

ADIÉLITON GALVÃO DE FREITAS

**RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS EM ESCALA PILOTO:
UMA CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE PERIGOS ASSOCIADOS À
PRESENÇA DE PROTOZOÁRIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F866r
2007

Freitas, Adieliton Galvão de, 1982-

Recirculação de água de lavagem de filtros em escala piloto: uma contribuição para avaliação de perigos associados à presença de protozoários / Adieliton Galvão de Freitas. – Viçosa, MG, 2007. xv, 105f. : il. ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 71-75.

1. Água - Purificação. 2. *Cryptosporidium* spp.
3. *Giardia* spp. 4. Polímeros. 5. Água - Estações de tratamento. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

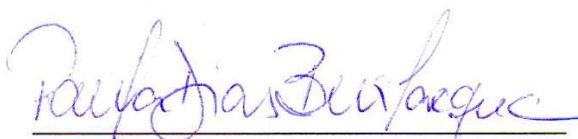
CDD 22.ed. 628.162

ADIELITON GALVÃO DE FREITAS

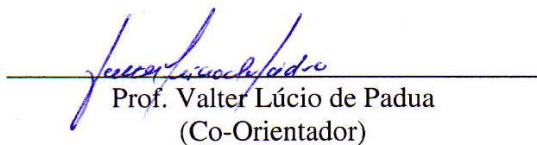
**RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS EM ESCALA
PILOTO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE PERIGOS
ASSOCIADOS À PRESENÇA DE PROTOZOÁRIOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 10 de agosto de 2007



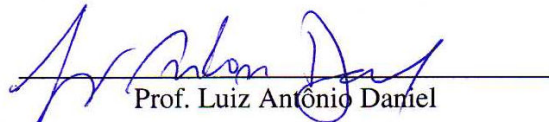
Prof^a. Paula Dias Bevilacqua
(Co-Orientadora)



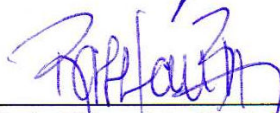
Prof. Valter Lúcio de Padua
(Co-Orientador)



Prof^a Ann Honor Mounteer



Prof. Luiz Antônio Daniel



Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos
(Orientador)

À DEUS
AOS MEUS PAIS
À MARJORRIE
AO MEU IRMÃO

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela vida e saúde;

Ao Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos pela amizade, paciência e ensinamentos no desenvolvimento deste trabalho.

À Profª. Paula Dias Bevilacqua, pelo apoio, conselhos e opiniões valiosas.

Ao Prof. Valter Lúcio de Pádua pelo auxílio e ensinamentos na construção da ETA piloto, bem como às sugestões na banca.

Aos professores Luiz Antônio Daniel e Ann Honor Munteer pela participação na banca e as valiosas sugestões.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Civil, que me possibilitaram a realização do mestrado.

À Divisão de Água e Esgotos da UFV (DAG UFV), por toda a infra-estrutura de pesquisa.

À Fapemig pelo apoio financeiro para desenvolvimento da pesquisa e à CAPES pela bolsa de estudo.

A FINEP pelo apoio financeiro e ao CNPq pela concessão de bolsas de Iniciação Científica no âmbito do projeto PROSAB.

Aos servidores da DAG UFV pelo apoio e atenção dispensada durante todo o trabalho, em especial ao Luis Eduardo, Regiane, Raimundo Jacinto e Sebastião Camilo.

Às colegas Grazielle, Mônica, Neliane e Rosane, agradeço o apoio e a colaboração imprescindíveis.

Aos colegas de mestrado, Anderson, Endrik, Renata e Sheila pela amizade e companheirismo.

Ao carinho e colaboração indispensável do meu tio Élcio e os demais técnicos do Setor de Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Pública, Departamento de Veterinária.

Aos estagiários, Thiago Otto, Felipe Pires, Gabriel Rezende e, principalmente, João Francisco Pimenta, pelo trabalho responsável que realizaram e a dedicação demonstrada.

À todos os colegas e companheiros do Laboratório de Controle da Qualidade da Água pela amizade e pelo maravilhoso clima de trabalho.

Aos colegas da Superintendência de Sustentabilidade Empresarial da Cemig, em especial ao Luiz Augusto Barcellos de Almeida e Ricardo Prata Camargos e José Geraldo V. Silva.

Aos meus pais Adílio e Cecília, e ao meu irmão Adilécio pelo apoio e incentivo durante toda minha vida. Palavras não são suficientes para expressar o quanto sou grato: MUITO OBRIGADO.

À Marjorrie pela dedicação, carinho e companheirismo incondicionais.

Ao Filipe, Anderson, André e Luciano pela amizade.

À todos os meus amigos e parentes, que acreditaram e confiaram na concretização do meu trabalho.

E todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Adiéliton Galvão de Freitas, filho de Adílio Lourenço de Freitas e Maria Cecília Galvão de Freitas, nasceu em Viçosa, no dia 07 de abril de 1982.

Em janeiro de 2005, graduou-se em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2005, iniciou o curso de Mestrado em engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Saneamento, submetendo-se à defesa de dissertação em 10 de agosto de 2007.

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMO..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xvi |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS..... | 3 |
| 2.1. Objetivo geral..... | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 3.1. Lavagem de filtros..... | 3 |
| 3.2. Características das águas de lavagem de filtros..... | 6 |
| 3.2.1. Características físicas e químicas..... | 6 |
| 3.2.2. Características microbiológicas..... | 8 |
| 3.3. Recirculação de água de lavagem de filtros..... | 10 |
| 3.3.1. Tratamento de água de lavagem de filtros..... | 10 |
| 3.3.2. Práticas e critérios de recirculação de água de lavagem de filtros..... | 16 |
| 4. A ETA UFV..... | 19 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS..... | 24 |
| 5.1. Caracterização da água de lavagem de filtro da ETA UFV..... | 24 |
| 5.2. Ensaio de clarificação da água de lavagem de filtro em colunas de sedimentação..... | 25 |
| 5.3. Experimentos de recirculação de ALF..... | 27 |
| 5.3.1. Descrição da ETA piloto..... | 28 |
| 5.3.2. Experimentos em escala piloto..... | 34 |
| 5.4. Sistematização e análise dos dados..... | 35 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 38 |
| 6.1. Caracterização da água bruta e da água de lavagem dos filtros da ETA UFV..... | 38 |
| 6.2. Ensaio de clarificação da água de lavagem de filtros da ETA UFV em colunas de sedimentação..... | 45 |
| 6.3. Avaliação preliminar de introdução de perigos com a recirculação de água de lavagem de filtros..... | 57 |
| 6.4. Ensaio de recirculação de água de lavagem do filtro na ETA Piloto..... | 59 |
| 6.4.1. Recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto clarificada com polímero..... | 61 |
| 6.4.2. Recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto clarificada sem a utilização de polímero..... | 63 |
| 6.4.3. Recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto sem clarificação..... | 64 |
| 6.4.4. Síntese dos resultados dos ensaios de recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto..... | 65 |
| 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE DOS ESTUDOS..... | 69 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 71 |
| ANEXO A: RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CLARIFICAÇÃO DA ALF EM COLUNA DE SEDIMENTAÇÃO..... | 76 |
| ANEXO B: RESULTADOS DOS ENSAIOS NA ETA PILOTO..... | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| | página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 3.1: Variação de turbidez e da concentração de sólidos totais suspensos durante a lavagem do filtro..... | 5 |
| Figura 3.2: Turbidez da água de lavagem dos filtros, Grupos 1, 2 e 3..... | 6 |
| Figura 3.3: Ilustração esquemática da equalização de vazões de águas de lavagem de filtros..... | 12 |
| Figura 3.4: Ilustração esquemática de um processo de clarificação por sedimentação de água de lavagem de filtros..... | 13 |
| Figura 3.5: Ilustração esquemática de sistemas de lagoas para a sedimentação de águas de lavagem de filtros..... | 15 |
| Figura 4.1: Detalhe da calha Parshall da ETA UFV..... | 20 |
| Figura 4.2: Vista do floculador e do decantador da ETA UFV..... | 20 |
| Figura 4.3: Vista dos filtros da ETA UFV..... | 20 |
| Figura 4.4: Início (a) e fim (b) da operação de lavagem dos filtros da ETA UFV... | 21 |
| Figura 4.5: Situação do corpo d'água no ponto de lançamento dos resíduos da ETA UFV..... | 21 |
| Figura 4.6: Estatística descritiva da turbidez da água bruta, ETA UFV, Viçosa – MG, janeiro de 2001 a maio de 2007..... | 22 |
| Figura 4.7: Turbidez da água decantada, ETA UFV, janeiro de 2001 a maio de 2007..... | 22 |
| Figura 4.8: Turbidez da água filtrada, ETA UFV, janeiro de 2001 a maio de 2007. | 23 |
| Figura 4.9: Doses médias de sulfato de alumínio, ETA UFV, 2003 a 2007..... | 23 |
| Figura 4.10: Volume de água tratado, ETA UFV, 2003 a 2007..... | 24 |
| Figura 5.1: Etapas da lavagem dos filtros da ETA UFV: (1) início da operação; (2) após 2 min e detalhe da coleta de amostras; (3) após 3 - 5 min; (4) final da operação, após 8 – 10 min..... | 25 |
| Figura 5.2: Coluna de sedimentação utilizada nos ensaios de clarificação da água de lavagem de filtros..... | 26 |
| Figura 5.3: Fluxograma esquemático dos ensaios de clarificação..... | 27 |
| Figura 5.4: Detalhe da tomada de água bruta para alimentação da ETA piloto..... | 28 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5.5: Vista parcial da ETA piloto..... | 29 |
| Figura 5.6: Ilustração esquemática da ETA piloto..... | 29 |
| Figura 5.7: Detalhes do ponto de mistura água bruta + ALF, da aplicação e mistura do coagulante..... | 30 |
| Figura 5.8: Vista lateral do floculador da ETA Piloto..... | 31 |
| Figura 5.9: Vista superior do decantador da ETA piloto..... | 32 |
| Figura 5.10: Detalhe do clarificador da água de lavagem de filtros da ETA piloto..... | 33 |
| Figura 6.1: Variação de turbidez durante a lavagem, filtros 1 e 2, ETA UFV, Viçosa – MG..... | 42 |
| Figura 6.2: Estatística descritiva da turbidez da água de lavagem dos filtros da ETA UFV, Viçosa - MG, 2006 e 2007..... | 44 |
| Figura 6.3: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses de polímero aniônico de 2 a 10 mg . L ⁻¹ , concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min..... | 45 |
| Figura 6.4: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses de polímero não-iônico de 2 a 10 mg . L ⁻¹ , concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min..... | 46 |
| Figura 6.5: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses de polímero catiônico de 2 a 10 mg . L ⁻¹ , concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 minutos..... | 46 |
| Figura 6.6: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero aniônico de 2 mg . L ⁻¹ tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%, 0,3% e 0,6%..... | 47 |
| Figura 6.7: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero não-iônico de 2 mg . L ⁻¹ tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%, 0,3% e 0,6%..... | 47 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 6.8: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero catiônico de 2 mg . L ⁻¹ tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%, 0,3% e 0,6%..... | 48 |
| Figura 6.9: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses do polímero aniônico de 1, 2 e 3 mg . L ⁻¹ , tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%..... | 48 |
| Figura 6.10: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses do polímero não-iônico de 1, 2 e 3 mg . L ⁻¹ , tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%..... | 49 |
| Figura 6.11: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses do polímero catiônico de 1, 2 e 3 mg . L ⁻¹ , tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%..... | 49 |
| Figura 6.12 Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero catiônico de 1,0 mg . L ⁻¹ , concentração de 0,1% e tempos de mistura de 3, 5, 7 e 10 minutos..... | 50 |
| Figura 6.13: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero não iônico de 1 mg . L ⁻¹ , concentração de 0,1% e tempos de mistura de 3, 5, 7 e 10 minutos..... | 50 |
| Figura 6.14: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero aniônico de 1 mg . L ⁻¹ , concentração de 0,1% e tempos de mistura de 3, 5, 7 e 10 minutos..... | 51 |
| Figura 6.15: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura; polímero catiônico: 1 mg . L ⁻¹ , 0,1% e tempo de mistura 10 minutos; polímero não iônico: 1 mg . L ⁻¹ , 0,1% e tempo de mistura 5 minutos; polímero aniônico: 1 mg . L ⁻¹ , 0,1% e tempo de mistura 7 minutos (ensaio 1)..... | 52 |
| Figura 6.16: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura; polímero catiônico: 1 mg . L ⁻¹ , 0,1% e tempo de mistura 10 minutos; polímero não iônico: 1 mg . L ⁻¹ , 0,1% e tempo de mistura 5 minutos; polímero aniônico: 1 mg . L ⁻¹ , 0,1% e tempo de mistura 7 minutos (ensaio2)..... | 53 |
| Figura 6.17: Variação de turbidez da água de lavagem do filtro da ETA piloto durante a operação de limpeza..... | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabela 3.1: Características típicas de água de lavagem de filtros..... | 6 |
| Tabela 5.1: Vazões da ETA piloto e gradientes de velocidade de mistura rápida utilizados nos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtros..... | 30 |
| Tabela 5.2: Gradientes de velocidade e tempo de floculação da ETA piloto para a vazão de projeto..... | 31 |
| Tabela 5.3: Dimensões do floculador da ETA piloto..... | 31 |
| Tabela 5.4: Gradientes de velocidades nas câmaras de floculação para as vazões utilizadas na ETA piloto..... | 32 |
| Tabela 5.5: Características do leito filtrante..... | 33 |
| Tabela 6.1: Caracterização microbiológica da água bruta e da água de lavagem dos filtros da ETA UFV, Viçosa - MG, 2006..... | 38 |
| Tabela 6.2: Estatística descritiva dos dados de protozoários na água bruta, Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa - MG, 2006 e 2007..... | 39 |
| Tabela 6.3: Caracterização física e química da água de lavagem dos filtros da ETA UFV, média e desvio-padrão..... | 43 |
| Tabela 6.4: Velocidades de sedimentação e turbidez remanescente nos ensaios finais realizados com polímeros catiônico, aniônico e não-iônico..... | 51 |
| Tabela 6.5: Composição física e química da água de lavagem dos filtros da ETA UFV e das amostras clarificadas em ensaios em colunas de sedimentação..... | 54 |
| Tabela 6.6: Caracterização microbiológica da água de lavagem do filtro 2 a ETA UFV e das amostras clarificadas em ensaios em colunas de sedimentação..... | 54 |
| Tabela 6.7: Simulação da variação percentual da carga microbiana afluenta a ETA UFV em diferentes cenários de recirculação da água de lavagem de filtros... | 57 |
| Tabela 6.8: Caracterização da água de lavagem de filtro, ETA piloto e ETA UFV média e desvio-padrão..... | 59 |
| Tabela 6.9: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação com polímero catiônico..... | 60 |
| Tabela 6.10: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação sem utilização de polímero..... | 62 |
| Tabela 6.11: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, sem clarificação..... | 63 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 6.12: Resultados dos ensaios sem recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto..... | 65 |
| Tabela 6.13: Síntese dos resultados dos ensaios de recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto..... | 66 |
| Tabela 6.14: Testes de correlação entre a turbidez da água bruta e a ocorrência de protozoários..... | 67 |

RESUMO

FREITAS, Adielton Galvão de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2007. **Recirculação de água de lavagem de filtros em escala piloto: uma contribuição para avaliação dos perigos associados à presença de protozoários.** Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. Co-Orientadores: Paula Dias Bevilacqua e Valter Lúcio de Pádua.

A caracterização da água de lavagem de filtros (ALF) da estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV), somada à realização de experimentos em uma ETA em escala piloto, indicaram que a recirculação de ALF sem tratamento prévio pode se configurar como introdução de perigos no processo de tratamento. A concentração média de (oo)cistos de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. na ALF foi de 1,3 a 4,5 vezes maior do que a da água bruta. Com vistas à avaliação de critérios para clarificação da ALF foram conduzidos ensaios em colunas de sedimentação da ALF, com e sem aplicação de polímeros (catiônico, aniônico e não iônico), variando as doses e a concentração dos polímeros, além dos tempos de mistura. A utilização do polímero catiônico na dosagem de $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1 % e tempo de mistura 10 minutos, proporcionou as menores concentrações dos diversos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados, sendo que os piores resultados foram registrados nos ensaios sem aplicação de polímeros. Nos ensaios de recirculação da ALF em escala piloto, sob condições experimentais, as variáveis testadas foram turbidez da água bruta e da ALF, razão de recirculação e de tratamento prévio (clarificação com e sem condicionamento químico). Protozoários foram detectados no efluente do decantador nas seguintes situações: (i) ensaio sem recirculação da ALF para a vazão de projeto da ETA piloto; (ii) ensaio de recirculação da ALF com clarificação com polímero, 15% de incremento sobre a vazão de projeto; nesse ensaio a turbidez da água bruta e da água decantada eram elevadas e a turbidez da ALF clarificada era baixa ($< 5 \text{ uT}$) e foram detectados protozoários na água bruta e na ALF clarificada; (iii) recirculação da ALF sem clarificação, incremento de 5% sobre a vazão de projeto; nesse caso foram detectados protozoários também na água bruta e na ALF (turbidez da ALF elevada, $> 60 \text{ uT}$). Na água filtrada, protozoários foram detectados apenas uma vez, quando da recirculação da ALF sem clarificação, com incremento de 20% sobre a vazão de projeto; nesse ensaio a elevada turbidez da ALF ($\approx 60 \text{ uT}$) provocou incremento de cerca de 100% na turbidez afluente à ETA piloto; protozoários estiveram presentes também na ALF, mas ausentes na água bruta. Os

resultados obtidos não permitiram afirmações conclusivas sobre critérios de qualidade ALF (limites de turbidez) e de razão de recirculação; não obstante há sugestões de que estes parâmetros assumam valores os mais baixos possíveis.

ABSTRACT

FREITAS, Adiéilton Galvão de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2007.

