,33	0,24	0,13	4,43	4,11		0,009	0,007	0,006	0,352	0,498	0,505	0,476	-	-	-	-

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 4.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 4, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,7	60,3	61,7	21,5	14,6	1,4	16,0	15,0	1,4	16,5	12,3	35,3	53,8	71,0	23,0	18,5	17,2	58,7	23,7	19,0	17,7	60,4
1	45,9	63,6	66,0	21,5	17,7	2,4	20,1	18,2	2,5	20,7	12,4	38,6	59,7	80,9	26,2	21,1	21,2	68,5	27,0	21,7	21,8	70,5
2	45,9	64,9	68,0	21,0	19,0	3,1	22,1	19,3	3,2	22,5	12,4	37,8	58,2	79,8	25,4	20,4	21,6	67,4	25,8	20,7	22,0	68,5
3	45,9	66,5	71,0	21,0	20,6	4,5	25,1	20,9	4,6	25,5	12,4	38,3	58,7	80,7	25,9	20,4	22,0	68,3	26,3	20,7	22,4	69,5
4	45,9	68,8	74,5	20,0	22,9	5,7	28,6	22,7	5,7	28,4	12,4	28,6	59,6	82,7	16,2	31,0	23,1	70,3	16,1	30,8	22,9	69,8
5	45,9	70,1	77,7	20,0	24,2	7,6	31,8	24,0	7,5	31,6	12,4	38,3	59,3	83,0	25,9	21,0	23,7	70,6	25,7	20,8	23,5	70,1
6	45,9	73,2	80,5	19,0	27,3	7,3	34,6	26,4	7,1	33,5	12,4	38,6	59,6	83,6	26,2	21,0	24,0	71,2	25,4	20,3	23,3	69,0
7	45,9	75,4	83,0	19,0	29,5	7,6	37,1	28,6	7,4	35,9	12,4	38,8	60,0	84,3	26,4	21,2	24,3	71,9	25,6	20,5	23,5	69,7
8	45,9	77,3	85,2	19,0	31,4	7,9	39,3	30,4	7,7	38,1	12,4	38,9	60,4	85,1	26,5	21,5	24,7	72,7	25,7	20,8	23,9	70,4
9	45,9	70,0	73,6	19,0	24,1	3,6	27,7	23,3	3,5	26,8	12,4	40,0	62,4	89,0	27,6	22,4	26,6	76,6	26,7	21,7	25,8	74,2
10	45,8	72,7	76,2	18,2	26,9	3,5	30,4	25,6	3,3	28,9	12,2	39,1	60,8	87,4	26,9	21,7	26,6	75,2	25,6	20,6	25,3	71,5
11	45,8	76,0	80,8	18,2	30,2	4,8	35,0	28,7	4,6	33,3	12,2	39,0	60,8	88,0	26,8	21,8	27,2	75,8	25,5	20,7	25,8	72,0
12	45,8	78,8	84,2	18,2	33,0	5,4	38,4	31,4	5,1	36,5	12,2	39,0	60,9	88,5	26,8	21,9	27,6	76,3	25,5	20,8	26,2	72,5
13	45,8	81,8	88,3	18,2	36,0	6,5	42,5	34,2	6,2	40,4	12,2	39,0	61,0	89,0	26,8	22,0	28,0	76,8	25,5	20,9	26,6	73,0
14	45,8	84,7	92,0	18,0	38,9	7,3	46,2	36,8	6,9	43,7	12,2	39,0	61,1	89,6	26,8	22,1	28,5	77,4	25,3	20,9	27,0	73,2
15	45,8	88,0	98,0	18,0	42,2	10,0	52,2	39,9	9,5	49,4	12,2	39,2	61,3	90,3	27,0	22,1	29,0	78,1	25,5	20,9	27,4	73,9
16	45,8	89,9	98,8	18,5	44,1	8,9	53,0	42,2	8,5	50,7	12,2	39,3	61,5	90,6	27,1	22,2	29,1	78,4	25,9	21,2	27,9	75,0
17	45,8	93,3	102,9	18,5	47,5	9,6	57,1	45,5	9,2	54,7	12,2	38,8	61,3	91,1	26,6	22,5	29,8	78,9	25,5	21,5	28,5	75,5
18	45,8	95,8	106,1	20,0	50,0	10,3	60,3	49,6	10,2	59,9	12,2	38,3	60,7	90,2	26,1	22,4	29,5	78,0	25,9	22,2	29,3	77,4
19	45,8	98,3	109,5	20,0	52,5	11,2	63,7	52,1	11,1	63,2	12,2	39,2	59,8	89,4	27,0	20,6	29,6	77,2	26,8	20,4	29,4	76,6
20	45,9	103,6	115,7	21,0	57,7	12,1	69,8	58,7	12,3	71,0	12,3	39,2	61,5	91,9	26,9	22,3	30,4	79,6	27,4	22,7	30,9	80,9
21	45,9	107,3	120,9	21,0	61,4	13,6	75,0	62,4	13,8	76,3	12,3	39,2	61,2	91,7	26,9	22,0	30,5	79,4	27,4	22,4	31,0	80,7
22	45,9	114,7	128,2	21,5	68,8	13,5	82,3	70,8	13,9	84,7	12,3	39,0	60,9	91,3	26,7	21,9	30,4	79,0	27,5	22,5	31,3	81,3
23	45,9	79,1	81,8	21,5	33,2	2,7	35,9	34,2	2,8	36,9	12,3	39,5	61,9	93,4	27,2	22,4	31,5	81,1	28,0	23,1	32,4	83,5

(continuação)

24	45,9	82,6	85,6	22,0	36,7	3,0	39,7	38,2	3,1	41,4	12,3	38,1	59,6	90,4	25,8	21,5	30,8	78,1	26,9	22,4	32,1	81,4
26	45,9	81,8	83,9	22,0	35,9	2,1	38,0	37,4	2,2	39,6	12,3	38,3	59,9	92,5	26,0	21,6	32,6	80,2	27,1	22,5	34,0	83,5
28	45,8	91,2	95,3	21,0	45,4	4,1	49,5	46,2	4,2	50,3	12,2	38,9	61,2	96,2	26,7	22,3	35,0	84,0	27,1	22,7	35,6	85,4
29	45,8	96,4	101,5	21,0	50,6	5,1	55,7	51,5	5,2	56,6	12,1	38,1	59,8	94,9	26,0	21,7	35,1	82,8	26,4	22,1	35,7	84,2
30	45,8	102,3	108,5	20,0	56,5	6,2	62,7	56,1	6,2	62,2	12,1	38,3	60,1	96,3	26,2	21,8	36,2	84,2	26,0	21,6	35,9	83,6
31	45,8	105,9	112,7	20,0	60,1	6,8	66,9	59,7	6,7	66,4	12,1	38,3	60,2	97,1	26,2	21,9	36,9	85,0	26,0	21,7	36,6	84,4
32	45,8	111,0	118,5	19,0	65,2	7,5	72,7	63,2	7,3	70,4	12,1	38,9	61,4	100,0	26,8	22,5	38,6	87,9	26,0	21,8	37,4	85,2
33	45,8	114,8	122,5	19,0	69,0	7,7	76,7	66,8	7,5	74,3	12,1	39,0	61,6	101,0	26,9	22,6	39,4	88,9	26,1	21,9	38,2	86,1
34	45,8	118,5	127,0	19,0	72,7	8,5	81,2	70,4	8,2	78,7	12,1	39,1	61,8	101,6	27,0	22,7	39,8	89,5	26,2	22,0	38,6	86,7
35	45,8	127,2	137,2	19,0	81,4	10,0	91,4	78,9	9,7	88,5	12,1	39,6	62,7	104,2	27,5	23,1	41,5	92,1	26,6	22,4	40,2	89,2
36	45,8	132,2	142,3	19,0	86,4	10,1	96,5	83,7	9,8	93,5	12,1	39,9	63,3	106,1	27,8	23,4	42,8	94,0	26,9	22,7	41,5	91,1
37	45,8	137,2	147,9	19,0	91,4	10,7	102,1	88,5	10,4	98,9	12,1	40,0	63,4	108,3	27,9	23,4	44,9	96,2	27,0	22,7	43,5	93,2
38	45,8	142,4	153,5	18,5	96,6	11,1	107,7	92,5	10,6	103,1	12,1	40,1	63,5	112,0	28,0	23,4	48,5	99,9	26,8	22,4	46,4	95,6
39	45,8	148,8	160,6	18,5	103,0	11,8	114,8	98,6	11,3	109,9	12,1	40,3	63,9	117,2	28,2	23,6	53,3	105,1	27,0	22,6	51,0	100,6
40	45,8	153,7	164,8	18,5	107,9	11,1	119,0	103,3	10,6	113,9	12,1	39,2	61,9	120,1	27,1	22,7	58,2	108,0	25,9	21,7	55,7	103,4
40,5	45,8	156,8	169,3	18,5	111,0	12,5	123,5	106,2	12,0	118,2	12,0	39,3	62,0	124,7	27,3	22,7	62,7	112,7	26,1	21,7	60,0	107,9
41	45,8	140,0	143,3	19,0	94,2	3,3	97,5	91,3	3,2	94,5	12,0	39,0	61,8	132,3	27,0	22,8	70,5	120,3	26,2	22,1	68,3	116,5
42	45,8	147,6	152,2	19,0	101,8	4,6	106,4	98,6	4,5	103,1	12,0	38,4	60,6	130,4	26,4	22,2	69,8	118,4	25,6	21,5	67,6	114,7
43	45,8	160,4	166,3	19,5	114,6	5,9	120,5	112,4	5,8	118,2	12,0	37,9	60,0	130,4	25,9	22,1	70,4	118,4	25,4	21,7	69,0	116,1
44	45,9	172,9	180,1	19,5	127,0	7,2	134,2	124,5	7,1	131,6	12,0	39,2	62,2	140,0	27,2	23,0	77,8	128,0	26,7	22,6	76,3	125,5
45	46,0	183,0	191,1	20,5	137,0	8,1	145,1	137,6	8,1	145,8	12,1	40,0	63,9	148,0	27,9	23,9	84,1	135,9	28,0	24,0	84,5	136,5
46	45,9	193,9	203,5	20,5	148,0	9,6	157,6	148,7	9,6	158,3	12,1	40,4	65,4	158,0	28,3	25,0	92,6	145,9	28,4	25,1	93,0	146,6
47	45,9	198,6	209,1	21,0	152,7	10,5	163,2	155,3	10,7	165,9	12,1	40,4	66,2	164,3	28,3	25,8	98,1	152,2	28,8	26,2	99,8	154,8
48	46,0	135,7	139,8	21,0	89,7	4,1	93,8	91,2	4,2	95,4	12,1	40,2	68,0	178,8	28,1	27,8	110,8	166,7	28,6	28,3	112,7	169,5
49	46,0	147,8	154,4	21,5	101,8	6,6	108,4	104,8	6,8	111,6	12,1	40,0	67,5	177,0	27,9	27,5	109,5	164,9	28,7	28,3	112,7	169,7
50	46,0	159,2	167,1	21,5	113,2	7,9	121,1	116,5	8,1	124,6	12,1	38,7	65,2	174,5	26,6	26,5	109,3	162,4	27,4	27,3	112,5	167,1
51	46,0	169,1	178,7	20,0	123,1	9,6	132,7	122,2	9,5	131,7	12,0	39,2	65,4	180,0	27,2	26,2	114,6	168,0	27,0	26,0	113,7	166,7
52	46,0	181,8	193,2	20,0	135,8	11,4	147,2	134,8	11,3	146,1	12,0	40,2	69,9	196,0	28,2	29,7	126,1	184,0	28,0	29,5	125,2	182,6
53	46,0	190,6	203,5	19,5	144,6	12,9	157,5	141,8	12,6	154,4	12,0	39,2	68,8	192,4	27,2	29,6	123,6	180,4	26,7	29,0	121,2	176,9

(continuação)

54	45,9	197,0	210,8	19,5	151,1	13,8	164,9	148,2	13,5	161,7	12,0	39,4	70,8	200,0	27,4	31,4	129,2	188,0	26,9	30,8	126,7	184,4
55	45,9	199,5	213,6	19,0	153,6	14,1	167,7	148,8	13,7	162,5	12,0	40,3	73,7	209,5	28,3	33,4	135,8	197,5	27,4	32,4	131,6	191,3
56	45,9	203,4	217,7	19,0	157,5	14,3	171,8	152,6	13,9	166,4	12,0	40,9	78,1	224,0	28,9	37,2	145,9	212,0	28,0	36,0	141,3	205,4
57	45,8	206,0	221,1	18,5	160,2	15,1	175,3	153,3	14,5	167,8	12,2	38,5	59,1	87,0	26,3	20,6	27,9	74,8	25,2	19,7	26,7	71,6
58	45,8	210,5	226,3	18,5	164,7	15,8	180,5	157,6	15,1	172,8	12,2	37,7	60,5	109,3	25,5	22,8	48,8	97,1	24,4	21,8	46,7	92,9
59	45,8	215,7	232,0	18,0	169,9	16,3	186,2	160,7	15,4	176,1	12,2	38,7	65,7	133,0	26,5	27,0	67,3	120,8	25,1	25,5	63,6	114,2
60	45,8	229,0	234,2	18,0	183,2	5,2	188,4	173,2	4,9	178,2	12,2	38,7	67,2	143,0	26,5	28,5	75,8	130,8	25,1	27,0	71,7	123,7
61	45,8	222,4	239,5	18,0	176,6	17,1	193,7	167,0	16,2	183,2	12,2	40,2	72,0	161,8	28,0	31,8	89,8	149,6	26,5	30,1	84,9	141,5
62	45,7	225,3	243,0	18,0	179,6	17,7	197,3	169,8	16,7	186,6	12,2	41,4	75,0	172,3	29,2	33,6	97,3	160,1	27,6	31,8	92,0	151,4
63	45,7	227,6	245,7	18,0	181,9	18,1	200,0	172,0	17,1	189,1	12,2	42,4	78,1	187,0	30,2	35,7	108,9	174,8	28,6	33,8	103,0	165,3
64	45,8	231,3	249,5	18,0	185,5	18,2	203,7	175,4	17,2	192,6	11,9	31,5	52,1	78,5	19,6	20,6	26,4	66,6	18,5	19,5	25,0	63,0
65	45,8	235,6	254,2	18,5	189,8	18,6	208,4	181,7	17,8	199,5	12,1	36,2	63,8	135,2	24,1	27,6	71,4	123,1	23,1	26,4	68,3	117,8
66	45,9	236,6	255,6	18,5	190,7	19,0	209,7	182,5	18,2	200,7	12,1	37,0	67,2	152,2	24,9	30,2	85,0	140,1	23,8	28,9	81,4	134,1
67	45,8	238,0	257,2	19,5	192,2	19,2	211,4	188,5	18,8	207,3	12,0	35,8	66,5	183,0	23,8	30,7	116,5	171,0	23,3	30,1	114,2	167,7
68	45,9	239,3	258,7	19,5	193,4	19,4	212,8	189,6	19,0	208,7	12,0	36,7	66,5	209,8	24,7	29,8	143,3	197,8	24,2	29,2	140,5	194,0
69	45,9	242,0	262,1	21,0	196,1	20,1	216,2	199,4	20,4	219,8	12,0	37,0	67,2	222,0	25,0	30,2	154,8	210,0	25,4	30,7	157,4	213,5
70	45,9	245,1	266,0	21,0	199,2	20,9	220,1	202,6	21,3	223,8	12,0	37,8	59,4	88,1	25,8	21,6	28,7	76,1	26,2	22,0	29,2	77,4

Média (°C) = 19,6

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Descargas de fundo intermediárias por perda de carga; Lavagem do FRD por perda de carga; Lavagem do FRD por transpasse

Figura B 4.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.3 – ANEXO B.

Figura B 4.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 4.3 – ANEXO B.

Tabela B 4.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 4 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	14,29	53,40	23,51	24,47	115,67	77,87	178	285
1	13,96	54,88	23,03	23,95	115,82	78,83	178	288
2	14,40	54,98	27,17	23,51	120,06	78,49	185	287
3	13,33	54,00	27,35	23,30	117,98	77,30	181	283
4	13,40	54,94	27,46	23,96	119,76	78,90	184	289
5	13,37	54,68	25,22	24,27	117,54	78,95	181	289
6	13,76	53,33	24,42	23,81	115,78	77,60	178	284
7	13,67	53,47	24,57	23,90	115,52	77,28	178	283
8	13,68	53,14	24,22	23,33	114,94	77,04	177	282
9	13,37	55,80	24,19	23,48	116,69	79,13	179	289
10	13,96	53,13	23,63	23,57	114,20	76,61	176	280
11	13,01	52,73	25,83	22,80	115,14	76,30	177	279
12	13,97	52,31	25,55	23,34	114,63	75,11	176	275
13	13,89	52,96	25,49	22,88	115,68	76,30	178	279
14	14,00	52,30	25,24	23,34	114,42	75,18	176	275
15	14,01	51,96	25,82	23,76	115,13	75,30	177	275
16	14,12	53,60	25,60	23,28	117,08	77,36	180	283
17	14,02	52,39	25,04	23,26	114,73	75,67	176	277
18	13,85	53,73	25,25	22,84	116,09	76,99	178	282
19	14,68	52,03	24,85	23,63	114,40	74,87	176	274
20	14,03	54,17	24,97	22,96	116,80	77,80	180	285
21	13,78	54,92	23,71	23,14	115,37	77,88	177	285
22	14,00	53,44	23,41	23,45	113,99	76,58	175	280
23	14,19	55,07	19,57	23,48	112,28	78,52	173	287
24	16,34	54,75	17,93	23,23	112,50	78,23	173	286
25	16,38	54,00	17,99	23,03	111,60	77,23	172	282
26	16,20	54,98	18,25	24,22	112,46	78,01	173	285
28	16,16	55,33	18,52	24,30	114,31	79,63	176	291
29	16,53	54,28	18,00	23,78	112,59	78,06	173	286
30	16,26	53,30	19,80	23,93	113,29	77,23	174	282
31	16,35	52,73	19,87	23,38	112,33	76,11	173	278
32	16,51	53,88	19,31	23,17	112,87	77,05	173	282
33	16,96	52,86	19,17	22,78	111,77	75,64	172	277
34	17,13	53,23	18,84	23,02	112,22	76,25	172	279
35	16,57	53,44	18,31	23,83	112,15	77,27	172	283
36	16,23	54,39	18,78	23,05	112,45	77,44	173	283
37	16,91	54,43	18,43	23,14	112,91	77,57	174	284
38	16,35	54,75	18,48	22,83	112,41	77,58	173	284
39	16,20	55,33	18,33	22,47	112,33	77,80	173	285
40	17,13	53,25	19,68	23,20	113,26	76,45	174	280
41	16,91	52,67	19,59	23,20	112,37	75,87	173	278
42	16,66	52,11	19,76	23,45	111,98	75,56	172	276
43	16,27	52,27	19,71	23,86	112,11	76,13	172	278
44	16,15	54,08	19,00	22,90	112,13	76,98	172	282

(continuação)

45	16,16	55,17	19,53	23,34	114,20	78,51	176	287
46	16,68	56,47	19,66	23,86	116,67	80,33	179	294
47	16,89	56,50	19,81	23,79	116,99	80,29	180	294
48	16,15	56,01	18,77	23,90	114,83	79,91	176	292
49	16,06	56,22	18,02	23,76	114,06	79,98	175	293
50	16,08	54,26	18,68	23,89	112,91	78,15	174	286
51	16,69	54,62	18,49	23,52	113,32	78,14	174	286
52	16,53	53,13	19,59	24,55	113,80	77,68	175	284
53	16,21	53,25	18,62	24,04	112,12	77,29	172	283
54	16,64	53,19	19,96	23,56	113,35	76,75	174	281
55	16,49	53,20	19,92	22,93	112,54	76,13	173	278
56	15,25	55,74	19,82	23,67	114,48	79,41	176	290
57	15,44	56,95	19,86	23,04	115,29	79,99	177	293
58	16,96	55,81	19,15	23,46	115,38	79,27	177	290
59	17,26	56,07	19,75	23,89	116,97	79,96	180	292
60	16,59	56,66	19,76	24,06	117,07	80,72	180	295
61	16,90	56,45	19,14	23,50	115,99	79,95	178	292
62	16,47	56,77	19,11	23,70	116,05	80,47	178	294
64	16,70	56,68	19,99	22,94	116,31	79,62	179	291
65	16,30	56,35	19,51	23,71	115,87	80,06	178	293
66	16,38	56,86	18,40	22,81	114,45	79,67	176	291
Mínima					111,60	74,87	172	274
Média					114,50	77,79	176	285
Máxima					120,06	80,72	185	295
DP					1,98	1,54	3,04	5,63

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 5.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 160 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0	25,5	131	225	19,0	3,0	24	114
1	25,5	133	220	2,0	1,0	18	92
3	25,0		231	0,5	0,5		101
5	24,5		224	0,5	0,5		96
7	24,5	146	224	0,5	0,5	26	102
9	24,0		229	0,5	0,5		98
11	24,0		214	0,5	0,5		92
13	23,5	131	201	0,5	0,5	23	94
15	23,0		205	0,5	0,5		85
17	23,0		207	0,5	0,5		95
19	24,0	134	205	0,5	0,5	21	90
21	25,0		225	0,5	0,5		99
23	25,0		221	0,5	0,5		115
26	26,0	127	205	0,5	0,5	28	103
27	26,0		209	0,5	0,5		91
29	25,0		211	0,5	0,5		96
31	25,0	128	209	0,5	0,5	18	89
33	24,5		247	0,5	0,5		113
35	24,0		227	0,5	0,5		116
37	22,5	131	205	0,5	0,5	20	98
39	23,0		208	0,5	0,5		103
41	23,0		204	0,5	0,5		94
43	24,0	141	209	0,5	0,5	26	98
45	25,0		212	0,5	0,5		88
47	25,5		210	0,5	0,5		111
50	25,5	144	217	0,5	0,5	19	95
51	26,0		214	0,5	0,5		103
53	25,0		209	0,5	0,5		104
55	25,0	119	208	0,5	0,5	23	95
57	24,5		211	2,0	1,0		95
59	24,0		210	0,5	0,5		97
61	23,5	126	211	0,5	0,5	22	96
63	23,0		209	0,5	0,5		97
65	23,0		211	3,0	1,0		98
67	24	135	218	0,5	0,5	23	97
69	24,5		216	0,5	0,5		92
71	25,5		216	0,5	0,5		114
72	25,5	125	202	0,5	0,5	20	89
Média	24,4	132	214	1,1	0,6	22	99
Mínimo	22,5	119	201	0,5	0,5	18	85
Máximo	26,0	146	247	19,0	3,0	28	116
DP	0,98	7,51	9,57	3,02	0,42	3,09	8,02

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 5.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 160 m³/m²d).

[illegible]

53		6,86	4,99														
55	6,85	6,86	5,00	9,46	12,10	0,071	0,193	0,009	0,017								
57		6,80	4,92														
59		6,87	4,98														
61	6,83	6,80	4,99	10,12	11,00	0,071	0,193	0,013	0,016								
63		6,83	5,01														
65		6,83	5,02														
67	6,77	6,82	4,99	8,36	9,24	0,066	0,185	0,021	0,017								
69		6,86	4,97														
71		6,80	4,91														
72	6,68	6,83	4,91	8,80	9,90	0,069	0,181	0,010	0,012	2,332	3,855	2,070	1,994	0,01	0,03	0,60	0,15
Média	6,84	6,83	4,94	9,41	9,73	0,070	0,187	0,013	0,015	2,246	3,337	2,152	2,065	0,020	0,028	0,480	0,146
Mínimo	6,68	6,62	4,67	7,04	8,36	0,063	0,177	0,008	0,008	1,957	2,572	1,830	1,838	0,010	0,010	0,400	0,100
Máximo	6,91	6,94	5,06	12,32	12,10	0,078	0,211	0,023	0,023	2,442	3,855	2,537	2,384	0,050	0,070	0,600	0,210
DP	0,06	0,06	0,08	1,52	1,13	0,004	0,009	0,005	0,004	0,213	0,470	0,278	0,213	0,017	0,025	0,076	0,042

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 5.3 – Perda de carga no FAAG (120 m³/m²d) e no FRD (160 m³/m²d) durante o ensaio 5, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,7	54,7	55,4	25,5	9,0	0,7	9,7	10,2	0,8	11,0	11,7	22,7	33,3	45,3	11,0	10,6	12,0	33,6	12,5	12,0	13,6	38,1
1	45,8	55,8	56,8	25,5	10,0	1,0	11,0	11,3	1,1	12,5	11,7	23,5	34,9	48,2	11,8	11,4	13,3	36,5	13,4	12,9	15,1	41,4
2	45,9	56,5	58,1	25,0	10,6	1,6	12,2	11,9	1,8	13,7	11,7	23,5	35,1	50,0	11,8	11,6	14,9	38,3	13,2	13,0	16,7	42,9
3	45,9	56,8	58,9	25,0	10,9	2,1	13,0	12,2	2,4	14,6	11,7	23,6	35,3	50,5	11,9	11,7	15,2	38,8	13,3	13,1	17,0	43,5
4	45,9	57,5	60,0	25,0	11,6	2,5	14,1	13,0	2,8	15,8	11,7	23,6	35,3	50,7	11,9	11,7	15,4	39,0	13,3	13,1	17,2	43,7
5	45,9	58,2	61,3	24,5	12,3	3,1	15,4	13,6	3,4	17,0	11,7	23,7	35,6	51,4	12,0	11,9	15,8	39,7	13,3	13,2	17,5	43,9
6	45,8	59,0	62,5	24,5	13,2	3,5	16,7	14,6	3,9	18,5	11,7	23,4	35,0	50,6	11,7	11,6	15,6	38,9	12,9	12,8	17,3	43,0
7	45,8	60,0	64,0	24,5	14,2	4,0	18,2	15,7	4,4	20,1	11,6	23,4	35,1	51,0	11,8	11,7	15,9	39,4	13,1	12,9	17,6	43,6
8	45,8	61,2	65,8	24,5	15,4	4,6	20,0	17,0	5,1	22,1	11,6	23,4	35,1	51,1	11,8	11,7	16,0	39,5	13,1	12,9	17,7	43,7
9	45,8	62,3	67,4	24,0	16,5	5,1	21,6	18,0	5,6	23,6	11,6	23,9	36,0	52,8	12,3	12,1	16,8	41,2	13,4	13,2	18,4	45,0
10	45,8	64,2	70,0	24,0	18,4	5,8	24,2	20,1	6,3	26,5	11,6	24,0	36,3	53,5	12,4	12,3	17,2	41,9	13,6	13,4	18,8	45,8
11	45,8	65,0	71,3	24,0	19,2	6,3	25,5	21,0	6,9	27,9	11,6	23,8	35,9	53,1	12,2	12,1	17,2	41,5	13,3	13,2	18,8	45,4
12	45,8	66,7	73,5	24,0	20,9	6,8	27,7	22,9	7,4	30,3	11,6	23,8	35,9	53,5	12,2	12,1	17,6	41,9	13,3	13,2	19,2	45,8
13	45,8	68,8	76,4	23,5	23,0	7,6	30,6	24,8	8,2	33,1	11,6	23,8	36,0	54,0	12,2	12,2	18,0	42,4	13,2	13,2	19,4	45,8
14	45,8	70,5	78,7	23,5	24,7	8,2	32,9	26,7	8,9	35,5	11,6	23,9	36,2	54,8	12,3	12,3	18,6	43,2	13,3	13,3	20,1	46,7
15	45,8	72,7	81,2	23,0	26,9	8,5	35,4	28,7	9,1	37,8	11,6	24,0	36,5	55,8	12,4	12,5	19,3	44,2	13,2	13,3	20,6	47,2
16	45,8	74,2	83,7	23,0	28,4	9,5	37,9	30,3	10,1	40,4	11,6	23,9	36,3	55,8	12,3	12,4	19,5	44,2	13,1	13,2	20,8	47,2
17	45,8	76,3	86,2	23,0	30,5	9,9	40,4	32,6	10,6	43,1	11,6	23,9	36,4	56,0	12,3	12,5	19,6	44,4	13,1	13,3	20,9	47,4
18	45,9	78,0	88,6	23,0	32,1	10,6	42,7	34,3	11,3	45,6	11,6	23,9	35,3	55,8	12,3	11,4	20,5	44,2	13,1	12,2	21,9	47,2
19	45,9	67,6	69,8	24,0	21,7	2,2	23,9	23,7	2,4	26,1	11,5	23,6	35,6	52,5	12,1	12,0	16,9	41,0	13,2	13,1	18,5	44,8
20	46,0	70,0	73,4	24,0	24,0	3,4	27,4	26,2	3,7	30,0	11,5	23,4	35,3	52,4	11,9	11,9	17,1	40,9	13,0	13,0	18,7	44,7
21	45,9	72,0	76,3	25,0	26,1	4,3	30,4	29,2	4,8	34,0	11,5	23,4	35,3	53,0	11,9	11,9	17,7	41,5	13,3	13,3	19,8	46,5
22	45,9	74,0	79,2	25,0	28,1	5,2	33,3	31,5	5,8	37,3	11,6	23,3	35,1	52,9	11,7	11,8	17,8	41,3	13,1	13,2	19,9	46,3
23	45,9	76,6	83,0	25,0	30,7	6,4	37,1	34,4	7,2	41,6	11,6	23,3	35,0	53,1	11,7	11,7	18,1	41,5	13,1	13,1	20,3	46,5

(continuação)

24	45,9	78,7	86,0	25,0	32,8	7,3	40,1	36,7	8,2	44,9	11,6	23,3	35,1	53,5	11,7	11,8	18,4	41,9	13,1	13,2	20,6	46,9
25	45,9	80,7	88,7	26,0	34,8	8,0	42,8	39,9	9,2	49,1	11,6	23,1	34,7	53,0	11,5	11,6	18,3	41,4	13,2	13,3	21,0	47,5
26	45,9	82,7	91,5	26,0	36,8	8,8	45,6	42,2	10,1	52,3	11,6	23,0	34,6	53,1	11,4	11,6	18,5	41,5	13,1	13,3	21,2	47,6
27	45,9	84,9	94,7	26,0	39,0	9,8	48,8	44,7	11,2	56,0	11,6	22,9	34,4	52,8	11,3	11,5	18,4	41,2	13,0	13,2	21,1	47,3
28	45,8	87,7	98,3	26,0	41,9	10,6	52,5	48,1	12,2	60,2	11,6	23,1	34,8	54,0	11,5	11,7	19,2	42,4	13,2	13,4	22,0	48,6
29	45,8	90,8	102,3	25,0	45,0	11,5	56,5	50,4	12,9	63,3	11,5	23,3	35,1	54,7	11,8	11,8	19,6	43,2	13,2	13,2	22,0	48,4
30	45,8	92,8	105,1	25,0	47,0	12,3	59,3	52,6	13,8	66,4	11,5	23,3	35,3	55,0	11,8	12,0	19,7	43,5	13,2	13,4	22,1	48,7
31	45,8	95,7	108,8	25,0	49,9	13,1	63,0	55,9	14,7	70,6	11,5	23,3	35,3	55,5	11,8	12,0	20,2	44,0	13,2	13,4	22,6	49,3
32	45,8	99,0	113,0	25,0	53,2	14,0	67,2	59,6	15,7	75,3	11,5	23,4	35,6	56,1	11,9	12,2	20,5	44,6	13,3	13,7	23,0	50,0
33	45,8	101,0	115,6	24,5	55,2	14,6	69,8	61,1	16,2	77,2	11,5	23,5	35,7	56,3	12,0	12,2	20,6	44,8	13,3	13,5	22,8	49,6
34	45,8	103,5	118,5	24,5	57,7	15,0	72,7	63,9	16,6	80,4	11,5	23,6	36,0	57,0	12,1	12,4	21,0	45,5	13,4	13,7	23,2	50,4
35	45,8	107,2	123,2	24,0	61,4	16,0	77,4	67,1	17,5	84,6	11,5	23,8	36,2	57,5	12,3	12,4	21,3	46,0	13,4	13,6	23,3	50,3
36	45,8	110,1	126,9	24,0	64,3	16,8	81,1	70,3	18,4	88,7	11,5	24,0	36,6	57,5	12,5	12,6	20,9	46,0	13,7	13,8	22,9	50,3
37	45,8	112,9	130,6	22,5	67,1	17,7	84,8	70,8	18,7	89,4	11,4	24,0	36,7	58,6	12,6	12,7	21,9	47,2	13,3	13,4	23,1	49,8
38	45,6	94,8	99,0	22,5	49,2	4,2	53,4	51,9	4,4	56,3	11,5	23,3	35,4	56,5	11,8	12,1	21,1	45,0	12,4	12,8	22,2	47,4
39	45,7	101,0	107,9	23,0	55,3	6,9	62,2	59,0	7,4	66,4	11,5	24,1	36,9	59,2	12,6	12,8	22,3	47,7	13,4	13,7	23,8	50,9
40	45,7	105,3	113,3	23,0	59,6	8,0	67,6	63,6	8,5	72,1	11,5	24,2	37,1	59,9	12,7	12,9	22,8	48,4	13,6	13,8	24,3	51,7
41	45,7	110,0	119,8	23,0	64,3	9,8	74,1	68,6	10,5	79,1	11,6	24,4	37,4	60,6	12,8	13,0	23,2	49,0	13,7	13,9	24,8	52,3
42	45,8	113,6	124,8	23,0	67,8	11,2	79,0	72,4	12,0	84,3	11,6	24,1	36,9	59,8	12,5	12,8	22,9	48,2	13,3	13,7	24,4	51,4
43	45,9	116,5	128,7	24,0	70,6	12,2	82,8	77,2	13,3	90,5	11,6	23,9	36,4	59,2	12,3	12,5	22,8	47,6	13,4	13,7	24,9	52,0
44	46,0	120,1	133,5	24,0	74,1	13,4	87,5	81,0	14,7	95,7	11,6	23,5	35,7	58,0	11,9	12,2	22,3	46,4	13,0	13,3	24,4	50,7
45	46,0	124,0	138,0	25,0	78,0	14,0	92,0	87,4	15,7	103,0	11,6	23,4	35,5	57,6	11,8	12,1	22,1	46,0	13,2	13,6	24,8	51,5
46	46,0	128,1	143,4	25,0	82,1	15,3	97,4	92,0	17,1	109,1	11,6	23,3	35,3	57,6	11,7	12,0	22,3	46,0	13,1	13,4	25,0	51,5
47	46,0	130,5	146,7	25,5	84,5	16,2	100,7	95,8	18,4	114,2	11,6	23,2	35,0	57,1	11,6	11,8	22,1	45,5	13,2	13,4	25,1	51,6
48	46,0	135,5	152,8	25,5	89,5	17,3	106,8	101,5	19,6	121,1	11,6	23,1	34,9	56,8	11,5	11,8	21,9	45,2	13,0	13,4	24,8	51,2
49	46,0	138,2	156,3	25,5	92,2	18,1	110,3	104,5	20,5	125,0	11,6	23,1	34,9	56,9	11,5	11,8	22,0	45,3	13,0	13,4	24,9	51,4
50	45,9	141,6	160,1	25,5	95,7	18,5	114,2	108,5	21,0	129,5	11,6	23,1	34,8	56,9	11,5	11,7	22,1	45,3	13,0	13,3	25,1	51,4
51	45,9	145,2	164,8	26,0	99,3	19,6	118,9	113,9	22,5	136,4	11,6	22,9	34,5	56,3	11,3	11,6	21,8	44,7	13,0	13,3	25,0	51,3

(continuação)

52	45,9	150,0	170,1	26,0	104,1	20,1	124,2	119,4	23,1	142,5	11,5	23,0	34,8	57,1	11,5	11,8	22,3	45,6	13,2	13,5	25,6	52,3
52,2	45,9	151,0	171,3	26,0	105,1	20,3	125,4	120,6	23,3	143,9	11,5	23,0	34,8	57,1	11,5	11,8	22,3	45,6	13,2	13,5	25,6	52,3
53	45,8	114,0	118,7	25,0	68,2	4,7	72,9	76,4	5,3	81,7	11,5	22,6	34,0	56,2	11,1	11,4	22,2	44,7	12,4	12,8	24,9	50,1
54	45,8	126,2	131,9	25,0	80,4	5,7	86,1	90,1	6,4	96,4	11,6	23,8	36,2	60,4	12,2	12,4	24,2	48,8	13,7	13,9	27,1	54,7
55	45,8	132,0	140,0	25,0	86,2	8,0	94,2	96,5	9,0	105,5	11,5	23,5	35,8	59,8	12,0	12,3	24,0	48,3	13,4	13,8	26,9	54,1
56	45,8	139,3	149,7	24,5	93,5	10,4	103,9	103,5	11,5	115,0	11,5	23,5	35,7	59,7	12,0	12,2	24,0	48,2	13,3	13,5	26,6	53,3
57	45,8	145,9	158,5	24,5	100,1	12,6	112,7	110,8	13,9	124,7	11,5	23,9	36,7	61,8	12,4	12,8	25,1	50,3	13,7	14,2	27,8	55,7
58	45,8	151,4	166,0	24,0	105,6	14,6	120,2	115,5	16,0	131,4	11,5	23,6	36,0	60,6	12,1	12,4	24,6	49,1	13,2	13,6	26,9	53,7
59	45,8	158,3	174,3	24,0	112,5	16,0	128,5	123,0	17,5	140,5	11,5	23,8	36,4	61,3	12,3	12,6	24,9	49,8	13,4	13,8	27,2	54,4
60	45,7	164,1	182,0	23,5	118,4	17,9	136,3	127,9	19,3	147,2	11,5	23,9	36,6	61,9	12,4	12,7	25,3	50,4	13,4	13,7	27,3	54,4
61	45,9	171,6	191,2	23,5	125,7	19,6	145,3	135,8	21,2	157,0	11,5	23,9	36,7	62,5	12,4	12,8	25,8	51,0	13,4	13,8	27,9	55,1
62	45,8	176,8	197,2	23,0	131,0	20,4	151,4	139,8	21,8	161,6	11,5	24,0	36,9	63,0	12,5	12,9	26,1	51,5	13,3	13,8	27,9	55,0
63	45,8	182,4	204,1	23,0	136,6	21,7	158,3	145,8	23,2	168,9	11,5	23,9	36,7	62,7	12,4	12,8	26,0	51,2	13,2	13,7	27,7	54,6
64	45,7	186,9	209,5	23,0	141,2	22,6	163,8	150,7	24,1	174,8	11,5	24,1	37,1	63,6	12,6	13,0	26,5	52,1	13,4	13,9	28,3	55,6
64,7	45,7	191,8	214,8	23,0	146,1	23,0	169,1	155,9	24,5	180,5	11,5	24,1	37,1	63,9	12,6	13,0	26,8	52,4	13,4	13,9	28,6	55,9
65	45,8	137,1	147,0	24,0	91,3	9,9	101,2	99,8	10,8	110,6	11,5	24,3	37,5	65,0	12,8	13,2	27,5	53,5	14,0	14,4	30,1	58,5
66	45,8	152,1	165,5	24,0	106,3	13,4	119,7	116,2	14,7	130,9	11,5	24,0	36,8	63,7	12,5	12,8	26,9	52,2	13,7	14,0	29,4	57,1
67	45,8	161,5	177,1	24,5	115,7	15,6	131,3	128,0	17,3	145,3	11,5	23,8	36,4	63,0	12,3	12,6	26,6	51,5	13,6	13,9	29,4	57,0
68	45,9	170,5	188,0	24,5	124,6	17,5	142,1	137,9	19,4	157,2	11,5	23,7	36,2	62,6	12,2	12,5	26,4	51,1	13,5	13,8	29,2	56,5
69	45,9	181,2	200,6	25,5	135,3	19,4	154,7	153,4	22,0	175,4	11,5	23,5	35,9	62,1	12,0	12,4	26,2	50,6	13,6	14,1	29,7	57,4
70	45,9	187,8	209,4	25,5	141,9	21,6	163,5	160,9	24,5	185,4	11,6	23,5	35,7	61,7	11,9	12,2	26,0	50,1	13,5	13,8	29,5	56,8
71	45,9	195,1	218,0	25,5	149,2	22,9	172,1	169,1	26,0	195,1	11,6	23,5	35,7	61,7	11,9	12,2	26,0	50,1	13,5	13,8	29,5	56,8
72	45,9	202,2	226,3	25,5	156,3	24,1	180,4	177,2	27,3	204,5	11,6	23,3	35,4	61,2	11,7	12,1	25,8	49,6	13,3	13,7	29,2	56,2

Média (°C) = 24,4

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Descargas de fundo intermediárias por perda de carga.

Figura B 5.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.3 – ANEXO B.

Figura B 5.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $160 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela B 5.3 – ANEXO B.

Tabela B 5.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 5 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 160 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	19,78	19,62	16,03	25,15	80,58	44,77	124	164
1	20,52	20,66	15,30	25,16	81,64	45,82	125	168
2	19,75	20,06	15,23	24,48	79,52	44,54	122	163
3	19,57	21,00	15,24	24,71	80,52	45,71	124	167
4	20,03	20,72	15,58	24,90	81,23	45,62	125	167
5	19,28	21,55	16,53	24,79	82,15	46,34	126	170
6	21,34	20,62	15,53	25,29	82,28	45,41	126	166
7	20,89	19,50	15,97	25,12	81,65	44,79	125	164
8	20,69	20,09	16,09	25,17	81,99	45,21	126	165
9	19,90	22,06	15,86	24,24	82,99	47,23	128	173
10	19,80	21,80	16,39	24,42	82,23	46,04	126	168
11	20,03	20,85	16,32	24,59	81,62	45,27	125	166
12	20,98	20,71	15,74	24,18	82,02	45,30	126	166
13	20,93	20,41	15,93	24,85	81,45	44,59	125	163
14	20,24	20,14	15,97	23,79	81,20	44,99	125	165
15	20,66	20,61	16,19	24,16	81,25	44,40	125	162
16	20,06	20,45	15,81	23,66	80,48	44,61	124	163
17	19,90	20,36	15,76	24,54	79,68	44,02	122	161
18	20,49	20,88	15,68	23,73	81,59	45,42	125	166
19	20,34	20,51	15,45	24,35	80,03	44,24	123	162
20	20,83	20,57	15,90	24,40	81,65	44,92	125	164
21	20,55	19,94	15,84	24,65	80,73	44,34	124	162
22	19,91	19,59	14,64	24,33	78,79	44,24	121	162
23	19,79	19,85	14,55	25,20	78,52	44,18	121	162
24	20,27	21,24	14,59	25,35	81,30	46,44	125	170
25	20,36	20,25	15,47	24,89	81,43	45,60	125	167
26	19,61	20,88	14,76	25,01	80,14	45,77	123	167
27	19,98	20,11	15,33	25,20				
28	20,66	20,91	15,50	25,07	82,14	45,98	126	168
29	20,10	21,04	15,65	24,30	81,09	45,34	125	166
30	20,35	20,37	15,12	25,02	80,86	45,39	124	166
31	20,40	19,88	15,48	24,00	79,76	43,88	123	161
32	20,00	19,80	14,82	24,30	78,92	44,10	121	161
33	20,45	19,48	15,00	24,17	79,10	43,65	122	160
34	19,97	19,92	14,77	24,29	78,95	44,21	121	162
35	19,95	19,95	15,28	24,29	79,47	44,24	122	162
36	19,29	20,80	15,05	23,87	79,01	44,67	121	163
37	20,99	20,69	15,27	24,20	81,15	44,89	125	164
38	20,86	20,55	15,63	24,35	81,39	44,90	125	164
39	20,28	20,40	15,63	24,16	80,47	44,56	124	163
40	21,26	20,58	15,79	24,71	82,34	45,29	127	166
41	19,96	21,98	15,99	23,76	81,69	45,74	126	167
42	19,90	20,77	15,56	23,86	80,09	44,63	123	163
43	20,22	20,50	15,00	25,08	80,80	45,58	124	167

(continuação)

44	21,21	20,40	15,21	24,83	81,65	45,23	125	165
45	21,29	20,00	15,20	24,56	81,05	44,56	125	163
46	19,92	19,61	14,20	24,56	78,29	44,17	120	162
47	20,20	19,90	14,25	24,49	78,84	44,39	121	162
48	20,66	19,45	14,18	24,32	78,61	43,77	121	160
49	20,93	20,51	14,57	24,70	80,71	45,21	124	165
50	20,97	20,09	14,55	24,55	80,16	44,64	123	163
51	20,40	20,00	14,56	24,69	79,65	44,69	122	163
52	20,92	20,92	15,00	24,88	81,72	45,80	126	168
53	21,08	16,45	16,17	25,58	79,28	42,03	122	154
54	18,33	21,48	15,26	25,61	80,68	47,09	124	172
55	18,47	19,09	15,44	26,60	79,60	45,69	122	167
56	18,87	18,75	14,75	23,97	76,34	42,72	117	156
57	19,00	22,45	15,40	25,01	81,86	47,46	126	174
58	20,07	20,68	16,00	24,41	81,16	45,09	125	165
59	20,16	20,88	14,89	24,85	80,78	45,73	124	167
60	20,02	20,91	15,15	24,22	80,30	45,13	123	165
61	20,22	21,00	15,27	24,64	81,13	45,64	125	167
62	19,97	20,91	15,41	24,14	80,43	45,05	124	165
63	19,96	20,66	15,10	23,62	79,34	44,28	122	162
64	20,06	20,71	15,67	24,00	80,44	44,71	124	164
65	19,93	22,36	15,94	24,38	82,61	46,74	127	171
66	20,16	20,62	15,61	24,80	81,19	45,42	125	166
67	20,19	20,80	15,35	25,07	81,41	45,87	125	168
68	20,39	20,07	15,97	25,77	82,20	45,84	126	168
69	20,06	20,45	14,75	24,93	80,19	45,38	123	166
70	19,92	21,22	14,40	24,64	80,18	45,86	123	168
71	20,27	21,21	15,13	25,43	82,04	46,64	126	171
72	20,41	20,39	15,26	25,84	81,90	46,23	126	169
				Mínima	76,34	42,03	117	154
				Média	80,69	45,11	124	165
				Máxima	82,99	47,46	128	174
				DP	1,24	0,95	1,90	3,47

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela B 6.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 200 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0	19,5	127	203	12,0	5,0	33	97
1	19,0	123	204	< 1,0	< 1,0	14	76
3	19,0		204	< 1,0	< 1,0		88
5	19,0		216	< 1,0	< 1,0		96
7	19,0	128	218	< 1,0	< 1,0	28	110
9	19,0		209	< 1,0	< 1,0		87
11	19,0		224	< 1,0	< 1,0		119
13	18,5	133	199	2,0	< 1,0	18	87
15	18,5		212	< 1,0	< 1,0		107
17	18,0		193	< 1,0	< 1,0		100
19	18,0	111	202	< 1,0	< 1,0	29	109
21	18,0		199	< 1,0	< 1,0		92
23	18,0		204	< 1,0	< 1,0		99
26	18,5	130	212	6,0	< 1,0	25	109
27	19,0		242	14,0	< 1,0		97
29	19,0		220	21,0	< 1,0		115
31	19,0	113	198	31,0	< 1,0	20	88
33	18,5		190	42,0	< 1,0		88
35	18,0		200	77,0	< 1,0		95
37	17,5	103	189	3,0	< 1,0	23	99
39	17,0		194	< 1,0	< 1,0		90
41	17,0		190	13,0	< 1,0		96
43	17,0	107	193	29,0	< 1,0	16	90
45	17,0		186	11,0	< 1,0		91
47	18,0		203	24,0	< 1,0		105
50	18,5	128	201	31,0	< 1,0	21	95
51	19,0		210	39,0	< 1,0		106
53	20,0		201	43,0	< 1,0		95
55	20,5	110	201	41,0	< 1,0	20	96
57	20,0		189	10,0	< 1,0		106
59	19,5		191	19,0	< 1,0		106
61	19,0	98	183	31,0	< 1,0	19	98
63	18,0		189	40,0	< 1,0		94
65	18,0		183	52,0	< 1,0		104
67	18,0	90	185	2,0	< 1,0	16	93
69	18,5		187	11,0	< 1,0		94
71	19,0		193	23,0	< 1,0		118
72	20,0	97	174	26,0	< 1,0	25	88
Média	18,6	114	200	17,3	0,6	22	98
Mínimo	17,0	90	174	< 1,0	< 1,0	14	76
Máximo	20,5	133	242	77,0	5,0	33	119
DP	0,87	14,08	13,29	18,62	0,73	5,51	9,47

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 6.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 200 m³/m²d).

[illegible]

(continuação)

53		6,47	5,03														
55	6,49	6,50	5,04	8,80	8,80	0,072	0,202	0,019	0,018								
57		6,67	5,01														
59		6,44	5,03														
61	6,48	6,42	5,10	8,14	9,68	0,067	0,191	0,012	0,017								
63		6,43	5,02														
65		6,46	5,04														
67	6,31	6,48	5,06	8,36	8,36	0,070	0,194	0,013	0,013								
69		6,49	5,01														
71		6,46	5,02														
72	6,51	6,57	5,04	9,24	10,12	0,078	0,181	0,012	0,016	2,577	4,356	2,241	2,199	0,02	0,04	-	0,17
Média	6,39	6,41	5,01	8,36	9,13	0,079	0,195	0,014	0,017	2,974	4,460	2,483	2,578	0,024	0,028		0,192
Mínimo	6,22	6,14	4,86	6,82	7,26	0,064	0,181	0,007	0,011	2,577	3,989	2,241	2,199	0,020	0,020		0,170
Máximo	6,51	6,67	5,10	9,24	10,78	0,102	0,209	0,019	0,021	3,335	4,957	2,968	3,254	0,040	0,040		0,250
DP	0,09	0,12	0,06	0,80	1,08	0,011	0,008	0,003	0,003	0,288	0,351	0,290	0,426	0,009	0,011		0,033

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 6.3 – Perda de carga no FAAG (120 m³/m²d) e no FRD (200 m³/m²d) durante o ensaio 6, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm)			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,4	55,9	56,6	19,5	10,5	0,7	11,2	10,3	0,7	11,0	12,0	35,5	49,5	63,6	23,5	14,0	14,1	51,6	23,0	13,7	13,8	50,6
1	45,4	56,1	57,3	19,0	10,7	1,2	11,9	10,4	1,2	11,5	11,9	34,5	48,1	62,5	22,6	13,6	14,4	50,6	21,9	13,2	14,0	49,0
2	45,4	57,0	59,0	19,0	11,6	2,0	13,6	11,2	1,9	13,2	11,9	33,9	47,0	61,4	22,0	13,1	14,4	49,5	21,3	12,7	14,0	48,0
3	45,4	57,9	60,5	19,0	12,5	2,6	15,1	12,1	2,5	14,6	11,9	34,0	47,2	62,0	22,1	13,2	14,8	50,1	21,4	12,8	14,3	48,5
4	45,4	58,7	61,7	19,0	13,3	3,0	16,3	12,9	2,9	15,8	11,9	34,3	47,6	62,7	22,4	13,3	15,1	50,8	21,7	12,9	14,6	49,2
5	45,4	59,9	63,4	19,0	14,5	3,5	18,0	14,0	3,4	17,4	11,9	34,4	47,7	62,8	22,5	13,3	15,1	50,9	21,8	12,9	14,6	49,3
6	45,4	61,2	65,2	19,0	15,8	4,0	19,8	15,3	3,9	19,2	11,9	33,9	47,1	62,1	22,0	13,2	15,0	50,2	21,3	12,8	14,5	48,6
7	45,5	62,6	67,3	19,0	17,1	4,7	21,8	16,6	4,6	21,1	11,9	33,9	47,1	62,2	22,0	13,2	15,1	50,3	21,3	12,8	14,6	48,7
8	45,5	64,3	69,4	19,0	18,8	5,1	23,9	18,2	4,9	23,2	11,9	33,5	46,5	61,5	21,6	13,0	15,0	49,6	20,9	12,6	14,5	48,1
9	45,5	65,7	71,3	19,0	20,2	5,6	25,8	19,6	5,4	25,0	11,9	34,2	47,5	63,1	22,3	13,3	15,6	51,2	21,6	12,9	15,1	49,6
10	45,5	67,5	73,5	19,0	22,0	6,0	28,0	21,3	5,8	27,1	11,9	34,9	47,2	62,3	23,0	12,3	15,1	50,4	22,3	11,9	14,6	48,8
11	45,5	69,3	75,9	19,0	23,8	6,6	30,4	23,1	6,4	29,5	11,9	34,4	47,8	63,5	22,5	13,4	15,7	51,6	21,8	13,0	15,2	50,0
12	45,5	71,2	78,1	19,0	25,7	6,9	32,6	24,9	6,7	31,6	11,9	34,5	48,0	64,0	22,6	13,5	16,0	52,1	21,9	13,1	15,5	50,5
13	45,5	73,2	80,7	18,5	27,7	7,5	35,2	26,5	7,2	33,7	11,9	35,1	49,0	65,1	23,2	13,9	16,1	53,2	22,2	13,3	15,4	50,9
14	45,5	75,0	83,0	18,5	29,5	8,0	37,5	28,2	7,7	35,9	11,9	34,9	48,8	65,0	23,0	13,9	16,2	53,1	22,0	13,3	15,5	50,8
15	45,5	77,1	85,5	18,5	31,6	8,4	40,0	30,2	8,0	38,3	11,9	35,3	49,3	66,0	23,4	14,0	16,7	54,1	22,4	13,4	16,0	51,8
16	45,5	78,7	87,5	18,5	33,2	8,8	42,0	31,8	8,4	40,2	11,9	35,4	49,4	65,8	23,5	14,0	16,4	53,9	22,5	13,4	15,7	51,6
17	45,4	76,0	79,3	18,0	30,6	3,3	33,9	28,9	3,1	32,1	12,0	34,8	48,5	64,6	22,8	13,7	16,1	52,6	21,6	13,0	15,2	49,7
18	45,4	78,7	83,2	18,0	33,3	4,5	37,8	31,5	4,3	35,7	11,8	34,7	48,4	64,5	22,9	13,7	16,1	52,7	21,7	13,0	15,2	49,8
19	45,4	81,1	86,3	18,0	35,7	5,2	40,9	33,8	4,9	38,7	11,8	34,6	48,3	64,4	22,8	13,7	16,1	52,6	21,6	13,0	15,2	49,7
20	45,4	82,8	88,5	18,0	37,4	5,7	43,1	35,4	5,4	40,8	11,8	34,5	48,0	64,0	22,7	13,5	16,0	52,2	21,5	12,8	15,1	49,4
21	45,4	84,9	91,1	18,0	39,5	6,2	45,7	37,4	5,9	43,2	11,8	34,3	47,6	63,6	22,5	13,3	16,0	51,8	21,3	12,6	15,1	49,0
22	45,5	71,1	73,1	18,0	25,6	2,0	27,6	24,2	1,9	26,1	11,8	34,8	48,6	65,0	23,0	13,8	16,4	53,2	21,7	13,0	15,5	50,3
23	45,5	73,8	77,3	18,0	28,3	3,5	31,8	26,8	3,3	30,1	11,8	35,6	49,9	68,8	23,8	14,3	18,9	57,0	22,5	13,5	17,9	53,9

(continuação)

24	45,5	76,4	80,6	18,0	30,9	4,2	35,1	29,2	4,0	33,2	11,8	35,5	49,8	69,1	23,7	14,3	19,3	57,3	22,4	13,5	18,3	54,2
25	45,5	79,3	84,4	18,5	33,8	5,1	38,9	32,4	4,9	37,2	11,8	35,2	49,2	69,4	23,4	14,0	20,2	57,6	22,4	13,4	19,3	55,1
26	45,5	82,2	87,8	18,5	36,7	5,6	42,3	35,1	5,4	40,5	11,8	35,7	50,1	72,2	23,9	14,4	22,1	60,4	22,9	13,8	21,2	57,8
27	45,5	84,2	90,5	19,0	38,7	6,3	45,0	37,5	6,1	43,6	11,8	36,0	50,4	74,1	24,2	14,4	23,7	62,3	23,4	14,0	23,0	60,4
28	45,5	86,9	93,9	19,0	41,4	7,0	48,4	40,1	6,8	46,9	11,8	35,7	50,1	76,3	23,9	14,4	26,2	64,5	23,2	14,0	25,4	62,5
29	45,5	89,7	97,4	19,0	44,2	7,7	51,9	42,8	7,5	50,3	11,8	34,9	48,8	77,7	23,1	13,9	28,9	65,9	22,4	13,5	28,0	63,8
30	45,5	92,6	100,9	19,0	47,1	8,3	55,4	45,6	8,0	53,7	11,8	34,2	47,9	81,0	22,4	13,7	33,1	69,2	21,7	13,3	32,1	67,0
31	45,5	94,5	103,3	19,0	49,0	8,8	57,8	47,5	8,5	56,0	11,8	35,2	49,5	87,2	23,4	14,3	37,7	75,4	22,7	13,9	36,5	73,0
32	45,5	97,2	106,5	19,0	51,7	9,3	61,0	50,1	9,0	59,1	11,8	35,2	50,1	88,5	23,4	14,9	38,4	76,7	22,7	14,4	37,2	74,3
33	45,5	99,7	109,5	18,5	54,2	9,8	64,0	51,9	9,4	61,3	11,8	35,6	51,4	100,2	23,8	15,8	48,8	88,4	22,8	15,1	46,7	84,6
34	45,5	101,8	112,4	18,5	56,3	10,6	66,9	53,9	10,1	64,0	11,8	35,5	51,9	106,0	23,7	16,4	54,1	94,2	22,7	15,7	51,8	90,2
34,6	45,5	103,5	114,3	18,0	58,0	10,8	68,8	54,8	10,2	65,1	11,8	35,2	51,9	109,4	23,4	16,7	57,5	97,6	22,1	15,8	54,4	92,3
35	45,5	97,8	101,0	18,0	52,3	3,2	55,5	49,5	3,0	52,5	11,7	35,0	51,9	112,1	23,3	16,9	60,2	100,4	22,0	16,0	56,9	94,9
36	45,5	99,9	105,0	17,5	54,4	5,1	59,5	50,8	4,8	55,6	11,7	35,7	53,7	117,7	24,0	18,0	64,0	106,0	22,4	16,8	59,8	99,0
37	45,5	102,8	108,8	17,5	57,3	6,0	63,3	53,5	5,6	59,1	11,7	35,4	53,3	116,4	23,7	17,9	63,1	104,7	22,1	16,7	59,0	97,8
38	45,5	106,5	113,6	17,0	61,0	7,1	68,1	56,3	6,6	62,9	11,7	35,7	53,7	117,7	24,0	18,0	64,0	106,0	22,2	16,6	59,1	97,8
39	45,5	109,2	116,9	17,0	63,7	7,7	71,4	58,8	7,1	65,9	11,7	35,6	53,6	118,3	23,9	18,0	64,7	106,6	22,1	16,6	59,7	98,4
40	45,5	112,3	120,8	17,0	66,8	8,5	75,3	61,7	7,8	69,5	11,7	35,2	53,0	118,4	23,5	17,8	65,4	106,7	21,7	16,4	60,4	98,5
41	45,5	115,5	124,6	17,0	70,0	9,1	79,1	64,6	8,4	73,0	11,7	36,5	55,4	125,2	24,8	18,9	69,8	113,5	22,9	17,4	64,4	104,8
42	45,5	118,8	129,2	17,0	73,3	10,4	83,7	67,7	9,6	77,3	11,7	36,8	56,2	129,5	25,1	19,4	73,3	117,8	23,2	17,9	67,7	108,7
43	45,4	91,0	94,4	17,0	45,6	3,4	49,0	42,1	3,1	45,2	11,7	37,1	57,3	147,6	25,4	20,2	90,3	135,9	23,4	18,6	83,3	125,4
44	45,4	94,8	98,0	17,0	49,4	3,2	52,6	45,6	3,0	48,6	11,8	39,3	60,8	154,0	27,5	21,5	93,2	142,2	25,4	19,8	86,0	131,3
45	45,4	97,1	102,2	17,0	51,7	5,1	56,8	47,7	4,7	52,4	11,7	38,3	59,1	151,5	26,6	20,8	92,4	139,8	24,6	19,2	85,3	129,0
46	45,5	100,1	106,2	18,0	54,6	6,1	60,7	51,6	5,8	57,4	11,7	37,6	62,9	151,5	25,9	25,3	88,6	139,8	24,5	23,9	83,8	132,2
47	45,5	102,7	109,5	18,0	57,2	6,8	64,0	54,1	6,4	60,5	11,7	38,7	60,0	161,0	27,0	21,3	101,0	149,3	25,5	20,1	95,5	141,2
48	45,6	105,2	113,0	18,5	59,6	7,8	67,4	57,0	7,5	64,5	11,8	37,8	58,5	161,8	26,0	20,7	103,3	150,0	24,9	19,8	98,9	143,6
49	45,6	107,7	115,9	18,5	62,1	8,2	70,3	59,4	7,8	67,3	11,8	37,7	58,4	168,0	25,9	20,7	109,6	156,2	24,8	19,8	104,9	149,5
50	45,6	111,0	120,0	19,0	65,4	9,0	74,4	63,4	8,7	72,1	11,8	36,9	57,3	174,5	25,1	20,4	117,2	162,7	24,3	19,8	113,5	157,6