Recycling of filter backwash water in pilot scale: a contribution for evaluation of the hazards associated to the presence of protozoa. Adviser: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. Co-Advisers: Paula Dias Bevilacqua and Valter Lúcio de Pádua

Characterization of the filter backwash water (FBW) from the Federal University of Viçosa water treatment plant (UFV WTP), as well as the results from experiments conducted in a pilot scale WTP, suggested that recycling FBW could be regarded as a hazard introduction in the treatment process. The average concentration of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. (oo)cysts in FBW was 1.3 to 4.5 times higher than that found in raw water. Aiming at evaluating FBW treatment criteria, experiments using sedimentation columns were conducted with and without polymer application (cationic, anionic and non-ionic), employing different polymer doses and concentrations, as well as mixing times. The use of the cationic polymer - $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentration of 0.1% and 10 minutes mixing time - provided the lowest final concentrations of the various physical, chemical and microbiological parameters analyzed; on the other hand the worst results were obtained when polymers were not applied. In the FBW pilot scale experiments, under variable conditions of raw water and FBW turbidity, recirculation ratios and previous treatment (clarification with and without chemical conditioning), protozoa were detected in the sedimentator effluent in the following situations: (i) in the trial without FBW recirculation, using the WTP design flow; (ii) in the trial with FBW clarification using polymer and recirculation, applying 15% flow excess over the design flow; in this trial both the raw water and the sedimentator effluent presented high turbidity, but FBW turbidity was low ($< 5 \text{ NTU}$); protozoa were detected both in raw water and clarified FBW.; (iii) in the trial with FBW recirculation without pre-clarification, 5% flow excess, FBW high turbidity ($> 60 \text{ NTU}$), presence of protozoa both in raw water and clarified FBW. In filtered water samples protozoa were detected only once, when FBW was recycled without pre-clarification, applying 20% flow excess; in this trial the FBW high turbidity ($\approx 60 \text{ NTU}$) doubled the affluent water turbidity; protozoa were also detected in FBW but were absent in raw water samples. The results did not allow conclusive statements regarding FBW water quality (turbidity

limits) and recycling flow ratio. Nevertheless, there are suggestions that low values of such parameters would be advisable.

1. INTRODUÇÃO

A imensa maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) em operação no Brasil emprega tratamento em ciclo completo: mistura rápida-coagulação, floculação, decantação e filtração. Para a realização dessas etapas é necessária a adição de produtos químicos, como os sais de ferro e alumínio (coagulantes), gerando quantidades consideráveis de resíduos com elevado potencial poluidor – água de lavagem de filtros (ALF) e lodo de decantadores. As características desses resíduos variam de estação para estação, dependendo das características da água bruta, do tipo de condicionantes químicos utilizados no tratamento da água e das práticas operacionais. Os resíduos são compostos principalmente por argilas, siltes, areia fina, material húmico e microrganismos, bem como de produtos provenientes do processo de coagulação.

Há muito tempo o destino dos resíduos de ETAs vem sendo os cursos d'água mais próximos e, em que pese a fiscalização cada vez mais rigorosa dos órgãos ambientais, no Brasil, ainda são poucos os sistemas que já implementaram medidas adequadas de tratamento e manejo de lodos de decantadores e ALF.

A água utilizada para a retrolavagem de filtros rápidos pode representar de 2,0% a 10% do volume total tratado, gerando grandes volumes de resíduos em curtos espaços de tempo (USEPA, 2002). Assim, sob a ótica da minimização de impactos ambientais e da economia de água, tem crescido o interesse na recirculação de ALF.

Entretanto, a prática de recirculação de ALF pode ser considerada como introdução de um perigo no processo de tratamento da água, podendo implicar risco à saúde da população consumidora, associado, na grande maioria dos casos, à presença de (oo)cistos de protozoários na água de lavagem de filtros. Isso por que Isso por que, em decorrência de suas dimensões e da sua forma encistada, os protozoários, principalmente o *Cryptosporidium*, podem passar pelos filtros e são pouco susceptíveis às doses de cloro utilizadas nas estações.

Surtos de giardíase e criptosporidiose em populações humanas têm sido associados à recirculação de água de lavagem de filtros e a outras situações, tais como, não filtração da água, operação inadequada de ETAs (ex.: coagulação não otimizada, carreiras e taxas de filtração não controladas) ou pós-contaminação no sistema de distribuição (CRAUN, 1979; SOLO-GABRIELE e NEUMEISTER, 1996; CRAUN *et al.*, 1998).

A atenção, conhecimento e discussão das implicações quanto ao que fazer com esses resíduos', ainda é muito recente, permanecendo, de certa forma, o desafio inicial de se conhecer melhor as características dos resíduos de ETAs e das alternativas de manejo, tratamento e disposição final (BARROSO e CORDEIRO, 2001). Muito há ainda por ser elucidado em termos de otimização e segurança técnica, econômica e, principalmente, sanitária.

Ferreira Filho e Alem Sobrinho (1998) relatam que a concepção do sistema de recuperação de água de lavagem é profundamente dependente do sistema de filtração, do tipo de pré-tratamento ao qual a água afluenta aos filtros é submetida e das características exigidas para a água recuperada.

Em termos gerais, recomenda-se que a recirculação da ALF seja realizada com os devidos cuidados, dentre os quais destacam-se a clarificação e o controle da razão de recirculação da ALF (USEPA, 2000). Cornwell e Lee (1994), Kawamura (2000), recomendam que a vazão de recirculação seja mantida abaixo de 10% da vazão da ETA, mas em USEPA (2000) há destaque para que esta porcentagem seja estabelecida para cada ETA, com o intuito de impactar da menor forma possível a qualidade final da água tratada.

Dentre as alternativas para clarificação, a sedimentação é a mais difundida e o condicionamento da ALF pode ser efetuado com o auxílio de polímeros. Como em qualquer processo de tratamento, a seleção de critérios de projeto ou de operação deve ser realizada, preferencialmente, com base em ensaios de tratabilidade.

No Brasil, ainda não se dispõe de normas técnicas ou legislação específica para o tratamento e recirculação de ALF, mas por outro lado é crescente o interesse e a implantação em escala real de tal prática. Torna-se, então, necessária, uma melhor apropriação técnica do problema, incluindo a perspectiva dos riscos potenciais à saúde. Nesse sentido, pretende-se contribuir com o presente trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o potencial de introdução de perigos associados à recirculação de água de lavagem de filtro em estações de tratamento de água, utilizando experimentos em escala piloto.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a água de lavagem de filtros da Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV) desde os pontos de vista de impacto ambiental e de identificação de perigos (risco potencial à saúde).
- Avaliar, por meio de ensaios em coluna de sedimentação, critérios para a clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros.
- Avaliar, por meio de ensaios em escala piloto, critérios para recirculação de água de lavagem de filtro, variando características como turbidez, razão de recirculação e utilização de tratamento prévio (clarificação com e sem condicionamento químico).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Lavagem de filtros

A geração de ALF é parte integrante da operação de uma ETA. Os filtros são normalmente retrolavados com água tratada. A vazão utilizada deve ser suficiente para expandir o leito filtrante e desprender o material sólido retido na camada filtrante e por isso é necessária a utilização de vazão bem acima da vazão de operação da estação, levando à produção de grande volume de água residuária, num curto espaço de tempo (USEPA, 2002).

Em geral, a lavagem dos filtros é realizada em intervalos de 24 a 72 horas, com duração de 10 a 25 minutos e taxa de aplicação da ordem de 10 a 15 L. m⁻². s⁻¹ (DI BERNARDO *et al.*, 2002; USEPA, 2002). Dependendo do porte da ETA e do número de filtros, a geração de ALF pode ser praticamente contínua, devido à lavagem alternada de filtros trabalhando em paralelo. Um consumo tão elevado de água e a crescente

escassez de fontes de abastecimento têm, portanto, despertado cada vez mais o interesse no reaproveitamento desse efluente.

Paralelamente ao reaproveitamento da ALF, é necessário diminuir o volume de água gasto na lavagem dos filtros. Os principais métodos de lavagem de meios filtrantes podem ser classificados em três grandes categorias, a saber: (a) lavagem exclusivamente com água; (b) lavagem com ar seguida de água; (c) lavagem com ar e água, simultaneamente (SANTOS FILHO e SANTA RITA, 2002). Cada método apresenta suas vantagens e desvantagens e, com base nisso, aliado às características da água decantada, do arranjo físico e da concepção da ETA, é que o método de lavagem deve ser selecionado.

Os sistemas que utilizam a lavagem com ar e água podem gastar de 30 a 50% menos água do que sistemas que utilizam apenas água (USEPA, 2000). Uma alternativa que pode ser aplicada em alguns casos seria reduzir o tempo de lavagem dos filtros, pois lavagens muito longas podem contribuir para a deterioração do leito filtrante. A lavagem deve ser concluída quando a turbidez do efluente estiver entre 10 e 15 uT (KAWAMURA, 2000); entretanto a turbidez ótima da ALF, ou o tempo de lavagem, devem ser determinados em cada sistema. O aumento da carreira de filtração também pode ser interessante, pois reduz significativamente o volume de água gasto ao longo do tempo. Caso tais práticas sejam adotadas, torna-se necessário avaliar o impacto na qualidade final da água produzida (USEPA, 2002).

Souza Filho (1998) avaliou a variação da turbidez e da concentração de sólidos totais suspensos durante a lavagem de um filtro. Foi observada variação no valor máximo de turbidez e sólidos suspensos totais, bem como o tempo em que isso ocorreu após o início da lavagem. Segundo o autor, isso se daria pela variação da qualidade da água, duração da carreira de filtração, operação de lavagem e vazão tratada na ETA. Em geral, os valores máximos de turbidez e sólidos totais suspensos ocorreram no início da lavagem o filtro, após cerca de 60 a 120 s (Figura 3.1).

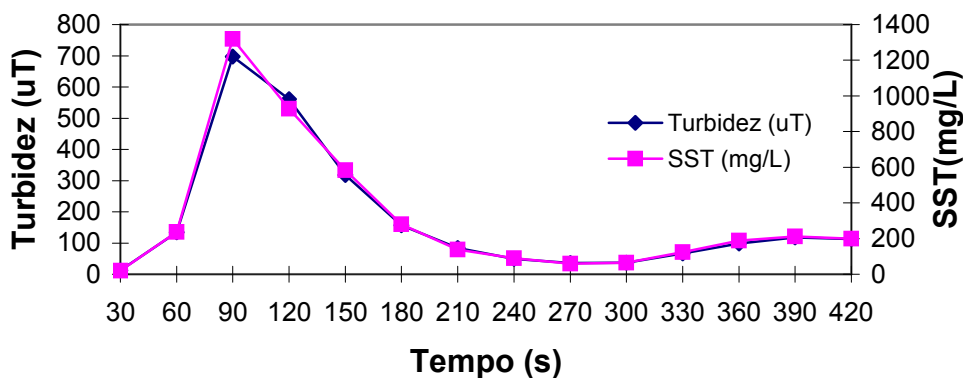


Figura 3.1: Variação de turbidez e da concentração de sólidos totais suspensos durante a lavagem do filtro.

Fonte: Souza Filho (1998)

Em um trabalho realizado na ETA UFV, Oliveira *et al.* (2006) registraram procedimentos distintos de lavagem, empreendidos por diferentes operadores, e procuraram verificar o efeito no processo de lavagem em si e na qualidade da água filtrada da carreira de filtração subsequente. Em resumo, foram identificadas três situações: (i) Grupo 1 - caracterizado por picos acima de 100 uT no início da operação (1,0 min), seguidos de um decréscimo lento na turbidez da água de lavagem; (ii) Grupo 2 - picos menos acentuados de turbidez da água de lavagem (≈ 70 uT), seguidos também por decréscimo relativamente lento e (iii) Grupo 3 - pico iniciais de turbidez também elevados (≈ 100 uT), porém mais retardados, seguidos de quedas mais bruscas da turbidez da água de lavagem (Figura 3.2).

Segundo os autores, o melhor procedimento de lavagem dos filtros, representado pelo Grupo 1, é evidenciado por uma maior duração média das carreiras de filtração e pelo melhor atendimento da meta de turbidez da água filtrada com vistas a assegurar uma adequada de remoção (oo)cistos protozoários – turbidez menor que 0,5 uT.

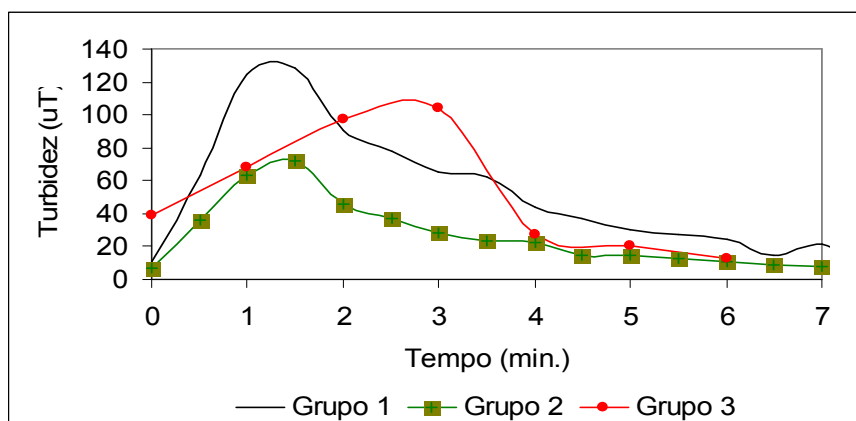


Figura 3.2: Turbidez da água de lavagem dos filtros, segundo procedimentos distintos de lavagem.

Fonte: Oliveira *et al.* (2006)

3.2. Características das águas de lavagem de filtros

3.2.1. Características físicas e químicas

As características da ALF variam de estação para estação, dependendo das impurezas contidas na água bruta, do tipo de coagulante e dos condicionantes químicos utilizados no tratamento da água.

Na Tabela 3.1 apresentam-se algumas características físicas e químicas típicas de ALF e, a seguir, informações adicionais por parâmetro.

Tabela 3.1: Características típicas de água de lavagem de filtros.

| Parâmetro | Faixa de valores |
|------------------------------------------|------------------|
| Turbidez (uT) | 50 -170 |
| DQO (mg . L ⁻¹) | 30 -50 |
| pH | 6,9 -8,0 |
| Sólidos totais (mg . L ⁻¹) | 90 -370 |
| Sólidos fixos (mg . L ⁻¹) | 70 -160 |
| Sólidos voláteis (mg . L ⁻¹) | 20 -210 |

Fonte: adaptado de Di Bernardo *et al.* (2002)

Turbidez

Um parâmetro rotineiramente empregado para avaliar as características da ALF é a turbidez, principalmente devido à simplicidade da análise. Di Bernardo *et al.* (1999) indicam que a turbidez média da água de lavagem de filtros varia entre 50 uT e 170 uT. Kawamura (2000) relata que a turbidez da ALF em ETAs de ciclo completo varia entre

150 uT e 250 uT. Dados de outro estudo mostram que a turbidez variou entre 0,57 uT e 97 uT durante a lavagem do filtro (CORNWELL e LEE, 1993). Souza Filho e Di Bernardo (1999) encontraram picos de turbidez de até 700 uT, 90 segundos após o início da lavagem do filtro. Tobiason *et al.* (2003), observaram variações de turbidez média das amostras compostas de 150 uT a 400 uT em três ETAs nos Estados Unidos. Nos estudos de Le Gouellec *et al.* (2004) em ETAs em escala real, a turbidez variou entre 24 uT e 126 uT no decorrer da lavagem. Bastos *et al.* (2005), em trabalho realizado na ETA UFV, encontraram como valor médio de turbidez da ALF, 103 uT. Outros trabalhos conduzidos na mesma unidade resultaram em decaimento da turbidez da ALF de 523 uT para 6,4 uT em oito minutos de lavagem¹.

Concentração de sólidos

A concentração de sólidos varia amplamente dependendo da característica da água bruta, tipo e dosagem do coagulante usado e do mecanismo de coagulação (SOUZA FILHO, 1998).

Grandin (1992), Scalize (1997), Souza Filho (1998) afirmam que a concentração de sólidos pode variar de 50 a 300 mg . L⁻¹, em condições usuais de operação, podendo atingir até 500 mg . L⁻¹ se a carreira de filtração alcançar 80 a 100 h. Ferreira Filho *et al.* (1997) encontraram valores médios de 460 mg . L⁻¹. No trabalho de Tobiason *et al.* (1999) foram registrados picos variando de 600 a 7.000 mg . L⁻¹. Bashaw *et al.* (2000), encontraram picos de 300 mg . L⁻¹ e média de 71 mg . L⁻¹ durante os primeiros três minutos de lavagem do filtro, enquanto Tobiason *et al.* (2003) encontraram valores de pico de 700 mg . L⁻¹.

Concentração de metais

A determinação da concentração de metais em despejos de ETAs, lodo de decantador e ALF, é importante, pois sua presença pode afetar o reúso ou disposição. Pode haver impacto na disposição dos lodos em aterros sanitários e se estes forem enviados para o sistema de esgoto podem inibir o tratamento biológico na ETE (SOUZA FILHO, 1998).

¹ Dados disponíveis, porém não publicados.

Grande quantidade dos metais contidos nos despejos de ETAs é constituída por impurezas dos coagulantes e, portanto, devem ser tomados os devidos cuidados na especificação dos coagulantes e outras substâncias químicas adicionadas à água (SOUZA FILHO, 1998).

Souza Filho (1998) encontrou valores de $700 \text{ mg Fe} \cdot \text{L}^{-1}$, $2,20 \text{ mg Mn} \cdot \text{L}^{-1}$, $2,00 \text{ mg Zn} \cdot \text{L}^{-1}$ e $0,60 \text{ mg Pb} \cdot \text{L}^{-1}$ em uma ETA que utiliza como coagulante cloreto férrico. Arota *et al.* (2001) encontraram concentrações de $0,027 \text{ mg Br} \cdot \text{L}^{-1}$, $14,8 \text{ mg Al} \cdot \text{L}^{-1}$; $9,1 \text{ mg Fe} \cdot \text{L}^{-1}$, $1,4 \text{ mg Mn} \cdot \text{L}^{-1}$ e $0,1 \text{ mg Zn} \cdot \text{L}^{-1}$. Tobiason *et al.* (2003) encontraram picos de concentração de Al e Mn de $160 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e $1,23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente.

Saliente-se que a maioria desses valores está acima dos limites permitidos para lançamento de efluentes em corpos d'água.

3.2.2. Características microbiológicas

O estudo das características microbiológicas das águas a serem reutilizadas ou dispostas é de suma importância, com a finalidade de minimizar riscos à saúde.

Quando se promove a reciclagem de ALF, independentemente se precedida ou não de tratamento, é necessário manter um monitoramento constante da qualidade da ALF e água tratada, comparando a qualidade durante o período de reciclagem com o período que esta operação não está sendo realizada. Os principais contaminantes microbiológicos que devem ser avaliados são *Cryptosporidium* e *Giardia* (USEPA, 2002).

Muitas vezes a ALF reciclada contém concentrações mais elevadas de oocistos de *Cryptosporidium* do que a própria água bruta; estar-se-ia, então, introduzindo uma quantidade adicional desse protozoário no processo de tratamento, o que tende a aumentar o risco da presença desse patógeno na água distribuída à população (USEPA, 2002).