(continuação)

51	45,6	113,2	123,0	19,0	67,6	9,8	77,4	65,5	9,5	75,0	11,8	37,3	58,2	186,3	25,5	20,9	128,1	174,5	24,7	20,2	124,1	169,1
52	45,6	115,6	126,0	20,0	70,0	10,4	80,4	69,5	10,3	79,8	11,9	38,0	59,8	204,7	26,1	21,8	144,9	192,8	25,9	21,6	143,8	191,4
53	45,6	118,0	128,9	20,0	72,4	10,9	83,3	71,9	10,8	82,7	11,9	36,1	56,7	211,5	24,2	20,6	154,8	199,6	24,0	20,4	153,6	198,1
54	45,6	120,9	132,7	20,5	75,3	11,8	87,1	75,6	11,9	87,5	11,9	37,4	59,4	235,0	25,5	22,0	175,6	223,1	25,6	22,1	176,4	224,1
54,5	45,6	121,0	133,7	20,5	75,4	12,7	88,1	75,7	12,8	88,5					Lavagem do FRD por perda de carga							
55	45,6	84,2	87,1	20,0	38,6	2,9	41,5	38,3	2,9	41,2	11,8	32,5	45,1	83,3	20,7	12,6	38,2	71,5	20,5	12,5	37,9	71,0
56	45,6	86,9	90,7	20,0	41,3	3,8	45,1	41,0	3,8	44,8	11,8	32,5	44,9	87,0	20,7	12,4	42,1	75,2	20,5	12,3	41,8	74,6
57	45,6	91,0	96,1	19,5	45,4	5,1	50,5	44,5	5,0	49,5	11,8	31,8	44,0	88,7	20,0	12,2	44,7	76,9	19,6	12,0	43,8	75,4
58	45,6	93,1	98,6	19,5	47,5	5,5	53,0	46,6	5,4	52,0	11,8	32,5	45,1	93,1	20,7	12,6	48,0	81,3	20,3	12,4	47,1	79,7
59	45,6	96,5	102,6	19,0	50,9	6,1	57,0	49,3	5,9	55,2	11,8	32,1	44,5	96,1	20,3	12,4	51,6	84,3	19,7	12,0	50,0	81,7
60	45,5	99,7	106,5	19,0	54,2	6,8	61,0	52,5	6,6	59,1	11,8	31,7	43,9	99,2	19,9	12,2	55,3	87,4	19,3	11,8	53,6	84,7
61	45,5	103,0	110,4	18,0	57,5	7,4	64,9	54,4	7,0	61,4	11,8	32,2	44,9	106,5	20,4	12,7	61,6	94,7	19,3	12,0	58,3	89,6
62	45,5	106,3	114,7	18,0	60,8	8,4	69,2	57,5	7,9	65,4	11,8	33,5	47,7	118,1	21,7	14,2	70,4	106,3	20,5	13,4	66,6	100,5
63	45,5	109,2	118,4	18,0	63,7	9,2	72,9	60,2	8,7	68,9	11,8	33,1	47,6	122,4	21,3	14,5	74,8	110,6	20,1	13,7	70,7	104,6
64	45,5	111,6	121,2	18,0	66,1	9,6	75,7	62,5	9,1	71,6	11,8	33,1	48,1	127,3	21,3	15,0	79,2	115,5	20,1	14,2	74,9	109,2
65	45,5	115,0	125,4	18,0	69,5	10,4	79,9	65,7	9,8	75,6	11,8	34,1	50,3	137,6	22,3	16,2	87,3	125,8	21,1	15,3	82,6	119,0
66	45,5	100,6	104,3	18,0	55,1	3,7	58,8	52,1	3,5	55,6	11,7	33,2	49,8	150,1	21,5	16,6	100,3	138,4	20,3	15,7	94,8	130,9
67	45,5	104,0	108,7	18,5	58,5	4,7	63,2	56,0	4,5	60,5	11,7	33,8	50,8	152,2	22,1	17,0	101,4	140,5	21,2	16,3	97,1	134,5
68	45,4	109,4	114,9	18,5	64,0	5,5	69,5	61,3	5,3	66,5	11,7	34,5	52,0	156,3	22,8	17,5	104,3	144,6	21,8	16,8	99,8	138,4
69	45,4	112,8	119,2	19,0	67,4	6,4	73,8	65,3	6,2	71,5	11,7	33,7	50,7	153,6	22,0	17,0	102,9	141,9	21,3	16,5	99,7	137,5
70	45,6	116,1	123,2	19,0	70,5	7,1	77,6	68,3	6,9	75,2	11,7	33,8	50,9	156,8	22,1	17,1	105,9	145,1	21,4	16,6	102,6	140,6
71	45,7	119,1	127,1	20,0	73,4	8,0	81,4	72,9	7,9	80,8	11,7	33,4	50,3	158,2	21,7	16,9	107,9	146,5	21,5	16,8	107,1	145,4
72	45,7	120,1	130,8	20,0	74,4	10,7	85,1	73,8	10,6	84,5	11,7	32,8	49,5	159,1	21,1	16,7	109,6	147,4	20,9	16,6	108,8	146,3

Média (°C) = 18,6

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Descargas de fundo intermediárias por perda de carga; Descargas de fundo intermediárias quando a cor aparente do efluente do FAAG atingiu valor ≥ 50 uH; Lavagem do FRD por perda de carga; Lavagem do FRD por transpasse

Figura B 6.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d e FRD = 200 m³/m²d). Fonte: Tabela B 6.3 – ANEXO B.

Figura B 6.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d e FRD = 200 m³/m²d). Fonte: Tabela B 6.3 – ANEXO B.

Tabela B 6.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 6 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 200 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	6,35	32,00	18,79	22,35	79,49	54,35	122	199
1	6,95	32,24	18,02	23,50	80,71	55,74	124	204
2	8,07	31,90	17,36	23,89	81,22	55,79	125	204
3	8,67	30,71	17,68	23,53	80,59	54,24	124	198
4	8,02	31,40	17,51	23,50	80,43	54,90	124	201
5	7,84	32,09	17,71	23,65	81,29	55,74	125	204
6	8,12	32,16	17,48	23,06	80,82	55,22	124	202
7	8,20	31,76	17,60	23,70	81,26	55,46	125	203
8	9,06	30,21	17,48	23,03	79,78	53,24	123	195
9	8,60	32,73	17,21	23,82	82,36	56,55	127	207
10	9,47	32,08	16,38	23,46	81,39	55,54	125	203
11	8,46	32,73	17,65	23,39	82,23	56,12	126	205
12	7,91	32,25	17,60	24,22	81,98	56,47	126	207
13	8,25	32,69	16,73	23,29	80,96	55,98	124	205
14	8,00	31,55	16,54	22,97	79,06	54,52	122	199
15	7,56	31,00	16,46	22,68	77,70	53,68	119	196
16	7,52	33,60	17,07	23,86	82,05	57,46	126	210
17	10,14	30,98	16,14	23,67	80,93	54,65	124	200
18	10,00	32,41	16,09	23,38	81,88	55,79	126	204
19	9,74	31,60	16,00	23,13	80,47	54,73	124	200
20	10,14	30,87	16,46	23,28	80,75	54,15	124	198
21	9,46	30,28	16,41	23,23	79,38	53,51	122	196
22	8,77	32,73	15,70	23,58	80,78	56,31	124	206
23	8,49	35,08	14,06	23,60	81,23	58,68	125	215
24	9,35	33,79	13,80	23,68	80,62	57,47	124	210
25	10,03	34,12	13,65	23,40	81,20	57,52	125	210
26	9,14	34,29	13,01	24,00	80,44	58,29	124	213
27	8,36	35,58	13,05	23,17	80,16	58,75	123	215
28	8,58	35,68	13,17	23,28	80,71	58,96	124	216
29	10,63	33,93	12,39	23,15	80,10	57,08	123	209
30	13,60	31,94	12,17	23,26	80,97	55,20	124	202
31	11,32	34,45	11,25	23,69	80,71	58,14	124	213
32	10,87	35,64	11,22	23,26	80,99	58,90	124	215
33	12,90	32,07	11,68	23,13	79,78	55,20	123	202
34	11,55	33,36	11,15	23,15	79,21	56,51	122	207
35	10,26	31,23	13,26	22,83	77,58	54,06	119	198
36	10,94	33,41	13,17	23,38	80,90	56,79	124	208
37	10,75	32,81	13,85	23,17	80,58	55,98	124	205
38	10,76	32,43	13,92	23,42	80,53	55,85	124	204
39	10,50	32,16	14,03	22,59	79,28	54,75	122	200
40	12,12	30,51	14,68	23,53	80,84	54,04	124	198
41	9,60	32,34	14,05	19,09	75,08	51,43	115	188
42	9,45	34,56	13,37	19,59	76,97	54,15	118	198
43	9,14	30,07	14,02	23,52	76,75	53,59	118	196

(continuação)

44	8,79	35,00	13,82	22,93	80,54	57,93	124	212
45	10,88	32,91	13,95	23,15	80,89	56,06	124	205
46	11,92	32,18	13,39	22,31	79,80	54,49	123	199
47	9,75	34,51	14,32	23,04	81,62	57,55	125	211
48	11,28	33,47	13,51	23,31	81,57	56,78	125	208
49	11,89	33,60	12,69	23,96	82,14	57,56	126	211
50	12,93	30,99	12,02	24,57	80,51	55,56	124	203
51	12,17	32,12	11,83	23,85	79,97	55,97	123	205
52	10,59	34,29	12,03	23,69	80,60	57,98	124	212
53	13,95	31,68	11,42	23,72	80,77	55,40	124	203
54	11,80	32,42	11,52	23,08	78,82	55,50	121	203
55	12,15	34,56	11,83	23,46	82,00	58,02	126	212
56	11,07	34,00	11,09	24,28	80,44	58,28	124	213
57	13,55	32,80	11,31	24,22	81,88	57,02	126	209
58	12,55	35,33	11,47	23,46	82,81	58,79	127	215
59	13,93	33,55	11,08	23,18	81,74	56,73	126	208
60	14,90	30,41	10,85	24,06	80,22	54,47	123	199
61	14,27	30,87	10,97	23,09	79,20	53,96	122	197
62	11,04	34,56	10,47	23,44	79,51	58,00	122	212
63	12,46	33,52	10,47	23,55	80,00	57,07	123	209
64	12,36	33,57	10,32	23,49	79,74	57,06	123	209
65	11,40	34,98	10,27	23,40	80,05	58,38	123	214
66	12,03	30,71	11,25	22,50	76,49	53,21	118	195
67	13,62	31,98	11,22	23,90	80,72	55,88	124	204
68	14,09	33,27	11,10	23,62	82,08	56,89	126	208
69	14,94	32,00	11,34	23,45	81,73	55,45	126	203
70	14,61	32,09	10,99	23,62	81,31	55,71	125	204
71	14,79	32,02	11,52	23,34	81,67	55,36	126	203
72	14,36	30,52	10,94	23,69	79,51	54,21	122	198
					Mínima	75,08	51,43	115
					Média	80,42	55,98	124
					Máxima	82,81	58,96	127
					DP	1,42	1,64	2,18
								6,01

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 7.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 240 m³/m²d).

TF	Temperatura	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	(°C)						
(h)	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0	22,0	123	206	32,0	7,0	20	106
1	22,0	114	212	6,0	1,0	18	105
3	22,5		228	8,0	< 1,0		118
5	22,0		205	3,0	< 1,0		97
7	21,5	130	196	< 1,0	< 1,0	22	88
9	21,0		214	2,0	< 1,0		101
11	21,0		231	< 1,0	< 1,0		115
13	21,0	140	218	< 1,0	< 1,0	16	86
15	21,0		226	< 1,0	< 1,0		86
17	20,5		229	< 1,0	< 1,0		120
19	21,0	123	205	4,0	2,0	20	95
21	22,0		207	< 1,0	< 1,0		105
23	22,5		219	10,0	< 1,0		99
26	22,5	127	202	12,0	< 1,0	18	99
27	23,0		211	39,0	< 1,0		99
29	22,5		221	30,0	< 1,0		97
31	22,0	133	214	38,0	< 1,0	19	103
33	22,0		217	45,0	< 1,0		88
35	21,5		213	13,0	< 1,0		90
37	21,5	122	200	6,0	< 1,0	19	108
39	21,0		208	13,0	< 1,0		103
41	21,0		207	21,0	< 1,0		110
43	21,5	132	207	27,0	< 1,0	19	95
45	22,0		209	36,0	< 1,0		92
47	22,5		202	38,0	< 1,0		94
50	23,5	131	205	6,0	< 1,0	21	100
51	24,0		221	9,0	< 1,0		96
53	23,0		218	34,0	< 1,0		108
55	22,5	131	209	27,0	< 1,0	19	105
57	22,0		231	29,0	< 1,0		101
59	22,0		230	40,0	< 1,0		95
61	22,0	153	230	46,0	< 1,0	19	99
63	22,0		221	80,0	< 1,0		94
65	22,0		221	27,0	< 1,0		110
67	22,0	130	205	36,0	< 1,0	15	90
69	22,0		211	41,0	< 1,0		91
71	21,0		214	46,0	< 1,0		87
72	21,0	123	222	62,0	< 1,0	23	113
Média	21,9	129	214	22,9	0,7	19	100
Mínimo	20,5	114	196	< 1,0	< 1,0	15	86
Máximo	24,0	153	231	80,0	7,0	23	120
DP	0,76	9,26	9,63	19,68	1,08	2,11	8,93

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 7.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 240 m³/m²d).

[illegible]

(continuação)

53		6,59	4,99														
55	6,63	6,61	5,02	8,14	9,90	0,066	0,187	0,014	0,017								
57		6,71	4,91														
59		6,84	4,96														
61	6,58	6,55	5,07	8,36	9,90	0,065	0,180	0,011	0,017								
63		6,50	5,08														
65		6,60	4,97														
67	6,61	6,53	4,97	9,02	10,12	0,060	0,172	0,016	0,019								
69		6,43	4,80														
71		6,53	4,92														
72	6,46	6,53	4,82	9,20	9,20	0,065	0,205	0,012	0,019	2,422	3,161	2,022	1,815	0,02	0,02	0,82	0,51
Média	6,53	6,54	5,00	8,78	9,44	0,064	0,188	0,013	0,018	2,726	3,514	2,120	2,242	0,040	0,040	0,820	
Mínimo	6,22	6,38	4,80	8,14	8,36	0,059	0,172	0,008	0,014	2,422	2,808	1,852	1,815	0,020	0,020	0,810	
Máximo	6,67	6,84	5,13	10,12	10,34	0,073	0,205	0,021	0,040	3,239	4,160	2,409	2,779	0,070	0,060	0,830	
DP	0,12	0,11	0,07	0,63	0,64	0,004	0,011	0,004	0,006	0,344	0,561	0,222	0,415	0,024	0,023	0,010	

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela B 7.3 – Perda de carga no FAAG (120 m³/m²d) e no FRD (240 m³/m²d) durante o ensaio 7, sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,6	55,6	56,6	22,0	10,0	1,0	11,0	10,4	1,0	11,5	12,0	32,0	48,4	68,3	20,0	16,4	19,9	56,3	20,8	17,1	20,7	58,6
1	45,7	56,4	57,5	22,0	10,7	1,1	11,8	11,1	1,1	12,3	12,1	33,3	50,8	73,8	21,2	17,5	23,0	61,7	22,1	18,2	24,0	64,3
2	45,7	57,0	58,6	22,0	11,3	1,6	12,9	11,8	1,7	13,4	12,1	32,3	49,1	72,3	20,2	16,8	23,2	60,2	21,0	17,5	24,2	62,7
3	45,8	58,0	60,2	22,5	12,2	2,2	14,4	12,9	2,3	15,2	12,1	31,0	46,9	70,0	18,9	15,9	23,1	57,9	19,9	16,8	24,4	61,0
4	45,8	58,9	61,6	22,5	13,1	2,7	15,8	13,8	2,8	16,7	12,1	32,1	48,7	73,6	20,0	16,6	24,9	61,5	21,1	17,5	26,3	64,8
5	45,8	59,8	62,8	22,0	14,0	3,0	17,0	14,6	3,1	17,7	12,1	32,1	48,9	74,8	20,0	16,8	25,9	62,7	20,8	17,5	27,0	65,3
6	45,7	61,0	64,6	22,0	15,3	3,6	18,9	15,9	3,8	19,7	12,0	32,0	48,8	75,4	20,0	16,8	26,6	63,4	20,8	17,5	27,7	66,0
7	45,7	62,4	66,5	21,5	16,7	4,1	20,8	17,2	4,2	21,4	12,0	32,3	49,4	77,2	20,3	17,1	27,8	65,2	20,9	17,6	28,6	67,1
8	45,7	63,9	68,5	21,5	18,2	4,6	22,8	18,7	4,7	23,5	12,0	32,3	49,4	78,0	20,3	17,1	28,6	66,0	20,9	17,6	29,4	67,9
9	45,7	65,4	70,5	21,0	19,7	5,1	24,8	20,0	5,2	25,2	12,0	32,6	49,9	79,3	20,6	17,3	29,4	67,3	20,9	17,6	29,9	68,4
10	45,7	66,9	72,4	21,0	21,2	5,5	26,7	21,6	5,6	27,1	12,0	32,8	50,3	80,1	20,8	17,5	29,8	68,1	21,2	17,8	30,3	69,2
11	45,7	68,1	73,9	21,0	22,4	5,8	28,2	22,8	5,9	28,7	12,0	32,8	50,3	80,0	20,8	17,5	29,7	68,0	21,2	17,8	30,2	69,1
12	45,7	69,8	76,0	21,0	24,1	6,2	30,3	24,5	6,3	30,8	12,0	32,9	50,6	80,6	20,9	17,7	30,0	68,6	21,3	18,0	30,5	69,8
13	45,6	71,2	77,7	21,0	25,6	6,5	32,1	26,0	6,6	32,6	12,0	33,0	50,6	80,6	21,0	17,6	30,0	68,6	21,4	17,9	30,5	69,8
14	45,7	72,7	79,5	21,0	27,0	6,8	33,8	27,5	6,9	34,4	12,0	33,0	50,6	80,6	21,0	17,6	30,0	68,6	21,4	17,9	30,5	69,8
15	45,6	74,6	81,8	21,0	29,0	7,2	36,2	29,5	7,3	36,8	12,0	33,3	51,4	81,8	21,3	18,1	30,4	69,8	21,7	18,4	30,9	71,0
16	45,6	76,0	83,7	21,0	30,4	7,7	38,1	30,9	7,8	38,7	12,0	33,3	51,4	81,8	21,3	18,1	30,4	69,8	21,7	18,4	30,9	71,0
17	45,7	78,7	85,7	20,5	33,0	7,0	40,0	33,2	7,0	40,2	11,9	33,3	51,3	81,7	21,4	18,0	30,4	69,8	21,5	18,1	30,5	70,1
18	45,7	79,3	87,7	20,5	33,6	8,4	42,0	33,8	8,4	42,2	11,9	33,3	51,3	81,7	21,4	18,0	30,4	69,8	21,5	18,1	30,5	70,1
19	45,8	65,8	67,6	21,0	20,0	1,8	21,8	20,3	1,8	22,2	11,9	33,7	51,9	83,1	21,8	18,2	31,2	71,2	22,2	18,5	31,7	72,4
20	45,8	67,0	69,4	21,0	21,2	2,4	23,6	21,6	2,4	24,0	11,9	32,5	49,9	79,6	20,6	17,4	29,7	67,7	20,9	17,7	30,2	68,8
21	45,8	68,4	71,2	22,0	22,6	2,8	25,4	23,5	2,9	26,5	11,9	32,3	49,4	79,1	20,4	17,1	29,7	67,2	21,3	17,8	30,9	70,0
22	45,8	69,8	73,2	22,0	24,0	3,4	27,4	25,0	3,5	28,5	11,9	32,0	48,9	78,8	20,1	16,9	29,9	66,9	20,9	17,6	31,1	69,7
23	45,8	71,6	75,6	22,5	25,8	4,0	29,8	27,2	4,2	31,4	11,9	31,9	48,7	79,2	20,0	16,8	30,5	67,3	21,1	17,7	32,2	71,0

(continuação)

24	45,7	73,2	77,7	22,5	27,5	4,5	32,0	29,0	4,7	33,7	11,9	32,0	48,8	80,3	20,1	16,8	31,5	68,4	21,2	17,7	33,2	72,1
25	45,7	74,8	80,0	22,5	29,1	5,2	34,3	30,7	5,5	36,2	11,9	31,9	48,5	81,5	20,0	16,6	33,0	69,6	21,1	17,5	34,8	73,4
26	45,7	76,7	82,5	22,5	31,0	5,8	36,8	32,7	6,1	38,8	11,9	31,9	48,6	83,6	20,0	16,7	35,0	71,7	21,1	17,6	36,9	75,6
27	45,7	78,2	84,4	23,0	32,5	6,2	38,7	34,7	6,6	41,3	11,9	32,0	49,0	87,5	20,1	17,0	38,5	75,6	21,5	18,1	41,1	80,7
28	45,7	80,0	87,0	23,0	34,3	7,0	41,3	36,6	7,5	44,1	11,9	31,5	48,7	89,0	19,6	17,2	40,3	77,1	20,9	18,4	43,0	82,3
29	45,7	82,2	89,6	22,5	36,5	7,4	43,9	38,5	7,8	46,3	11,9	31,7	48,9	94,2	19,8	17,2	45,3	82,3	20,9	18,1	47,8	86,8
30	45,7	84,2	92,3	22,5	38,5	8,1	46,6	40,6	8,5	49,1	11,9	32,2	50,4	100,6	20,3	18,2	50,2	88,7	21,4	19,2	52,9	93,5
31	45,7	86,0	94,6	22,0	40,3	8,6	48,9	42,0	9,0	50,9	11,9	32,4	51,5	108,0	20,5	19,1	56,5	96,1	21,4	19,9	58,9	100,1
32	45,7	88,0	96,9	22,0	42,3	8,9	51,2	44,1	9,3	53,3	11,9	32,8	53,0	116,1	20,9	20,2	63,1	104,2	21,8	21,0	65,7	108,5
33	45,7	89,9	99,4	22,0	44,2	9,5	53,7	46,0	9,9	55,9	11,9	33,3	54,7	125,3	21,4	21,4	70,6	113,4	22,3	22,3	73,5	118,1
34	45,7	91,8	101,7	22,0	46,1	9,9	56,0	48,0	10,3	58,3	11,9	34,7	56,2	137,0	22,8	21,5	80,8	125,1	23,8	22,4	84,2	130,3
35	45,6	71,5	74,1	21,5	25,9	2,6	28,5	26,7	2,7	29,3	11,9	33,9	56,7	149,8	22,0	22,8	93,1	137,9	22,6	23,5	95,8	141,9
36	45,6	73,3	76,7	21,5	27,7	3,4	31,1	28,5	3,5	32,0	11,9	34,6	58,0	152,1	22,7	23,4	94,1	140,2	23,4	24,1	96,8	144,3
37	45,6	76,3	79,2	21,5	30,7	2,9	33,6	31,6	3,0	34,6	11,9	34,6	58,0	154,0	22,7	23,4	96,0	142,1	23,4	24,1	98,8	146,3
38	45,6	77,3	82,0	21,5	31,7	4,7	36,4	32,6	4,8	37,5	11,8	33,0	54,9	148,5	21,2	21,9	93,6	136,7	21,8	22,5	96,3	140,7
39	45,7	79,4	84,7	21,0	33,7	5,3	39,0	34,3	5,4	39,7	11,8	33,2	55,3	152,4	21,4	22,1	97,1	140,6	21,8	22,5	98,7	143,0
40	45,6	81,2	87,1	21,0	35,6	5,9	41,5	36,2	6,0	42,2	11,8	33,4	55,9	157,8	21,6	22,5	101,9	146,0	22,0	22,9	103,6	148,5
41	45,6	83,1	89,4	21,0	37,5	6,3	43,8	38,1	6,4	44,5	11,8	33,8	56,8	164,6	22,0	23,0	107,8	152,8	22,4	23,4	109,6	155,4
42	45,7	84,8	91,8	21,0	39,1	7,0	46,1	39,8	7,1	46,9	11,8	33,7	56,9	168,8	21,9	23,2	111,9	157,0	22,3	23,6	113,8	159,6
43	45,7	87,1	94,8	21,5	41,4	7,7	49,1	42,6	7,9	50,5	11,8	33,6	56,7	176,5	21,8	23,1	119,8	164,7	22,4	23,8	123,3	169,5
44	45,8	88,7	96,8	21,5	42,9	8,1	51,0	44,2	8,3	52,5	11,9	33,6	56,9	183,2	21,7	23,3	126,3	171,3	22,3	24,0	130,0	176,3
45	45,8	89,8	98,4	22,0	44,0	8,6	52,6	45,8	9,0	54,8	11,9	33,5	57,0	193,4	21,6	23,5	136,4	181,5	22,5	24,5	142,1	189,1
46	45,8	91,5	100,6	22,0	45,7	9,1	54,8	47,6	9,5	57,1	11,9	33,2	56,8	205,5	21,3	23,6	148,7	193,6	22,2	24,6	154,9	201,7
47	45,8	93,2	102,8	22,5	47,4	9,6	57,0	50,0	10,1	60,1	11,9	33,1	56,9	223,6	21,2	23,8	166,7	211,7	22,4	25,1	175,8	223,2
48	45,8	94,8	104,9	22,5	49,0	10,1	59,1	51,7	10,6	62,3	12,0	31,9	48,5	67,9	19,9	16,6	19,4	55,9	21,0	17,5	20,5	58,9
49	45,7	76,3	79,6	23,5	30,6	3,3	33,9	33,1	3,6	36,6	12,0	32,3	49,5	83,3	20,3	17,2	33,8	71,3	21,9	18,6	36,5	77,0
50	45,8	78,8	83,0	23,5	33,0	4,2	37,2	35,6	4,5	40,2	12,0	32,4	49,6	84,5	20,4	17,2	34,9	72,5	22,0	18,6	37,7	78,3
51	45,7	80,8	85,7	24,0	35,1	4,9	40,0	38,4	5,4	43,7	12,0	32,2	49,3	85,0	20,2	17,1	35,7	73,0	22,1	18,7	39,0	79,8

(continuação)

52	45,7	83,4	89,1	24,0	37,7	5,7	43,4	41,2	6,2	47,4	12,0	32,2	49,4	86,6	20,2	17,2	37,2	74,6	22,1	18,8	40,7	81,6
53	45,7	85,9	92,5	23,0	40,2	6,6	46,8	42,9	7,0	49,9	12,0	32,2	49,6	89,1	20,2	17,4	39,5	77,1	21,6	18,6	42,2	82,3
54	45,7	88,9	96,5	23,0	43,2	7,6	50,8	46,1	8,1	54,2	11,9	32,0	49,3	91,9	20,1	17,3	42,6	80,0	21,5	18,5	45,5	85,4
55	45,7	91,0	98,9	22,5	45,3	7,9	53,2	47,8	8,3	56,1	11,9	32,2	50,0	96,2	20,3	17,8	46,2	84,3	21,4	18,8	48,7	88,9
56	45,7	93,1	101,6	22,5	47,4	8,5	55,9	50,0	9,0	58,9	11,9	32,2	50,3	99,6	20,3	18,1	49,3	87,7	21,4	19,1	52,0	92,5
57	45,7	96,0	105,4	22,0	50,3	9,4	59,7	52,4	9,8	62,2	11,9	31,9	50,4	105,3	20,0	18,5	54,9	93,4	20,8	19,3	57,2	97,3
58	45,7	98,3	108,3	22,0	52,6	10,0	62,6	54,8	10,4	65,2	11,9	31,9	51,1	111,6	20,0	19,2	60,5	99,7	20,8	20,0	63,0	103,9
59	45,7	100,3	110,7	22,0	54,6	10,4	65,0	56,9	10,8	67,7	11,9	31,7	51,5	117,1	19,8	19,8	65,6	105,2	20,6	20,6	68,3	109,6
60	45,7	102,9	113,8	22,0	57,2	10,9	68,1	59,6	11,4	70,9	11,8	32,0	53,2	125,8	20,2	21,2	72,6	114,0	21,0	22,1	75,6	118,8
61	45,7	105,0	116,6	22,0	59,3	11,6	70,9	61,8	12,1	73,9	11,8	32,3	54,6	134,8	20,5	22,3	80,2	123,0	21,4	23,2	83,5	128,1
61,5	45,7	106,1	117,5	22,0	60,4	11,4	71,8	62,9	11,9	74,8	11,8	32,1	54,6	136,8	20,3	22,5	82,2	125,0	21,1	23,4	85,6	130,2
62	45,7	73,0	75,3	22,0	27,3	2,3	29,6	28,4	2,4	30,8	11,8	31,0	53,7	145,0	19,2	22,7	91,3	133,2	20,0	23,6	95,1	138,8
62,2				22,0							11,8	33,0	54,0	180,0	21,2	21,0	126,0	168,2	22,1	21,9	131,3	175,2
63	45,7	75,0	77,8	22,0	29,3	2,8	32,1	30,5	2,9	33,4	12,0	33,7	50,0	85,3	21,7	16,3	35,3	73,3	22,6	17,0	36,8	76,4
64	45,7	77,3	80,6	22,0	31,6	3,3	34,9	32,9	3,4	36,4	12,0	33,4	49,8	98,8	21,4	16,4	49,0	86,8	22,3	17,1	51,0	90,4
65	45,7	79,6	83,7	22,0	33,9	4,1	38,0	35,3	4,3	39,6	12,0	33,8	50,5	105,2	21,8	16,7	54,7	93,2	22,7	17,4	57,0	97,1
66	45,7	82,2	86,9	22,0	36,5	4,7	41,2	38,0	4,9	42,9	12,0	33,9	51,0	110,1	21,9	17,1	59,1	98,1	22,8	17,8	61,6	102,2
67	45,7	85,0	90,4	22,0	39,3	5,4	44,7	40,9	5,6	46,6	12,0	33,5	51,0	115,0	21,5	17,5	64,0	103,0	22,4	18,2	66,7	107,3
68	45,7	88,4	93,5	22,0	42,7	5,1	47,8	44,5	5,3	49,8	12,0	33,2	51,1	120,3	21,2	17,9	69,2	108,3	22,1	18,6	72,1	112,8
69	45,7	90,3	97,2	21,0	44,6	6,9	51,5	45,4	7,0	52,4	11,9	31,8	49,4	123,0	19,9	17,6	73,6	111,1	20,2	17,9	74,8	113,0
70	45,7	92,6	100,2	21,0	46,9	7,6	54,5	47,7	7,7	55,4	11,8	32,0	50,5	134,1	20,2	18,5	83,6	122,3	20,5	18,8	85,0	124,4
71	45,7	95,2	103,3	21,0	49,5	8,1	57,6	50,3	8,2	58,6	11,8	32,6	52,1	147,2	20,8	19,5	95,1	135,4	21,2	19,8	96,7	137,7
72	45,7	97,4	106,1	21,0	51,7	8,7	60,4	52,6	8,8	61,4	11,8	32,8	52,7	164,4	21,0	19,9	111,7	152,6	21,4	20,2	113,6	155,2

Média (°C) = 21,9

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Descargas de fundo intermediárias por perda de carga; Descargas de fundo intermediárias quando a cor aparente do efluente do FAAG atingiu valor ≥ 50 uH; Lavagem do FRD por perda de carga; Lavagem do FRD por transpasse

Figura B 7.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 7 sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d e FRD = 240 m³/m²d). Fonte: Tabela B 7.3 – ANEXO B.

Figura B 7.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 7 sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d e FRD = 240 m³/m²d). Fonte: Tabela B 7.3 – ANEXO B.

Tabela B 7.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 7 – sem pré-oxidação e com DFIs no FAAG (FAAG = 120 m³/m²d; FRD = 240 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	0,00	42,88	14,80	24,00	81,68	66,88	126	245
1	0,00	46,61	11,48	24,88	82,97	71,49	128	262
2	0,00	44,05	14,22	24,77	83,04	68,82	128	252
3	0,00	40,32	18,00	22,90	81,22	63,22	125	231
4	0,00	42,82	14,55	24,62	81,99	67,44	126	247
5	0,00	43,20	15,39	24,83	83,42	68,03	128	249
6	0,00	41,24	16,60	24,23	82,07	65,47	126	239
7	0,00	41,75	16,04	24,07	81,86	65,82	126	241
8	0,00	40,80	15,98	24,25	81,03	65,05	125	238
9	0,00	42,93	16,93	23,60	83,46	66,53	128	243
10	0,00	41,21	17,10	23,58	81,89	64,79	126	237
11	0,00	42,47	16,08	24,34	82,89	66,81	127	244
12	0,00	42,35	16,01	23,46	81,82	65,81	126	241
13	0,00	42,55	16,44	24,17	83,16	66,72	128	244
14	0,00	41,89	16,36	24,49	82,74	66,38	127	243
15	0,00	43,20	16,06	23,42	82,68	66,62	127	244
16	0,00	42,76	16,22	23,89	82,87	66,65	127	244
17	0,00	41,87	16,06	23,31	81,24	65,18	125	238
18	0,00	41,07	16,03	24,04	81,14	65,11	125	238
19	0,00	43,03	15,07	24,49	82,59	67,52	127	247
20	0,00	42,22	16,60	24,56	83,38	66,78	128	244
21	0,00	41,43	16,99	24,41	82,83	65,84	127	241
22	0,00	41,99	16,04	24,81	82,84	66,80	127	244
23	0,00	39,87	16,43	23,40	79,70	63,27	123	231
24	0,00	42,00	15,88	24,32	82,20	66,32	126	243
25	0,00	42,76	15,89	24,09	82,74	66,85	127	245
26	0,00	42,82	15,11	24,59	82,52	67,41	127	247
27	0,00	42,99	15,13	24,51	82,63	67,50	127	247
28	0,00	41,16	16,24	24,83	82,23	65,99	126	241
29	0,00	41,73	16,53	24,58	82,84	66,31	127	243
30	0,00	44,23	15,23	23,86	83,32	68,09	128	249
31	0,00	45,00	14,82	23,41	83,23	68,41	128	250
32	0,00	42,47	14,22	23,26	79,95	65,73	123	240
33	0,00	42,88	13,54	24,23	80,65	67,11	124	245
34	0,00	43,29	12,82	24,07	80,18	67,36	123	246
35	0,00	43,53	12,74	23,84	80,11	67,37	123	246
36	0,00	44,13	13,14	23,48	80,75	67,61	124	247
37	0,00	44,10	12,62	23,83	80,55	67,93	124	248
38	0,00	40,17	17,76	23,70	81,63	63,87	125	234
39	0,00	40,95	17,38	23,95	82,28	64,90	126	237
40	0,00	39,90	18,06	23,61	81,57	63,51	125	232
41	0,00	42,35	16,20	24,48	83,03	66,83	128	244
42	0,00	42,30	15,84	24,00	82,14	66,30	126	243
43	0,00	41,14	16,39	24,65	82,18	65,79	126	241

(continuação)

44	0,00	41,47	17,26	24,68	83,41	66,15	128	242	
45	0,00	40,93	16,23	24,72	81,88	65,65	126	240	
46	0,00	41,17	16,01	24,69	81,87	65,86	126	241	
47	0,00	41,90	15,94	24,70	82,54	66,60	127	244	
48	0,00	42,54	13,45	23,08	79,07	65,62	122	240	
49	0,00	44,31	11,30	24,27	79,88	68,58	123	251	
50	0,00	45,37	11,96	24,30	81,63	69,67	125	255	
51	0,00	45,14	11,00	24,83	80,97	69,97	124	256	
52	0,00	42,48	12,94	24,12	79,54	66,60	122	244	
53	0,00	44,60	12,76	24,49	81,85	69,09	126	253	
54	0,00	44,27	12,21	24,13	80,61	68,40	124	250	
55	0,00	41,99	13,95	24,47	80,41	66,46	124	243	
56	0,00	42,76	14,68	24,32	81,76	67,08	126	245	
57	0,00	43,43	14,79	24,48	82,70	67,91	127	248	
58	0,00	44,12	15,79	23,44	83,35	67,56	128	247	
59	0,00	41,54	15,99	23,48	81,01	65,02	125	238	
60	0,00	42,71	15,38	24,17	82,26	66,88	126	245	
61	0,00	43,75	15,20	24,37	83,32	68,12	128	249	
62	0,00	43,05	11,53	23,88	78,46	66,93	121	245	
63	0,00	44,72	10,76	23,39	78,87	68,11	121	249	
64	0,00	43,57	14,08	23,94	81,59	67,51	125	247	
65	0,00	42,41	12,98	23,55	78,94	65,96	121	241	
66	0,00	44,48	13,14	23,76	81,38	68,24	125	250	
67	0,00	44,52	14,50	23,83	82,85	68,35	127	250	
68	0,00	43,61	14,98	24,60	83,19	68,21	128	250	
69	0,00	40,11	19,18	24,10	83,39	64,21	128	235	
70	0,00	40,26	18,71	23,72	82,69	63,98	127	234	
71	0,00	40,79	17,25	23,64	81,68	64,43	126	236	
72	0,00	40,00	16,27	23,58	79,85	63,58	123	233	
					Mínima	78,46	63,22	121	231
					Média	81,81	66,64	126	244
					Máxima	83,46	71,49	128	262
					DP	1,27	1,60	1,96	5,85

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Produção Efetiva de Água Filtrada

Considerando os seguintes dados:

- ◆ Número de lavagens do FAAG (NL_{FAAG}) = 1
- ◆ Taxa de aplicação de água para lavagem do FAAG (TL_{FAAG}) = 2592 m³/m²d
- ◆ Duração da lavagem do FAAG (DL_{FAAG}) = 10 min = 0,007 dia
- ◆ Perda de carga prevista no FAAG ($\Delta H_{prevista\ FAAG}$) = 2,20 m
- ◆ Perda de carga prevista no FRD ($\Delta H_{prevista\ FRD}$) = 2,10 m
- ◆ Taxa de descarga de fundo no FAAG (TDF) = 1152 m³/m²d
- ◆ Duração da descarga de fundo (DDF) = 2 min = 0,0014 dia
- ◆ Taxa de aplicação de água para a lavagem do FRD (TL_{FRD}) = 864 m³/m²d
- ◆ Duração da lavagem do FRD (DL_{FRD}) = 7 min = 0,0049 dia
- ◆ Área do FRD (A_{FRD}) = 0,00656 m²
- ◆ Área do FAAG (A_{FAAG}) = 0,0156 m²

Tabela B 8.1 – Resultados de produção efetiva de água filtrada para os ensaios na instalação piloto em escoamento contínuo – Fase 1.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7
TF_{FAAG} (m ³ /m ² d)	240	180	180	180	120	120	120
TF_{FRD} (m ³ /m ² d)	280	200	240	280	160	200	240
DF (dia)	2,08	3	3	2,92	3	3	3
PT (m ³ /m ²)	500	540	540	525	360	360	360
$\Delta H_{final\ FAAG}$ (m)	1,17	1,74	1,14	2,20	1,80	0,85	0,60
VL_{FAAG} (m ³)	9,65	14,35	9,40	18,14	14,85	7,01	4,95
VDF_{final} (m ³)	0,86	1,28	0,84	1,61	1,32	0,62	0,44
NºDFIs	11	8	10	4	4	6	4
VDFIs (m ³)	17,74	12,90	16,13	6,45	6,45	9,68	6,45
$\Delta H_{final\ FRD}$ (m)	1,65	2,10	1,50	0,76	0,50	1,47	1,53
NL_{FRD}	2	1	3	3	0	1	2
VL_{FRD} (m ³)	4,96	3,56	6,61	5,99	0,42	3,03	4,86
PE (m ³ /m ²)	467	508	507	493	337	340	343
PE (%)	93,4	94,1	93,9	93,9	93,6	94,4	95,4

Em que: TF_{FAAG} = taxa de filtração no FAAG; TF_{FRD} = taxa de filtração no FRD; DCF = duração da carreira de filtração; PT = produção total de água; $\Delta H_{final\ FAAG}$ = perda de carga final no FAAG; VL_{FAAG} = consumo de água utilizada para a lavagem do FAAG; VDF_{final} = consumo de água utilizada para a descarga de fundo final; NºDFIs = número de descargas de fundo intermediárias; VDFIs = consumo de água utilizada para as descargas de fundo intermediárias; $\Delta H_{final\ FRD}$ = perda de carga final no FRD; NL_{FRD} = número de lavagens executadas no FRD; VL_{FRD} = consumo de água utilizada para as lavagens do FRD; PE = produção efetiva de água.

ANEXO C

Resultados obtidos nos Ensaaios na Instalação
Piloto em Escoamento Contínuo – Fase 2

Tabela C 1.1 – Características físicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)				Cor verdadeira (uH)	
	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE
0	22,5	138	210	12,0	10,0	27	103
1	22,0		214	6,0	1,0		96
2	22,0		208	6,0	< 1,0		93
4	21,5	134	213	5,0	1,0	23	102
6	21,0		211	2,0	< 1,0		100
8	20,5		208	1,0	< 1,0		100
10	20,0		205	3,0	< 1,0		102
12	20,0	130	210	1,0	< 1,0	22	98
14	20,0		200	0,5	< 1,0		103
16	21,5		204	6,0	< 1,0		103
18	22,0	138	213	30,0	< 1,0	22	96
20	22,5		215	42,0	1,0		101
22	23,0		213	47,0	< 1,0		102
24	23,0	130	212	60,0	< 1,0	23	102
26	22,0		214	57,0	< 1,0		105
28	21,5		208	75,0	5,0		102
30	21,0	146	223	81,0	< 1,0	24	99
32	21,0		222	80,0	< 1,0		101
34	21,0		220	90,0	< 1,0		103
36	21,0	136	211	93,0	< 1,0	21	101
Média	21,45	136,00	211,70	34,88	1,28	23	100,60
Mínimo	20,00	130,00	200,00	< 1,0	< 1,0	21	93,00
Máximo	23,00	146,00	223,00	93,00	10,00	27	105,00
DP	0,93	5,54	5,70	34,81	2,29	2	2,93

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 1.2 – Características químicas da AB, AE e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH			Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)		Absorvância 254 nm				COD (mg/L)				Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	AC	AB	AE	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,54	6,59	5,21	6,38	7,70	0,091	0,201	0,041	0,022	1,530	2,754	1,948	2,424	ND	ND	0,04	0,02
1		6,65	5,15														
2		6,66	5,16														
4		6,65	5,21														
6	6,55	6,62	5,28	8,14	7,26	0,080	0,194	0,011	0,013								
8		6,58	5,25														
10		6,57	5,29														
12	6,59	6,63	5,26	8,58	7,48	0,079	0,189	0,008	0,015	1,515	2,590	1,953	1,454	ND	0,02	0,09	0,10
14		6,63	5,28														
16		6,60	5,22														
18	6,52	6,62	5,08	9,46	8,14	0,069	0,185	0,009	0,010								
20		6,44	5,16														
22		6,54	5,04														
24	6,54	6,62	5,07	8,36	9,02	0,075	0,190	0,011	0,012	2,010	2,812	1,745	1,221	ND	ND	0,15	0,16
26		6,58	5,09														
28		6,69	5,19														
30	6,60	6,57	5,20	6,82	8,36	0,070	0,183	0,005	0,007								
32		6,66	5,20														
34		6,52	5,26														
36	6,58	6,57	5,32	7,70	7,04	0,074	0,189	0,010	0,009	1,673	3,586	1,794	1,469	ND	ND	0,09	0,10
Média	6,56	6,60	5,20	7,92	7,86	0,077	0,190	0,014	0,013	1,682	2,936	1,860	1,642	-	-	0,09	0,10
Mínimo	6,52	6,44	5,04	6,38	7,04	0,069	0,183	0,005	0,007	1,515	2,590	1,745	1,221	-	-	0,04	0,02
Máximo	6,60	6,69	5,32	9,46	9,02	0,091	0,201	0,041	0,022	2,010	3,586	1,953	2,424	-	-	0,15	0,16
DP	0,03	0,06	0,08	1,06	0,69	0,007	0,006	0,012	0,005	0,230	0,444	0,106	0,534	-	-	0,05	0,06

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 1.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 8, sem pré-oxidação e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

FAAG											FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3 - P1	P2-P1	P3-P2	P3 - P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4 - P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4 - P1
0	45,9	60,1	61,1	22,5	14,2	1,0	15,2	15,0	1,1	16,0	12,0	34,9	53,6	70,6	22,9	18,7	17,0	58,6	24,1	19,7	17,9	61,8
1	45,9	62,5	64,1	22,0	16,6	1,6	18,2	17,3	1,7	19,0	12,0	35,3	54,9	73,7	23,3	19,6	18,8	61,7	24,3	20,4	19,6	64,3
2	45,9	64,4	66,7	22,0	18,5	2,3	20,8	19,3	2,4	21,7	12,0	35,3	54,8	77,7	23,3	19,5	22,9	65,7	24,3	20,3	23,9	68,4
3	45,9	66,9	69,9	22,0	21,0	3,0	24,0	21,9	3,1	25,0	12,0	35,3	55,2	82,1	23,3	19,9	26,9	70,1	24,3	20,7	28,0	73,0
4	45,9	69,4	73,3	21,5	23,5	3,9	27,4	24,2	4,0	28,2	11,9	36,2	57,0	87,6	24,3	20,8	30,6	75,7	25,0	21,4	31,5	77,9
5	45,9	72,4	77,0	21,5	26,5	4,6	31,1	27,3	4,7	32,0	12,0	36,5	57,7	90,5	24,5	21,2	32,8	78,5	25,2	21,8	33,8	80,8
6	45,9	75,8	81,4	21,0	29,9	5,6	35,5	30,4	5,7	36,1	12,0	36,7	58,3	93,6	24,7	21,6	35,3	81,6	25,1	22,0	35,9	83,0
7	45,9	78,8	85,2	21,0	32,9	6,4	39,3	33,5	6,5	40,0	11,9	36,2	57,5	94,8	24,3	21,3	37,3	82,9	24,7	21,7	37,9	84,3
8	45,9	82,8	90,0	20,5	36,9	7,2	44,1	37,1	7,2	44,3	11,9	36,2	57,7	96,6	24,3	21,5	38,9	84,7	24,4	21,6	39,1	85,1
9	45,9	85,8	93,9	20,5	39,9	8,1	48,0	40,1	8,1	48,2	11,9	36,1	57,7	98,4	24,2	21,6	40,7	86,5	24,3	21,7	40,9	86,9
10	45,9	89,8	98,9	20,0	43,9	9,1	53,0	43,6	9,0	52,6	11,9	36,5	58,6	101,7	24,6	22,1	43,1	89,8	24,4	21,9	42,8	89,1
11	45,9	93,5	103,2	20,0	47,6	9,7	57,3	47,2	9,6	56,9	11,9	36,5	58,7	103,7	24,6	22,2	45,0	91,8	24,4	22,0	44,7	91,1
12	45,9	97,6	108,1	20,0	51,7	10,5	62,2	51,3	10,4	61,7	11,9	37,1	59,9	107,3	25,2	22,8	47,4	95,4	25,0	22,6	47,0	94,7
13	45,9	101,8	112,9	20,0	55,9	11,1	67,0	55,5	11,0	66,5	11,9	37,3	60,4	109,5	25,4	23,1	49,1	97,6	25,2	22,9	48,7	96,9
14	45,9	106,4	118,6	20,0	60,5	12,2	72,7	60,0	12,1	72,2	11,9	37,3	60,4	110,7	25,4	23,1	50,3	98,8	25,2	22,9	49,9	98,1
15	45,9	110,9	123,7	20,0	65,0	12,8	77,8	64,5	12,7	77,2	11,9	37,2	60,2	111,6	25,3	23,0	51,4	99,7	25,1	22,8	51,0	99,0
16	45,9	114,3	127,7	21,5	68,4	13,4	81,8	70,4	13,8	84,2	11,9	36,6	59,2	111,2	24,7	22,6	52,0	99,3	25,4	23,3	53,5	102,2
17	45,9	121,5	136,0	21,5	75,6	14,5	90,1	77,8	14,9	92,7	11,9	37,7	61,4	117,4	25,8	23,7	56,0	105,5	26,6	24,4	57,6	108,6
18	46,0	126,4	141,5	22,0	80,4	15,1	95,5	83,8	15,7	99,5	12,0	37,5	61,3	121,9	25,5	23,8	60,6	109,9	26,6	24,8	63,1	114,5
19	46,0	130,7	146,6	22,0	84,7	15,9	100,6	88,2	16,6	104,8	11,9	36,0	58,9	122,1	24,1	22,9	63,2	110,2	25,1	23,9	65,8	114,8
20	46,0	135,0	151,9	22,5	89,0	16,9	105,9	93,8	17,8	111,7	11,9	36,6	61,7	132,6	24,7	25,1	70,9	120,7	26,0	26,5	74,8	127,3
21	46,0	140,3	157,9	22,5	94,3	17,6	111,9	99,4	18,6	118,0	11,9	36,1	62,8	140,0	24,2	26,7	77,2	128,1	25,5	28,2	81,4	135,1
22	46,0	145,0	163,4	23,0	99,0	18,4	117,4	105,7	19,6	125,3	11,9	36,3	64,8	148,4	24,4	28,5	83,6	136,5	26,0	30,4	89,2	145,7
23	46,0	150,3	169,7	23,0	104,3	19,4	123,7	111,3	20,7	132,0	11,9	36,2	66,2	156,8	24,3	30,0	90,6	144,9	25,9	32,0	96,7	154,6

(continuação)

24	46,0	155,7	176,2	23,0	109,7	20,5	130,2	117,1	21,9	139,0	11,9	36,7	68,2	166,3	24,8	31,5	98,1	154,4	26,5	33,6	104,7	164,8
25	46,0	161,8	182,9	23,0	115,8	21,1	136,9	123,6	22,5	146,1	11,9	37,2	70,0	177,2	25,3	32,8	107,2	165,3	27,0	35,0	114,4	176,4
26	46,0	166,5	188,6	22,0	120,5	22,1	142,6	125,5	23,0	148,6	11,9	38,2	72,4	190,1	26,3	34,2	117,7	178,2	27,4	35,6	122,6	185,6
27	46,0	171,9	194,9	22,0	125,9	23,0	148,9	131,2	24,0	155,1	11,9	39,2	75,1	207,1	27,3	35,9	132,0	195,2	28,4	37,4	137,5	203,3
28	46,0	176,5	200,3	21,5	130,5	23,8	154,3	134,3	24,5	158,8	11,9	39,8	76,9	221,9	27,9	37,1	145,0	210,0	28,7	38,2	149,2	216,1
29	46,0	182,1	207,1	21,5	136,1	25,0	161,1	140,1	25,7	165,8	12,0	32,8	52,7	92,4	20,8	19,9	39,7	80,4	21,4	20,5	40,9	82,7
30	46,0	187,3	213,3	21,0	141,3	26,0	167,3	143,7	26,4	170,1	12,0	33,7	55,5	133,5	21,7	21,8	78,0	121,5	22,1	22,2	79,3	123,5
31	46,0	191,7	218,8	21,0	145,7	27,1	172,8	148,2	27,6	175,7	12,0	33,7	57,7	164,2	21,7	24,0	106,5	152,2	22,1	24,4	108,3	154,8
32	46,0	198,3	225,2	21,0	152,3	26,9	179,2	154,9	27,4	182,2	12,0	32,7	57,2	206,5	20,7	24,5	149,3	194,5	21,0	24,9	151,8	197,8
32,2				21,0	Lavagem do FRD por perda de carga						12,0	33,0	58,0	222,0	21,0	25,0	164,0	210,0	21,4	25,4	166,8	213,5
33	46,0	203,7	230,7	21,0	157,7	27,0	184,7	160,4	27,5	187,8	12,0	34,0	53,6	77,2	22,0	19,6	23,6	65,2	22,4	19,9	24,0	66,3
34	46,0	207,8	237,0	21,0	161,8	29,2	191,0	164,5	29,7	194,2	12,0	34,4	55,1	103,8	22,4	20,7	48,7	91,8	22,8	21,0	49,5	93,3
35	46,0	213,8	243,5	21,0	167,8	29,7	197,5	170,6	30,2	200,8	12,0	34,8	58,7	128,6	22,8	23,9	69,9	116,6	23,2	24,3	71,1	118,6
36	46,0	219,5	250,4	21,0	173,5	30,9	204,4	176,4	31,4	207,8	12,0	35,6	63,4	152,9	23,6	27,8	89,5	140,9	24,0	28,3	91,0	143,3

Média (°C) = 21,4

TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Lavagem do FRD por perda de carga.

Figura C 1.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 1.3 – ANEXO C.

Figura C 1.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 1.3 – ANEXO C.

Tabela C 1.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 8 – sem pré-oxidação (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	6,58	54,65	35,50	24,37	121,10	79,02	186	289
1	9,71	53,95	35,38	24,62	123,66	78,57	190	287
2	10,75	51,66	35,91	24,00	122,32	75,66	188	277
3	10,74	50,92	35,76	23,72	121,14	74,64	186	273
4	9,42	53,50	35,46	23,52	121,90	77,02	187	282
5	9,28	52,70	35,58	23,79	121,35	76,49	187	280
6	9,40	54,00	34,89	23,76	122,05	77,76	188	284
7	10,50	52,55	35,36	23,24	121,65	75,79	187	277
8	10,29	51,56	35,19	23,92	120,96	75,48	186	276
9	10,26	50,98	34,84	23,62	119,70	74,60	184	273
10	8,73	53,70	34,99	23,62	121,04	77,32	186	283
11	8,89	52,01	34,95	23,44	119,29	75,45	183	276
12	6,79	53,27	33,95	23,67	117,68	76,94	181	281
13	6,62	54,51	35,40	23,14	119,67	77,65	184	284
14	6,49	52,59	35,28	23,67	118,03	76,26	181	279
15	6,51	53,40	34,76	23,53	118,20	76,93	182	281
16	6,52	54,12	34,49	23,61	118,74	77,73	183	284
17	5,39	56,96	34,62	23,86	120,83	80,82	186	296
18	9,15	57,03	31,69	23,15	121,02	80,18	186	293
19	15,21	52,00	29,88	23,95	121,04	75,95	186	278
20	15,05	54,76	26,21	23,76	119,78	78,52	184	287
21	17,92	53,65	24,24	24,22	120,03	77,87	184	285
22	20,57	54,50	24,83	24,24	124,14	78,74	191	288
23	19,97	51,84	23,73	24,90	120,44	76,74	185	281
24	20,95	53,73	23,67	24,67	123,02	78,40	189	287
25	23,23	51,43	23,07	23,96	121,69	75,39	187	276
26	22,11	51,57	22,78	23,89	120,35	75,46	185	276
27	21,41	52,26	23,48	24,15	121,30	76,41	186	279
28	20,55	53,54	23,01	23,64	120,74	77,18	186	282
29	22,19	50,92	22,50	23,56	119,17	74,48	183	272
30	19,94	51,54	22,37	24,67	118,52	76,21	182	279
31	21,76	53,60	23,17	24,39	122,92	77,99	189	285
32	23,67	47,24	22,46	23,42	116,79	70,66	180	258
33	24,38	51,69	21,48	22,93	120,48	74,62	185	273
34	23,97	51,67	20,36	23,13	119,13	74,80	183	274
35	24,06	52,26	19,76	23,83	119,91	76,09	184	278
36	24,32	53,25	19,12	22,83	119,52	76,08	184	278
Mínima					116,79	70,66	180	258
Média					120,52	76,65	185	280
Máxima					124,14	80,82	191	296
DP					1,65	1,85	2,53	6,77

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela C 2.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)					Cor verdadeira (uH)		
	AE	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO
0	25,0	155	213	135	< 1,0	< 1,0	14	97	23
1	25,0		228	133	< 1,0	< 1,0		91	35
2	23,0		211	125	< 1,0	< 1,0		83	23
4	23,0		231	135	< 1,0	< 1,0		106	35
6	22,5	149	223	138	< 1,0	< 1,0	28	90	28
8	22,0		219	130	< 1,0	< 1,0		103	37
10	22,0		219	127	< 1,0	< 1,0		102	31
12	22,0	156	218	128	< 1,0	< 1,0	21	101	24
14	23,0		234	145	2,0	< 1,0		104	40
16	24,0		240	161	< 1,0	< 1,0		104	38
18	25,0	165	228	146	13,0	1,0	22	102	39
20	25,5		223	139	32,0	1,0		103	39
22	25,0		218	128	29,0	< 1,0		103	32
24	24,5	144	224	128	35,0	2,0	24	99	24
26	23,5		222	128	46,0	< 1,0		101	36
28	23,0		214	118	47,0	2,0		101	32
30	22,5	146	234	141	55,0	< 1,0	22	102	32
32	22,0		230	138	57,0	< 1,0		104	34
34	22,0		222	133	58,0	< 1,0		103	36
36	20,0	142	197	192	106,0	< 1,0	24	93	91
Média	23,2	151	222	137	24,2	0,70	22	100	35
Mínimo	20,0	142	197	118	< 1,0	< 1,0	14	83	23
Máximo	25,5	165	240	192	106,0	2,00	28	106	91
DP	1,44	8,12	9,66	15,87	29,67	0,47	4,26	5,90	14,19

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 2.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH				Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)			Absorvância 254 nm					COD (mg/L)					Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	APO	AC	AB	AE	APO	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,74	6,74	5,95	4,57	8,58	8,14	4,62	0,083	0,184	0,102	0,030	0,022	-	-	-	-	-	0,01	ND	0,02	0,02
1		6,61	5,91	4,57																	
2		6,68	-	4,69																	
4		6,68	5,92	4,65																	
6	6,66	6,72	5,96	4,66	8,14	9,46	5,28	0,086	0,201	0,102	0,013	0,013									
8		6,62	6,07	4,81																	
10		6,67	6,09	4,86																	
12	6,67	6,62	6,04	4,96	8,58	10,78	5,06	0,076	0,192	0,099	0,012	0,017	1,975	2,474	2,473	2,338	2,181	0,03	0,01	0,90	0,85
14		6,63	6,12	4,91																	
16		6,71	6,04	4,91																	
18	6,64	6,66	6,11	4,83	7,26	8,14	6,38	0,072	0,190	0,105	0,009	0,008									
20		6,68	5,96	4,82																	
22		6,72	6,03	4,92																	
24	6,64	6,71	6,01	4,92	11,22	9,68	5,06	0,079	0,189	0,095	0,012	0,009	1,778	2,658	2,781	2,317	2,220	ND	0,01	0,34	0,34
26		6,71	6,09	4,98																	
28		6,75	6,13	4,96																	
30	6,67	6,67	5,97	4,95	12,76	8,36	5,06	0,075	0,192	0,097	0,012	0,012									
32		6,64	6,02	5,22																	
34		6,71	5,96	5,31																	
36	6,70	6,56	6,10	5,39	10,12	6,82	4,84	0,075	0,191	0,100	0,016	0,015	2,254	2,173	2,659	2,238	2,211	ND	0,05	0,10	0,08
Média	6,67	6,67	6,03	4,89	9,52	8,77	5,19	0,078	0,191	0,100	0,015	0,014	2,002	2,435	2,638	2,298	2,204	-	-	0,34	0,32
Mínimo	6,64	6,56	5,91	4,57	7,26	6,82	4,62	0,072	0,184	0,095	0,009	0,008	1,778	2,173	2,473	2,238	2,181	-	-	0,02	0,02
Máximo	6,74	6,75	6,13	5,39	12,76	10,78	6,38	0,086	0,201	0,105	0,030	0,022	2,254	2,658	2,781	2,338	2,220	-	-	0,90	0,85
DP	0,04	0,05	0,07	0,22	1,94	1,30	0,57	0,005	0,005	0,003	0,007	0,005	0,239	0,245	0,155	0,053	0,020	-	-	0,40	0,38