Em um estudo realizado pela American Water Works Association Research Foundation, de 146 amostras de ALF analisadas, 8% foram positivas para *Giardia*, tendo como média geométrica $2,03 \text{ cistos} \cdot \text{L}^{-1}$; *Cryptosporidium* foram detectados em 5% das amostras, tendo como média geométrica $1,75 \text{ oocistos} \cdot \text{L}^{-1}$. As concentrações de

Giardia e *Cryptosporidium* encontradas na ALF foram, respectivamente, 16 e 21 vezes maiores do que na água bruta (USEPA, 2000).

Em uma pesquisa realizada em 34 ETAs nos EUA Le Chevallier (1991) registrou médias geométricas de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* nas amostras de ALF de $0,59 \cdot L^{-1}$ e $3,21 \cdot L^{-1}$, que foram 16 e 61 vezes maiores do que na água bruta, respectivamente.

Karanis *et al.* (1998), investigando seis unidades de tratamento convencional na Alemanha, detectaram oocistos de *Cryptosporidium* em concentrações médias superiores a $2,57 \cdot L^{-1}$. Rose *et al.* (1988) encontraram concentrações de *Cryptosporidium* de 686,9 e 2.430,6 oocistos $\cdot L^{-1}$ em duas amostras de ALF. Durante a investigação de um surto na Inglaterra, Colbourne (1989) encontrou concentrações de *Cryptosporidium* de 10.000 oocistos $\cdot L^{-1}$. Vários outros estudos indicam que a concentração de *Cryptosporidium* em ALF pode ser superior a 100 oocistos $\cdot L^{-1}$ (COLBOURNE, 1989; CORNWELL e LEE, 1993).

Arota *et al.* (2001) avaliaram a presença de *Cryptosporidium* e *Giardia* na água bruta e na ALF em diversas ETAs nos Estados Unidos. Em 30% das amostras de água bruta e 8% das da ALF foram encontrados *Giardia*, tendo como médias 1 e 4,70 cistos $\cdot L^{-1}$. Oocistos de *Cryptosporidium* ocorreram em 5% das amostras de água bruta (média geométrica de $0,94 \cdot L^{-1}$) e em 5,6% das amostras de ALF (média de $4,50 \cdot L^{-1}$). Observe-se que as concentrações dos protozoários encontrados na água bruta foram cerca de cinco vezes menores do que na ALF.

Scalize e Di Bernardo (2000), trabalhando com a clarificação de ALF com polímero aniônico, encontraram relação direta entre a concentração de SST presentes nas amostras estudadas e o número de coliformes totais e *Escherichia coli*. Em relação aos exames parasitológicos realizados nos sobrenadantes, foram encontrados cistos, ovos e larvas de parasitas (larvas de *Strongyloides stercoralis* e de *Ancylostomatidae*).

No estudo realizado por Aguirre (2003) em ETAs de Campinas-SP, não foram detectados protozoários na ALF utilizando a técnica de imunofluorescência direta após processo de filtração, eluição e raspagem de membrana. O autor justifica a não ocorrência desses organismos, provavelmente, pela eficiência de remoções nas unidades prévias de tratamento, ou seja, os cistos e oocistos não estariam alcançando os filtros e a ALF estaria livre destes organismos.

Do exposto percebe-se que (oo)cistos de protozoários podem estar presentes em ALF em concentrações extremamente variadas, porém são escassas as informações em ETAs brasileiras.

3.3. Recirculação de água de lavagem de filtros

O destino final da ALF pode ser os cursos d'água, as redes de esgoto ou, alternativamente, promover-se a recirculação dentro da própria estação (USEPA, 2000).

As ETAs que fazem a recirculação da ALF promovem o retorno do efluente, usualmente entre o ponto de chegada da água bruta da estação e o decantador. A ALF pode ser reintroduzida na estação sem tratamento, passando por um tanque de equalização e, ou, por um processo de tratamento.

As ETAs são projetadas para operarem dentro de uma faixa de vazão específica. Quando uma vazão adicional é introduzida pontualmente na estação através da recirculação direta da ALF, todas as condições hidráulicas de funcionamento da ETA podem ser alteradas. Em USEPA (2000), encontra-se um relato de que durante a recirculação direta da ALF a elevação da taxa de filtração comprometeu a remoção de patógenos, principalmente (oo)cistos de protozoários.

Petersen e Calhoun (1995) recomendam que a recirculação da ALF seja feita de forma contínua ao invés de intermitente, para não comprometer o tratamento da água.

Cornwell e Lee (1994), Sphem (1997) e Kawamura (2000) recomendam que a vazão de recirculação seja mantida abaixo de 10% da vazão da ETA. Entretanto, em USEPA (2002), encontra-se que a porcentagem deve ser estabelecida para cada ETA, com o intuito de impactar da menor forma possível a qualidade final da água.

Em USEPA (2000), sugere-se que o tratamento da ALF antes de se promover a recirculação contribui para minimizar os riscos relacionados à *Cryptosporidium* e *Giardia*.

3.3.1. Tratamento de água de lavagem de filtros

As opções existentes para se tratar ALF são similares às empregadas para tratar água bruta em uma ETA. O tratamento consiste basicamente na remoção de sólidos em suspensão e, por conseguinte, microrganismos. Dentre as alternativas mais comumente

empregadas, citam-se a clarificação / sedimentação, a flotação e a filtração em membranas, com ou sem unidades de equalização de vazões (USEPA, 2002). Nessa revisão serão abordados apenas os processos de equalização, apesar de não ser um processo de tratamento propriamente dito, e sedimentação.

Equalização de vazões

As ETAs são projetadas para tratar uma vazão específica de água. Como a ALF é produzida em grande quantidade em um curto espaço de tempo, a equalização de vazões pode ser útil para ajudar a reduzir os impactos da recirculação no processo de tratamento de água.

A equalização consiste em estocar o efluente e retorná-lo à estação em uma vazão diferente da que foi gerada. Esse processo pode ser realizado em tanques similares aos decantadores, em lagoas ou em unidades semelhantes. Na Figura 3.3 está apresentado um exemplo de equalização de ALF.

Como principais vantagens da equalização de vazões podem ser citadas: (i) minimização de sobrecargas hidráulicas nos decantadores, filtros e outras unidades do sistema; (ii) melhor controle das operações de coagulação e floculação e (iii) redução do tamanho da unidade de tratamento de ALF (se existir), por conta do amortecimento dos picos de vazão (USEPA, 2002). Como desvantagens do uso dessa unidade podem ser mencionados os custos relacionados à sua implantação e, se o tanque de equalização não funcionar de forma contínua, pode haver a sedimentação do lodo e posterior geração de odor (USEPA, 2002).

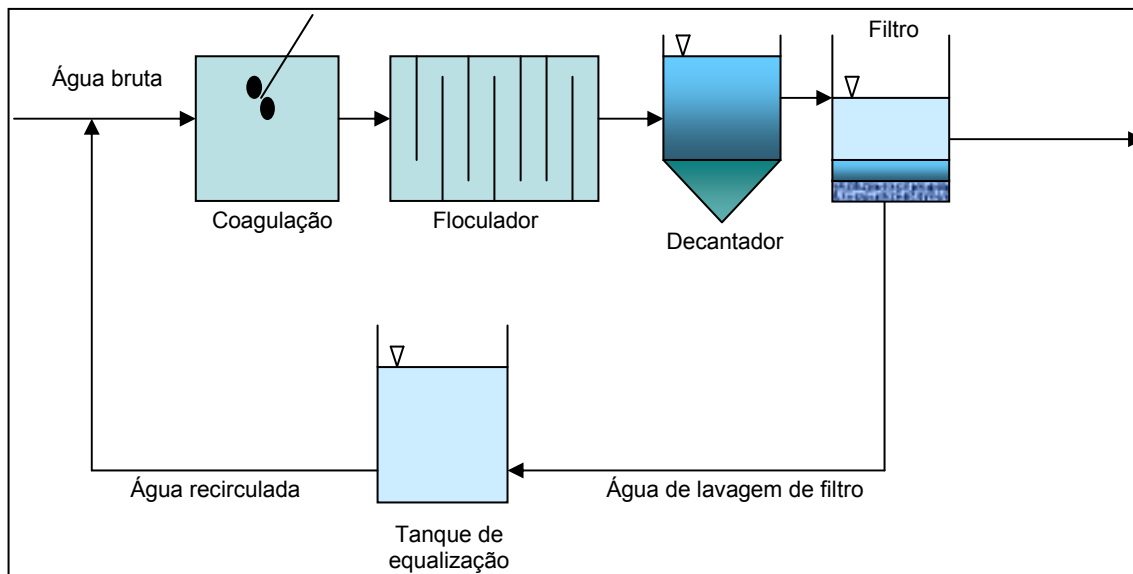


Figura 3.3: Ilustração esquemática da equalização de vazões de águas de lavagem de filtros.

Fonte: USEPA (2002)

Sedimentação

A sedimentação é um processo de separação de fases (líquido - sólido), por ação da gravidade.

Em meio líquido, partículas com características distintas apresentam comportamento diferenciado durante a sedimentação. A sedimentação de ALF caracteriza-se como um processo de sedimentação floculenta, em que as partículas em sedimentação têm sua forma, peso, volume e, portanto, velocidades de sedimentação, alteradas, crescentes.

A velocidade de sedimentação de uma suspensão, que é o principal parâmetro de dimensionamento de uma unidade de sedimentação, depende tanto das características da suspensão, quanto das características hidráulicas da unidade. Para a melhor determinação desse parâmetro é usual se recorrer a ensaios em colunas de sedimentação.

A sedimentação como forma de tratamento tem sido utilizada em mais de 70 % das ETAs que promovem a reciclagem da ALF nos Estados Unidos, revelando resultados satisfatórios para remoção de partículas e de patógenos (USEPA, 2000).

Na Figura 3.4 apresenta-se um fluxograma típico de uma unidade de clarificação de ALF, devendo-se notar que os processos de clarificação da ALF e adensamento do lodo sedimentado podem se dar na mesma unidade.

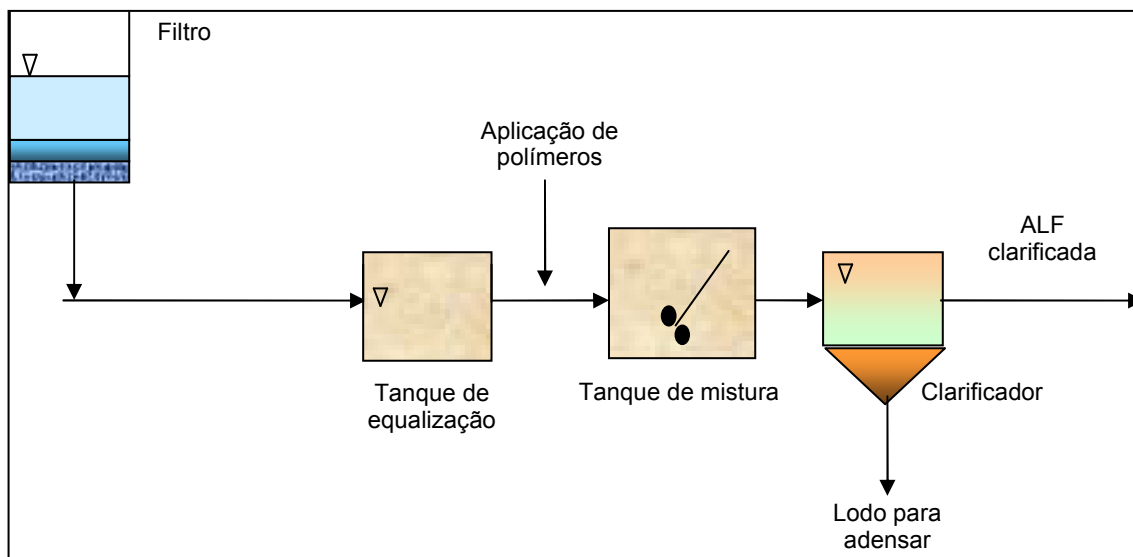


Figura 3.4: Ilustração esquemática de um processo de clarificação por sedimentação de água de lavagem de filtros.

Fonte: USEPA, (2002)

Caso a sedimentabilidade dos sólidos presentes na água de lavagem seja deficiente, é possível melhorá-la com a aplicação de polímeros (FERREIRA FILHO *et al.*, 1998). O tipo ideal de polímero deve ser determinado por meio de ensaios em jar-test, colunas de sedimentação ou em escala piloto para cada ETA (USEPA, 2000).

Ferreira Filho *et al.* (1998), comentam que, de modo geral, os melhores polímeros para o emprego em clarificação de ALF são os polímeros não-iônicos e aniônicos de médio e alto peso molecular.

Cornwell *et al.* (1994), encontraram que a aplicação de polímero não-iônico proporcionou aumento substancial na eficiência da clarificação da ALF por sedimentação e que a aplicação de uma dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ foi aproximadamente 25% mais eficiente que a aplicação de $0,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ do mesmo polímero.

Scalizer (1997) e Souza Filho (1998), em ensaios em coluna de sedimentação, encontraram que a sedimentabilidade dos sólidos de ALF foi superior quando condicionada com polímeros catiônico, aniônico e não-iônico, comparada com a sedimentação sem uso de condicionantes. Além disso, Ferreira Filho *et al.* (1998) afirmam que para uma mesma velocidade de sedimentação, a turbidez do sobrenadante é menor para a água condicionada com polímero.

Scalizer (1997) encontrou que o melhor polímero para a clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante primário, foi o

polímero aniônico. Comparando a aplicação desse polímero com a clarificação sem condicionantes, as características do clarificado foram de, respectivamente, 7,0 uT e 15 uT; outros parâmetros para os quais houve melhora significativa foram a concentração de sólidos em suspensão totais, cor aparente, DQO e alguns parasitas.

Souza Filho (1998), trabalhando com ALF de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário, também obteve os melhores resultados em termos de remoção de turbidez e de sólidos totais suspensos com polímero aniônico na dose de $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Nos ensaios em que foram aplicados polímeros, a turbidez do clarificado foi aproximadamente três vezes menor que nos ensaios em que não foram aplicados.

Moss (2000) relata que em uma ETA nos Estados Unidos, a adição de polímero aniônico na clarificação da ALF proporcionou a diminuição do número de partículas no efluente dos filtros. Além disso, a turbidez e a concentração de carbono orgânico total (COT) também diminuíram na ALF reciclada.

Cornwell *et al.* (2001), avaliando a aplicação de polímeros em uma estação que possui uma unidade de tratamento de ALF equipada com mistura rápida, floculação e sedimentação em tubos inclinados, registraram que as médias de turbidez do clarificado com e sem adição de polímero foram de, respectivamente, 1,2 uT e 2,4 uT.

Le Gouellec *et al.* (2004) estudaram a aplicação de seis polímeros, em várias dosagens, além de três coagulantes - cloreto férrico, sulfato de alumínio e cloridrato de alumínio - para a clarificação da água de lavagem de ETAs que utilizam filtração em membranas (microfiltração). Esses pesquisadores encontraram que a aplicação somente de polímeros teve o mesmo efeito da aplicação de sais metálicos. Tal resultado difere de todos os estudos citados anteriormente para estações de tratamento em ciclo completo, em que pequenas doses de polímero proporcionaram uma maior remoção de turbidez. Como explicação para esse fato, os pesquisadores relatam que as águas de lavagem das plantas de microfiltração não foram previamente desestabilizadas por sais metálicos como ocorre nas ETAs convencionais. Por isso, a aplicação do polímero como coagulante primário produziu flocos pequenos e de difícil sedimentação. Nos ensaios em escala de bancada, o cloreto férrico, na dose de $16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, foi o que apresentou os melhores resultados em relação à remoção de turbidez e partículas maiores que $2 \mu\text{m}$, conseguindo remover em média 0,5 log de turbidez e 1,3 log de partículas maiores que $2 \mu\text{m}$.

Bastos *et al.* (2005), em ensaios em colunas de sedimentação adaptadas, variaram os gradientes de velocidade ($100 - 700 \text{ s}^{-1}$) e os tempos de mistura (1 - 10 min) na aplicação de polímeros; concluíram que para se conseguir valores mais baixos de turbidez residual após a clarificação da ALF, é importante que o tempo de mistura seja superior a três minutos e não se deve utilizar gradientes de mistura acima de 300 s^{-1} .

Como visto no item anterior, a sedimentação / clarificação de ALF pode ser realizada em batelada ou em fluxo contínuo. Normalmente, o sistema em batelada é dimensionado para receber elevada vazão em curto período de tempo (USEPA, 2002).

As unidades em fluxo contínuo trabalham de forma similar aos decantadores das ETAs, com entrada para a ALF, saída para o clarificado e mecanismo de retirada do lodo gerado. A remoção do lodo deve ser realizada em uma frequência apropriada para evitar o comprometimento da capacidade de armazenamento da unidade de sedimentação. Por isso, para unidades de sedimentação em fluxo contínuo, é preferível a utilização de removedores automáticos de lodo (USEPA, 2002).

O tratamento da ALF em lagoas (Figura 3.5) pode ser uma alternativa interessante do ponto de vista econômico, quando se tem disponibilidade de área. Outra vantagem é que as lagoas não requerem de unidade de equalização em separado. Entretanto, existe a possibilidade de ressuspensão do lodo devido à elevada vazão em um curto espaço de tempo (USEPA, 2002). Kawamura (2000) recomenda que as lagoas sejam dimensionadas para suportar a carga de no máximo dez lavagens. A utilização de lagoas em série também pode ser uma alternativa a ser adotada.

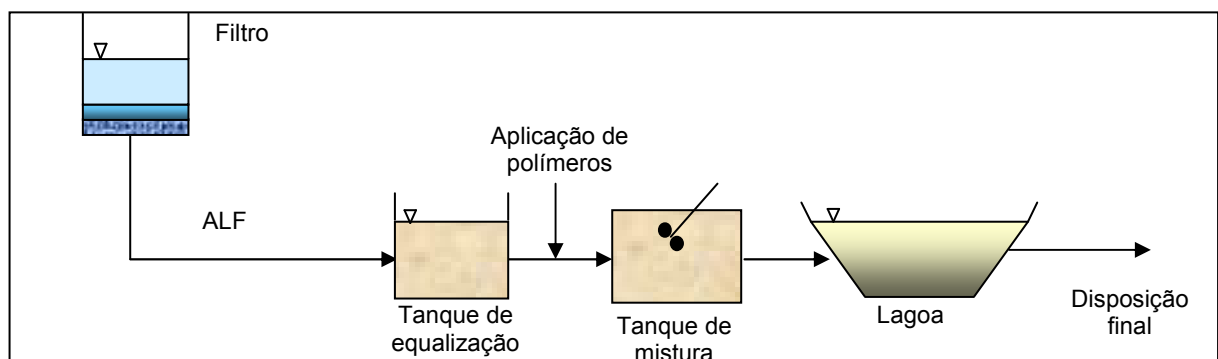


Figura 3.5: Ilustração esquemática de sistemas de lagoas para a sedimentação de águas de lavagem de filtros.