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 2.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 9, pré-oxidação com ozônio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

	FAAG										FRD											
TF (h)	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	46,0	59,8	60,6	25,0	13,8	0,8	14,6	15,5	0,9	16,4	12,1	34,8	51,3	64,3	22,7	16,5	13,0	52,2	25,4	18,5	14,6	58,5
1	46,0	60,8	62,1	25,0	14,8	1,3	16,1	16,6	1,5	18,0	12,1	36,2	53,9	68,4	24,1	17,7	14,5	56,3	27,0	19,8	16,2	63,1
2	46,0	61,5	63,2	25,0	15,5	1,7	17,2	17,4	1,9	19,3	12,1	35,9	53,5	68,0	23,8	17,6	14,5	55,9	26,7	19,7	16,2	62,6
3	46,0	62,4	64,5	23,0	16,4	2,1	18,5	17,5	2,2	19,7	12,0	35,6	53,3	68,1	23,6	17,7	14,8	56,1	25,2	18,9	15,8	59,9
4	46,0	63,3	65,7	23,0	17,3	2,4	19,7	18,5	2,6	21,0	12,0	34,9	53,7	69,0	22,9	18,8	15,3	57,0	24,4	20,1	16,3	60,8
5	46,0	64,0	66,8	23,0	18,0	2,8	20,8	19,2	3,0	22,2	12,0	35,2	52,5	67,6	23,2	17,3	15,1	55,6	24,8	18,5	16,1	59,3
6	46,0	65,0	68,3	23,0	19,0	3,3	22,3	20,3	3,5	23,8	12,0	36,2	54,3	70,2	24,2	18,1	15,9	58,2	25,8	19,3	17,0	62,1
7	46,0	66,0	69,6	22,5	20,0	3,6	23,6	21,1	3,8	24,9	12,0	36,1	54,2	70,2	24,1	18,1	16,0	58,2	25,4	19,1	16,9	61,4
8	46,0	67,0	70,9	22,5	21,0	3,9	24,9	22,1	4,1	26,3	12,0	35,8	53,5	69,6	23,8	17,7	16,1	58,2	25,1	18,7	17,0	61,4
9	46,0	67,9	72,2	22,0	21,9	4,3	26,2	22,8	4,5	27,3	12,0	37,0	55,8	72,7	25,0	18,8	16,9	57,6	26,0	19,6	17,6	60,0
10	46,0	69,2	74,0	22,0	23,2	4,8	28,0	24,2	5,0	29,2	12,0	36,7	55,1	71,8	24,7	18,4	16,7	60,7	25,7	19,2	17,4	63,2
11	46,0	70,6	74,8	22,0	24,6	4,2	28,8	25,6	4,4	30,0	12,0	36,8	55,4	72,3	24,8	18,6	16,9	59,8	25,8	19,4	17,6	62,3
12	46,0	71,5	77,0	22,0	25,5	5,5	31,0	26,6	5,7	32,3	12,0	36,8	55,5	72,5	24,8	18,7	17,0	60,3	25,8	19,5	17,7	62,8
13	46,0	72,7	78,4	22,0	26,7	5,7	32,4	27,8	5,9	33,8	12,0	36,9	55,6	72,7	24,9	18,7	17,1	60,5	25,9	19,5	17,8	63,0
14	46,0	74,0	80,1	22,0	28,0	6,1	34,1	29,2	6,4	35,5	12,0	36,9	55,6	72,7	24,9	18,7	17,1	60,7	25,9	19,5	17,8	63,2
15	46,0	75,3	81,8	23,0	29,3	6,5	35,8	31,3	6,9	38,2	12,0	36,9	55,7	73,1	24,9	18,8	17,4	60,7	26,6	20,1	18,6	64,8
16	46,0	76,5	83,5	23,0	30,5	7,0	37,5	32,6	7,5	40,0	12,0	36,3	54,4	71,4	24,3	18,1	17,0	61,1	25,9	19,3	18,1	65,2
17	46,0	77,3	84,3	24,0	31,3	7,0	38,3	34,2	7,7	41,9	12,0	36,5	54,9	72,2	24,5	18,4	17,3	59,4	26,8	20,1	18,9	64,9
18	46,0	78,4	85,7	24,0	32,4	7,3	39,7	35,4	8,0	43,4	12,0	36,3	54,5	71,7	24,3	18,2	17,2	60,2	26,6	19,9	18,8	65,8
19	46,0	79,8	87,4	25,0	33,8	7,6	41,4	37,9	8,5	46,4	12,0	36,0	54,0	71,2	24,0	18,0	17,2	59,7	26,9	20,2	19,3	66,9
20	46,0	81,0	88,9	25,0	35,0	7,9	42,9	39,2	8,8	48,0	12,0	36,7	55,3	73,1	24,7	18,6	17,8	59,2	27,7	20,8	19,9	66,3
21	46,0	82,2	90,4	25,5	36,2	8,2	44,4	41,0	9,3	50,3	12,1	37,1	56,0	75,1	25,0	18,9	19,1	61,0	28,3	21,4	21,7	69,2
22	46,0	83,7	92,3	25,5	37,7	8,6	46,3	42,7	9,7	52,5	12,0	35,6	53,5	73,0	23,6	17,9	19,5	63,1	26,8	20,3	22,1	71,5
23	46,0	84,7	93,5	25,0	38,7	8,8	47,5	43,3	9,9	53,2	12,0	36,1	54,8	76,2	24,1	18,7	21,4	61,0	27,0	20,9	24,0	68,3

(continuação)

24	46,0	86,1	95,3	25,0	40,1	9,2	49,3	44,9	10,3	55,2	12,0	35,7	54,4	77,4	23,7	18,7	23,0	64,2	26,5	20,9	25,8	71,9
25	46,0	87,6	97,0	24,5	41,6	9,4	51,0	46,0	10,4	56,4	12,0	35,8	55,5	81,2	23,8	19,7	25,7	65,4	26,3	21,8	28,4	72,4
26	46,0	88,5	98,4	24,5	42,5	9,9	52,4	47,0	11,0	58,0	11,9	35,6	55,1	82,4	23,7	19,5	27,3	69,3	26,2	21,6	30,2	76,7
27	46,0	90,0	100,0	23,5	44,0	10,0	54,0	47,5	10,8	58,3	11,9	36,6	57,4	88,0	24,7	20,8	30,6	70,5	26,7	22,5	33,1	76,2
28	46,0	91,3	101,5	23,5	45,3	10,2	55,5	48,9	11,0	60,0	11,9	37,3	59,0	92,2	25,4	21,7	33,2	76,1	27,4	23,4	35,9	82,2
29	46,0	92,4	102,9	23,0	46,4	10,5	56,9	49,5	11,2	60,7	11,9	36,9	58,5	93,9	25,0	21,6	35,4	80,3	26,7	23,1	37,8	85,7
30	46,0	93,7	104,6	23,0	47,7	10,9	58,6	50,9	11,6	62,5	11,9	37,4	59,7	98,2	25,5	22,3	38,5	82,0	27,2	23,8	41,1	87,5
31	46,0	95,0	106,2	22,5	49,0	11,2	60,2	51,7	11,8	63,5	11,8	37,7	60,4	103,1	25,9	22,7	42,7	86,4	27,3	23,9	45,0	91,1
32	46,0	96,5	107,9	22,5	50,5	11,4	61,9	53,2	12,0	65,3	11,8	38,3	61,9	108,5	26,5	23,6	46,6	91,3	27,9	24,9	49,1	96,3
33	46,0	97,3	108,9	22,0	51,3	11,6	62,9	53,4	12,1	65,5	12,0	36,4	54,4	72,0	24,4	18,0	17,6	96,5	25,4	18,8	18,3	100,5
34	46,0	98,4	110,2	22,0	52,4	11,8	64,2	54,6	12,3	66,9	12,0	36,4	55,4	76,6	24,4	19,0	21,2	60,0	25,4	19,8	22,1	62,5
35	46,0	99,6	111,7	22,0	53,6	12,1	65,7	55,8	12,6	68,4	12,0	37,5	58,1	83,3	25,5	20,6	25,2	64,6	26,6	21,5	26,3	67,3
36	46,0	100,9	113,2	22,0	54,9	12,3	67,2	57,2	12,8	70,0	12,0	37,5	58,5	86,8	25,5	21,0	28,3	71,3	26,6	21,9	29,5	74,3

Média (°C) = 23,4

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Lavagem do FRD por transpasse.

Figura C 2.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 2.3 – ANEXO C.

Figura C 2.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 2.3 – ANEXO C.

Tabela C 2.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 9 – pré-oxidação com ozônio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)			turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	AC	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	52,68	18,61	53,13	22,94	24,85	119,53	77,98	184	285
1	53,04	19,78	56,96	23,47	24,60	124,81	81,56	192	298
2	56,65	21,53	54,70	22,03	24,53	122,79	79,23	189	290
3	50,99	23,21	51,71	22,54	24,31	121,77	76,02	187	278
4	50,82	23,45	53,65	22,26	24,00	123,36	77,65	190	284
5	52,50	25,55	49,60	22,25	24,43	121,83	74,03	187	271
6	53,07	23,34	53,02	22,65	23,92	122,93	76,94	189	281
7	50,99	23,55	52,14	22,53	23,36	121,58	75,50	187	276
8	54,70	23,57	52,21	22,53	22,30	120,61	74,51	185	273
9	51,69	19,89	55,86	21,98	22,53	120,26	78,39	185	287
10	55,13	21,48	54,32	22,70	21,64	120,14	75,96	185	278
11	54,15	21,82	55,07	22,09	21,66	120,64	76,73	185	281
12	67,75	21,94	54,38	23,34	21,77	121,43	76,15	187	279
13	52,20	21,54	53,95	23,03	21,89	120,41	75,84	185	277
14	53,78	21,20	54,52	22,69	22,46	120,87	76,98	186	282
15	51,93	21,50	55,24	22,60	22,75	122,09	77,99	188	285
16	54,28	22,42	51,84	22,77	22,53	119,56	74,37	184	272
17	53,11	20,63	55,38	22,71	23,30	122,02	78,68	188	288
18	53,85	20,40	56,13	22,38	22,56	121,47	78,69	187	288
19	55,00	21,74	53,65	21,47	22,47	119,33	76,12	183	278
20	53,25	20,78	58,80	18,79	21,99	120,36	80,79	185	296
21	54,42	20,72	60,37	17,87	22,53	121,49	82,90	187	303
22	56,33	25,06	53,78	16,58	22,82	118,24	76,60	182	280
23	54,68	24,10	58,10	15,53	22,26	119,99	80,36	184	294
24	54,98	27,21	55,80	14,23	22,46	119,70	78,26	184	286
25	58,06	13,33	55,38	28,83	22,60	120,14	77,98	185	285
26	57,14	19,39	53,68	23,85	22,57	119,49	76,25	184	279
27	54,97	19,71	56,43	22,73	22,57	121,44	79,00	187	289
28	55,38	19,95	55,84	22,30	22,93	121,02	78,77	186	288
29	56,02	23,31	52,97	20,92	22,65	119,85	75,62	184	277
30	53,23	23,31	53,80	21,69	22,81	121,61	76,61	187	280
31	53,13	24,00	53,83	21,39	22,25	121,47	76,08	187	278
33	57,23	30,68	56,05	15,48	24,06	126,27	80,11	194	293
34	58,17	30,04	52,15	14,40	23,84	120,43	75,99	185	278
35	50,78	28,13	54,63	13,85	23,15	119,76	77,78	184	285
36	54,78	29,73	53,17	13,68	24,15	120,73	77,32	186	283
Mínima						118,24	74,03	182	271
Média						121,10	77,49	186	283
Máxima						126,27	82,90	194	303
DP						1,56	2,01	2,41	7,35

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela C 3.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)					Cor verdadeira (uH)		
	AE	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO
0	21,0	184	258	259	9,0	2,0	31	116	117
1	21,5		262	252	33,0	21,0		121	112
2	22,0		250	246	20,0	9,0		92	100
4	22,0		224	222	2,0	< 1,0		90	91
6	22,0	156	227	223	4,0	2,0	24	98	98
8	22,0		222	223	2,0	< 1,0		101	99
10	20,5		221	219	1,0	< 1,0		97	95
12	20,0	149	217	215	< 1,0	< 1,0	18	99	95
14	20,0		214	214	2,0	1,0		96	96
16	20,0		215	213	2,0	1,0		100	99
18	19,5	146	214	213	28,0	< 1,0	22	94	96
20	19,5		212	212	57,0	< 1,0		98	98
22	20,0		205	205	69,0	1,0		95	94
24	21,0	140	210	211	75,0	< 1,0	24	104	97
26	22,0		220	206	82,0	1,0		100	102
28	22,0		210	207	91,0	5,0		100	98
30	22,0	134	202	201	94,0	< 1,0	27	96	99
32	21,0		204	198	91,0	2,0		98	96
34	20,0		205	201	102,0	1,0		97	95
36	20,0	130	197	192	106,0	< 1,0	18	93	91
Média	20,9	148	219	217	43,5	2,53	23	99	98
Mínimo	19,5	130	197	192	< 1,0	< 1,0	18	90	91
Máximo	22,0	184	262	259	106,0	21,00	31	121	117
DP	0,97	18,02	17,92	17,62	40,97	4,81	4,69	7,40	6,20

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 3.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH				Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)			Absorvância 254 nm					COD (mg/L)					Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	APO	AC	AB	AE	APO	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,48	6,56	6,24	5,52	5,06	5,5	3,96	0,107	0,230	0,248	0,019	0,021	3,215	3,356	5,251	2,329	2,724	-	-	-	-
1		6,43	6,07	5,30																	
2		6,43	5,99	5,18																	
4		6,38	5,97	5,20																	
6	6,48	6,55	5,95	5,24	3,52	6,38	3,08	0,081	0,190	0,225	0,018	0,024									
8		6,56	6,11	5,23																	
10		6,44	5,90	5,32																	
12	6,44	6,50	6,14	5,26	7,92	7,04	5,28	0,080	0,197	0,189	0,040	0,048	2,381	2,977	3,708	2,373	2,547	ND	ND	0,07	0,04
14		6,55	6,04	5,26																	
16		6,44	6,03	5,24																	
18	6,49	6,51	5,93	5,32	6,38	5,94	4,84	0,079	0,190	0,188	0,018	0,024									
20		6,45	6,09	5,34																	
22		6,46	5,94	5,28																	
24	6,46	6,60	6,11	5,26	5,94	7,48	4,40	0,080	0,195	0,186	0,019	0,024	2,429	4,410	3,602	2,108	2,094	ND	0,01	0,06	0,03
26		6,51	6,06	5,22																	
28		6,50	6,03	5,28																	
30	6,56	6,58	6,08	5,28	6,60	7,48	4,62	0,077	0,184	0,188	0,018	0,022									
32		6,50	6,18	5,31																	
34		6,56	6,07	5,33																	
36	6,60	6,56	6,12	5,39	7,26	8,36	5,72	0,075	0,176	0,241	0,079	0,083	2,563	4,133	3,820	2,504	2,865	ND	ND	0,11	0,07
Média	6,50	6,50	6,05	5,29	6,10	6,88	4,56	0,083	0,195	0,209	0,030	0,035	2,647	3,719	4,095	2,329	2,558	-	-	0,08	0,05
Mínimo	6,44	6,38	5,90	5,18	3,52	5,50	3,08	0,075	0,176	0,186	0,018	0,021	2,381	2,977	3,602	2,108	2,094	-	-	0,06	0,03
Máximo	6,60	6,60	6,24	5,52	7,92	8,36	5,72	0,107	0,230	0,248	0,079	0,083	3,215	4,410	5,251	2,504	2,865	-	-	0,11	0,07
DP	0,06	0,06	0,09	0,07	1,46	1,00	0,87	0,011	0,017	0,028	0,023	0,023	0,386	0,666	0,776	0,165	0,335	-	-	0,03	0,02

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 3.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 10, pré-oxidação com peróxido de hidrogênio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

TF (h)	FAAG										FRD											
	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
P1	P2	P3	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1		
0	45,8	60,7	61,6	21,0	14,9	0,9	15,8	15,2	0,9	16,1	12,1	35,8	57,9	74,9	23,7	22,1	17,0	62,8	24,1	22,5	17,3	63,9
1	45,9	61,8	63,5	21,5	15,9	1,7	17,6	16,4	1,7	18,1	12,1	35,8	58,7	78,6	23,7	22,9	19,9	66,5	24,4	23,6	20,5	68,4
2	45,9	63,4	66,1	22,0	17,5	2,7	20,2	18,2	2,8	21,0	12,1	35,9	59,7	85,0	23,8	23,8	25,3	72,9	24,8	24,8	26,4	75,9
3	45,9	65,1	68,7	22,0	19,2	3,6	22,8	20,0	3,8	23,8	12,1	35,9	60,4	88,9	23,8	24,5	28,5	76,8	24,8	25,5	29,7	80,0
4	45,8	67,0	71,5	22,0	21,2	4,5	25,7	22,1	4,7	26,8	12,2	35,9	60,5	90,5	23,7	24,6	30,0	78,3	24,7	25,6	31,3	81,6
5	45,8	69,0	74,2	22,0	23,2	5,2	28,4	24,2	5,4	29,6	12,2	35,9	60,5	91,3	23,7	24,6	30,8	79,1	24,7	25,6	32,1	82,4
6	45,8	71,1	76,9	22,0	25,3	5,8	31,1	26,4	6,0	32,4	12,2	35,9	60,6	92,4	23,7	24,7	31,8	80,2	24,7	25,7	33,1	83,5
8	45,9	76,0	83,1	22,0	30,1	7,1	37,2	31,4	7,4	38,8	12,2	36,0	61,0	94,8	23,8	25,0	33,8	82,6	24,8	26,0	35,2	86,0
9	45,9	79,3	87,2	22,0	33,4	7,9	41,3	34,8	8,2	43,0	12,1	36,6	62,4	97,8	24,5	25,8	35,4	85,7	25,5	26,9	36,9	89,3
10	45,9	81,5	89,8	22,0	35,6	8,3	43,9	37,1	8,6	45,7	12,1	37,1	63,4	100,0	25,0	26,3	36,6	87,9	26,0	27,4	38,1	91,6
11	45,9	84,5	93,5	20,5	38,6	9,0	47,6	38,8	9,0	47,8	12,1	37,3	63,8	101,5	25,2	26,5	37,7	89,4	25,3	26,6	37,9	89,8
12	45,9	87,0	96,5	20,0	41,1	9,5	50,6	40,8	9,4	50,2	12,1	37,0	63,4	101,5	24,9	26,4	38,1	89,4	24,7	26,2	37,8	88,7
13	45,9	89,7	99,7	20,0	43,8	10,0	53,8	43,5	9,9	53,4	12,1	37,1	63,7	102,4	25,0	26,6	38,7	90,3	24,8	26,4	38,4	89,6
14	45,9	92,3	102,7	20,0	46,4	10,4	56,8	46,1	10,3	56,4	12,1	37,2	64,0	103,3	25,1	26,8	39,3	91,2	24,9	26,6	39,0	90,5
15	45,9	95,6	106,5	20,0	49,7	10,9	60,6	49,3	10,8	60,1	12,1	37,4	64,4	104,5	25,3	27,0	40,1	92,4	25,1	26,8	39,8	91,7
16	45,9	98,7	110,0	20,0	52,8	11,3	64,1	52,4	11,2	63,6	12,0	37,5	64,6	105,3	25,5	27,1	40,7	93,3	25,3	26,9	40,4	92,6
17	45,9	101,8	113,6	20,0	55,9	11,8	67,7	55,5	11,7	67,2	12,0	37,6	64,9	107,3	25,6	27,3	42,4	95,3	25,4	27,1	42,1	94,6
18	45,8	105,0	117,2	19,5	59,2	12,2	71,4	58,1	12,0	70,0	12,0	38,5	66,8	115,2	26,5	28,3	48,4	103,2	26,0	27,8	47,5	101,2
19	45,8	107,7	120,5	19,5	61,9	12,8	74,7	60,7	12,6	73,3	12,0	37,6	65,3	119,2	25,6	27,7	53,9	107,2	25,1	27,2	52,9	105,1
20	45,8	110,4	123,3	19,5	64,6	12,9	77,5	63,3	12,6	76,0	12,0	37,7	67,3	128,5	25,7	29,6	61,2	116,5	25,2	29,0	60,0	114,2
21	45,8	113,0	126,3	19,5	67,2	13,3	80,5	65,9	13,0	78,9	12,0	38,0	73,4	141,9	26,0	35,4	68,5	129,9	25,5	34,7	67,2	127,4
22	45,8	115,6	129,4	20,0	69,8	13,8	83,6	69,3	13,7	83,0	12,0	38,0	77,9	151,4	26,0	39,9	73,5	139,4	25,8	39,6	73,0	138,4
23	45,8	117,5	131,5	20,0	71,7	14,0	85,7	71,2	13,9	85,1	12,0	38,7	83,2	161,7	26,7	44,5	78,5	149,7	26,5	44,2	77,9	148,6

(continuação)

24	45,9	119,1	133,5	21,0	73,2	14,4	87,6	74,4	14,6	89,1	12,0	38,1	84,3	164,6	26,1	46,2	80,3	152,6	26,5	47,0	81,7	155,2
25	45,9	120,6	135,2	21,0	74,7	14,6	89,3	76,0	14,8	90,8	12,0	38,9	87,6	171,8	26,9	48,7	84,2	159,8	27,4	49,5	85,6	162,5
26	45,9	122,6	137,4	22,0	76,7	14,8	91,5	79,9	15,4	95,3	12,0	40,1	91,9	181,0	28,1	51,8	89,1	169,0	29,3	54,0	92,8	176,1
27	45,9	125,3	140,6	22,0	79,4	15,3	94,7	82,7	15,9	98,7	12,0	41,2	95,3	188,4	29,2	54,1	93,1	176,4	30,4	56,4	97,0	183,8
28	45,9	128,3	144,1	22,0	82,4	15,8	98,2	85,8	16,5	102,3	12,0	43,3	101,3	205,6	31,3	58,0	104,3	193,6	32,6	60,4	108,7	201,7
28,4				22,0	Lavagem do FRD - transpasse						12,0	44,5	104,8	213,8	32,5	60,3	109,0	201,8	33,9	62,8	113,5	210,2
29	46,0	130,4	146,4	22,0	84,4	16,0	100,4	87,9	16,7	104,6	12,0	32,6	50,8	70,2	20,6	18,2	19,4	58,2	21,5	19,0	20,2	60,6
30	46,0	132,1	148,3	22,0	86,1	16,2	102,3	89,7	16,9	106,6	12,0	34,5	54,4	96,3	22,5	19,9	41,9	84,3	23,4	20,7	43,6	87,8
31	46,0	135,0	151,6	22,0	89,0	16,6	105,6	92,7	17,3	110,0	12,0	35,0	58,2	123,0	23,0	23,2	64,8	111,0	24,0	24,2	67,5	115,6
32	45,9	137,2	154,3	21,0	91,3	17,1	108,4	92,8	17,4	110,2	12,0	35,4	61,3	146,0	23,4	25,9	84,7	134,0	23,8	26,3	86,1	136,3
33	45,9	140,0	157,0	21,0	94,1	17,0	111,1	95,7	17,3	113,0	12,0	35,8	63,8	181,5	23,8	28,0	117,7	169,5	24,2	28,5	119,7	172,4
34	45,9	141,7	159,7	20,0	95,8	18,0	113,8	95,1	17,9	113,0	11,9	36,5	65,8	214,4	24,6	29,3	148,6	202,5	24,4	29,1	147,5	201,0
34,3				20,0	Lavagem do FRD - perda de carga						11,9	36,6	65,9	222,0	24,7	29,3	156,1	210,1	24,5	29,1	154,9	208,5
35	45,9	143,8	162,1	20,0	97,9	18,3	116,2	97,2	18,2	115,3	12,6	36,2	57,2	82,7	23,6	21,0	25,5	70,1	23,4	20,8	25,3	69,6
36	45,9	146,3	164,9	20,0	100,4	18,6	119,0	99,7	18,5	118,1	12,7	36,8	60,7	109,6	24,1	23,9	48,9	96,9	23,9	23,7	48,5	96,2

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura.

Figura C 3.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 3.3 – ANEXO C.

Figura C 3.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 3.3 – ANEXO C.

Tabela C 3.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 10 – pré-oxidação com peróxido de hidrogênio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	22,42	52,19	21,04	22,80	118,45	74,99	182	274
1	22,30	54,49	21,47	22,83	121,09	77,32	186	283
2	22,53	54,45	21,49	22,66	121,13	77,11	186	282
3	21,78	53,88	21,03	22,79	119,48	76,67	184	280
4	22,38	53,40	21,18	22,30	119,26	75,70	183	277
5	22,29	53,96	20,75	23,24	120,24	77,20	185	282
6	22,14	53,44	20,88	23,42	119,88	76,86	184	281
8	22,08	55,75	20,23	22,65	120,71	78,40	186	287
9	22,60	54,55	20,78	22,69	120,62	77,24	185	283
10	22,01	55,32	20,64	22,60	120,57	77,92	185	285
11	22,06	55,67	20,62	22,50	120,85	78,17	186	286
12	23,81	54,57	20,45	22,38	121,21	76,95	186	281
13	23,12	55,16	20,00	22,63	120,91	77,79	186	285
14	23,02	54,44	19,94	22,21	119,61	76,65	184	280
15	23,21	53,91	19,80	22,61	119,53	76,52	184	280
16	24,22	53,86	19,96	22,50	120,54	76,36	185	279
17	24,00	53,95	19,65	22,18	119,78	76,13	184	278
18	21,96	54,53	19,28	22,84	118,61	77,37	182	283
19	27,19	55,00	19,31	22,45	123,95	77,45	191	283
20	27,44	53,20	19,05	22,21	121,90	75,41	187	276
21	27,61	53,44	19,28	22,18	122,51	75,62	188	277
22	29,59	53,88	19,89	22,90	126,26	76,78	194	281
23	29,01	53,10	19,73	22,89	124,73	75,99	192	278
24	29,07	53,38	19,08	22,63	124,16	76,01	191	278
25	29,17	53,54	18,67	22,70	124,08	76,24	191	279
26	29,54	53,82	19,43	23,03	125,82	76,85	193	281
27	29,79	53,22	19,19	23,05	125,25	76,27	193	279
28	29,27	53,74	19,14	23,31	125,46	77,05	193	282
29	27,49	50,41	19,35	23,20	120,45	73,61	185	269
30	29,15	53,10	18,76	23,73	124,74	76,83	192	281
31	29,35	53,26	18,60	23,19	124,40	76,45	191	280
32	29,12	53,20	18,86	23,27	124,45	76,47	191	280
33	29,88	53,15	18,20	22,20	123,43	75,35	190	276
34	29,42	52,41	18,13	22,70	122,66	75,11	189	275
35	29,32	51,56	19,26	22,67	122,81	74,23	189	272
36	29,12	52,73	18,35	22,45	122,65	75,18	189	275
Mínima					118,45	73,61	182	269
Média					122,01	76,45	188	280
Máxima					126,26	78,40	194	287
DP					2,24	1,05	3,44	3,86

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela C 4.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)					Cor verdadeira (uH)		
	AE	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO
0	19,5	107	190	178	< 1,0	< 1,0	12	101	87
1	19,0		192	181	4,0	2,0		102	94
2	19,0		193	183	2,0	< 1,0		101	96
4	19,0		188	192	< 1,0	< 1,0		93	89
6	18,0	109	186	176	< 1,0	< 1,0	12	95	83
8	18,0		187	184	< 1,0	< 1,0		96	91
10	17,0		181	177	1,0	< 1,0		99	90
12	17,0	97	172	168	1,0	< 1,0	14	92	84
14	19,0		177	174	14,0	5,0		96	93
16	21,0		175	176	< 1,0	< 1,0		92	89
18	21,0	97	171	163	1,0	< 1,0	16	94	85
20	21,0		175	170	8,0	< 1,0		98	92
22	20,0		175	171	28,0	< 1,0		96	89
24	19,0	96	175	169	41,0	< 1,0	15	102	93
26	19,0		181	170	53,0	< 1,0		101	95
28	18,5		190	184	64,0	1,0		100	93
30	17,5	107	185	179	67,0	3,0	14	100	91
32	17,0		182	178	79,0	< 1,0		95	93
34	17,0		178	176	81,0	2,0		97	93
36	17,0	98	178	175	81,0	< 1,0	15	99	94
Média	18,7	102	182	176	26,4	1,03	14	97	91
Mínimo	17,0	96	171	163	< 1,0	< 1,0	12	92	83
Máximo	21,0	109	193	192	81,0	5,00	16	102	96
DP	1,37	5,77	6,91	6,72	32,11	1,16	1,53	3,30	3,67

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 4.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-trizina-triona (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH				Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)			Absorvância 254 nm					COD (mg/L)					Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	APO	AC	AB	AE	APO	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,74	6,80	5,73	4,95	7,70	5,50	3,96	0,052	0,188	0,173	0,021	0,018	2,987	5,595	5,533	3,328	3,131	0,04	0,01	0,10	0,15
1		6,69	5,90	5,19																	
2		6,87	5,82	5,00																	
4		6,73	5,74	4,99																	
6	6,63	6,71	5,73	4,99	5,06	6,16	3,52	0,050	0,172	0,171	0,018	0,025					3,985				
8		6,72	5,96	5,04																	
10		6,71	5,95	5,00																	
12	6,61	6,74	6,03	5,41	8,80	7,48	4,62	0,049	0,174	0,177	0,020	0,024	2,668	4,706	4,971	3,998	4,161	0,02	ND	0,11	0,10
14		6,74	6,04	5,59																	
16		6,72	6,05	5,10																	
18	6,67	6,74	6,43	5,40	6,38	6,60	6,60	0,050	0,170	0,161	0,014	0,019									
20		6,70	6,40	5,42																	
22		6,78	6,51	5,52																	
24	6,68	6,73	6,46	5,47	7,26	7,26	7,04	0,050	0,179	0,174	0,014	0,020	3,964	6,551	5,164	4,173	6,283	ND	0,01	0,10	0,07
26		6,72	6,34	5,43																	
28		6,75	6,37	5,46																	
30	6,76	6,78	6,43	5,60	7,26	7,48	6,60	0,048	0,178	0,174	0,015	0,022									
32		6,64	6,37	5,60																	
34		6,70	6,38	5,56																	
36	6,69	6,72	6,37	5,43	7,48	7,04	4,18	0,054	0,180	0,182	0,017	0,019	2,690	4,590	4,670	3,680	4,030	0,01	0,03	0,18	0,14
Média	6,68	6,73	6,15	5,31	7,13	6,79	5,22	0,050	0,177	0,173	0,017	0,021	3,077	5,361	5,085	3,795	4,318	-	-	0,12	0,12
Mínimo	6,61	6,64	5,73	4,95	5,06	5,50	3,52	0,048	0,170	0,161	0,014	0,018	2,668	4,590	4,670	3,328	3,131	-	-	0,10	0,07
Máximo	6,76	6,87	6,51	5,60	8,80	7,48	7,04	0,054	0,188	0,182	0,021	0,025	3,964	6,551	5,533	4,173	6,283	-	-	0,18	0,15
DP	0,05	0,05	0,28	0,24	1,16	0,75	1,47	0,002	0,006	0,006	0,003	0,003	0,609	0,912	0,362	0,372	1,171	-	-	0,04	0,04