Fonte: USEPA, (2002)

3.3.2. Práticas e critérios de recirculação de água de lavagem de filtros

Alguns estados norte-americanos e países como Reino Unido e Canadá já possuem sua própria regulamentação para a recirculação de águas de lavagem de filtros.

No estado do Mississippi-EUA, recomenda-se que a ALF retorne para a ETA com vazão inferior a 10% da vazão de água bruta. A ALF não deve ser recirculada quando a água bruta contenha quantidades excessivas de algas, quando a água tratada apresente problemas de gosto e odor ou quando os níveis de trihalometanos na água tratada estejam acima do permitido (SPHEM, 1997).

No estado de Maryland-EUA é recomendado que a vazão de recirculação não deva exceder a 5% da vazão da ETA, precedida de um tempo de sedimentação de 2 h com emprego de polímeros; a sedimentação deve ser contínua com uma velocidade de sedimentação máxima de $17,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (USEPA, 2002).

No estado de Ohio-EUA a ALF deve passar por um tratamento antes de retornar a ETA e a razão de recirculação deve ser inferior a 10% da vazão da estação (USEPA, 2002).

No Reino Unido recomenda-se que a ALF deva ser tratada para alcançar remoção de sólidos superior a 90% antes de ser reciclada, que a razão de recirculação deva ser inferior a 10% e, preferivelmente, que a recirculação seja realizada de forma contínua. Recomenda-se, ainda, a realização de ensaios de jarros com a água bruta e com o clarificado a ser recirculado, para determinar a dosagem ideal de coagulante. Além disso, deve ser realizado um contínuo monitoramento do clarificado, utilizando como parâmetro de controle a turbidez (UKWIR, 1998).

Cornwell e Lee (1993), com base na avaliação de oito ETAs, afirmam que deve ser promovida a equalização de vazões, que a recirculação seja realizada de forma contínua ao invés de intermitente e que a ALF deve ser tratada para alcançar uma eficiência de tratamento de 80% de remoção de (oo)cistos de protozoários.

No Brasil, não existe ainda uma regulamentação a respeito da recirculação de ALF. Entretanto, são visíveis o interesse e as práticas crescentes, por vezes sem o devido controle. Embora algumas estações tenham experimentado problemas com a recirculação dos despejos, é relativamente escassa a literatura nacional que trata diretamente das características do material a ser recirculado, bem como dos problemas e das recomendações para a recirculação (SOUZA FILHO, 1998).

A seguir são citados alguns exemplos de recirculação de ALF em operação no Brasil. Em nenhum desses exemplos há relatos de controle microbiológico da ALF e de seus possíveis impactos no tratamento da água.

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG) realiza a recirculação da água de lavagem dos filtros nas ETAs Morro Redondo, Rio Manso e, atualmente, na ETA do Sistema Rio das Velhas, com capacidade para tratar $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (CASTRO *et al.*, 1997).

A ETA Rio Descoberto, em Brasília, com capacidade instalada de $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, gerenciada pela Companhia de Água e Esgotos de Brasília (CAESB), realiza o reaproveitamento de água de lavagem dos filtros, após sua clarificação. O sistema permite a reutilização de cerca de $170 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ de água (BARBOSA, 1997).

Fontana (2004) relata a implantação de um sedimentador para clarificação e recirculação da ALF da ETA da cidade de Cardoso-SP. A água clarificada é recirculada para o início da ETA, no ponto de coagulação da água bruta e com vazão equivalente a 10% da vazão da ETA. Os sólidos retidos no sedimentador são encaminhados para um leito de drenagem juntamente com os lodos dos decantadores.

No cenário internacional, Libânio *et al.* (2001) relatam que em uma das maiores estações de tratamento no País de Gales, e que utiliza filtração direta, recicla-se ALF com sucesso. A água bruta, ao longo de todo ano apresenta turbidez inferior a 10 uT. As águas de lavagem das unidades filtrantes são acondicionadas em dois tanques e retornam ao início do tratamento, respondendo por 2 a 3% da vazão afluyente. Contudo, os autores ponderam que, aliado às baixas taxas de filtração, a localização dos mananciais favorece a elevada qualidade bacteriológica da água bruta e a produção de efluente com turbidez inferior a 0,5 uT.

Esses mesmos autores sugerem que em estações convencionais, os períodos do ano de baixa turbidez da água bruta propiciam a recirculação das águas de lavagem, elevando a concentração de partículas e favorecendo a formação dos flocos.

Cornwell e Lee (1994) avaliaram o efeito da recirculação da ALF sobre a qualidade da água tratada em duas ETAs nos Estados Unidos, uma com sistema de filtração direta (ETA I) e a outra em ciclo completo (ETA II). Ambas apresentaram concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* na ALF mais elevadas que na água bruta: 8 - 14 oocistos. L^{-1} na ALF da ETA I e mais de 150 oocistos. L^{-1} na ALF da ETA II, enquanto

que na água bruta, os números foram de 0,05 - 3 cistos L⁻¹ em ambas as estações. Tanto na ETA I quanto na ETA II as concentrações de oocistos na ALF permaneceram mais elevadas do que na água bruta, mesmo após passar pelo processo de sedimentação. Foi realizada a contagem de partículas na água bruta, na ALF após passar pelo processo de sedimentação (clarificado) e na mistura água bruta - clarificado. A reciclagem do clarificado fez com que triplicasse o número de partículas de 2 – 4 µm (tamanho médio do oocisto de *Cryptosporidium*). Entretanto, em ambas as ETAs, o número de partículas na água filtrada foi nitidamente menor durante o período em que se reciclava o clarificado.

Cornwell (2001), em um estudo em escala piloto, avaliou o impacto na eficiência do tratamento em ciclo completo na remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, quando do reaproveitamento, sem qualquer tipo de pré-tratamento, das águas de lavagem dos filtros para taxas de recirculação de 4,3% (recirculação contínua), 10% e 20% (em batelada). O aparato experimental contou com um tanque acoplado à ETA piloto que promovia a aplicação de oocistos de *Cryptosporidium* na água bruta, em números tão elevados quanto 1.180 oocistos L⁻¹. Os resultados indicaram que a eficiência da unidade de decantação melhorou quando a ALF estava sendo recirculada, sugerindo os autores, que isso estaria relacionado ao aumento do número de colisões entre as partículas na unidade de floculação. Na água filtrada, foram encontradas baixas concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* -0,25 oocistos . 100 L⁻¹ com razão de recirculação de 4,3% a 1,24 oocistos . 100L⁻¹ sem recirculação. A mediana de remoção para todo o sistema quando não se procedeu à recirculação da ALF foi de 5,0 log, comparado com 5,8, 5,8 e 5,9 log para as razões de 4,3%, 10% e 20%, respectivamente. Concluindo, os autores sugerem que uma ETA em ciclo completo pode tratar a ALF com altas concentrações de *Cryptosporidium*, recirculando-a de forma contínua ou intermitente, sem promover a prévia clarificação do efluente.

Arota *et al.* (2001), estudando algumas alternativas para o tratamento de ALF, avaliaram a influência da sedimentação da ALF com e sem aplicação de polímeros. O primeiro teste foi realizado com a ALF previamente clarificada (3,9 uT) e inoculação de 4.000 oocistos L⁻¹; foi alcançada remoção de 1 log após a decantação e 2 log após a filtração. Para o ensaio com ALF sem clarificação (114 uT) foi aplicada uma concentração de 1,3 x 10⁴ oocistos L⁻¹ na mistura água bruta + ALF; após a decantação a concentração caiu 1,4 log e após a filtração foi conseguida uma remoção superior a

3,1 log. Quando foi testada a aplicação de polímero catiônico na dose de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para clarificar a ALF inoculada com $1,5 \times 10^4$ oocistos L^{-1} , a remoção de oocistos foi 2,2 log na água decantada e mais de 3,2 log na água filtrada. No ensaio com polímero aniônico com dose de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, foi conseguida remoção de 1,8 log após a decantação e 2,8 log após a filtração. Os autores destacam os excelentes resultados encontrados quando foram utilizados polímeros para clarificar a ALF e concluem que uma razão de recirculação de 5-10% seria suficiente para minimizar os efeitos da recirculação da ALF.

4. A ETA UFV

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) conta com um sistema próprio de abastecimento de água. O sistema é suprido por um manancial superficial de reduzida vazão – Ribeirão São Bartolomeu ($\cong 100 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ e $\cong 200 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ em épocas de estiagem e chuvas, respectivamente), com dois represamentos consecutivos (reservatórios de acumulação) à montante do ponto de captação. A bacia de captação é desprotegida, com ocupação urbana crescente e atividades agropecuárias relativamente intensas. A ETA trata cerca de $50 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ com período de operação médio diário de oito horas, sendo empregado o tratamento em ciclo completo: coagulação com sulfato de alumínio granulado, mistura rápida hidráulica em calha Parshall, floculação hidráulica, decantador circular com alimentação central e fluxo radial (taxa de aplicação superficial de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$); dois filtros rápidos (taxa de filtração $220,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$), desinfecção com cloro-gás (Figuras 4.1 a 4.3).



Figura 4.1: Detalhe da calha Parshall da ETA UFV.



Figura 4.2: Vista do floculador e do decantador da ETA UFV.



Figura 4.3: Vista dos filtros da ETA UFV

A carreira de filtração média dos filtros é de 36 h, sendo a retrolavagem efetuada a partir de um reservatório elevado com capacidade de 100 m^3 , com duração de cerca de 8 minutos (Figura 4.4). Os resíduos são lançados (água de lavagem de filtros e lodo do decantador), sem tratamento, na rede de água pluvial, tendo como destino final a ‘Lagoa da Reitoria’, à jusante do ponto de captação. Não somente devido a esta descarga, mas também, no local de lançamento são nítidos os sinais de assoreamento e deterioração do corpo d’água (Figura 4.5).



Figura 4.4: Início (a) e fim (b) da operação de lavagem dos filtros da ETA UFV.



Figura 4.5: Situação do corpo d'água no ponto de lançamento dos resíduos da ETA UFV.

Nas Figuras 4.6 a 4.8 são apresentadas informações sobre a turbidez da água bruta, decantada e filtrada nos últimos seis anos e meio (gráficos Box-Plot).

Em épocas de estiagem (em geral de abril a setembro) a turbidez da água bruta é baixa (média e mediana em torno de 9,3 uT e 6,8 uT, respectivamente). Em épocas de chuva (usualmente de outubro a março) a turbidez eleva-se, mas em geral, nem tanto (média e mediana em torno de 29,1 uT e 14,3 uT, respectivamente) (Figura 4.6). Entretanto, ocasionalmente, chuvas torrenciais podem provocar elevações bruscas da turbidez da água bruta, tendo já alcançado valores da ordem de 1.000 uT (BASTOS *et al.*, 2003).

Durante o período de realização desse trabalho (setembro de 2006 a abril de 2007), a turbidez média foi de 37,2 uT, com valor máximo de média mensal de 114,4 uT no mês de janeiro de 2007.

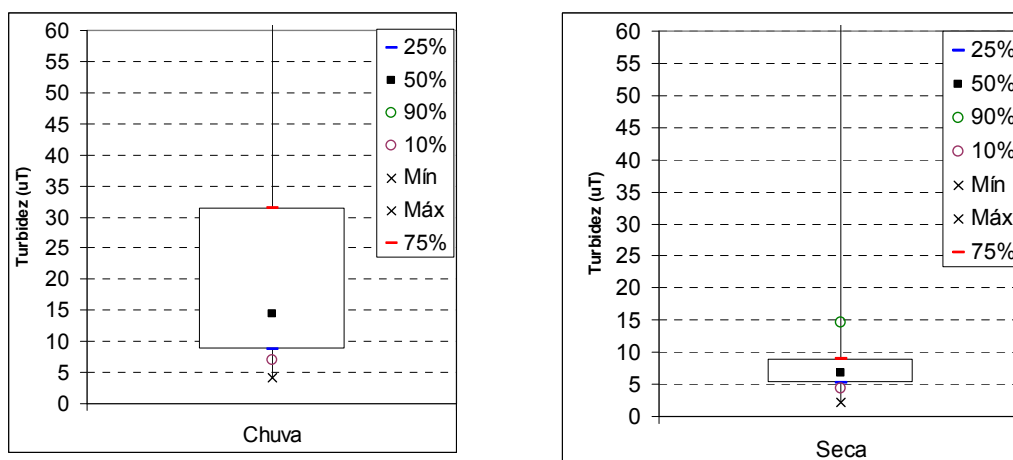


Figura 4.6: Variação da turbidez da água bruta, ETA UFV, Viçosa – MG, janeiro de 2001 a maio de 2007.

Na Figura 4.7, pode-se observar a variação dos dados de turbidez da água decantada na ETA UFV, de 2001 a 2007. Os resultados revelam, em geral, um bom desempenho do decantador, com valores de mediana da turbidez da água decantada abaixo de 4 uT; além disso, na pior situação, (2004) 90% dos dados de médias diárias foram inferiores a 9 uT.

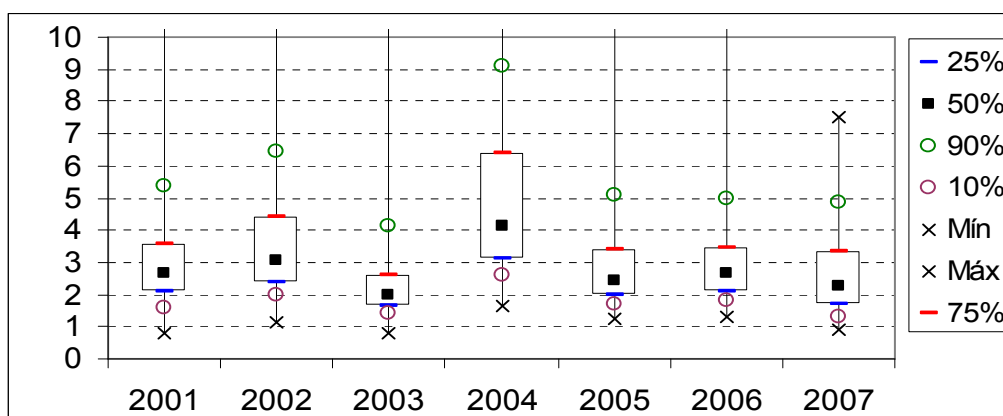


Figura 4.7: Turbidez da água decantada, ETA UFV, janeiro de 2001 a maio de 2007.

Na Figura 4.8 são apresentados os dados de turbidez da água filtrada. Observa-se que raramente o padrão de potabilidade brasileiro não é atendido ($\leq 1,0\text{uT}$) (BRASIL, 2004). Nota-se também uma grande estabilidade do processo de filtração, evidenciada pela proximidade entre o primeiro e o terceiro quartis.

As metas de turbidez pós-filtração e pré-desinfecção para uma eficiente desinfecção de vírus e remoção de cistos de *Giardia* ($\leq 0,5\text{ uT}$) são atendidas com bastante frequência, principalmente a partir de 2003. Entretanto, as recomendações para uma remoção eficiente de oocistos de *Cryptosporidium* ($\leq 0,3\text{ uT}$) são atendidas apenas razoavelmente, em torno de 25% dos dados.

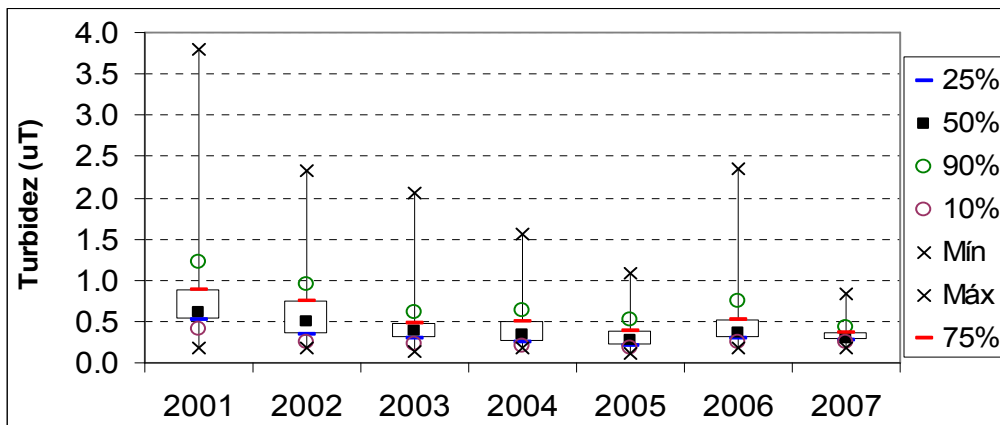


Figura 4.8: Turbidez da água filtrada, ETA UFV, janeiro de 2001 a maio de 2007.

As doses de sulfato de alumínio aplicadas acompanham as variações de turbidez da água bruta (Figura 4.9): geralmente abaixo de $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ nos períodos de seca e $13 - 18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ nos períodos chuvosos.

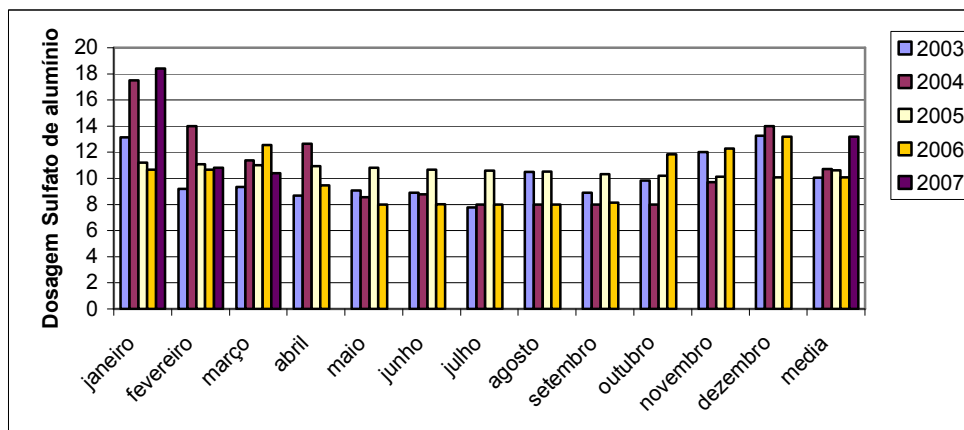


Figura 4.9: Doses médias de sulfato de alumínio, ETA UFV, 2003 a 2007.

Em 2004 o volume tratado superou em aproximadamente 18 % o do ano anterior. Contudo, a partir de 2005 caiu quase 35% (Figura 4.10), muito provavelmente devido à renovação quase completa da rede de distribuição e diminuição de perdas de água. Isso tem implicação direta no volume de água de lavagem dos filtros e, conseqüentemente, na quantidade de resíduos a ser lançado, ou tratado e recirculado.

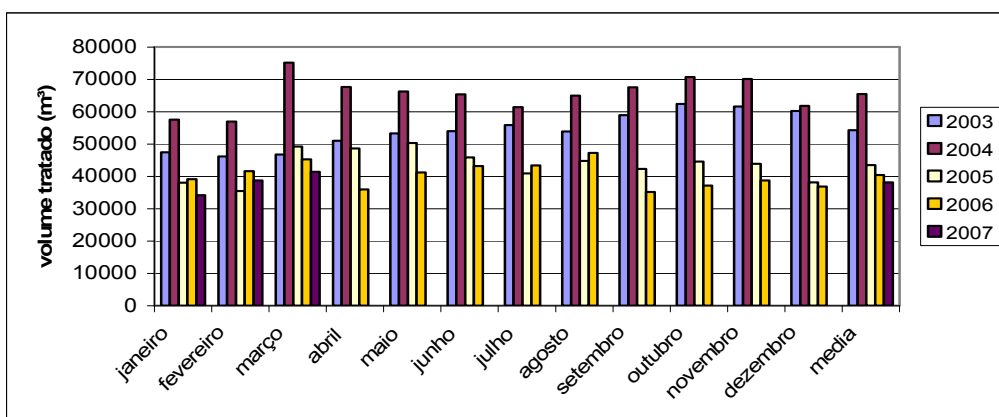


Figura 4.10: Volume de água tratado, ETA UFV, 2003 a 2007.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da água de lavagem de filtro da ETA UFV

Para a caracterização da ALF da ETA UFV foram realizados nove eventos de amostragem em cada um dos dois filtros - amostras coletadas de forma composta durante a operação de lavagem e analisadas para a pesquisa dos seguintes parâmetros físicos e químicos, conforme o disposto no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, IWWA, WEF, 1998): turbidez, cor, alumínio, ferro, fósforo, manganês, pH, DQO, cloro residual, sólidos em suspensão totais e sólidos sedimentáveis.

Os parâmetros microbiológicos pesquisados foram: coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (técnica da fermentação da lactose em tubos múltiplos); esporos de bactérias aeróbias e *Bacillus subtilis* (RICE *et al.*, 1996); esporos de bactérias anaeróbias e *Clostridium perfringens* (FOUT *et al.*, 1996) e (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, empregando a técnica de floculação com carbonato de cálcio seguida da identificação por imunofluorescência direta (VESEY *et al.*, 1993).

Adicionalmente, em dois momentos, analisou-se o cloro residual livre (CRL) em amostras de ALF, coletadas a cada minuto, ao longo do processo de lavagem dos filtros (Figura 5.1).



Figura 5.1: Etapas da lavagem dos filtros da ETA UFV: (1) início da operação; (2) após 2 min e detalhe da coleta de amostras; (3) após 3 - 5 min; (4) final da operação, após 8 – 10 min.

5.2 Ensaio de clarificação da água de lavagem de filtro em colunas de sedimentação

Para a execução dos ensaios de clarificação a ALF foi coletada de forma composta durante a lavagem do filtro da ETA UFV e armazenada em uma caixa de polietileno com capacidade para 500 L.

A coluna de sedimentação utilizada nos ensaios foi construída em PVC, tendo um visor de vidro à frente; capacidade de 21 L, diâmetro interno de 150 mm e altura de 1.200 mm (Figura 5.2). As amostras de ALF eram colocadas na coluna sob agitação correspondente a um gradiente de 100 s^{-1} ; a seguir o agitador era desligado e o clarificado era coletado a cada quatro minutos, simultaneamente, em quatro pontos, localizados a 7 cm, 32 cm, 57 cm e 82 cm do fundo, para a determinação da turbidez. Nesses ensaios foram testados três tipos de polímeros a base de poliacrilamida: não iônico de alto peso molecular (N 3100L), catiônico de médio peso molecular (K 122L) e

aniônico de alto peso molecular (A 3015L), fornecidos pela empresa Degussa Water Treatment.



Figura 5.2: Coluna de sedimentação utilizada nos ensaios de clarificação da água de lavagem de filtros.

Na primeira etapa do ensaio, foram fixados o tempo de mistura (5 min) e a concentração dos polímeros (0,3%), variando-se as doses de polímeros em $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. De posse da melhor dose para os três polímeros testados, passou-se, então, a variar a concentração dos produtos em 0,1%, 0,3% e 0,6% (massa / massa). Fixada a melhor concentração, as doses foram novamente variadas, em torno dos melhores valores encontrados na primeira etapa. Esses ensaios foram realizados com valores de turbidez da ALF em torno de 70 uT e o tempo de mistura mantido sempre em 5 min.

Encontrado o melhor par de valores dose de polímero x concentração, o tempo de mistura foi variado em 1 min, 3 min, 5 min, 7 min e 10 min. Selecionado o tempo de mistura para cada tipo de polímero, o clarificado era coletado, sendo realizada uma única caracterização física, química e microbiológica de acordo com as parâmetros citados no item anterior.

O fluxograma da Figura 5.3 ilustra a seqüência de etapas dos ensaios realizados com os três polímeros.

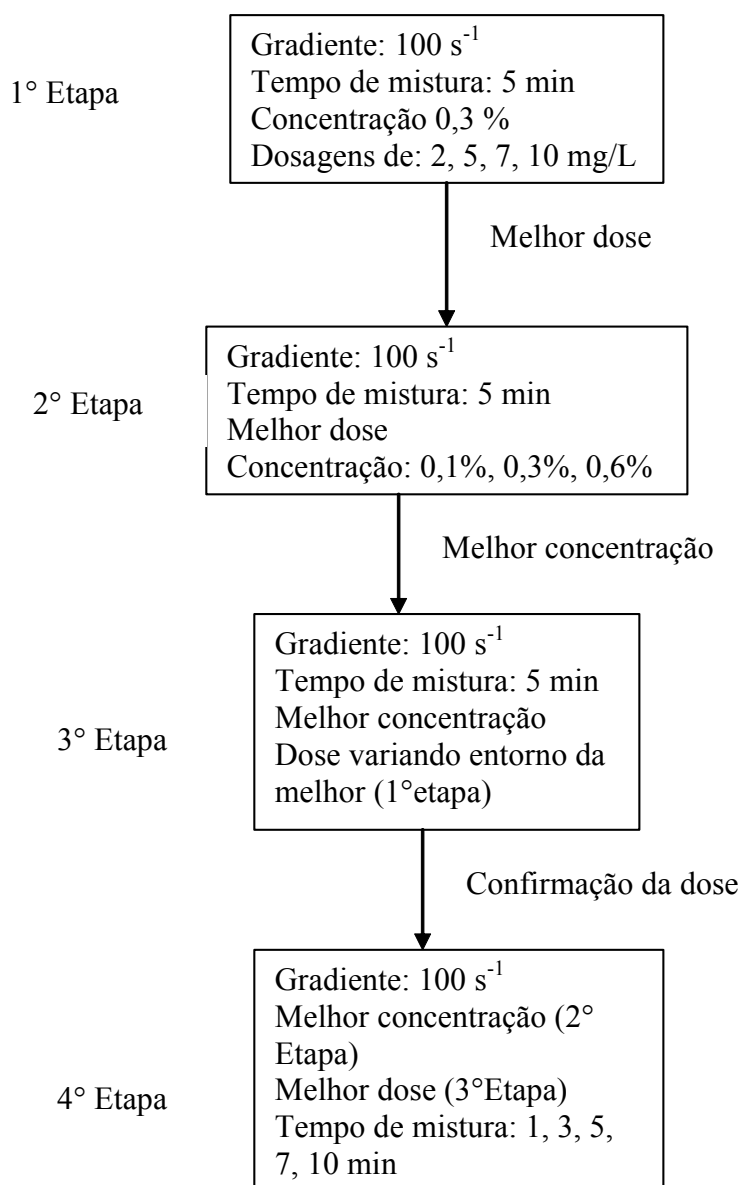


Figura 5.3: Fluxograma esquemático dos ensaios de clarificação.

5.3. Experimentos de recirculação de ALF

Para realização desses ensaios, foi instalada uma unidade de tratamento piloto em ciclo completo (mistura rápida, floculação, decantação e filtração), construída em chapas de aço, reproduzindo, com a melhor aproximação possível, as instalações em escala real e os parâmetros de operação da ETA UFV (gradientes de velocidade, tempos de detenção hidráulica, velocidade de sedimentação e taxa de filtração).

A opção por essa alternativa, em detrimento de ensaios em bancada (*Jar test*), além da tentativa de um controle mais rigoroso das condições do experimento, relacionou-se ao

fato de que o volume de água requerido para as análises parasitológicas não poderia ser obtido no equipamento de *Jar test*.

5.3.1 Descrição da ETA piloto

Os experimentos na ETA Piloto (EP) foram conduzidos nas dependências da Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV).

A EP era alimentada com água oriunda do mesmo manancial da ETA UFV, através de uma tubulação conectada a uma bomba centrífuga, instalada na tubulação de adução da ETA UFV (Figura 5.4).



Figura 5.4: Detalhe da tomada de água bruta para alimentação da ETA piloto.

A ETA piloto é composta por um misturador rápido – um diafragma instalado na tubulação de entrada da ETA, floculador hidráulico, decantador convencional de fluxo ascendente e filtro rápido descendente com camada simples de areia e um clarificador para a água de lavagem do filtro (Figuras 5.5 e 5.6).

A EP foi dimensionada para uma vazão de $0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ($0,10 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$). Nos experimentos de recirculação de ALF, foram aplicadas vazões totais de $0,378 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; $0,396 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; $0,414 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; $0,432 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, correspondentes às razões de recirculação de ALF definidas para os ensaios, conforme especificado no item 5.3.2.



Figura 5.5: Vista parcial da ETA piloto.

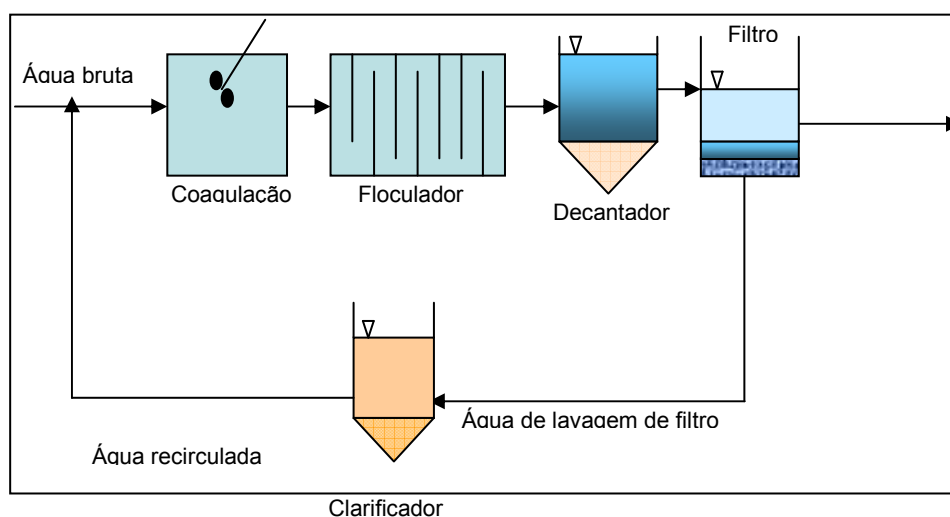


Figura 5.6: Ilustração esquemática da ETA piloto.

Mistura rápida

A água bruta era bombeada através de uma tubulação de PVC de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro para a entrada da EP, onde era misturada com a ALF, por sua vez bombeada do clarificador e conduzida por meio de uma mangueira de 1" de diâmetro. A aplicação do sulfato de alumínio líquido (coagulante) era efetuada por meio de uma mangueira utilizada em aplicações de soro e medicamentos por via endovenosa, com o respectivo controlador de gotejamento, e ocorria imediatamente antes da mistura rápida, proporcionada por

redução da canalização de 3/4” para 1/2” seguida por nova expansão da canalização para 3/4” (Figura 5.7).

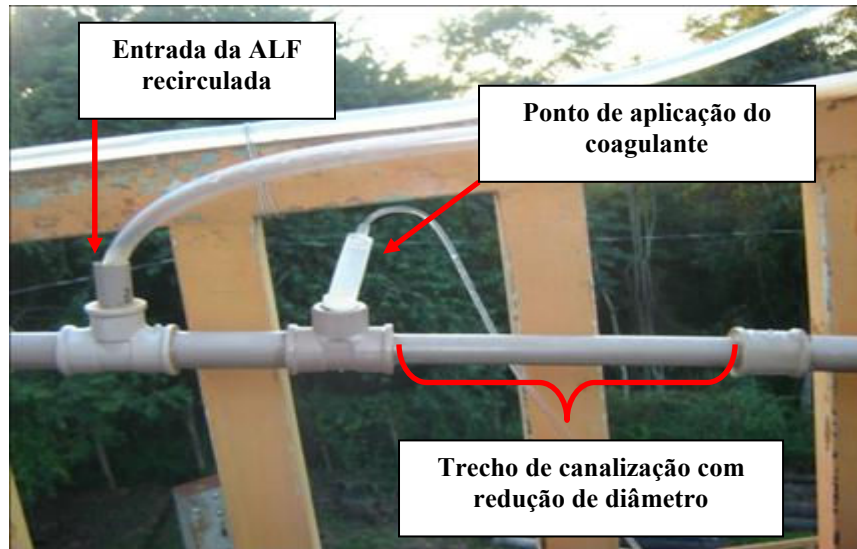


Figura 5.7: Detalhes do ponto de mistura água bruta + ALF, da aplicação e mistura do coagulante.

Os gradientes de velocidade da mistura rápida para as cinco vazões utilizadas na EP estão descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Vazões da ETA piloto e gradientes de velocidade de mistura rápida utilizados nos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtros.

| Vazão (L . s ⁻¹) | Gradiente de velocidade (s ⁻¹) |
|------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,100 | 1.060 |
| 0,105 | 1.140 |
| 0,110 | 1.220 |
| 0,115 | 1.300 |
| 0,120 | 1.390 |

Floculador

O floculador da ETA piloto foi construído nos moldes da ETA UFV: seis câmaras de floculação com passagens retangulares alternadas nos cantos superior direito e inferior esquerdo. O floculador foi dimensionado com base em ensaios de tratabilidade, os quais indicaram os seguintes parâmetros: tempo de floculação = 20 min; gradientes de velocidade de floculação = 60 - 20 s⁻¹ (Tabela 5.4). Isso foi necessário uma vez que os

gradientes de velocidade da ETA UFV não atendem aos parâmetros de dimensionamento (gradientes decrescentes ao longo das câmaras). Nas Tabelas 5.2 e 5.3 encontram-se, respectivamente, os parâmetros de dimensionamento do floculador e suas dimensões. Na Figura 5.8 tem-se uma vista geral da unidade piloto de floculação.

Tabela 5.2: Gradientes de velocidade e tempo de floculação da ETA piloto para a vazão de projeto.

| Parâmetro | Câmaras | | | | | |
|-----------------------|---------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Gf (s ⁻¹) | 62,2 | 48,3 | 33,9 | 27,1 | 21,7 | 15,7 |
| Tf (s) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |

Tabela 5.3: Dimensões do floculador da ETA piloto.

| Dimensão em planta | Valor |
|-----------------------------|-------|
| Altura da lâmina d'água (m) | 0,70 |
| Área (m ²) | 0,21 |
| Largura (m) | 0,21 |
| Comprimento (m) | 1,01 |



Figura 5.8: Vista lateral do floculador da ETA Piloto.

Na Tabela 5.4 encontram-se os gradientes de velocidade calculados em cada câmara de floculação para as vazões testadas, com base nas dimensões das câmaras e vazões aplicadas.

Tabela 5.4: Gradientes de velocidades nas câmaras de floculação para as vazões utilizadas na ETA piloto.

| Câmara | Vazão (L . s ⁻¹) | | | | |
|--------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,100 | 0,105 | 0,110 | 0,115 | 0,120 |
| 1 | 62 | 67 | 71 | 76 | 81 |
| 2 | 48 | 52 | 56 | 59 | 63 |
| 3 | 34 | 37 | 39 | 42 | 45 |
| 4 | 27 | 29 | 32 | 34 | 36 |
| 5 | 22 | 24 | 26 | 28 | 29 |
| 6 | 16 | 17 | 19 | 21 | 22 |

Decantador

O decantador da EP possui área superficial de 0,44 m² e profundidade de 3,30 m (Figura 5.9). Operando com a vazão de 0,1 L . s⁻¹, a EP apresenta a mesma taxa de aplicação superficial da ETA UFV (20 m³ . m⁻² . d⁻¹). Para as vazões mais elevadas - 0,105 L . s⁻¹; 0,110 L . s⁻¹; 0,115 L . s⁻¹ e 0,120 L . s⁻¹ - as taxas de aplicação correspondentes são de, respectivamente, 20,6 m³ . m⁻² . d⁻¹; 21,6 m³ . m⁻² . d⁻¹; 22,6 m³ . m⁻² . d⁻¹ e 23,6 m³ . m⁻² . d⁻¹.



Figura 5.9: Vista superior do decantador da ETA piloto.

Filtro e clarificador da água de lavagem

O filtro da ETA piloto possui área filtrante de 0,04 m² e foi operado com taxa de filtração constante e carga hidráulica variável. As taxas de aplicação foram: 220,3 m . d⁻¹ para a vazão de 0,100 L . s⁻¹ (a mesma da ETA UFV); 226,8 m . d⁻¹ para a

vazão de $0,105 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$; $237,6 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ para a vazão de $0,110 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$; $248,4 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ para a vazão de $0,115 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ e $259,2 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ para a vazão de $0,120 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$.

As características do leito filtrante estão descritas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Características do leito filtrante.

| Granulometria | Espessura (m) |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| Areia quartzosa, TEN. 0,4 a 0,42mm – $C_d \leq 1,3$ | 0,25 |
| Seixo rolado de 1 a 2mm | 0,06 |
| Seixo rolado de 2 a 3mm | 0,06 |
| Seixo rolado de 3 a 6mm | 0,08 |
| Seixo rolado de 6 a 12mm | 0,08 |
| Seixo rolado de 12 a 19mm | 0,08 |

TEN: tamanho efetivo nominal; C_d : coeficiente de desuniformidade.