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 4.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 11, pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

TF (h)	FAAG										FRD											
	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,8	60,5	61,4	19,5	14,7	0,9	15,6	14,4	0,9	15,3	12,1	34,1	52,6	70,0	22,0	18,5	17,4	57,9	21,6	18,1	17,1	56,8
1	45,9	62,4	63,9	19,0	16,5	1,5	18,0	16,0	1,5	17,4	12,2	36,9	57,9	77,5	24,7	21,0	19,6	65,3	23,9	20,3	19,0	63,3
2	45,9	63,8	66,0	19,0	17,9	2,2	20,1	17,3	2,1	19,5	12,2	36,6	57,5	78,4	24,4	20,9	20,9	66,2	23,6	20,2	20,2	64,1
3	45,9	65,3	68,2	19,0	19,4	2,9	22,3	18,8	2,8	21,6	12,2	36,8	57,9	80,0	24,6	21,1	22,1	67,8	23,8	20,4	21,4	65,7
4	45,9	66,8	70,0	19,0	20,9	3,2	24,1	20,2	3,1	23,3	12,2	37,1	58,5	81,2	24,9	21,4	22,7	69,0	24,1	20,7	22,0	66,8
5	45,9	68,5	72,4	18,0	22,6	3,9	26,5	21,4	3,7	25,1	12,2	36,7	57,9	80,7	24,5	21,2	22,8	68,5	23,2	20,0	21,6	64,8
6	45,9	70,4	74,7	18,0	24,5	4,3	28,8	23,2	4,1	27,2	12,1	36,9	58,3	81,6	24,8	21,4	23,3	69,5	23,5	20,2	22,0	65,7
7	45,9	72,4	77,1	18,0	26,5	4,7	31,2	25,1	4,4	29,5	12,0	36,7	58,1	81,6	24,7	21,4	23,5	69,6	23,4	20,2	22,2	65,8
8	45,9	73,8	79,0	18,0	27,9	5,2	33,1	26,4	4,9	31,3	12,0	36,9	58,4	82,4	24,9	21,5	24,0	70,4	23,5	20,3	22,7	66,6
9	45,9	75,8	81,5	17,0	29,9	5,7	35,6	27,6	5,3	32,9	12,0	37,3	59,2	83,5	25,3	21,9	24,3	71,5	23,4	20,2	22,4	66,0
10	45,9	77,9	84,1	17,0	32,0	6,2	38,2	29,5	5,7	35,3	12,0	37,4	59,4	84,2	25,4	22,0	24,8	72,2	23,4	20,3	22,9	66,6
11	45,9	80,0	86,7	17,0	34,1	6,7	40,8	31,5	6,2	37,7	12,0	37,7	59,9	85,0	25,7	22,2	25,1	73,0	23,7	20,5	23,2	67,4
12	45,9	82,1	88,9	17,0	36,2	6,8	43,0	33,4	6,3	39,7	12,0	38,1	60,6	86,1	26,1	22,5	25,5	74,1	24,1	20,8	23,5	68,4
13	45,9	83,6	90,6	19,0	37,7	7,0	44,7	36,5	6,8	43,3	12,0	37,9	60,6	87,0	25,9	22,7	26,4	75,0	25,1	22,0	25,6	72,7
14	45,9	84,5	91,5	19,0	38,6	7,0	45,6	37,4	6,8	44,2	12,0	37,5	60,0	87,4	25,5	22,5	27,4	75,4	24,7	21,8	26,5	73,0
15	45,9	86,7	94,8	21,0	40,8	8,1	48,9	41,5	8,2	49,7	12,0	36,8	58,6	85,6	24,8	21,8	27,0	73,6	25,2	22,2	27,5	74,8
16	46,0	88,6	97,1	21,0	42,6	8,5	51,1	43,3	8,6	52,0	12,0	36,0	57,3	83,4	24,0	21,3	26,1	71,4	24,4	21,7	26,5	72,6
17	46,0	91,2	100,2	21,0	45,2	9,0	54,2	46,0	9,2	55,1	12,0	35,7	56,5	82,0	23,7	20,8	25,5	70,0	24,1	21,2	25,9	71,2
18	46,0	94,2	103,7	21,0	48,2	9,5	57,7	49,0	9,7	58,7	12,0	35,8	56,9	82,5	23,8	21,1	25,6	70,5	24,2	21,5	26,0	71,7
19	46,0	96,1	105,9	21,0	50,1	9,8	59,9	50,9	10,0	60,9	12,0	36,0	57,3	83,6	24,0	21,3	26,3	71,6	24,4	21,7	26,7	72,8
20	46,0	98,9	109,1	21,0	52,9	10,2	63,1	53,8	10,4	64,2	12,1	37,0	59,0	87,9	24,9	22,0	28,9	75,8	25,3	22,4	29,4	77,1
21	46,0	101,0	111,5	20,0	55,0	10,5	65,5	54,6	10,4	65,0	12,0	35,8	56,9	87,8	23,8	21,1	30,9	75,8	23,6	20,9	30,7	75,2
22	46,0	103,5	114,5	20,0	57,5	11,0	68,5	57,1	10,9	68,0	12,0	37,0	59,2	97,0	25,0	22,2	37,8	85,0	24,8	22,0	37,5	84,4

(continuação)

23	46,0	106,0	117,2	19,0	60,0	11,2	71,2	58,1	10,9	69,0	12,1	38,7	62,8	109,6	26,6	24,1	46,8	97,5	25,8	23,3	45,3	94,5
24	46,0	108,8	120,3	19,0	62,8	11,5	74,3	60,8	11,1	72,0	12,0	36,9	61,1	113,9	24,9	24,2	52,8	101,9	24,1	23,4	51,2	98,7
25	46,0	110,6	122,2	19,0	64,6	11,6	76,2	62,6	11,2	73,8	12,0	37,8	64,7	124,0	25,8	26,9	59,3	112,0	25,0	26,1	57,5	108,5
26	46,0	112,5	124,6	19,0	66,5	12,1	78,6	64,4	11,7	76,1	11,9	36,9	64,8	127,7	25,0	27,9	62,9	115,8	24,2	27,0	60,9	112,2
27	46,0	114,7	127,1	18,5	68,7	12,4	81,1	65,8	11,9	77,6	11,9	38,1	68,4	139,0	26,2	30,3	70,6	127,1	25,1	29,0	67,6	121,7
28	46,0	116,6	129,3	18,5	70,6	12,7	83,3	67,6	12,2	79,7	11,9	39,5	72,1	152,5	27,6	32,6	80,4	140,6	26,4	31,2	77,0	134,6
29	46,0	118,4	131,5	17,5	72,4	13,1	85,5	67,6	12,2	79,9	11,8	37,2	69,8	155,5	25,4	32,6	85,7	143,7	23,7	30,5	80,1	134,3
30	46,0	121,0	134,5	17,5	75,0	13,5	88,5	70,1	12,6	82,7	11,8	38,9	71,8	174,3	27,1	32,9	102,5	162,5	25,3	30,7	95,8	151,8
31	46,0	123,3	137,0	17,0	77,3	13,7	91,0	71,3	12,6	84,0	11,8	37,7	59,8	81,2	25,9	22,1	21,4	69,4	23,9	20,4	19,8	64,1
32	45,9	125,4	139,5	17,0	79,5	14,1	93,6	73,4	13,0	86,4	11,9	39,2	64,4	100,4	27,3	25,2	36,0	88,5	25,2	23,3	33,2	81,7
33	45,9	127,2	141,5	17,0	81,3	14,3	95,6	75,0	13,2	88,2	11,8	38,0	64,3	109,2	26,2	26,3	44,9	97,4	24,2	24,3	41,4	89,9
34	45,9	129,0	143,8	17,0	83,1	14,8	97,9	76,7	13,7	90,4	11,8	39,1	68,0	124,0	27,3	28,9	56,0	112,2	25,2	26,7	51,7	103,6
35	45,9	130,7	146,0	17,0	84,8	15,3	100,1	78,3	14,1	92,4	11,8	42,0	71,0	138,4	30,2	29,0	67,4	126,6	27,9	26,8	62,2	116,9
36	45,9	132,3	147,8	17,0	86,4	15,5	101,9	79,7	14,3	94,1	12,1	39,5	62,0	86,2	27,4	22,5	24,2	74,1	25,3	20,8	22,3	68,4

Média (°C) = 18,6

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Lavagem do FRD por transpasse

Figura C 4.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 4.3 – ANEXO C.

Figura C 4.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 4.3 – ANEXO C.

Tabela C 4.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 11 – pré-oxidação com tricloro-s-triazina-triona (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	24,65	59,03	13,70	23,07	120,45	82,10	185	300
1	30,78	56,22	13,45	22,08	122,53	78,30	188	286
2	33,72	55,62	12,19	21,55	123,08	77,17	189	282
3	33,77	54,96	11,80	21,62	122,15	76,58	188	280
4	13,21	54,49	31,40	22,67	121,77	77,16	187	282
5	14,52	54,10	32,54	21,50	122,66	75,60	189	277
6	14,29	55,16	32,26	21,58	123,29	76,74	190	281
7	14,40	54,82	32,37	21,41	123,00	76,23	189	279
8	14,19	53,68	32,36	21,06	121,29	74,74	186	273
9	13,33	54,13	32,34	21,48	121,28	75,61	186	277
10	14,06	54,25	32,37	21,54	122,22	75,79	188	277
11	13,35	55,54	32,73	21,88	123,50	77,42	190	283
12	13,47	55,72	31,33	21,23	121,75	76,95	187	281
13	13,74	57,11	31,40	21,11	123,36	78,22	190	286
14	13,69	52,80	32,56	22,25	121,30	75,05	186	275
15	13,49	54,92	32,08	22,25	122,89	77,32	189	283
16	13,38	53,43	31,36	22,40	120,64	75,90	185	278
17	13,58	53,10	31,53	22,47	120,74	75,63	186	277
18	13,62	55,45	30,61	22,53	122,44	78,21	188	286
19	12,80	55,69	30,74	22,76	121,33	77,79	186	285
20	12,41	57,06	28,52	22,10	120,32	79,39	185	290
21	16,78	55,92	27,75	22,33	122,33	77,80	188	285
22	15,22	55,88	25,37	21,88	118,34	77,75	182	284
23	12,80	61,21	24,41	21,87	120,28	83,07	185	304
24	19,76	53,66	23,05	21,86	118,80	75,99	183	278
25	18,80	56,75	21,71	22,33	119,14	78,63	183	288
26	22,93	53,60	21,30	21,88	119,70	75,47	184	276
27	21,52	54,19	21,21	21,87	118,64	75,91	182	278
28	20,68	56,22	21,14	21,72	119,89	78,07	184	286
29	25,89	51,59	20,66	21,85	119,34	72,79	183	266
30	25,77	50,88	20,16	21,20	117,17	71,24	180	261
31	23,94	55,61	18,25	20,36	118,35	76,16	182	279
32	23,16	60,00	16,94	20,55	120,34	80,24	185	294
33	26,96	55,24	16,33	20,24	118,87	75,58	183	276
34	28,22	56,39	16,24	20,34	121,25	76,79	186	281
35	27,73	56,09	14,92	20,40	121,05	78,40	186	287
36	26,34	53,13	17,06	22,31	118,84	75,44	183	276
Mínima					117,17	71,24	180	261
Média					120,93	76,95	186	281
Máxima					123,50	83,07	190	304
DP					1,68	2,18	2,58	7,96

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela C 5.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)					Cor verdadeira (uH)		
	AE	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO
0	18,0	89	167	166	4,0	1,0	16	95	88
1	19,0		167	161	< 1,0	< 1,0		96	88
2	20,0		174	164	1,0	< 1,0		94	92
4	20,5		182	179	< 1,0	< 1,0		104	93
6	22,0	90	170	164	< 1,0	< 1,0	12	100	95
8	20,0		172	172	< 1,0	< 1,0		105	99
10	19,0		170	168	< 1,0	< 1,0		103	100
12	18,5	93	171	163	< 1,0	< 1,0	14	102	99
14	18,0		184	178	< 1,0	< 1,0		103	97
16	17,5		183	177	16,0	< 1,0		102	96
18	17,0	100	178	170	37,0	< 1,0	14	103	93
20	16,0		171	174	48,0	< 1,0		98	98
22	17,0		172	167	55,0	< 1,0		98	95
24	20,0	103	181	176	58,0	3,0	16	101	96
26	21,0		182	176	63,0	6,0		104	99
28	22,0		179	176	72,0	< 1,0		107	102
30	21,0	95	176	172	73,0	< 1,0	14	107	99
32	20,0		176	172	83,0	2,0		105	101
34	19,0		175	170	83,0	10,0		106	101
36	18,0	88	172	168	88,0	< 1,0	14	105	100
Média	19,2	94	175	171	34,2	1,48	14	102	97
Mínimo	16,0	88	167	161	< 1,0	< 1,0	12	94	88
Máximo	22,0	103	184	179	88,0	10,00	16	107	102
DP	1,69	5,72	5,35	5,41	34,73	2,41	1,38	3,91	4,08

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 5.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH				Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)			Absorvância 254 nm					COD (mg/L)					Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	APO	AC	AB	AE	APO	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,58	6,77	6,46	5,46	6,60	7,26	5,06	0,056	0,174	0,167	0,021	0,023	2,442	3,992	3,651	2,329	2,251	ND	ND	0,06	0,10
1		6,72	6,25	5,27																	
2		7,00	6,33	5,19																	
4		6,77	6,38	5,17																	
6	6,69	6,73	6,31	5,24	6,82	8,14	4,84	0,049	0,179	0,173	0,011	0,017	2,230	4,042	4,003	2,101	2,520				
8		6,75	6,39	5,14																	
10		6,75	6,34	5,21																	
12	6,68	6,73	6,36	5,18	7,70	7,48	5,72	0,047	0,182	0,178	0,008	0,012	1,712	3,457	3,664	4,313	1,627	0,01	ND	0,11	0,10
14		6,71	6,25	5,43																	
16		6,76	6,43	5,24																	
18	6,69	6,70	6,45	5,18	7,26	8,14	5,06	0,043	0,180	0,165	0,008	0,011									
20		6,72	6,46	5,39																	
22		6,78	6,48	5,47																	
24	6,66	6,75	6,49	5,41	6,60	7,48	5,72	0,048	0,176	0,171	0,007	0,010	1,714	3,692	3,441	1,769	1,415	0,01	ND	0,04	0,02
26		6,77	6,44	5,41																	
28		6,80	6,57	5,36																	
30	6,70	6,78	6,57	5,33	7,04	7,92	5,06	0,052	0,189	0,180	0,010	0,015									
32		6,71	6,32	5,09																	
34		6,82	6,44	5,16																	
36	6,69	6,72	6,32	5,18	6,38	8,80	6,38	0,051	0,188	0,181	0,010	0,014	1,513	4,207	3,193	1,617	1,904	ND	ND	-	-
Média	6,67	6,76	6,40	5,28	6,91	7,89	5,41	0,049	0,181	0,174	0,011	0,015	1,922	3,878	3,590	2,426	1,943	-	-	0,07	0,07
Mínimo	6,58	6,70	6,25	5,09	6,38	7,26	4,84	0,043	0,174	0,165	0,007	0,010	1,513	3,457	3,193	1,617	1,415	-	-	0,04	0,02
Máximo	6,70	7,00	6,57	5,47	7,70	8,80	6,38	0,056	0,189	0,181	0,021	0,023	2,442	4,207	4,003	4,313	2,520	-	-	0,11	0,10
DP	0,04	0,06	0,09	0,12	0,46	0,53	0,55	0,004	0,006	0,006	0,005	0,004	0,394	0,300	0,300	1,091	0,449	-	-	0,04	0,05

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 5.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 12, pré-oxidação com dióxido de cloro e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

TF (h)	FAAG										FRD											
	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,9	62,5	63,5	18,0	16,6	1,0	17,6	15,7	0,9	16,6	11,9	35,2	55,5	73,0	23,3	20,3	17,5	61,1	22,0	19,2	16,5	57,8
1	45,9	62,8	64,3	19,0	16,9	1,5	18,4	16,4	1,5	17,8	12,1	37,8	59,9	79,1	25,7	22,1	19,2	67,0	24,9	21,4	18,6	64,9
2	45,9	63,8	65,9	20,0	17,9	2,1	20,0	17,8	2,1	19,9	12,1	36,9	58,4	77,4	24,8	21,5	19,0	65,3	24,6	21,3	18,9	64,8
3	45,9	65,0	67,6	20,0	19,1	2,6	21,7	19,0	2,6	21,5	12,1	36,6	57,9	77,0	24,5	21,3	19,1	64,9	24,3	21,1	19,0	64,4
4	45,9	66,5	69,8	20,5	20,6	3,3	23,9	20,7	3,3	24,0	12,1	36,4	57,4	76,7	24,3	21,0	19,3	64,6	24,4	21,1	19,4	64,9
5	45,9	68,0	71,8	22,0	22,1	3,8	25,9	23,0	4,0	27,0	12,1	36,2	57,2	76,7	24,1	21,0	19,5	64,6	25,1	21,9	20,3	67,3
6	45,9	69,9	74,2	22,0	24,0	4,3	28,3	25,0	4,5	29,5	12,1	36,1	57,0	76,5	24,0	20,9	19,5	64,4	25,0	21,8	20,3	67,1
7	46,0	71,6	76,3	20,0	25,6	4,7	30,3	25,4	4,7	30,1	12,1	36,1	57,0	76,6	24,0	20,9	19,6	64,5	23,8	20,7	19,5	64,0
8	46,0	73,5	78,8	20,0	27,5	5,3	32,8	27,3	5,3	32,6	12,1	36,2	57,3	77,2	24,1	21,1	19,9	65,1	23,9	20,9	19,8	64,6
9	45,9	75,8	81,5	19,0	29,9	5,7	35,6	29,0	5,5	34,5	12,0	36,8	58,4	79,0	24,8	21,6	20,6	67,0	24,0	20,9	20,0	64,9
10	45,9	78,3	84,5	19,0	32,4	6,2	38,6	31,4	6,0	37,4	12,0	37,3	59,5	80,6	25,3	22,2	21,1	68,6	24,5	21,5	20,4	66,5
11	45,9	80,6	87,2	18,5	34,7	6,6	41,3	33,2	6,3	39,5	12,0	37,6	60,0	81,4	25,6	22,4	21,4	69,4	24,5	21,4	20,5	66,4
12	45,9	82,9	89,9	18,5	37,0	7,0	44,0	35,4	6,7	42,1	12,0	37,8	60,4	82,1	25,8	22,6	21,7	70,1	24,7	21,6	20,8	67,1
13	45,9	85,3	93,0	18,0	39,4	7,7	47,1	37,3	7,3	44,5	12,0	37,9	60,6	82,5	25,9	22,7	21,9	70,5	24,5	21,5	20,7	66,7
14	45,9	87,7	95,5	18,0	41,8	7,8	49,6	39,5	7,4	46,9	12,0	38,1	60,9	83,1	26,1	22,8	22,2	71,1	24,7	21,6	21,0	67,2
15	45,9	89,8	98,3	17,5	43,9	8,5	52,4	41,0	7,9	49,0	12,0	38,1	61,0	83,7	26,1	22,9	22,7	71,7	24,4	21,4	21,2	67,0
16	45,9	92,5	101,4	17,5	46,6	8,9	55,5	43,5	8,3	51,9	12,0	38,5	61,6	86,6	26,5	23,1	25,0	74,6	24,8	21,6	23,4	69,7
17	45,9	95,3	104,9	17,0	49,4	9,6	59,0	45,6	8,9	54,5	12,0	38,9	62,4	90,8	26,9	23,5	28,4	78,8	24,8	21,7	26,2	72,7
18	45,9	98,3	108,1	17,0	52,4	9,8	62,2	48,4	9,0	57,4	12,0	39,8	64,9	98,4	27,8	25,1	33,5	86,4	25,7	23,2	30,9	79,7
19	45,9	99,7	110,0	16,0	53,8	10,3	64,1	48,5	9,3	57,7	11,9	38,5	63,5	99,6	26,6	25,0	36,1	87,7	24,0	22,5	32,5	79,0
20	45,9	102,3	113,1	16,0	56,4	10,8	67,2	50,8	9,7	60,5	11,9	38,9	65,8	107,1	27,0	26,9	41,3	95,2	24,3	24,2	37,2	85,8
21	45,9	104,7	115,7	17,0	58,8	11,0	69,8	54,3	10,2	64,4	11,9	39,5	68,0	114,1	27,6	28,5	46,1	102,2	25,5	26,3	42,6	94,3
22	45,9	106,2	117,7	17,0	60,3	11,5	71,8	55,7	10,6	66,3	11,9	40,0	69,8	120,5	28,1	29,8	50,7	108,6	25,9	27,5	46,8	100,2

(continuação)

23	45,9	107,8	119,6	20,0	61,9	11,8	73,7	61,4	11,7	73,2	11,9	38,9	68,4	121,2	27,0	29,5	52,8	109,3	26,8	29,3	52,4	108,5
24	45,9	109,3	121,5	20,0	63,4	12,2	75,6	62,9	12,1	75,0	11,9	39,5	70,5	128,4	27,6	31,0	57,9	116,5	27,4	30,8	57,5	115,6
25	46,0	111,0	123,7	21,0	65,0	12,7	77,7	66,1	12,9	79,0	11,9	39,7	71,7	135,6	27,8	32,0	63,9	123,7	28,3	32,5	65,0	125,8
26	46,0	112,8	125,7	21,0	66,8	12,9	79,7	67,9	13,1	81,0	11,9	39,3	71,4	141,3	27,4	32,1	69,9	129,4	27,9	32,6	71,1	131,6
27	45,9	115,3	128,3	22,0	69,4	13,0	82,4	72,3	13,5	85,8	12,0	40,1	73,9	156,3	28,1	33,8	82,4	144,3	29,3	35,2	85,8	150,3
27,5				22,0	Lavagem do FRD - transpasse						12,0	40,4	74,7	163,5	28,4	34,3	88,8	151,5	29,6	35,7	92,5	157,8
28	45,9	117,8	131,3	22,0	71,9	13,5	85,4	74,9	14,1	89,0	12,2	36,4	55,5	74,8	24,2	19,1	19,3	62,6	25,2	19,9	20,1	65,2
29	45,9	119,3	133,2	21,0	73,4	13,9	87,3	74,6	14,1	88,8	12,2	37,1	56,4	89,6	24,9	19,3	33,2	77,4	25,3	19,6	33,8	78,7
30	45,9	121,7	136,1	21,0	75,8	14,4	90,2	77,1	14,6	91,7	12,2	37,8	61,2	106,6	25,6	23,4	45,4	94,4	26,0	23,8	46,2	96,0
31	45,9	124,1	139,2	20,0	78,2	15,1	93,3	77,6	15,0	92,6	12,1	37,8	63,6	120,5	25,6	25,8	56,9	108,3	25,4	25,6	56,5	107,5
32	45,9	126,3	141,8	20,0	80,4	15,5	95,9	79,8	15,4	95,2	12,1	39,4	67,8	136,1	27,3	28,4	68,3	124,0	27,1	28,2	67,8	123,1
33	45,9	128,4	144,5	19,0	82,5	16,1	98,6	79,9	15,6	95,5	12,1	40,0	69,9	149,9	27,9	29,9	80,0	137,8	27,0	29,0	77,5	133,5
34	45,9	130,9	147,8	19,0	85,0	16,9	101,9	82,3	16,4	98,7	12,1	41,6	73,7	173,1	29,5	32,1	99,4	161,0	28,6	31,1	96,3	156,0
35	45,9	132,9	149,7	18,0	87,0	16,8	103,8	82,3	15,9	98,2	12,1	37,2	59,0	82,9	25,1	21,8	23,9	70,8	23,7	20,6	22,6	67,0
36	45,9	135,2	152,5	18,0	89,3	17,3	106,6	84,4	16,4	100,8	12,1	37,4	63,3	106,4	25,3	25,9	43,1	94,3	23,9	24,5	40,8	89,2

Média (°C) = 19,3

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Lavagem do FRD por transpasse

Figura C 5.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 5.3 – ANEXO C.

Figura C 5.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 5.3 – ANEXO C.

Tabela C 5.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 12 – pré-oxidação com dióxido de cloro (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	27,87	50,12	18,30	22,10	118,39	72,22	182	264
1	26,61	55,98	17,28	21,90	121,77	77,88	187	285
2	26,62	54,15	18,23	22,35	121,35	76,50	187	280
3	26,94	55,15	18,06	22,26	122,41	77,41	188	283
4	26,88	54,90	18,09	22,79	122,66	77,69	189	284
5	26,69	53,74	18,34	22,68	121,45	76,42	187	280
6	26,82	53,86	18,21	23,12	122,01	76,98	188	282
7	26,97	53,44	18,28	22,89	121,58	76,33	187	279
8	27,28	52,20	17,92	23,04	120,44	75,24	185	275
9	26,61	53,23	18,16	22,08	120,08	75,31	185	275
10	26,89	52,21	18,00	22,20	119,30	74,41	183	272
11	27,12	53,49	18,95	22,76	122,32	76,25	188	279
12	26,71	52,73	17,90	22,63	119,97	75,36	184	276
13	26,37	53,60	18,00	21,96	119,93	75,56	184	276
14	26,65	54,38	17,80	21,98	120,99	76,54	186	280
15	26,98	55,47	17,90	22,16	122,65	77,77	189	284
16	26,50	54,14	17,12	22,30	119,26	75,64	183	277
17	27,11	55,07	16,87	21,50	120,65	76,67	185	280
18	27,10	55,69	16,39	21,60	120,98	77,49	186	283
19	29,34	53,04	15,99	21,80	120,10	74,77	185	273
20	28,66	55,74	16,17	21,73	122,70	77,87	189	285
21	28,39	54,81	15,84	22,13	120,29	76,06	185	278
22	28,30	54,55	16,10	21,25	121,27	76,87	186	281
23	30,21	52,65	18,77	22,32	123,76	74,78	190	274
24	31,25	53,84	13,83	22,13	121,42	76,34	187	279
25	28,59	55,31	16,74	22,50	123,50	78,17	190	286
26	28,12	53,13	15,72	22,86	120,13	76,29	185	279
27	26,98	54,22	15,35	23,16	119,89	77,56	184	284
28	24,92	53,33	19,76	23,34	120,39	75,71	185	277
29	23,57	55,24	19,09	22,38	121,13	78,47	186	287
30	21,85	56,33	18,13	23,23	119,38	79,40	183	290
31	26,24	53,50	17,65	23,07	119,79	75,90	184	278
32	25,23	55,24	16,39	22,40	119,31	77,69	183	284
33	27,19	53,29	16,97	22,45	119,49	75,33	184	276
34	26,69	53,55	16,78	22,04	119,39	75,92	184	278
35	21,65	53,00	22,32	22,37	118,60	74,63	182	273
36	22,31	54,17	21,41	21,63	119,52	75,80	184	277
Mínima					118,39	72,22	182	264
Média					120,76	76,36	186	279
Máxima					123,76	79,40	190	290
DP					1,36	1,37	2,08	5,01

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela C 6.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)					Cor verdadeira (uH)		
	AE	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO
0	20,0	78	160	252	8,0	1,0	13	96	144
1	20,5		177	237	2,0	< 1,0		105	130
2	21,0		175	244	1,0	< 1,0		106	126
4	21,0		171	236	< 1,0	< 1,0		104	127
6	21,5	84	165	241	< 1,0	< 1,0	14	98	129
8	21,0		164	235	< 1,0	< 1,0		103	131
10	19,5		164	228	< 1,0	< 1,0		102	128
12	19,0	79	161	233	< 1,0	< 1,0	12	99	137
14	19,0		155	220	< 1,0	< 1,0		100	124
16	18,0		157	220	9,0	< 1,0		102	125
18	18,0	73	155	228	30,0	< 1,0	14	96	129
20	18,0		155	224	46,0	< 1,0		103	130
22	18,0		165	225	61,0	< 1,0		111	125
24	20,0	74	163	236	60,0	< 1,0	14	101	135
26	21,0		181	244	78,0	4,0		106	135
28	22,0		186	251	84,0	10,0		108	134
30	22,0	85	166	246	88,0	< 1,0	13	100	139
32	22,0		175	241	94,0	< 1,0		106	135
34	20,0		172	243	115,0	6,0		109	134
36	19,5	82	164	243	111,0	< 1,0	14	99	131
Média	20,1	79	167	236	39,5	1,45	13	103	131
Mínimo	18,0	73	155	220	< 1,0	< 1,0	12	96	124
Máximo	22,0	85	186	252	115,0	10,00	14	111	144
DP	1,39	4,68	8,86	9,65	42,64	2,46	0,79	4,19	5,20