A lavagem do filtro era realizada com velocidade ascensional de $0,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, utilizando água tratada (clorada) proveniente do reservatório elevado da ETA UFV. O tempo de lavagem era o mesmo da ETA UFV, aproximadamente 8 min, o que proporcionava um volume de ALF de cerca de 260 L. A ALF era encaminhada para o clarificador, o qual possui altura útil de 1,2 m e área superficial de $0,3 \text{ m}^2$ (Figura 5.10). O clarificador possui uma hélice acoplada a um motor o que proporciona um gradiente de velocidade de 300 s^{-1} , valor esse dentro da faixa de gradiente de velocidade encontrada por BASTOS *et al.* (2005) como adequada para clarificação da ALF. Pelo fato de a hélice ter sido acoplada a um motor com rotação fixa, não foi possível ajustar o gradiente de velocidade de mistura para o mesmo valor empregado nos ensaios de clarificação na coluna de sedimentação.



Figura 5.10: Detalhe do clarificador da água de lavagem de filtros da ETA piloto.

5.3.2. Experimentos em escala piloto

Na literatura encontra-se uma série de práticas e critérios para realização de recirculação de ALF (CORNWELL e LEE 1993; SPHEM, 1997; UKWIR, 1998; USEPA, 2002), a partir das quais foram selecionadas as seguintes faixas de teste de razão de recirculação da água de lavagem do filtro.

- (i) 5% - $0,005 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ALF + $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ água bruta
- (ii) 10% - $0,01 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ALF + $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ água bruta
- (iii) 15% - $0,015 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ALF + $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ água bruta
- (iv) 20% - $0,020 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ de ALF + $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ água bruta

Para avaliar os efeitos da recirculação da ALF, foram testadas as seguintes situações em ensaios em escala piloto, tendo sido realizado apenas um ensaio para cada condição experimental (clarificação ou não da ALF + razão de recirculação).

- (i) Simulação da recirculação sem promover a clarificação da ALF.

Nessa situação, a ALF permanecia em agitação enquanto era recirculada.

- (ii) Simulação da recirculação, com clarificação e adição de polímero.

O melhor resultado obtido nos ensaios de sedimentação em colunas (tipo de polímero, concentração, dose e tempo de mistura) foi adotado nos testes na ETA piloto. A ALF era introduzida no clarificador com agitação correspondente do gradiente de velocidade de 300 s^{-1} , mantida por 10 min após a aplicação do polímero; depois de desligado o agitador, a ALF permanecia em repouso por 40 min e, decorrido esse tempo, era dado início ao ensaio de recirculação.

- (iii) Simulação da recirculação, com clarificação sem adição de polímero.

Nesses ensaios, o agitador era ligado com agitação correspondente do gradiente de velocidade de 300 s^{-1} por 5 minutos, após o que era desligado e a ALF mantida em repouso por 2 h, sendo, então, iniciado o ensaio.

Os parâmetros de controle para todos os ensaios acima foram:

- água bruta: turbidez, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*.
- sobrenadante clarificado: turbidez remanescente, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*.

- mistura água bruta e ALF: turbidez, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*.
- água decantada: turbidez, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*.
- efluente filtrado: turbidez, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*.

Previamente a todos os ensaios na unidade piloto foram realizados testes de jarros (Jar test) para a definição das condições ótimas de coagulação (pH x dose coagulante).

Além disso, com o objetivo de verificar eventuais impactos da recirculação da ALF no processo de tratamento da água, foram executados testes controle, um para cada vazão testada, na estação piloto simulando o tratamento na ETA UFV, sem recirculação da água de lavagem, nas seguintes vazões 0,1 L.s⁻¹; 0,105 L.s⁻¹; 0,110 L.s⁻¹; 0,115 L.s⁻¹ e 0,120 L.s⁻¹. Nos testes controle, eram monitorados os seguintes parâmetros na água bruta, decantada e filtrada: turbidez, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*.

Em todos os ensaios as amostras eram coletadas de hora em hora durante as carreiras de filtração (aproximadamente 4 a 7 horas), a partir da terceira hora de cada carreira. Isso porque o tempo de detenção da EP é de aproximadamente três horas, o que garantiria que as amostras coletadas seriam resultados exclusivamente do teste que estava sendo conduzido.

Cumprir esclarecer que por limitações de ordem prática as análises de protozoários não puderam ser realizadas de imediato; as amostras eram concentradas de acordo com o especificado na técnica utilizada (VESEY *et al.*, 1993) e examinadas por microscopia dentro de 5 a 90 dias.

5.4. Sistematização e análise dos dados

A partir dos resultados de clarificação da ALF em colunas de sedimentação, como exercício para caracterização do perigo de recirculação de ALF, foram imaginados seis cenários, a partir do balanço das concentrações de microrganismos encontrados na água bruta, na ALF e na ALF clarificada por sedimentação com e sem polímero (CORNWELL *et al.*, 1994): (1) recirculação da ALF realizada de forma contínua durante toda a operação da ETA UFV (razão de recirculação de 4,63%), sem clarificação; (2) recirculação realizada numa razão de 10%, sem clarificação; (3) recirculação da ALF realizada de forma contínua, precedida de clarificação por

sedimentação assistida por polímero; (4) recirculação da ALF numa razão de 10%, precedida de clarificação assistida por polímero; (5) recirculação da ALF realizada de forma contínua, precedida de clarificação por sedimentação sem uso de polímero e (6) recirculação da ALF numa razão de 10%, precedida de clarificação por sedimentação sem uso de polímero (item 6.3).

Quando a simulação foi de recirculação de forma contínua (cenários 1, 3 e 5), a vazão da ALF (Q_{ALF}) é equalizada durante toda a operação da ETA, conseqüentemente igual à vazão de recirculação (Q_R). O balanço foi então realizado como descrito a seguir.

$$Q_{ALF} = Q_R$$

$$C_{ALF} = C_a (Q + Q_R)/Q_{ALF}$$

$$C_R = KC_{ALF}$$

$$QC_i + Q_R C_R = (Q + Q_R) C_a$$

$$C_i/C_a = 1 + (Q_R/Q) - (KQ_R/Q) [(Q + Q_R)/Q_R]$$

Sendo:

Q_{ALF} = Vazão da ALF

Q_R = Vazão de recirculação

Q = Vazão da água bruta

C_{ALF} = Concentração de cistos na ALF

C_a = Concentração de cistos na água bruta + ALF

C_i = Concentração de cistos na água bruta

C_R = Concentração de cistos na ALF clarificada

K = Fração de cistos remanescente na ALF após o tratamento

A recirculação intermitente ocorre em parte do período de funcionamento da estação. Assumiu-se então que a concentração de cistos no clarificado foi equalizada e que as únicas variáveis são a razão de recirculação e a eficiência da sedimentação com e sem o uso de polímeros. Neste caso o balanço pode ser descrito como:

$$C_a = (QC_i + Q_R C_R)/(Q + Q_R)$$

Quando cabível, os resultados dos experimentos foram sistematizados e analisados com recursos da estatística descritiva e comparação de médias.

Nos ensaios de recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto, os resultados das análises de turbidez são apresentados em termos de médias dos valores das coletas

horárias ao longo da carreira de filtração. Os resultados da pesquisa de protozoários expressam os valores encontrados em amostras compostas das coletas horárias. Os dados, na íntegra, são apresentados no Anexo B.

Para a aplicação de testes estatísticos, o banco de dados foi submetido à verificação de distribuição normal (teste de D'Agostino). Quando não satisfeita esta condição e, ou, pela pequena quantidade de dados disponíveis, foram aplicados testes não-paramétricos: (i) teste de Kruskal-Wallis (teste H) para a comparação de amostras independentes, comparável a ANOVA, por exemplo, na comparação da qualidade da água de lavagem dos filtros da ETA UFV e da ETA piloto (ver itens 6.1 e 6.4); (ii) coeficiente de correlação de Spearman para determinar o grau de associação de duas variáveis mensuradas e dispostas em postos ordenados – por exemplo, as concentrações de (oo)cistos de protozoários e valores de turbidez da água bruta (ver item 6.4.4); (iii) coeficiente Phi para verificar a associação de variáveis mensuradas a nível nominal e que se apresentam de modo dicotômico – por exemplo, a ocorrência de (oo)cistos de protozoários (presença / ausência) em faixas de turbidez da água bruta e da água de lavagem de filtro superiores e inferiores à determinado valor (ver item 6.4.4).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Caracterização da água bruta e da água de lavagem dos filtros da ETA UFV

Na Tabela 6.1 encontram-se os resultados da caracterização microbiológica da água bruta e da ALF dos dois filtros da ETA UFV.

Tabela 6.1: Caracterização microbiológica da água bruta e da água de lavagem dos filtros da ETA UFV, Viçosa - MG, 2006.

| Parâmetro | Água Bruta ⁽¹⁾⁽⁷⁾ | ALF ⁽⁷⁾ | Média | Máximo | Mínimo | Desvio Padrão |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Coliformes totais ⁽²⁾ | 9,55 x 10 ² (2,31 x 10 ³) | 1 | 7,66 | 7,90 x 10 ¹ | ND | 2,30 x 10 ¹ |
| | | 2 | 8,06 | 4,50 x 10 ¹ | 2,00 | 1,35 x 10 ¹ |
| Coliformes termotolerantes ⁽²⁾ | 2,49 x 10 ² (1,06 x 10 ³) | 1 | 2,38 | 3,30 x 10 ¹ | ND | 1,09 x 10 ¹ |
| | | 2 | 1,64 | 4,50 x 10 ¹ | ND | 1,41 x 10 ¹ |
| <i>Escherichia coli</i> ⁽²⁾ | 1,63 x 10 ² (1,63 x 10 ³) | 1 | 2,38 | 3,30 x 10 ¹ | ND | 1,09 x 10 ¹ |
| | | 2 | 1,08 | 200 x 10 ¹ | ND | 6,40 |
| Bactérias heterotróficas ⁽³⁾ | 1,25 x 10 ² (2,44 x 10 ²) | 1 | 6,43 x 10 ¹ | 3,64 x 10 ² | 1,65x10 ¹ | 1,05 x 10 ² |
| | | 2 | 6,41 x 10 ¹ | 4,12 x 10 ² | 1,80x10 ¹ | 1,17 x 10 ² |
| Esporos aeróbios ⁽⁴⁾ | 8,20 x 10 ³ (1,27 x 10 ⁴) | 1 | 1,26 x 10 ⁴ | 8,45 x 10 ⁴ | 6,36x10 ³ | 2,31 x 10 ⁴ |
| | | 2 | 1,27 x 10 ⁴ | 4,84 x 10 ⁴ | 6,53x10 ³ | 1,32 x 10 ⁴ |
| <i>Bacillus subtilis</i> ⁽⁴⁾ | 1,80 (1,97 x 10 ¹) | 1 | 2,11 | 1,00 x 10 ² | ND | 4,00 x 10 ¹ |
| | | 2 | - | ND | ND | - |
| Esporos anaeróbios ⁽⁴⁾ | 1,20 x 10 ¹ (2,43 x 10 ¹) | 1 | 4,98 x 10 ¹ | 1,18 x 10 ² | ND | 3,69 x 10 ¹ |
| | | 2 | 4,97 x 10 ¹ | 1,99 x 10 ² | 1,90x10 ¹ | 5,15 x 10 ¹ |
| <i>Clostridium perfringens</i> ⁽⁴⁾ | 5,72 (1,40 x 10 ¹) | 1 | 2,37 x 10 ¹ | 1,00 x 10 ² | ND | 3,71 x 10 ¹ |
| | | 2 | 2,02 x 10 ¹ | 5,38 x 10 ¹ | 6,00 | 1,73 x 10 ¹ |
| <i>Cryptosporidium</i> spp. ⁽⁵⁾ | 1,62 (15,89) | 1 | 7,28 | 1,15 x 10 ² | ND | 4,42 x 10 ¹ |
| | | 2 | 2,93 | 4,67 x 10 ² | ND | 1,75 x 10 ² |
| <i>Giardia</i> spp. ⁽⁶⁾ | 2,55 (14,39) | 1 | 1,10 | 1,61 x 10 ² | ND | 6,60 x 10 ¹ |
| | | 2 | 3,43 | 4,67 x 10 ¹ | ND | 2,05 x 10 ¹ |

Notas: (1) Média geométrica, valores entre parênteses: desvio padrão; (2) NMP por 100 mL; (3) UFC mL⁻¹; (4) UFC por 100 mL; (5) oocistos . L⁻¹; (6) cistos . L⁻¹; (7) número de amostras = 10 ;ND: não detectado; n

Os resultados bacteriológicos da água bruta são, em geral, similares a informações anteriores sobre o mesmo manancial (BASTOS *et al.*, 2000; BASTOS *et al.*, 2004), sugerindo a inexistência de processos acentuados de contaminação.

Em relação à presença dos esporos na água bruta, foram encontradas concentrações da ordem de 10^3 e 10^4 por 100 mL e 10^1 por 100 mL para os esporos aeróbios e anaeróbios, respectivamente.

A presença de *Bacillus subtilis* e de *Clostridium perfringens* se deu em populações muito baixas, com valores médios da ordem de 10^0 - 10^1 organismos por 100 mL, respectivamente.

Na tabela 6.2, apresenta-se a estatística descritiva dos dados de protozoários na água bruta. Das 31 amostras coletadas, não foram encontrados cistos de *Giardia* spp. em 17 (54,8%). Os oocistos *Cryptosporidium* spp. estiveram ausentes em 20 amostras (64,5%). Os valores máximos encontrados para (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. foram, respectivamente, $6 \times 10^1 \cdot L^{-1}$ e $4,7 \times 10^1 \cdot L^{-1}$.

Tabela 6.2: Estatística descritiva dos dados de protozoários na água bruta, Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa - MG, 2006 e 2007.

| Parâmetro | <i>Cryptosporidium</i> spp. (oocistos . L ⁻¹) | <i>Giardia</i> spp. (cistos . L ⁻¹) |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Mínimo | ND | ND |
| Máximo | 60,00 | 47,00 |
| Média Geométrica | 1,62 | 2,55 |
| Mediana | ND | ND |
| Moda | ND | ND |
| 1° Quartil | ND | ND |
| 3° Quartil | 6,25 | 19,00 |
| 10% | ND | ND |
| 90% | 24,50 | 39,00 |
| Desvio Padrão | 15,89 | 14,39 |
| Número de amostras | 31 | 31 |

As concentrações de (oo)cistos encontradas também foram similares a informações anteriormente registradas no mesmo manancial (BASTOS *et al.*, 2004). Aguirre (2003), estudando a presença de protozoários em Campinas - SP, registra que dentre as 14 amostras de água bruta analisadas, 64,3% foram positivas para *Giardia*, com média geométrica de 722,9 cistos . L⁻¹ e 14,3% para *Cryptosporidium*, com média geométrica de 692,8 oocistos . L⁻¹. Esse mesmo autor afirma que há grande dificuldade em se comparar concentrações apresentadas por diferentes autores, uma vez que são variáveis os cálculos utilizados para estimar a quantidade de organismos presentes nas amostras a partir do número de cistos e oocistos efetivamente visualizados por microscopia de

imunofluorescência, bem como os volumes filtrados e a metodologia analítica empregada.

No que tange a ALF, de forma geral, observa-se que os valores dos parâmetros microbiológicos analisados foram relativamente baixos.

Tanto na água de lavagem do filtro 1 (ALF 1) quanto na do filtro 2 (ALF 2) bactérias heterotróficas foram encontradas em 100% das amostras, tendo como médias respectivamente, 64,3 UFC . mL⁻¹ e 64,1 UFC . mL⁻¹. *Bacillus subtilis* foram detectados em 27,3% das amostras da ALF 1 com média de 2,11 UFC por 100 mL; na ALF 2, nenhum resultado positivo foi registrado.

Em relação às bactérias do grupo coliforme, na ALF 1 81,8% das amostras revelaram presença de coliformes totais, com média de todas as amostras de 7,6 organismos por 100 mL; 54,5% das amostras foram positivas para coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, com média de 2,38 organismos por 100 mL. Na ALF 2, foram detectados coliformes totais em 50% das amostras, com média de 8,06 organismos por 100 mL, coliformes termotolerantes em 50% das amostras, com média de 1,64 organismos por 100 mL, *Escherichia coli* em 40% das amostras com média de 1,08 organismos por 100 mL.

Souza Filho (1998) encontrou valores de coliformes totais e *Escherichia coli* na ALF na ordem de 10⁵ e 10⁴ organismos por 100 mL, concentrações estas superiores às da água bruta, da ordem de 10⁴ e 10² organismos por 100 mL, respectivamente. Já no trabalho realizado por Medeiros *et al.* (2003) não foram detectados coliformes totais e coliformes termotolerantes na ALF. Por sua vez, Di Bernardo *et al.* (1999) encontraram valores da ordem de 10³ coliformes totais por 100 mL.

Observa-se que as bactérias heterotróficas foram encontradas na ALF em concentrações de ordem de grandeza de 10¹ a 10² mais baixas do que na água bruta. Resultado semelhante foi encontrado para as bactérias do grupo coliforme, o que provavelmente é explicado pelo fato de se utilizar água tratada para a lavagem dos filtros, com residuais de cloro que podem exercer ação bactericida durante a operação de lavagem. De fato, durante a lavagem dos filtros foram encontrados teores de cloro residual livre entre 0,2 mg . L⁻¹ e 0,7 mg . L⁻¹ na ALF 1 e 0,3 mg . L⁻¹ e 1,1 mg . L⁻¹ na ALF 2. Embora o processo de lavagem ocorra em aproximadamente 8 min, os resultados parecem indicar uma redução dos organismos mais sensíveis à ação do cloro.

Em contrapartida, foram registrados na ALF aumento das concentrações de organismos reconhecidamente mais resistentes, como esporos de bactérias. Na ALF 1, esporos aeróbios estiveram presentes em 100% das amostras, com média de $1,26 \times 10^4$ UFC por 100 mL. Esporos anaeróbios apresentaram-se em 90,9% das amostras (média de 49,8 UFC por 100 mL) e *Clostridium perfringens* em 90,9% (média de 23,7 UFC por 100 mL). Na ALF 2, esporos aeróbios apresentaram-se em todas as amostras, com média de $1,27 \times 10^4$ UFC por 100 mL, 100% das amostras continham esporos anaeróbios e *Clostridium perfringens*, com médias de 4,97 UFC por 100 mL e 2,02 UFC por 100 mL, respectivamente.