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 6.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH				Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)			Absorvância 254 nm					COD (mg/L)					Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	APO	AC	AB	AE	APO	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,48	6,57	6,50	5,51	5,72	6,82	5,94	0,045	0,167	0,198	0,008	0,015	2,578	4,272	4,010	2,346	2,922	ND	0,01	0,17	0,15
1		6,52	6,23	5,20																	
2		6,63	6,37	5,29																	
4		6,59	6,35	5,37																	
6	6,55	6,60	6,40	5,28	6,16	7,26	6,38	0,044	0,169	0,183	0,006	0,007	2,161	3,510	3,725	2,200	2,082				
8		6,62	6,44	5,34																	
10		6,53	6,29	5,52																	
12	6,53	6,68	6,37	5,61	6,60	7,92	7,48	0,042	0,171	0,193	0,003	0,016	2,084	3,583	3,713	2,048	1,986	0,01	0,01	ND	ND
14		6,58	6,28	5,54																	
16		6,53	6,37	5,53																	
18	6,34	6,54	6,29	5,48	4,84	7,70	7,04	0,047	0,166	0,187	0,013	0,014									
20		6,62	6,30	5,47																	
22		6,68	6,39	5,47																	
24	6,56	6,60	6,37	5,31	5,50	8,80	6,82	0,046	0,180	0,190	0,009	0,015	3,079	4,254	3,473	1,910	2,000	0,01	ND	0,04	0,03
26		6,56	6,30	5,37																	
28		6,57	6,28	5,23																	
30	6,46	6,53	6,29	5,25	6,82	7,92	5,50	0,051	0,183	0,192	0,012	0,016									
32		6,57	6,23	5,27																	
34		6,64	6,31	5,45																	
36	6,51	6,64	6,25	5,35	7,26	7,70	5,72	0,045	0,173	0,188	0,009	0,014	2,796	3,694	3,237	2,942	2,471	ND	0,01	0,04	0,03
Média	6,49	6,59	6,33	5,39	6,13	7,73	6,41	0,046	0,173	0,190	0,009	0,014	2,540	3,863	3,632	2,289	2,292	-	-		
Mínimo	6,34	6,52	6,23	5,20	4,84	6,82	5,50	0,042	0,166	0,183	0,003	0,007	2,084	3,510	3,237	1,910	1,986	-	-		
Máximo	6,56	6,68	6,50	5,61	7,26	8,80	7,48	0,051	0,183	0,198	0,013	0,016	3,079	4,272	4,010	2,942	2,922	-	-		
DP	0,08	0,05	0,07	0,12	0,84	0,61	0,73	0,003	0,006	0,005	0,003	0,003	0,421	0,371	0,291	0,400	0,404	-	-		

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 6.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 13, pré-oxidação com permanganato de potássio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

TF (h)	FAAG										FRD											
	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	46,0	61,7	62,6	20,0	15,7	0,9	16,6	15,6	0,9	16,5	12,2	35,8	56,8	72,3	23,6	21,0	15,5	60,1	23,4	20,8	15,4	59,7
1	46,0	62,6	64,3	20,5	16,6	1,7	18,3	16,7	1,7	18,4	12,3	37,8	60,4	78,2	25,5	22,6	17,8	65,9	25,6	22,7	17,9	66,2
2	46,0	64,3	66,6	21,0	18,3	2,3	20,6	18,6	2,3	20,9	12,3	37,5	59,9	78,2	25,2	22,4	18,3	65,9	25,6	22,8	18,6	67,0
3	46,0	65,9	68,8	21,0	19,9	2,9	22,8	20,2	2,9	23,2	12,3	38,0	61,0	80,0	25,7	23,0	19,0	67,7	26,1	23,4	19,3	68,8
4	46,0	67,6	71,1	21,0	21,6	3,5	25,1	22,0	3,6	25,5	12,3	38,0	61,1	80,5	25,7	23,1	19,4	68,2	26,1	23,5	19,7	69,3
5	46,0	69,4	73,5	21,0	23,4	4,1	27,5	23,8	4,2	28,0	12,3	38,0	61,1	80,9	25,7	23,1	19,8	68,6	26,1	23,5	20,1	69,8
6	46,1	71,3	76,0	21,5	25,2	4,7	29,9	25,9	4,8	30,8	12,3	37,9	61,0	81,0	25,6	23,1	20,0	68,7	26,3	23,8	20,6	70,7
7	46,0	73,2	78,4	21,5	27,2	5,2	32,4	28,0	5,4	33,3	12,3	37,9	60,9	81,1	25,6	23,0	20,2	68,8	26,3	23,7	20,8	70,8
8	46,0	75,2	81,0	21,0	29,2	5,8	35,0	29,7	5,9	35,6	12,2	37,6	60,5	80,7	25,4	22,9	20,2	68,5	25,8	23,3	20,5	69,7
9	46,0	77,5	83,9	21,0	31,5	6,4	37,9	32,0	6,5	38,5	12,1	36,6	58,8	78,6	24,5	22,2	19,8	66,5	24,9	22,6	20,1	67,6
10	46,0	79,6	86,3	19,5	33,6	6,7	40,3	32,9	6,6	39,5	12,2	38,7	62,7	84,0	26,5	24,0	21,3	71,8	26,0	23,5	20,9	70,4
11	46,0	81,8	89,0	19,5	35,8	7,2	43,0	35,1	7,1	42,2	12,1	38,9	62,9	84,8	26,8	24,0	21,9	72,7	26,3	23,5	21,5	71,3
12	46,0	83,9	91,5	19,0	37,9	7,6	45,5	36,7	7,4	44,1	12,1	38,7	62,6	84,8	26,6	23,9	22,2	72,7	25,8	23,2	21,5	70,4
13	46,0	86,1	94,1	19,0	40,1	8,0	48,1	38,8	7,8	46,6	12,1	38,7	62,7	84,9	26,6	24,0	22,2	72,8	25,8	23,3	21,5	70,5
14	46,0	88,5	97,1	19,0	42,5	8,6	51,1	41,2	8,3	49,5	12,1	38,7	62,8	84,9	26,6	24,1	22,1	72,8	25,8	23,3	21,4	70,5
15	46,0	91,0	100,0	19,0	45,0	9,0	54,0	43,6	8,7	52,3	12,1	38,8	63,0	85,0	26,7	24,2	22,0	72,9	25,9	23,4	21,3	70,6
16	46,0	93,9	103,3	18,0	47,9	9,4	57,3	45,3	8,9	54,2	12,1	39,3	63,8	86,8	27,2	24,5	23,0	74,7	25,7	23,2	21,7	70,6
17	46,0	96,5	106,4	18,0	50,5	9,9	60,4	47,8	9,4	57,1	12,1	39,5	64,4	89,2	27,4	24,9	24,8	77,1	25,9	23,5	23,5	72,9
18	46,0	99,0	109,4	18,0	53,0	10,4	63,4	50,1	9,8	60,0	12,1	39,8	65,0	93,4	27,7	25,2	28,4	81,3	26,2	23,8	26,9	76,9
19	46,0	101,5	112,4	18,0	55,5	10,9	66,4	52,5	10,3	62,8	12,0	39,2	64,6	96,8	27,2	25,4	32,2	84,8	25,7	24,0	30,4	80,2
20	46,0	103,7	115,2	18,0	57,7	11,5	69,2	54,6	10,9	65,4	12,0	39,3	66,4	103,9	27,3	27,1	37,5	91,9	25,8	25,6	35,5	86,9
21	46,0	106,4	118,2	18,0	60,4	11,8	72,2	57,1	11,2	68,3	12,0	39,6	68,9	111,5	27,6	29,3	42,6	99,5	26,1	27,7	40,3	94,1
22	45,9	108,2	120,4	18,0	62,3	12,2	74,5	58,9	11,5	70,5	12,0	40,2	72,5	120,4	28,2	32,3	47,9	108,4	26,7	30,5	45,3	102,5

(continuação)

23	45,9	109,6	122,1	18,0	63,7	12,5	76,2	60,2	11,8	72,1	12,0	40,2	74,4	125,5	28,2	34,2	51,1	113,5	26,7	32,3	48,3	107,3
24	45,9	111,4	124,3	20,0	65,5	12,9	78,4	65,0	12,8	77,8	12,0	40,2	75,6	129,7	28,2	35,4	54,1	117,7	28,0	35,1	53,7	116,8
25	46,0	112,8	126,0	20,0	66,8	13,2	80,0	66,3	13,1	79,4	12,0	40,0	76,7	133,8	28,0	36,7	57,1	121,8	27,8	36,4	56,7	120,9
26	46,0	115,9	129,6	21,0	69,9	13,7	83,6	71,1	13,9	85,0	12,0	40,5	79,0	140,6	28,5	38,5	61,6	128,6	29,0	39,1	62,6	130,8
27	46,0	118,5	132,6	21,0	72,5	14,1	86,6	73,7	14,3	88,1	12,1	42,2	83,9	153,8	30,1	41,7	69,9	141,7	30,6	42,4	71,1	144,1
28	46,0	120,5	135,3	22,0	74,5	14,8	89,3	77,6	15,4	93,0	12,0	41,2	82,7	158,8	29,2	41,5	76,1	146,8	30,4	43,2	79,3	152,9
29	46,0	122,2	137,2	22,0	76,2	15,0	91,2	79,4	15,6	95,0	12,2	35,5	54,6	80,6	23,3	19,1	26,0	68,4	24,3	19,9	27,1	71,3
30	46,0	124,1	139,3	22,0	78,1	15,2	93,3	81,4	15,8	97,2	12,2	35,5	55,7	102,5	23,3	20,2	46,8	90,3	24,3	21,0	48,8	94,1
31	46,0	126,8	142,7	22,0	80,8	15,9	96,7	84,2	16,6	100,7	12,2	35,2	57,5	119,9	23,0	22,3	62,4	107,7	24,0	23,2	65,0	112,2
32	46,0	128,5	145,0	22,0	82,5	16,5	99,0	85,9	17,2	103,1	12,1	35,6	59,9	133,8	23,5	24,3	73,9	121,7	24,5	25,3	77,0	126,8
33	46,0	131,0	147,9	22,0	85,0	16,9	101,9	88,5	17,6	106,2	12,1	36,3	62,4	150,9	24,2	26,1	88,5	138,8	25,2	27,2	92,2	144,6
34	46,0	132,9	150,2	20,0	86,9	17,3	104,2	86,3	17,2	103,4	12,1	37,1	65,7	171,8	25,0	28,6	106,1	159,7	24,8	28,4	105,3	158,5
35	46,0	135,5	153,2	20,0	89,5	17,7	107,2	88,8	17,6	106,4	11,8	36,9	56,7	77,6	25,1	19,8	20,9	65,8	24,9	19,7	20,7	65,3
36	46,0	137,7	155,8	19,5	91,7	18,1	109,8	89,9	17,7	107,7	11,9	37,4	58,2	92,8	25,5	20,8	34,6	80,9	25,0	20,4	33,9	79,3

Média (°C) = 20,1

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura; Lavagem do FRD por transpasse

Figura C 6.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.3 – ANEXO C.

Figura C 6.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 6.3 – ANEXO C.

Tabela C 6.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 13 – pré-oxidação com permanganato de potássio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	21,31	51,67	24,72	22,74	120,44	74,41	185	272
1	20,26	52,58	24,47	22,44	119,75	75,02	184	274
2	20,36	53,03	24,42	23,24	121,05	76,27	186	279
3	20,64	53,70	24,36	22,03	120,73	75,73	186	277
4	20,81	53,44	24,12	22,56	120,93	76,00	186	278
5	20,75	54,05	24,36	22,69	121,85	76,74	187	281
6	20,64	54,88	23,96	22,88	122,36	77,76	188	284
7	20,62	55,54	24,12	23,04	123,32	78,58	190	287
8	20,94	54,51	23,29	23,03	121,77	77,54	187	284
9	23,04	50,33	23,84	22,47	119,68	72,80	184	266
10	19,87	55,62	23,69	22,35	121,53	77,97	187	285
11	21,48	53,33	23,92	22,20	120,93	75,53	186	276
12	21,29	53,17	23,86	21,99	120,31	75,16	185	275
13	21,68	53,03	24,00	21,98	120,69	75,01	186	274
14	22,01	54,68	23,27	22,09	122,17	76,89	188	281
15	21,23	52,68	24,04	22,21	120,28	75,01	185	274
16	20,72	54,19	22,91	22,33	119,90	76,27	184	279
17	20,99	54,00	22,31	22,08	118,98	75,68	183	277
18	20,68	54,72	21,99	21,68	119,21	76,54	183	280
19	22,84	53,26	20,86	21,82	118,72	75,02	182	274
20	22,18	53,81	20,46	21,76	118,05	75,41	181	276
21	22,15	54,55	21,42	21,60	120,07	76,50	185	280
22	21,62	55,07	21,43	21,95	120,05	77,00	185	282
23	21,03	54,98	21,39	21,93	120,57	78,15	185	286
24	20,88	54,51	21,14	23,17	119,44	77,42	184	283
25	20,99	54,19	21,48	22,91	119,33	76,86	183	281
26	20,61	54,49	20,41	22,67	118,55	77,53	182	284
27	20,57	57,06	20,03	23,04	120,73	80,13	186	293
28	23,43	51,68	20,63	23,07	118,43	74,37	182	272
29	16,82	54,15	25,23	22,69	119,34	77,29	183	283
30	17,70	54,41	24,04	23,14	119,33	77,59	183	284
31	20,03	53,09	22,91	23,18	118,49	75,55	182	276
32	21,15	51,57	22,54	22,46	117,80	74,11	181	271
33	21,66	50,69	23,08	22,54	117,89	73,15	181	268
34	20,92	53,40	22,50	22,46	119,49	76,07	184	278
35	22,03	52,24	20,97	22,67	117,55	74,55	181	273
36	24,64	54,99	18,63	22,31	120,57	77,30	185	283
Mínima					117,55	72,80	181	266
Média					120,01	76,19	184	279
Máxima					123,32	80,13	190	293
DP					1,36	1,54	2,10	5,63

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela C 7.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)					Cor verdadeira (uH)		
	AE	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO
0	22,0	108	179	134	9,0	6,0	22	94	56
1	22,5		196	144	1,0	< 1,0		103	63
2	23,0		198	145	1,0	< 1,0		106	65
4	24,0		197	148	< 1,0	< 1,0		109	71
6	24,0	106	184	134	< 1,0	< 1,0	21	104	61
8	23,5		193	137	< 1,0	< 1,0		104	62
10	22,5		192	133	< 1,0	< 1,0		103	54
12	22,0	113	188	129	< 1,0	< 1,0	17	100	51
14	22,0		201	145	< 1,0	< 1,0		102	63
16	22,0		196	143	< 1,0	< 1,0		103	61
18	22,0	117	189	140	< 1,0	< 1,0	20	103	59
20	21,0		182	134	< 1,0	< 1,0		100	61
22	21,0		183	137	1,0	< 1,0		102	64
24	22,5	109	186	135	12,0	< 1,0	21	107	61
26	23,5		194	138	21,0	< 1,0		104	64
28	24,0		193	143	32,0	< 1,0		106	67
30	25,0	118	193	140	43,0	< 1,0	21	107	63
32	24,0		190	137	45,0	< 1,0		104	63
34	23,0		187	134	49,0	< 1,0		104	60
36	22,0	108	187	126	45,0	< 1,0	21	105	58
Média	22,8	111	190	138	13,2	0,78	20	104	61
Mínimo	21,0	106	179	126	< 1,0	< 1,0	17	94	51
Máximo	25,0	118	201	148	49,0	6,00	22	109	71
DP	1,08	4,75	5,89	5,70	18,53	1,23	1,62	3,17	4,43

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 7.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH				Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)			Absorvância 254 nm					COD (mg/L)					Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	APO	AC	AB	AE	APO	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	7,41	6,88	6,38	5,51	11,52	10,32	6,48	0,069	0,183	0,126	0,026	0,030	2,637	4,032	3,674	2,990	2,808	ND	ND	0,23	0,20
1		6,87	6,15	5,12																	
2		7,04	6,50	5,23																	
4		7,00	6,51	5,27																	
6	6,94	6,98	6,53	5,30	8,40	10,80	7,44	0,070	0,193	0,130	0,010	0,011	2,419	4,483	3,967	2,546	2,471				
8		6,99	6,36	5,22																	
10		7,05	6,59	5,36																	
12	6,84	6,85	6,43	5,39	10,32	11,04	6,96	0,073	0,192	0,118	0,014	0,023	2,553	3,723	3,405	2,702	2,460	ND	ND	0,20	0,18
14		6,87	6,48	5,44																	
16		6,97	6,40	5,49																	
18	6,80	6,81	6,39	5,51	10,56	11,28	8,40	0,065	0,187	0,127	0,008	0,017									
20		6,90	6,47	5,51																	
22		6,77	6,38	5,51																	
24	6,89	7,03	6,48	5,51	11,28	11,04	7,20	0,069	0,195	0,129	0,013	0,020	2,300	3,921	3,824	2,731	2,514	ND	ND	0,15	0,13
26		7,08	6,61	5,45																	
28		6,97	6,42	5,39																	
30	6,93	7,05	6,53	5,28	9,60	9,60	6,72	0,072	0,197	0,137	0,016	0,022									
32		6,89	6,34	5,32																	
34		6,96	6,33	5,30																	
36	6,96	7,07	6,48	5,32	10,56	9,36	7,44	0,070	0,192	0,113	0,013	0,019	2,486	3,859	3,827	2,479	2,240	0,01	ND	0,18	0,17
Média	6,97	6,95	6,44	5,37	10,32	10,49	7,23	0,070	0,191	0,126	0,014	0,020	2,479	4,004	3,739	2,690	2,499	-	-	0,19	0,17
Mínimo	6,80	6,77	6,15	5,12	8,40	9,36	6,48	0,065	0,183	0,113	0,008	0,011	2,300	3,723	3,405	2,479	2,240	-	-	0,15	0,13
Máximo	7,41	7,08	6,61	5,51	11,52	11,28	8,40	0,073	0,197	0,137	0,026	0,030	2,637	4,483	3,967	2,990	2,808	-	-	0,23	0,20
DP	0,20	0,09	0,10	0,12	1,06	0,76	0,63	0,003	0,005	0,008	0,006	0,006	0,129	0,290	0,214	0,198	0,203	-	-	0,03	0,03

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 7.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 14, pré-oxidação com peroxônio e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

TF (h)	FAAG										FRD											
	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,7	60,2	61,0	22,0	14,5	0,8	15,3	15,1	0,8	15,9	11,9	33,6	53,4	70,0	21,7	19,8	16,6	58,1	22,6	20,6	17,3	60,5
1	45,8	61,1	62,5	22,5	15,3	1,4	16,7	16,1	1,5	17,6	12,0	35,2	56,7	75,2	23,2	21,5	18,5	63,2	24,5	22,7	19,5	66,6
2	45,8	62,0	64,0	23,0	16,2	2,0	18,2	17,3	2,1	19,4	12,0	34,8	56,1	75,3	22,8	21,3	19,2	63,3	24,3	22,7	20,5	67,6
3	45,8	62,9	65,5	24,0	17,1	2,6	19,7	18,7	2,8	21,5	12,0	34,5	55,6	75,2	22,5	21,1	19,6	63,2	24,6	23,1	21,4	69,1
4	45,8	63,9	67,1	24,0	18,1	3,2	21,3	19,8	3,5	23,3	12,0	34,2	54,9	74,8	22,2	20,7	19,9	62,8	24,3	22,6	21,8	68,7
5	45,8	64,8	68,5	24,0	19,0	3,7	22,7	20,8	4,0	24,8	12,0	34,2	55,0	74,9	22,2	20,8	19,9	62,9	24,3	22,7	21,8	68,8
6	45,8	66,6	70,8	24,0	20,8	4,2	25,0	22,7	4,6	27,3	12,0	34,2	55,0	75,1	22,2	20,8	20,1	63,1	24,3	22,7	22,0	69,0
7	45,8	67,7	72,3	23,5	21,9	4,6	26,5	23,7	5,0	28,6	12,0	34,2	55,0	75,5	22,2	20,8	20,5	63,5	24,0	22,5	22,1	68,6
8	45,8	69,5	74,5	23,5	23,7	5,0	28,7	25,6	5,4	31,0	12,0	34,5	55,8	76,8	22,5	21,3	21,0	64,8	24,3	23,0	22,7	70,0
9	45,8	71,4	76,9	22,5	25,6	5,5	31,1	27,0	5,8	32,8	12,0	34,9	56,7	78,4	22,9	21,8	21,7	66,4	24,1	23,0	22,9	70,0
10	45,8	73,1	78,9	22,5	27,3	5,8	33,1	28,8	6,1	34,9	12,0	35,2	57,0	79,3	23,2	21,8	22,3	67,3	24,5	23,0	23,5	71,0
11	45,8	74,9	81,2	22,0	29,1	6,3	35,4	30,3	6,6	36,9	12,0	35,3	57,5	80,3	23,3	22,2	22,8	68,3	24,3	23,1	23,8	71,2
12	45,8	76,7	83,3	22,0	30,9	6,6	37,5	32,2	6,9	39,1	12,0	35,4	57,6	80,9	23,4	22,2	23,3	68,9	24,4	23,1	24,3	71,8
13	45,8	78,4	85,2	22,0	32,6	6,8	39,4	34,0	7,1	41,0	12,0	35,4	57,8	81,6	23,4	22,4	23,8	69,6	24,4	23,3	24,8	72,5
14	45,8	80,7	88,1	22,0	34,9	7,4	42,3	36,4	7,7	44,1	12,0	35,5	58,3	84,8	23,5	22,8	26,5	72,8	24,5	23,8	27,6	75,8
15	45,8	82,6	90,6	22,0	36,8	8,0	44,8	38,3	8,3	46,7	11,9	35,5	58,4	84,8	23,6	22,9	26,4	72,9	24,6	23,9	27,5	75,9
16	45,8	84,7	93,2	22,0	38,9	8,5	47,4	40,5	8,9	49,4	11,9	35,5	58,4	85,1	23,6	22,9	26,7	73,2	24,6	23,9	27,8	76,3
17	45,8	86,8	95,6	22,0	41,0	8,8	49,8	42,7	9,2	51,9	11,9	35,5	58,5	85,5	23,6	23,0	27,0	73,6	24,6	24,0	28,1	76,7
18	45,8	88,9	98,1	22,0	43,1	9,2	52,3	44,9	9,6	54,5	11,9	35,6	58,6	85,8	23,7	23,0	27,2	73,9	24,7	24,0	28,3	77,0
19	45,8	90,8	100,5	21,0	45,0	9,7	54,7	45,8	9,9	55,6	11,9	35,6	58,7	86,2	23,7	23,1	27,5	74,3	24,1	23,5	28,0	75,6
20	45,8	93,7	103,6	21,0	47,9	9,9	57,8	48,7	10,1	58,8	11,9	35,8	59,1	87,0	23,9	23,3	27,9	75,1	24,3	23,7	28,4	76,4
22	45,8	99,5	110,3	21,0	53,7	10,8	64,5	54,6	11,0	65,6	11,9	36,1	59,8	88,5	24,2	23,7	28,7	76,6	24,6	24,1	29,2	77,9
23	45,9	100,6	111,6	21,0	54,7	11,0	65,7	55,6	11,2	66,8	11,9	36,1	59,9	89,5	24,2	23,8	29,6	77,6	24,6	24,2	30,1	78,9

(continuação)

24	45,9	101,8	113,1	22,5	55,9	11,3	67,2	58,9	11,9	70,9	11,9	35,8	59,1	90,7	23,9	23,3	31,6	78,8	25,2	24,6	33,3	83,1
25	45,9	103,4	115,0	22,5	57,5	11,6	69,1	60,6	12,2	72,9	11,9	35,2	58,1	92,2	23,3	22,9	34,1	80,3	24,6	24,1	36,0	84,7
26	45,9	105,3	117,2	23,5	59,4	11,9	71,3	64,2	12,9	77,0	11,9	34,3	56,4	94,2	22,4	22,1	37,8	82,3	24,2	23,9	40,8	88,9
27	45,9	107,4	119,9	23,5	61,5	12,5	74,0	66,4	13,5	79,9	11,9	34,5	56,9	100,0	22,6	22,4	43,1	88,1	24,4	24,2	46,6	95,2
28	45,9	109,4	122,3	24,0	63,5	12,9	76,4	69,4	14,1	83,5	11,9	34,5	58,3	107,7	22,6	23,8	49,4	95,8	24,7	26,0	54,0	104,7
29	45,9	111,1	124,3	24,0	65,2	13,2	78,4	71,3	14,4	85,7	11,9	34,2	60,0	114,7	22,3	25,8	54,7	102,8	24,4	28,2	59,8	112,4
30	45,9	113,0	126,6	25,0	67,1	13,6	80,7	75,2	15,2	90,4	11,9	34,8	64,1	126,8	22,9	29,3	62,7	114,9	25,6	32,8	70,2	128,7
31	46,0	115,2	129,1	25,0	69,2	13,9	83,1	77,5	15,6	93,1	11,9	35,1	67,3	138,2	23,2	32,2	70,9	126,3	26,0	36,1	79,4	141,5
32	46,0	117,9	132,1	24,0	71,9	14,2	86,1	78,6	15,5	94,1	11,9	35,0	69,0	149,0	23,1	34,0	80,0	137,1	25,3	37,2	87,5	149,9
33	46,0	119,6	134,2	24,0	73,6	14,6	88,2	80,5	16,0	96,4	11,9	35,7	71,4	162,5	23,8	35,7	91,1	150,6	26,0	39,0	99,6	164,7
34	46,0	121,7	136,7	23,0	75,7	15,0	90,7	80,8	16,0	96,8	11,9	36,0	73,0	177,2	24,1	37,0	104,2	165,3	25,7	39,5	111,2	176,4
35	46,0	124,0	139,4	23,0	78,0	15,4	93,4	83,2	16,4	99,7	11,9	36,6	75,4	196,8	24,7	38,8	121,4	184,9	26,4	41,4	129,6	197,3
36	46,0	126,6	142,3	22,0	80,6	15,7	96,3	84,0	16,4	100,3	11,9	37,2	77,5	219,0	25,3	40,3	141,5	207,1	26,4	42,0	147,4	215,7

Média (°C) = 22,8

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura.

Figura C 7.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.3 – ANEXO C.

Figura C 7.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 7.3 – ANEXO C.

Tabela C 7.4 – Variação de vazões e taxas de filtração do FAAG e do FRD durante o ensaio 14 – pré-oxidação com peroxônio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	descartes (L/h)		turbidímetros (L/h)		vazão total (L/h)		taxas de filtração (m ³ /m ² d)	
	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD	FAAG	FRD
0	19,21	52,50	22,03	23,84	117,58	76,34	181	279
1	20,20	53,50	21,78	24,12	119,60	77,62	184	284
2	20,91	52,70	21,38	23,41	118,40	76,11	182	278
3	21,05	52,99	21,77	24,14	119,95	77,13	184	282
4	20,55	53,55	21,28	24,75	120,13	78,30	185	286
5	20,51	52,79	21,94	24,38	119,62	77,17	184	282
6	20,60	52,81	21,99	24,08	119,48	76,89	184	281
7	20,63	52,45	21,35	24,35	118,78	76,80	183	281
8	20,87	52,59	21,44	24,20	119,10	76,79	183	281
9	20,40	53,76	21,18	24,00	119,34	77,76	183	284
10	20,91	53,76	20,86	23,76	119,29	77,52	183	284
11	20,28	54,00	21,13	23,52	118,93	77,52	183	284
12	20,28	53,95	20,76	23,62	118,61	77,57	182	284
13	20,52	54,15	21,09	23,92	119,68	78,07	184	286
14	21,30	53,73	21,60	24,08	120,71	77,81	186	285
15	21,36	54,80	21,18	24,41	121,75	79,21	187	290
16	20,95	53,37	20,10	23,20	117,62	76,57	181	280
17	21,50	53,60	21,00	24,00	120,10	77,60	185	284
18	21,25	52,89	21,08	23,96	119,18	76,85	183	281
19	21,13	53,11	21,18	23,62	119,04	76,73	183	281
20	21,52	53,54	20,85	23,52	119,43	77,06	184	282
22	21,65	53,81	21,09	23,59	120,14	77,40	185	283
23	20,99	53,74	20,66	23,62	119,01	77,36	183	283
24	21,67	53,60	19,90	23,96	119,13	77,56	183	284
25	21,69	54,00	19,83	23,88	119,40	77,88	184	285
26	23,67	52,52	20,08	23,84	120,11	76,36	185	279
27	23,79	52,20	19,83	24,22	120,04	76,42	185	280
28	23,47	52,79	18,56	24,08	118,90	76,87	183	281
29	23,51	52,38	18,92	24,22	119,03	76,60	183	280
30	22,26	53,72	18,59	23,69	118,26	77,41	182	283
31	22,21	54,63	17,34	24,15	118,33	78,78	182	288
32	24,23	51,53	17,01	24,42	117,19	75,95	180	278
33	24,12	52,46	16,69	24,16	117,43	76,62	180	280
34	24,09	52,30	17,36	24,04	117,79	76,34	181	279
35	23,52	53,33	17,28	24,15	118,28	77,48	182	283
36	24,00	52,44	17,39	23,89	117,72	76,33	181	279
Mínima					117,19	75,95	180	278
Média					119,09	77,19	183	282
Máxima					121,75	79,21	187	290
DP					0,99	0,74	1,52	2,69

TF = tempo de funcionamento; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; AC = água coagulada; DP = desvio padrão.

Tabela C 8.1 – Características físicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	Temperatura (°C)	Cor aparente (uH)					Cor verdadeira (uH)		
	AE	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO
0	23,0	118	191	189	19,0	12,0	23	99	91
1	23,0		202	190	4,0	1,0		106	93
2	23,0		203	192	1,0	< 1,0		109	101
4	22,0		198	188	< 1,0	< 1,0		105	96
6	22,0	121	192	189	< 1,0	< 1,0	22	99	91
8	21,5		186	182	< 1,0	< 1,0		98	90
10	21,0		185	182	2,0	1,0		98	91
12	21,0	107	184	178	< 1,0	< 1,0	20	98	90
14	21,0		220	217	< 1,0	5,0		113	108
16	21,0		155	205	< 1,0	< 1,0		42	101
Média	21,9	115	192	191	2,9	2,20	22	97	95
Mínimo	21,0	107	155	178	< 1,0	< 1,0	20	42	90
Máximo	23,0	121	220	217	19,0	12,00	23	113	108
DP	0,88	7,37	16,86	11,65	5,77	3,71	1,53	19,94	6,18

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 8.2 – Características químicas da AB, AE, APO e efluentes do FAAG e do FRD durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = 180 m³/m²d; FRD = 280 m³/m²d).