Na análise de protozoários, a ALF 1 apresentou resultados positivos em 50% das amostras para *Cryptosporidium* spp., com média geométrica de 7,28 oocistos $\cdot L^{-1}$ e 62,5% para *Giardia* spp., com média de 1,10 cistos $\cdot L^{-1}$. Na ALF 2, 28,6% das amostras foram positivas para *Cryptosporidium* spp., com média de 2,93 cistos $\cdot L^{-1}$ e 42,9% para *Giardia* spp. com média de 3,43 cistos $\cdot L^{-1}$.

Considerando os valores máximos na ALF 1 e na ALF 2, foram encontrados, respectivamente, 1,6 e 1,1 vezes mais esporos de bactérias anaeróbias e 18,5 e 10,4 vezes mais esporos de bactérias aeróbias do que na água bruta.

A concentração média de *Cryptosporidium* spp. na ALF 1 foi 4,5 vezes maior do que a da água bruta, enquanto que na ALF2 foi 1,8 vezes maior. Além disso, é importante atentar para a concentração máxima encontrada desse protozoário na ALF, chegando a valores de $4,67 \times 10^2$ oocistos $\cdot L^{-1}$. Em relação à *Giardia* spp, os valores encontrados na ALF 1 foram menores que os da água bruta; já na ALF 2 a concentração de cistos foi 1,3 vezes maior.

Aguirre (2003), utilizando a técnica de imunofluorescência direta após processo de filtração, eluição e raspagem de membrana, não detectou nenhum protozoário nas amostras de ALF mesmo tendo encontrado cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em 64,3% e 14,3% das amostras de água bruta analisadas. As características das amostras de ALF, como a grande quantidade de partículas sólidas e, conseqüentemente, a alta turbidez, além da presença de matéria orgânica, representaram dificuldades na execução dos métodos de quantificação. Contudo, diversos autores encontraram elevadas concentrações de protozoários em amostras de ALF (AROTA *et al.*, 2001).

Diante das concentrações encontradas e da reconhecida resistência dos protozoários à ação do cloro, infere-se que a recirculação da ALF pode ser vista como a introdução de perigo no processo de tratamento de água.

A comparação das médias dos parâmetros microbiológicos investigados entre os dois filtros não apresentou diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$), indicando que as características das águas de lavagem de ambos os filtros são semelhantes. Essa mesma avaliação foi realizada comparando os períodos de seca e chuva e as diferenças também não foram significativas (dados não apresentados).

Na Figura 6.1, está apresentada a variação típica de turbidez da ALF ao longo do processo de retrolavagem dos filtros 1 e 2. Nota-se, para ambos os filtros, picos típicos ao início do processo (2 a 3 minutos após o início da lavagem) e que a limpeza dos leitos filtrantes praticamente se encerra em torno de seis minutos, sem grandes ganhos adicionais daí em diante. Vê-se também que o pico de turbidez no filtro 1 esteve no entorno de 100 uT e no filtro 2 aproximadamente 200 uT. Os resultados obtidos por Scalize (1997), na ETA de São Carlos-SP, mostraram picos de turbidez de 120 uT, 1 minuto após o início da lavagem. Já SOUZA FILHO (1998), na ETA Paiol em Araraquara –SP, encontrou picos de 700 uT.

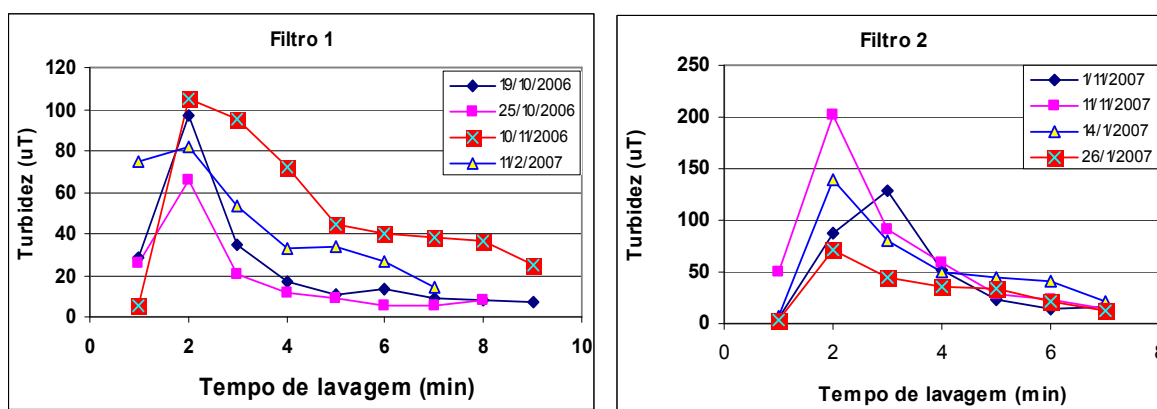


Figura 6.1: Variação de turbidez durante a lavagem, filtros 1 e 2, ETA UFV, Viçosa – MG.

Na Tabela 6.3, encontram-se os resultados da caracterização física e química da ALF dos filtros da ETA UFV.

Tabela 6.3: Caracterização física e química da água de lavagem dos filtros da ETA UFV, média e desvio-padrão ⁽¹⁾.

| Parâmetro | ALF 1 ⁽²⁾ | | ALF 2 ⁽²⁾ | |
|--------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| DQO (mg . L ⁻¹) | 49,1a | 20,8 | 46,8a | 16,0 |
| Fósforo (mg . L ⁻¹) | 0,1a | 0,03 | 0,1a | 0,03 |
| Ferro (mg . L ⁻¹) | 1,9a | 1,0 | 2,3a | 0,9 |
| Alumínio (mg . L ⁻¹) | 1,6a | 0,8 | 1,5a | 1,0 |
| Manganês (mg . L ⁻¹) | 3,0a | 2,0 | 2,7a | 1,70 |
| Alcalinidade total (mg CaCO ₃ . L ⁻¹) | 17,9a | 2,50 | 19,5a | 1,90 |
| pH | 7,5a | 0,3 | 7,6a | 0,4 |
| Cor (uC) | 124,6a | 38,9 | 145,7a | 54,0 |
| Turbidez (uT) | 52,4a | 23,8 | 49,6a | 20,5 |
| Sólidos em Suspensão Totais (mg . L ⁻¹) | 62,3a | 19,2 | 46,9a | 16,5 |
| Sólidos sedimentáveis (mL . L ⁻¹) | 3,3a | 1,3 | 3,3a | 0,6 |

NOTAS: (1) médias aritméticas, n = 9; (2) letras iguais na mesma linha indica a não existência de diferenças significativas entre médias (teste de Kruskal-Wallis, p > 0,05).

Não houve diferença estatística (análise de variância, com nível de significância de 5%) entre os parâmetros analisados dos filtros 1 e 2 (Tabela 6.3) e também entre os períodos do ano (chuva e seca²).

Os valores médios de DQO podem ser considerados baixos. Valores semelhantes foram encontrados por Scalize (1997) e Fontana (2004), enquanto que Souza Filho (1998), Medeiros *et al.* (2003) encontraram valores da ordem de 20 mg . L⁻¹, ou seja, ainda mais baixos.

Em relação às concentrações de metais, o manganês apresentou os valores mais elevados (3,0 mg . L⁻¹) e acima do padrão de lançamento estabelecido pela Resolução CONAMA 357 / 2005 (1,0 mg . L⁻¹) (BRASIL, 2005). Os demais metais analisados (ferro e alumínio) apresentaram valores mais baixos, mesmo o alumínio, introduzido na água com o coagulante utilizado (sulfato de alumínio).

A alcalinidade e o pH médio da água bruta no período de realização dos ensaios foram respectivamente de 23,8 mg CaCO₃ . L⁻¹ e 7,1. Na ALF, a alcalinidade caiu e o pH pouco se alterou.

² dados não incluídos

Na Figura 6.2 apresenta-se a variação dos dados de turbidez da água de lavagem dos filtros 1 e 2 nos anos de 2006 e 2007. Os percentis 25% e 75% foram de 40 uT e 61,7 uT para o filtro 1 e 39 uT e 54,3 uT para o filtro 2. A análise de variância dos valores de turbidez encontrados ao longo do ano em cada filtro não revelou diferença significativa entre as épocas de chuva e seca ($p > 0,05$), sugerindo que as simulações efetuadas no tópico referente aos cenários de recirculação podem ser extrapoladas para as duas épocas do ano (item 6.3).

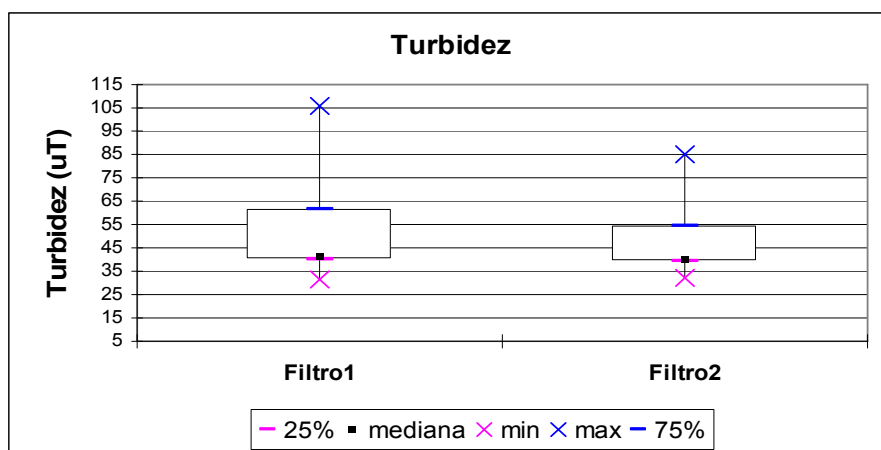


Figura 6.2: Variação da turbidez da água de lavagem dos filtros da ETA UFV, Viçosa - MG, 2006 e 2007.

O valor médio de SST encontrado na ALF do filtro 2 foi de $46,8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ com desvio padrão de $16,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Estes valores são bem inferiores aos encontrados por Scalize (1997) e Medeiros *et al.* (2003), respectivamente, 210 e $130 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Para ambos os filtros, o valor médio de sólidos sedimentáveis foi de $3,3 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$, portanto, acima do estabelecido como padrão de lançamento de efluentes na Resolução CONAMA 357 / 2005 ($1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

Considerando que são produzidos diariamente 100 m^3 de ALF, poder-se-ia estimar cargas médias lançadas no corpo receptor (quase de forma pontual, cerca de dez minutos) de: $4,91 \text{ kg DQO}$, $0,16 \text{ kg alumínio}$, $0,01 \text{ kg fósforo}$, $0,3 \text{ kg manganês}$, $0,19 \text{ kg ferro}$; $62,5 \text{ kg sólidos em suspensão}$, valores estes nada desprezíveis.

6.2. Ensaios de clarificação da água de lavagem de filtros da ETA UFV em colunas de sedimentação.

Nas Figuras 6.3 a 6.14 incluem-se exemplos dos diversos ensaios de sedimentação realizados. Para facilitar a visualização estão apresentados apenas os resultados da turbidez remanescente em função do tempo no ponto de coleta localizado a 7 cm do fundo da coluna (os demais resultados encontram-se no Anexo A). Os melhores resultados de cada ensaio foram considerados aqueles que forneceram velocidades de sedimentação elevadas (coeficiente angular da curva de sedimentação) e turbidez remanescente baixa (verificada na parte assintótica da curva – reta representativa de região de compressão da camada de lodo) (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Na execução da primeira etapa dos ensaios de sedimentação, independentemente do produto utilizado, os melhores resultados foram encontrados com a utilização de menores dosagens de polímeros.

O aumento na dosagem de polímero aniônico não levou a um aumento da velocidade de sedimentação e nem da remoção de turbidez, ao contrário, quanto maior a dosagem, pior o resultado (Figura 6.3). Pode-se especular que esse comportamento poderia ser explicado pelo fato das partículas presentes na ALF serem negativas. Nesse caso, um aumento na dosagem pode ter levado a uma concentração mais elevada de cargas negativas na superfície das partículas, fortalecendo as forças de repulsão entre elas e, assim, piorando as características do clarificado.

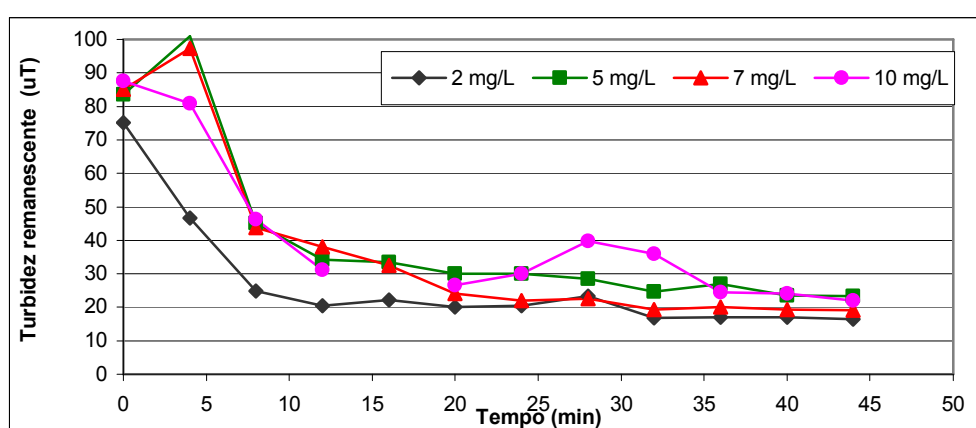


Figura 6.3: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses de polímero aniônico de 2 a 10 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

Em relação aos ensaios com polímero não-iônico (Figura 6.4.), o aumento da dosagem também piorou a qualidade da ALF clarificada. Os valores de turbidez remanescente ao final do ensaio variaram de 9,1 uT a 30,3 uT, respectivamente para as doses de 2 mg . L⁻¹ e 10 mg . L⁻¹.

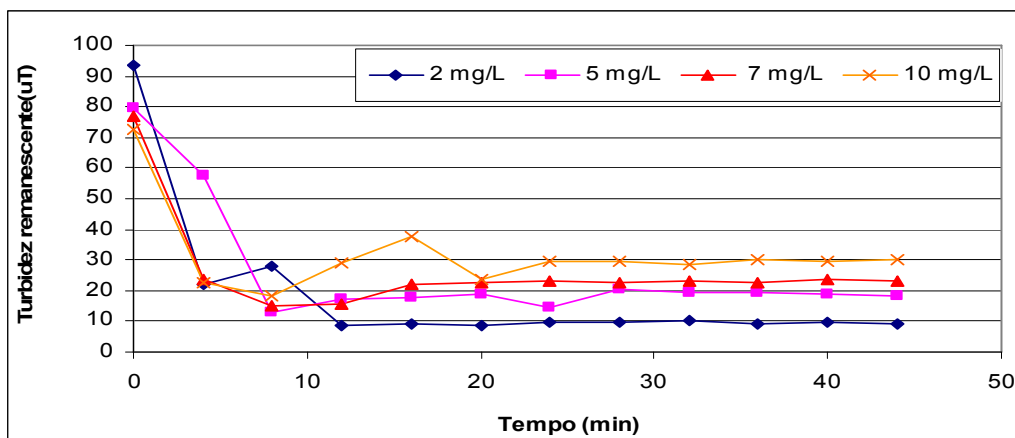


Figura 6.4: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses de polímero não-iônico de 2 a 10 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

O polímero catiônico apresentou melhor desempenho para a dose de 2 mg . L⁻¹. Dosagens superiores levaram à diminuição na qualidade do clarificado (Figura 6.5). Uma quantidade excessiva de polímero, superior a 2 mg . L⁻¹, pode ter levado à reestabilização das partículas presentes. Isso provavelmente ocorreu porque a quantidade de polímero deve ser suficiente apenas para neutralizar as cargas das partículas e um excesso de polímero pode levá-las à re-dispersão (BOLTO & GRECORY, 2007).

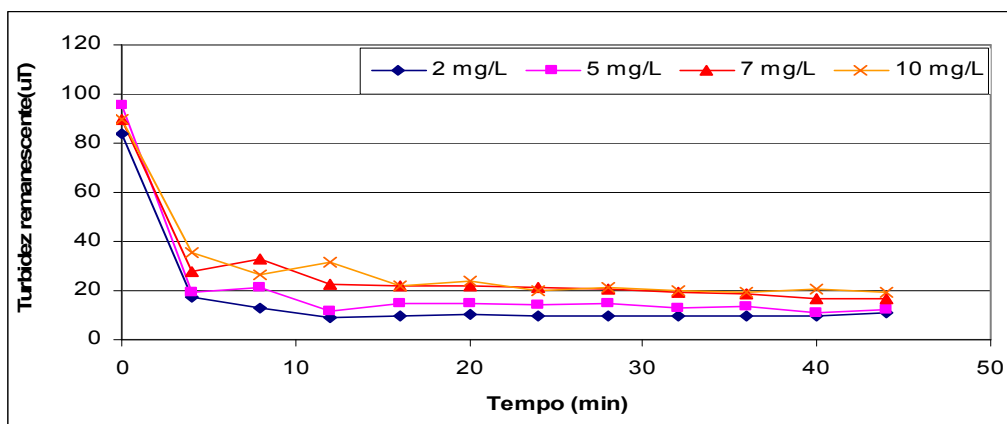


Figura 6.5: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses de polímero catiônico de 2 a 10 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 minutos.

Encontrada a melhor dose (2 mg . L⁻¹) para os três polímeros testados, passou-se à determinação da melhor concentração do condicionante químico: 0,1%, 0,3% ou 0,6% (Figuras 6.6 a 6.8).

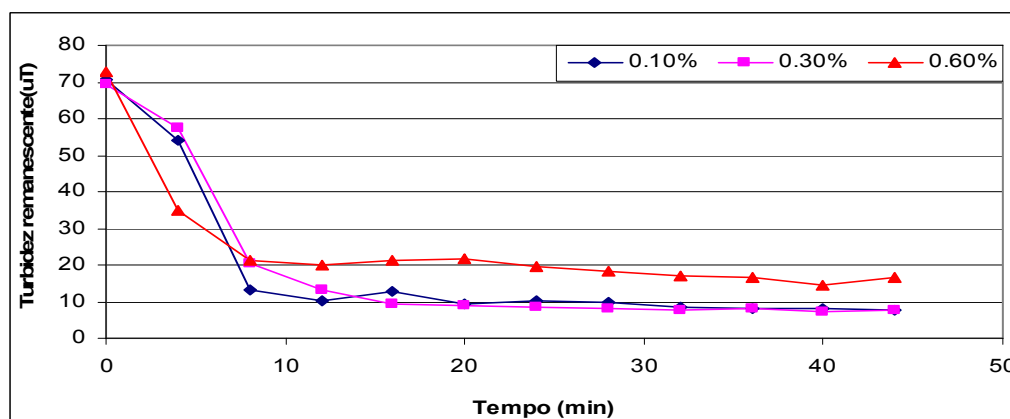


Figura 6.6: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero aniônico de 2 mg . L⁻¹ tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%, 0,3% e 0,6%.