TF (h)	pH				Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)			Absorvância 254 nm					COD (mg/L)					Alumínio (mg/L)			
	AB	AE	APO	AC	AB	AE	APO	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	APO	FAAG	FRD	AB	AE	FAAG	FRD
0	6,68	6,74	6,47	5,67	9,36	9,12	7,68	0,081	0,195	0,187	0,028	0,031	2,483	3,987	3,776	2,418	2,745	0,01	0,01	0,20	0,10
1		6,67	5,96	5,13																	
2		6,74	5,96	5,08																	
4		6,71	6,06	5,10																	
6	6,86	6,81	6,24	5,17	10,56	11,28	5,28	0,079	0,192	0,184	0,014	0,025	2,495	4,009	4,230	2,014	2,121				
8		7,04	6,34	5,65																	
10		7,25	5,30	4,88																	
12	7,36	7,27	6,12	5,35	16,32	16,56	6,72	0,079	0,200	0,190	0,024	0,034	2,670	4,191	3,915	2,313	2,321	0,01	0,01	0,25	0,10
14		6,70	5,76	4,88																	
16		6,74	6,00	4,98																	
Média	6,97	6,87	6,02	5,19	12,08	12,32	6,56	0,080	0,196	0,187	0,022	0,030	2,549	4,062	3,974	2,248	2,396	-	-	-	-
Mínimo	6,68	6,67	5,30	4,88	9,36	9,12	5,28	0,079	0,192	0,184	0,014	0,025	2,483	3,987	3,776	2,014	2,121	-	-	-	-
Máximo	7,36	7,27	6,47	5,67	16,32	16,56	7,68	0,081	0,200	0,190	0,028	0,034	2,670	4,191	4,230	2,418	2,745	-	-	-	-
DP	0,35	0,23	0,33	0,28	3,72	3,83	1,21	0,001	0,004	0,003	0,007	0,005	0,105	0,112	0,233	0,210	0,319	-	-	-	-

TF = tempo de funcionamento; AE = água de estudo; AB = água bruta; AC = água coagulada; APO = água pré-oxidada; FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; DP = desvio padrão.

Tabela C 8.3 – Perda de carga no FAAG (180 m³/m²d) e no FRD (280 m³/m²d) durante o ensaio 15, pré-oxidação com cloro (hipoclorito de sódio) e sem DFIs no FAAG para a temperatura T e para T = 20°C.

TF (h)	FAAG										FRD											
	Leitura piezométrica (cm)			T (°C)	Perda de carga (cm)			Perda de carga (cm) T = 20°C			Leitura piezométrica (cm)				Perda de carga (cm)				Perda de carga (cm) T = 20°C			
	P1	P2	P3		P2-P1	P3-P2	P3-P1	P2-P1	P3-P2	P3-P1	P1	P2	P3	P4	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1	P2-P1	P3-P2	P4-P3	P4-P1
0	45,9	60,2	61,3	23,0	14,3	1,1	15,4	15,3	1,2	16,4	12,2	33,6	53,5	72,7	21,4	19,9	19,2	60,5	22,8	21,2	20,5	64,6
1	45,9	61,3	63,0	23,0	15,4	1,7	17,1	16,4	1,8	18,2	12,1	33,6	53,9	73,8	21,5	20,3	19,9	61,7	22,9	21,7	21,2	65,8
2	45,9	62,6	65,0	23,0	16,7	2,4	19,1	17,8	2,6	20,4	12,1	34,1	54,9	76,0	22,0	20,8	21,1	63,9	23,5	22,2	22,5	68,2
3	45,9	64,2	67,5	23,0	18,3	3,3	21,6	19,5	3,5	23,1	12,0	33,7	54,3	75,8	21,7	20,6	21,5	63,8	23,2	22,0	22,9	68,1
4	45,9	65,9	70,0	22,0	20,0	4,1	24,1	20,8	4,3	25,1	12,0	34,0	54,9	76,9	22,0	20,9	22,0	64,9	22,9	21,8	22,9	67,6
5	45,9	67,9	72,6	22,0	22,0	4,7	26,7	22,9	4,9	27,8	12,0	33,9	54,7	77,0	21,9	20,8	22,3	65,0	22,8	21,7	23,2	67,7
6	45,9	70,0	75,5	22,0	24,1	5,5	29,6	25,1	5,7	30,8	12,0	33,8	54,7	77,2	21,8	20,9	22,5	65,2	22,7	21,8	23,4	67,9
7	45,9	72,2	78,2	22,0	26,3	6,0	32,3	27,4	6,3	33,6	12,0	33,9	54,9	77,7	21,9	21,0	22,8	65,7	22,8	21,9	23,8	68,4
8	45,9	74,2	80,5	21,5	28,3	6,3	34,6	29,1	6,5	35,6	12,0	34,1	55,2	78,4	22,1	21,1	23,2	66,4	22,7	21,7	23,9	68,3
9	45,9	76,3	82,8	21,5	30,4	6,5	36,9	31,3	6,7	38,0	12,0	34,5	56,3	81,1	22,5	21,8	24,8	69,1	23,2	22,4	25,5	71,1
10	45,9	79,1	86,9	21,0	33,2	7,8	41,0	33,8	7,9	41,7	12,0	34,6	56,6	82,6	22,6	22,0	26,0	70,6	23,0	22,4	26,4	71,8
11	45,9	83,0	92,0	21,0	37,1	9,0	46,1	37,7	9,2	46,9	12,0	34,0	55,5	81,4	22,0	21,5	25,9	69,4	22,4	21,9	26,3	70,6
12	45,9	85,0	94,2	21,0	39,1	9,2	48,3	39,8	9,4	49,1	11,9	33,9	55,3	81,1	22,0	21,4	25,8	69,2	22,4	21,8	26,2	70,4
13	45,9	87,6	97,9	21,0	41,7	10,3	52,0	42,4	10,5	52,9	11,9	34,3	56,0	82,3	22,4	21,7	26,3	70,4	22,8	22,1	26,7	71,6
14	45,9	92,0	103,3	21,0	46,1	11,3	57,4	46,9	11,5	58,4	11,9	34,3	56,2	82,7	22,4	21,9	26,5	70,8	22,8	22,3	26,9	72,0
15	45,9	95,8	107,7	21,0	49,9	11,9	61,8	50,7	12,1	62,8	11,9	34,5	56,5	83,2	22,6	22,0	26,7	71,3	23,0	22,4	27,1	72,5
16	45,9	99,5	112,0	21,0	53,6	12,5	66,1	54,5	12,7	67,2	11,9	34,5	56,7	83,5	22,6	22,2	26,8	71,6	23,0	22,6	27,3	72,8

Média (°C) = 21,8

FAAG = filtro ascendente de areia grossa; FRD = filtro rápido descendente; TF = tempo de funcionamento; T = temperatura.

Figura C 8.1 – Perda de carga na camada suporte e camada de areia grossa no FAAG durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.3 – ANEXO C.

Figura C 8.2 – Perda de carga ao longo do meio filtrante do FRD durante o ensaio 15 – pré-oxidação com hipoclorito de sódio (FAAG = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e FRD = $280 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$). Fonte: Tabela C 8.3 – ANEXO C.

ANEXO D

Resultados da Formação de Subprodutos da
Pré-oxidação e Pós-cloração – Fase 2

Tabela D 1.1 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH – ENSAIOS 8 e 9.

	ENSAIO 8 – sem pré-oxidação			ENSAIO 9 – pré-oxidação com O ₃			
Condições de pré-oxidação	-			Dosagem aplicada de O ₃ ≅ 6 mg/L			
Trialometanos (µg/L)	Efluente FRD (pH = 5,0)	Efluente FRD (pH = 7,1)	Efluente FRD (pH = 9,0)	APO (pH = 6,0)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,0)	Efluente FRD (pH = 9,0)
Clorofórmio	NR	NR	NR	4,33	NR	NR	NR
Bromodiclorometano	NR	NR	NR	1,45	NR	NR	NR
Dibromoclorometano	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Bromofórmio	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Haloacetoneitrilas, Halocetonas e Halopicrinas (µg/L)	Efluente FRD (pH = 5,0)	Efluente FRD (pH = 7,1)	Efluente FRD (pH = 9,0)	APO (pH = 6,0)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,0)	Efluente FRD (pH = 9,0)
Tricloroacetoneitrila	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Dicloroacetoneitrila	NR	NR	NR	1,86	NR	NR	NR
1,1-dicloropropanona	NR	NR	NR	3,14	NR	NR	NR
Cloropicrina	NR	NR	NR	< 1,00	NR	NR	NR
1,1,1-tricloropropanona	NR	NR	NR	1,69	NR	NR	NR
bromocloroacetoneitrila	NR	NR	NR	4,36	NR	NR	NR
Dibromoacetoneitrila	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Ácidos Haloacéticos (µg/L)	Efluente FRD (pH = 5,0)	Efluente FRD (pH = 7,1)	Efluente FRD (pH = 9,0)	APO (pH = 6,0)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,0)	Efluente FRD (pH = 9,0)
Ácido cloroacético	NR	NR	NR	223,47	NR	NR	NR
Ácido bromoacético	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Ácido dicloroacético	NR	NR	NR	207,78	NR	NR	NR
Dalapon	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Ácido tricloroacético	NR	NR	NR	13,89	NR	NR	NR
Ácido bromocloroacético	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Ácido bromodicloroacético	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Ácido dibromoacético	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Ácido clorodibromoacético	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR
Ácido tribromoacético	NR	NR	NR	ND	NR	NR	NR

ND = não detectado; NR = não realizado.

Tabela D 1.2 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH– ENSAIOS 10 e 11.

	ENSAIO 10 – pré-oxidação com H ₂ O ₂				ENSAIO 11 – pré-oxidação com Cl ₂ (tricloro-s-triazina-triona)			
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de H ₂ O ₂ ≅ 35 mg/L				Dosagem aplicada de cloro ≅ 4 mg/L			
Trialometanos (µg/L)	APO (pH = 6,0)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,6)	Efluente FRD (pH = 9,3)	APO (pH = 5,7)	Efluente FRD (pH = 4,9)	Efluente FRD (pH = 8,4)	Efluente FRD (pH = 11,2)
Clorofórmio	3,94	NR	NR	NR	14,92	ND	17,33	26,58
Bromodiclorometano	7,01	NR	NR	NR	5,92	ND	2,35	3,44
Dibromoclorometano	ND	NR	NR	NR	ND	ND	ND	ND
Bromofórmio	ND	NR	NR	NR	ND	ND	ND	ND
Haloacetoneitrilas, Halocetonas e Halopicrinas (µg/L)	APO (pH = 6,0)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,6)	Efluente FRD (pH = 9,3)	APO (pH = 5,7)	Efluente FRD (pH = 4,9)	Efluente FRD (pH = 8,4)	Efluente FRD (pH = 11,2)
Tricloroacetoneitrila	ND	NR	NR	NR	ND	ND	ND	ND
Dicloroacetoneitrila	2,76	NR	NR	NR	6,39	ND	ND	ND
1,1-dicloropropanona	2,76	NR	NR	NR	< 1,00	ND	ND	ND
Cloropicrina	ND	NR	NR	NR	ND	ND	ND	ND
1,1,1-tricloropropanona	ND	NR	NR	NR	ND	ND	ND	ND
bromocloroacetoneitrila	2,87	NR	NR	NR	6,72	ND	ND	ND
Dibromoacetoneitrila	ND	NR	NR	NR	ND	ND	ND	ND
Ácidos Haloacéticos (µg/L)	APO (pH = 6,0)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,6)	Efluente FRD (pH = 9,3)	APO (pH = 5,7)	Efluente FRD (pH = 4,9)	Efluente FRD (pH = 8,4)	Efluente FRD (pH = 11,2)
Ácido cloroacético	120,82	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido bromoacético	ND	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido dicloroacético	73,25	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dalapon	ND	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido tricloroacético	10,14	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido bromocloroacético	ND	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido bromodicloroacético	ND	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido dibromoacético	ND	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido clorodibromoacético	ND	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Ácido tribromoacético	ND	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

ND = não detectado; NR = não realizado.

Tabela D 1.3 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH – ENSAIOS 12 e 13.

	ENSAIO 12 – pré-oxidação com ClO_2				ENSAIO 13 – pré-oxidação com KMnO_4			
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de $\text{ClO}_2 \cong 0,4 \text{ mg/L}$				Dosagem aplicada de $\text{KMnO}_4 \cong 1 \text{ mg/L}$			
Trialomitanos ($\mu\text{g/L}$)	APO (pH = 6,3)	Efluente FRD (pH = 5,1)	Efluente FRD (pH = 8,1)	Efluente FRD (pH = 10,5)	APO (pH = 6,4)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 8,6)	Efluente FRD (pH = 10,3)
Clorofórmio	5,27	3,22	3,65	12,60	4,66	3,00	1,54	1,62
Bromodiclorometano	1,88	1,48	1,92	2,67	1,47	1,64	4,83	1,24
Dibromoclorometano	ND	< 1,00	ND	ND	< 1,00	ND	ND	ND
Bromofórmio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Haloacetoneitrilas, Halocetonas e Halopicrininas ($\mu\text{g/L}$)	APO (pH = 6,3)	Efluente FRD (pH = 5,1)	Efluente FRD (pH = 8,1)	Efluente FRD (pH = 10,5)	APO (pH = 6,4)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 8,6)	Efluente FRD (pH = 10,3)
Tricloroacetoneitrila	ND	ND	ND	< 1,00	ND	ND	ND	ND
Dicloroacetoneitrila	1,58	< 1,00	ND	ND	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
1,1-dicloropropanona	< 1,00	< 1,00	ND	ND	< 1,00	< 1,00	ND	< 1,00
Cloropicrina	ND	ND	ND	< 1,00	ND	ND	ND	ND
1,1,1-tricloropropanona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,33	1,17
bromocloroacetoneitrila	1,42	< 1,00	ND	ND	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Dibromoacetoneitrila	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácidos Haloacéticos ($\mu\text{g/L}$)	APO (pH = 6,3)	Efluente FRD (pH = 5,1)	Efluente FRD (pH = 8,1)	Efluente FRD (pH = 10,5)	APO (pH = 6,4)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 8,6)	Efluente FRD (pH = 10,3)
Ácido cloroacético	52,37	ND	ND	ND	50,59	18,50	24,27	30,20
Ácido bromoacético	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido dicloroacético	44,56	6,14	6,76	13,45	25,06	4,62	5,41	5,94
Dalapon	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido tricloroacético	15,74	1,50	< 1,00	< 1,00	6,41	< 1,00	< 1,00	1,04
Ácido bromocloroacético	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido bromodicloroacético	ND	ND	ND	3,18	ND	ND	ND	ND
Ácido dibromoacético	ND	ND	ND	1,09	ND	ND	< 1,00	ND
Ácido clorodibromoacético	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido tribromoacético	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13,46	ND

ND = não detectado.

Tabela D 1.4 – Resumo dos resultados da formação de subprodutos das amostras de APO utilizando diferentes oxidantes e pós-cloração com dosagem de 4 a 6 mg/L e tempo de contato de 24 h, e das amostras do efluente do FRD com variação do pH – ENSAIOS 14 e 15.

	ENSAIO 14 – pré-oxidação com Peroxônio				ENSAIO 15 – pré-oxidação com Cl ₂ (NaClO)			
Condições de pré-oxidação	Dosagem aplicada de H ₂ O ₂ ≅ 1,3 mg/L e O ₃ ≅ 2,6 mg/L (H ₂ O ₂ :O ₃ = 0,5)				Dosagem aplicada de NaClO ≅ 2,0 mg/L			
Trialomitanos (µg/L)	APO (pH = 6,5)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,9)	Efluente FRD (pH = 10,5)	APO (pH = 6,2)	Efluente FRD (pH = 5,0)	Efluente FRD (pH = 8,5)	Efluente FRD (pH = 10,2)
Clorofórmio	12,08	6,04	2,38	2,84	12,37	5,48	1,14	12,65
Bromodiclorometano	6,78	4,97	2,23	2,65	5,74	2,91	ND	5,14
Dibromoclorometano	< 1,00	< 1,00	ND	ND	< 1,00	ND	ND	ND
Bromofórmio	< 1,00	< 1,00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Haloacetoneitrilas, Halocetonas e Halopicrininas (µg/L)	APO (pH = 6,5)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,9)	Efluente FRD (pH = 10,5)	APO (pH = 6,2)	Efluente FRD (pH = 5,0)	Efluente FRD (pH = 8,5)	Efluente FRD (pH = 10,2)
Tricloroacetoneitrila	3,89	< 1,00	< 1,00	ND	< 1,00	< 1,00	ND	< 1,00
Dicloroacetoneitrila	4,80	1,46	< 1,00	< 1,00	8,29	1,31	ND	2,48
1,1-dicloropropanona	4,75	2,64	1,62	1,97	< 1,00	< 1,00	ND	< 1,00
Cloropicrina	< 1,00	< 1,00	ND	ND	< 1,00	< 1,00	ND	ND
1,1,1-tricloropropanona	8,15	1,25	ND	4,55	ND	ND	ND	ND
bromocloroacetoneitrila	8,17	4,86	2,02	2,41	39,01	1,26	ND	2,19
Dibromoacetoneitrila	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácidos Haloacéticos (µg/L)	APO (pH = 6,5)	Efluente FRD (pH = 5,2)	Efluente FRD (pH = 7,9)	Efluente FRD (pH = 10,5)	APO (pH = 6,2)	Efluente FRD (pH = 5,0)	Efluente FRD (pH = 8,5)	Efluente FRD (pH = 10,2)
Ácido cloroacético	65,51	11,38	11,68	9,27	87,74	15,81	23,99	47,45
Ácido bromoacético	6,93	1,72	2,42	1,29	ND	ND	ND	ND
Ácido dicloroacético	58,86	22,26	19,02	8,47	18,46	7,60	10,54	22,85
Dalapon	ND	ND	ND	< 1,00	ND	ND	< 1,00	ND
Ácido tricloroacético	18,05	1,21	1,01	1,75	26,43	5,12	6,31	9,91
Ácido bromocloroacético	< 1,00	ND	ND	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Ácido bromodicloroacético	< 1,00	ND	ND	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	ND
Ácido dibromoacético	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido clorodibromoacético	6,77	1,40	1,45	< 1,00	< 1,00	< 1,00	ND	ND
Ácido tribromoacético	ND	ND	5,35	10,30	8,46	4,92	7,58	11,78

ND = não detectado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WPCF (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th edition, Washington, USA.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1990). *Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies*. 4th edition, McGraw-Hill, USA, 1194 p.
- AMIRTHARAJAH, A. & MILLS, K. M. (1982). Rapid-mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation. *Journal American Water Works Association*, Vol. 74, n° 4, p. 210 - 216.
- BECKER, W. C.; AU, K-K; CHEVALLIER, M. W.; O'MELIA, C. R.; YOUNG, J. S. (2001). The Effects of Oxidation on the Performance of Granular Media Filters: The Role of Natural Organic Matter. In *Advances in Rapid Granular Filtration in Water Treatment. International Conference*, London, p. 47 – 57.
- BENINI, B. D. S. (2003). *Remoção de Substâncias Húmicas na Dupla Filtração com Filtro Ascendente de Pedregulho*. São Carlos. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BOLTO, B.; ABBT-BRAUN; G.; DIXON, D.; ELDRIDGE, R.; FRIMMEL, F.; HESSE, S.; KING, S.; TOIFL, M. (1999). Experimental Evaluation of Cationic Polyelectrolytes for Removing Natural Organic Matter from Water. *Water Science & Technology: Removal of Humic Substances from Water*. Vol 40, n. 9. *International Association on Water Quality*, p. 71-79.
- BRASIL, Leis etc. (2004). Ministério da Saúde. Portaria n° 518 de abril de 2004: Aprova o Controle e Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade, Brasília.
- CAMPOS, S. X. (2004). *Influência das Substâncias Húmicas de Diferentes Massas Molares na Coagulação, Floculação e Sedimentação no Tratamento de Água*. São Carlos. Tese (Doutorado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CANELLAS, L. P.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; BRAZ-FILHO, R. (2001). Aumento da Resolução de Espectros de RMN ¹³C de Ácidos Húmicos

- em Solução através do Tratamento Prévio com KCl 0,03 mol L⁻¹. *Química Nova*, vol. 24, n. 1, p. 131-132.
- CASTILLA MIRANDA, S. J. (1997). *Influência da Mistura dos Grãos de Areia no Desempenho da Filtração Direta Ascendente*. São Carlos. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- COELHO, E. R. C. (2002). *Influência da Pré-oxidação com Ozônio e Peróxido de Hidrogênio na Remoção de Atrazina em Filtros Lentos de Areia e Carvão Ativado Granular*. São Carlos. 248 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CROZES, G.; WHITE, P. & MARSHALL, M. (1995). Enhanced Coagulation: Its Effect on NOM Removal and Chemical Costs. *Journal American Water Works Association*, Vol. 87, nº 1, p. 78 - 89.
- CRUZ VELLEZ, C. H. (1993). *Filtração Direta Ascendente com Alta Taxa*. São Carlos. 220 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DALSASSO, R. L. (1999). *Pré-Ozonização de Águas Contendo Agrotóxico, Seguida de Filtração Direta*. Florianópolis. 135p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- DE PAULA, D. (2003). *Avaliação da Dupla Filtração para Tratamento de Água Superficial Utilizando Filtração Ascendente em Areia Grossa*. São Carlos. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DI BERNARDO, A. S. (2004). *Desempenho de Sistemas de Dupla Filtração no Tratamento de Água com Turbidez Elevada*. São Carlos, 2004, 281 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DI BERNARDO, L. (1993). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Rio de Janeiro, ABES. vol II, p. 216-280: Filtração direta ascendente.
- DI BERNARDO, L. & ISAAC, R. L. (2001). Direct Upflow Filtration – A Review. In: *Advances in Rapid Granular Filtration in Water Treatment. International Conference*, London, p. 251-268.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. (2002). *Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. São Carlos, Editora RiMa, 237 p.
- DI BERNARDO, L., coord. (2003). *Tratamento de Água por Filtração Direta*. Rio de Janeiro, ABES, Editora RiMa, 498 p, Projeto PROSAB.

- EIKEBROKK, B. (1999). Coagulation-Direct Filtration of Soft, Low Alkalinity Humic Waters. *Water Science & Technology: Removal of Humic Substances from Water*, vol 40, n. 9. International Association on Water Quality, p. 55-62.
- FERGUSON, D. W.; MCGUIRE, M. J.; KOCH, B.; WOLFE, R. L.; AIETA, E. M. (1990). Comparing Peroxone and Ozone for Controlling Taste and Odor Compounds, Disinfection Byproducts and Microorganisms. *Journal American Water Works Association*, vol. 82, n.4. AWWA, p. 181.
- FREEZE, S.D.; NOZAIC, D.; PRYOR, M.J.; TROLLIP, D.L.; SMITH, R.A. (1999). Comparison of Ozone and Hydrogen Peroxide/Ozone for the Treatment of Eutrophic Water. *Water Science & Technology*, vol. 39, n. 10-11, p. 325-328.
- GATES, D. J. (1998). *The Chlorine Dioxide Handbook*. Water Disinfection Series, AWWA, USA, 186 p.
- GOEL, S.; HOZALSKI, R. M.; BOUWER, E. J. (1995). Biodegradation of NOM: Effect of NOM Source and Ozone Dose. *Journal American Water Works Association*, vol. 87, n.1. AWWA, p. 90-105.
- GREGOR, J. E.; NOKES, C.J.; FENTON, E. (1997). Optimising Natural Organic Matter Removal from Low Turbidity Waters by Controlled pH Adjustment of Aluminium Coagulation. *Water Research*, vol. 31, nº 12, p. 2949-2958.
- GUSMÃO, P. T. (2001). *Utilização de Filtração Direta Ascendente como Pré-Tratamento à Filtração Rápida Descendente para Tratamento de Água para Abastecimento*. São Carlos. 335 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- HESPANHOL, I. (1999). Água e Saneamento Básico In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Uma Visão Realista em Águas Doces do Brasil - Capital Ecológico. Uso e Conservação*. São Paulo, Escrituras Editora, p. 249 - 304.
- HOIGNÉ, J. & BADER, H. (1976). Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes in Aqueous Solutions. *Water Resource*, n. 10, p. 377.
- INOUE, M. R. (2001). *Caracterização Hidrodinâmica de Colunas de Ozonização Operando em Regime de Escoamento em Contra-Corrente*. São Paulo. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- ISAAC, R. L. (1997). *Influência da Disposição dos Grãos de Areia na Eficiência da Filtração Direta Ascendente*. São Carlos. 74 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- KURODA, E. K. (2002) *Avaliação da Filtração Direta Ascendente em Pedregulho como Pré-Tratamento em Sistemas de Dupla Filtração*. São Carlos, 217 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. (1991). *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering*. AWWA Research Foundation and Lewis Publishers, USA, 569 p.
- LARA PINTO, D. M. C. (1994). *Influência das Descargas de Fundo Intermediárias na Filtração Direta Ascendente de Alta Taxa*. São Carlos. 194 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LU, X.; CHEN, Z.; YANG, X. (1999). Spectroscopic Study of Aluminium Speciation in Removing Humic Substances by Al Coagulation. *Water Research*, vol. 33, nº 15, p. 3271-3280.
- MASSCHELEN, W. (1977). Spectrophotometric Determination of Residual Hydrogen Peroxide. *Water and Sewerage Works*, p.69.
- MEGDA, C. R. (1999). *Filtração Direta Ascendente em Pedregulho como Pré-Tratamento à Filtração Rápida Descendente*. São Carlos. 167 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MENDES, C. G. N. (1985). *Estudo das Influências das Dosagens de Produtos Químicos na Filtração Direta Ascendente*. São Carlos. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ODEGAARD, H.; EIKEBROKK, B.; STORHAUG, R. (1999). Processes for the Removal of Humic Substances from Water - an Overview Based on Norwegian Experiences. *Water Science & Technology: Removal of Humic Substances from Water*, vol 40, n. 9. International Association on Water Quality, p. 37-46.
- O'MELIA, C. R., BECKER, W. C., AU, K. -K. (1999). Removal of Humic Substances by Coagulation. *Water Science & Technology: Removal of Humic Substances from Water*, vol 40, n. 9. International Association on Water Quality, p. 47-54.
- OWEN, D. M.; AMY, G. L.; CHOWDHURY, Z. K.; PAODE, R.; McCOY, G.; VISCOSIL, K. (1995). NOM - Characterization and Treatability. *Journal American Water Works Association*, vol. 87, n.1. AWWA, p. 46-63.
- PASCHOALATO, C. F. P. R.; FERREIRA, J. F.; TROFINO, J.; LATANZE, R.; OLIVEIRA JÚNIOR, M.; DI BERNARDO, L. Avaliação do Potencial de Formação de Subprodutos Orgânicos Halogenados com Uso de Cloro e Dióxido de Cloro Aplicado em Água Contendo Substâncias Húmicas. (CD ROM) XXIX Congresso

- Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*. San Juan, Puerto Rico, agosto 2004.
- PATERNIANI, J. E. S. (1986). *Estudo da Influência de Descargas de Fundo na Eficiência da Remoção de Microrganismos em Sistemas de Filtração Direta Ascendente*. São Carlos, 139 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RAUEN, T. G.; DEBACHER, N. A.; SIERRA, M. M. S.; SIERRA, E. J. S. (2002). Tensoatividade de Ácidos Húmicos de Procedências Distintas. *Química Nova*, vol. 25, n. 6, p. 909-913.
- ROCHA, J. C. & ROSA, A. H. (2003). *Substâncias Húmicas Aquáticas: Interação com Espécies Metálicas*. São Paulo, Editora UNESP, 120 p.
- ROSA, A. H., ROCHA, J. C.; FURLAN, M. (2000). Substâncias Húmicas de Turfa: Estudo dos Parâmetros que Influenciam no Processo de Extração Alcalina. *Química Nova*, vol. 23, n. 4., p. 472-476.
- SALDANHA, J. R. (2002). *Avaliação do Desempenho de uma Estação de Tratamento de Água com Sistema de Dupla Filtração, em Escala Real*. São Carlos. 214 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SARGENTINI JÚNIOR, E.; ROCHA, J.C.; ROSA, A. H.; ZARA, L. F.; SANTOS, A. (2001). Substâncias Húmicas Aquáticas: Fracionamento Molecular e Caracterização de Rearranjos Internos após Complexação com Íons Metálicos. *Química Nova*, vol. 24, n. 3, p. 339-344.
- SINGER, P.C. (1999). Humic Substances as Precursors for Potentially Harmful Disinfection By-products. *Water Science & Technology: Removal of Humic Substances from Water*, vol 40, n. 9. *International Association on Water Quality*, p. 25-30.
- STEVENS, A. A.; MOORE, L. A.; MILTNER, R. J. (1989). Formation and Control of Non-Trihalomethane Disinfection By-products. *Journal American Water Works Association*, vol. 81, n.8. AWWA, p. 54-60.
- TANGERINO, E. P. (2003). *Remoção de Substâncias Húmicas por meio de Oxidação com Ozônio e Peróxido de Hidrogênio e Filtração Lenta*. São Carlos. 265 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TEIXEIRA, B. A. N. (1986). *Influência das Características da Camada Suporte e da Areia na Eficiência da Filtração Direta Ascendente*. São Carlos. 194 p.

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

THURMAN, E. M. & MALCOLM, R. L. (1981). Preparative Isolation of Aquatic Humic Substances. *American Chemical Society*, vol. 15, n. 4, p. 463 – 466.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. (1995). *Method 551.1 - Determination of chlorination disinfection byproducts, chlorinated solvents, and halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection*. CD-ROM, USA.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA (1995). *Method 552.2 - Determination of haloacetic acids and dalapon in drinking water by liquid-liquid extraction, derivatization and gas chromatography with electron-capture detection*. CD-ROM, USA.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA (1999). *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*. USA.

WERDEHOFF, K. S. & SINGER, P. C. (1987). Chlorine Dioxide Effects on THMFP, TOXFP and the Formation of Inorganic By-products. *Journal American Water Works Association*, vol. 79, n.9. AWWA, p. 107.

WIECHETECK, G. K. ; BENINI, B. D. S.; DI BERNARDO, L. (2004). Remoção de Substâncias Húmicas Utilizando Dupla Filtração com Filtro Ascendente de Areia Grossa ou de Pedregulho. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, p. 156 – 164, Vol. 9, nº 2.