Para todos os três polímeros testados as concentrações de 0,1% e 0,3% foram as que proporcionaram os melhores resultados: velocidade de sedimentação elevada e turbidez remanescente baixa. Esses resultados vão ao encontro das recomendações de uso do fabricante: concentrações até 0,3%.

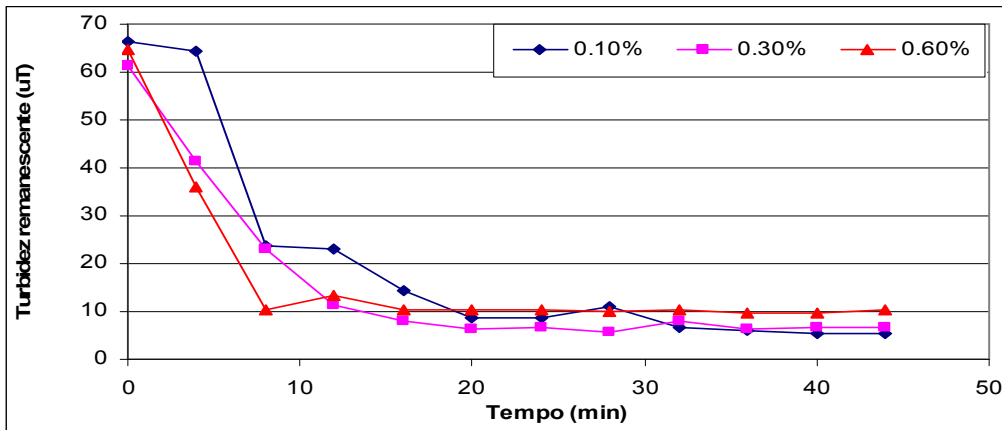


Figura 6.7: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero não-iônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%, 0,3% e 0,6%.

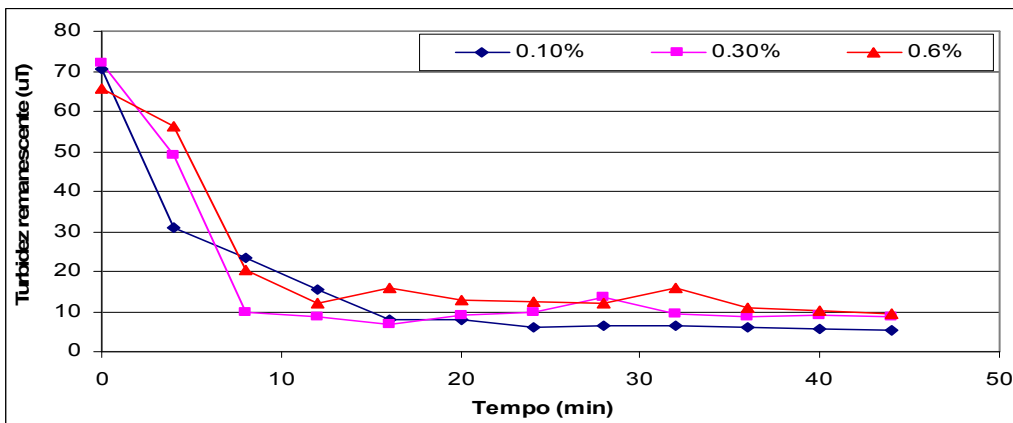


Figura 6.8: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero catiônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%, 0,3% e 0,6%.

Com base nesses resultados optou-se por continuar os ensaios com a concentração de 0,1% para os três tipos de polímeros. Fixada essa concentração, as doses de polímeros foram variadas em $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (tempo de mistura de 5 minutos) (Figuras 6.9 a 6.11).

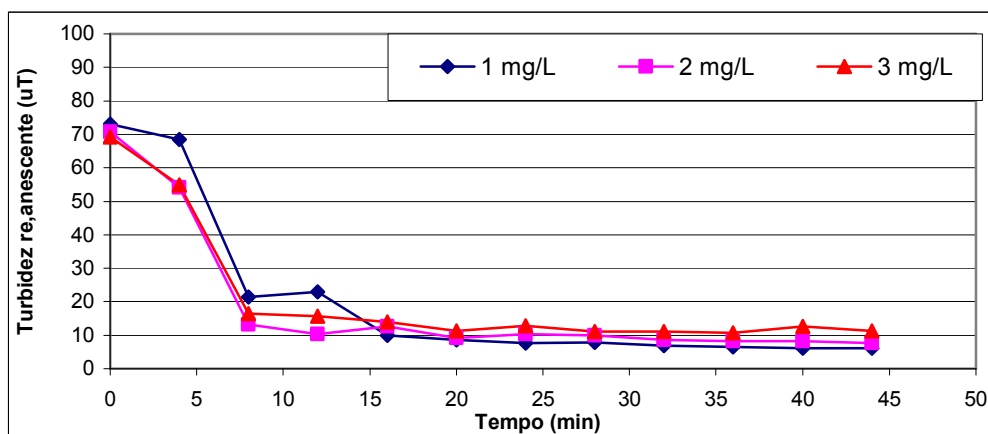


Figura 6.9: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses do polímero aniônico de 1, 2 e 3 mg . L⁻¹, tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%.

Para as três doses testadas, os valores de turbidez remanescente e de velocidade de sedimentação foram muito semelhantes e, em sendo assim, optou-se pela menor dose (1 mg . L⁻¹), não somente por questões de economia, mas também porque os polímeros apresentam potencial tóxico, principalmente para organismos aquáticos. A respeito, a preocupação com possíveis contaminantes presentes nos polieletrólitos levou países como Japão e Suíça a proibirem o uso de polímeros em tratamento de água para consumo humano, enquanto que Alemanha e França estabeleceram limites rigorosos. Nesses países, o limite máximo da presença de acrilamida livre é de 0,025% (BOLTO & GRECORY, 2007).

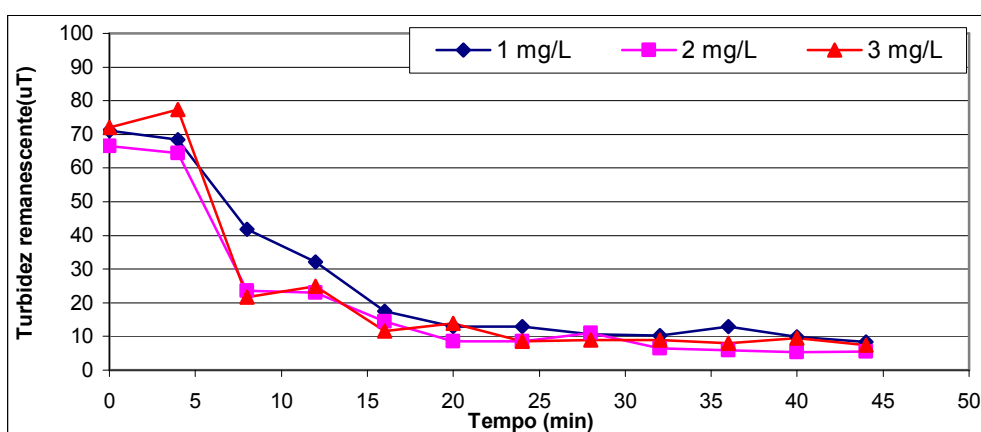


Figura 6.10: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses do polímero não-iônico de 1, 2 e 3 mg . L⁻¹, tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%.

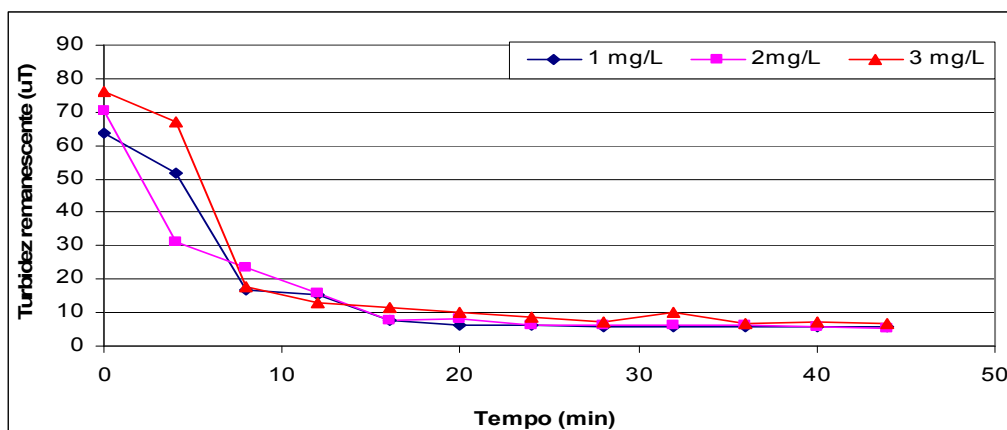


Figura 6.11: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, doses do polímero catiônico de 1, 2 e 3 mg . L⁻¹, tempo de mistura de 5 minutos e concentração de 0,1%.

Definida a melhor combinação dose x concentração, o tempo de mistura foi testado variando entre 3 min, 5 min, 7 min e 10 min.

Para o polímero catiônico, os maiores tempos de mistura proporcionaram claro aumento na velocidade de sedimentação e menores valores de turbidez remanescente (Figura 6.12). Esse fato poderia ser explicado pela melhor dispersão da solução de polímero no meio, o que fez com que se otimizasse a neutralização das partículas, que em geral possuem cargas negativas.

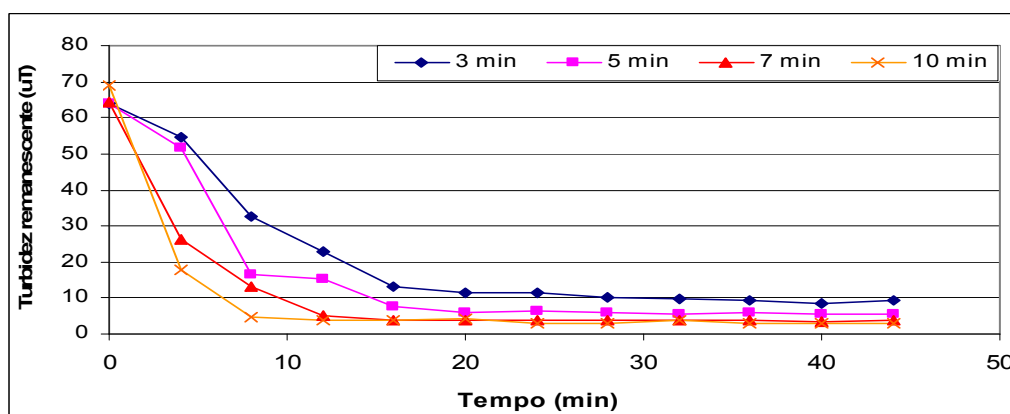


Figura 6.12: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero catiônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempos de mistura de 3, 5, 7 e 10 minutos.

Já para o polímero não iônico, a partir de 5 minutos de agitação essa relação não se mostrou tão clara; os tempos de mistura de 5 min, 7 min e 10 min proporcionaram

resultados muito semelhantes e, assim, a escolha recaiu no tempo de mistura de 5 min (Figura 6.13).

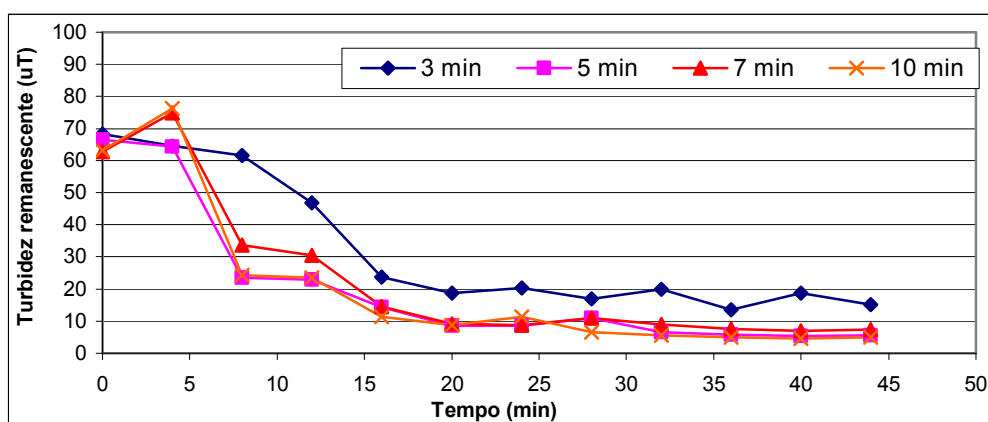


Figura 6.13: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero não iônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempos de mistura de 3, 5, 7 e 10 minutos.

Em relação ao polímero aniônico, os tempos de mistura de 7 min e 10 min foram os que proporcionaram menores valores de turbidez remanescente (4,8 uT e 3,8 uT, respectivamente) com valores de velocidade de sedimentação semelhantes; como o tempo de mistura de 7 min já atende à recomendação de recirculação com turbidez menor que 5 uT (UKWIR, 1998), este seria o tempo de mistura indicado (Figura 6.14).

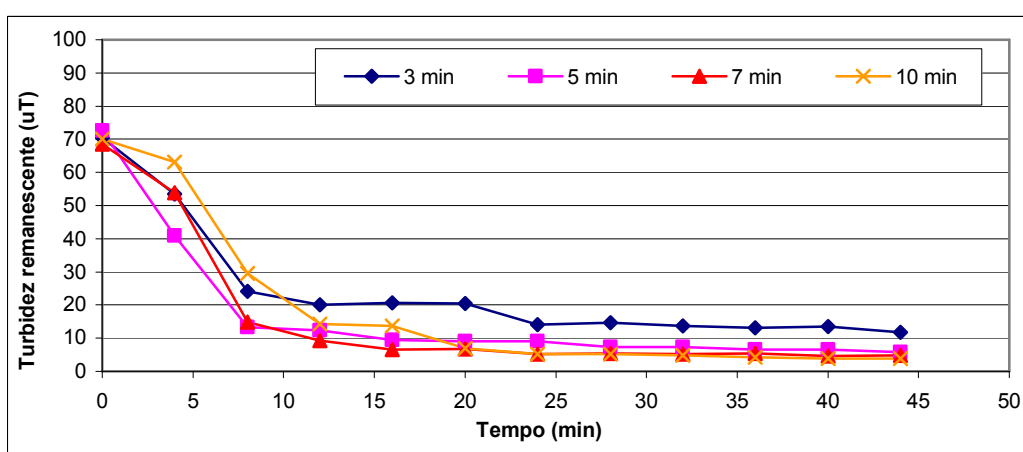


Figura 6.14: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura, dose do polímero aniônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempos de mistura de 3, 5, 7 e 10 minutos.

Na Tabela 6.4 e na Figura 6.15, os resultados são sintetizados em termos de melhores resultados obtidos para cada polímero: (i) catiônico - dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1 % e tempo de mistura de 10 min; (ii) aniônico - dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1 % e tempo de mistura de 7 min; (iii) não iônico - dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1 % e tempo de mistura de 5 min.

Tabela 6.4: Velocidades de sedimentação e turbidez remanescente dos ensaios finais realizados com polímeros catiônico, aniônico e não-iônico.

| Ensaio | Velocidade de sedimentação ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$) | Turbidez remanescente (uT) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Polímero catiônico - dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1 % e tempo de mistura de 10 minutos | 21 | 3,80 |
| Polímero aniônico - dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1 % e tempo de mistura de 7 minutos | 9,5 | 4,80 |
| Polímero não iônico - dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1 % e tempo de mistura de 5 minutos | 8,1 | 5,5 |

A velocidade de sedimentação apresentada na Tabela 6.4 foi calculada da seguinte forma: altura do nível da água ao final do ensaio dividido pelo tempo encontrado pela interseção do prolongamento da reta correspondente à região de clarificação com o eixo do tempo do ensaio, conforme proposto por Di Bernardo *et al.*, 2002.

Comparativamente, o polímero catiônico foi o que proporcionou o melhor resultado, com velocidade de sedimentação de $21 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ e turbidez final de 3,8 uT, contra $9,5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ e 4,8 uT do polímero aniônico e $8,1 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ e 5,5 uT do polímero não iônico.

Em contra partida, Scalize (1997), Souza Filho (1998) e Medeiros *et al.* (2003) encontraram melhores resultados com polímero aniônico na clarificação da água de lavagem dos filtros de ETAs, que utilizam respectivamente sulfato de alumínio e cloreto férrico (os dois últimos) como coagulantes primários.

Os resultados do presente trabalho confirmam os obtidos em ensaios preliminares realizados por Bastos *et al.* (2005) com a ALF da ETA UFV, que encontraram também como melhor polímero o catiônico.

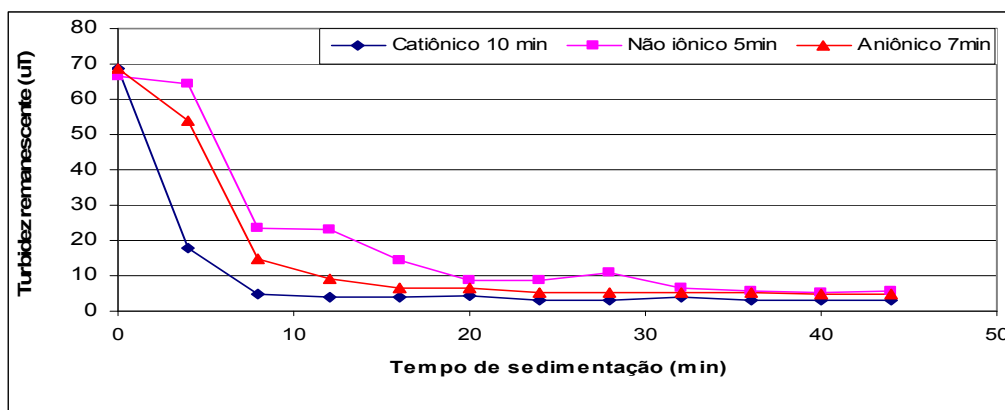


Figura 6.15: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura; polímero catiônico: $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0,1% e tempo de mistura 10 minutos; polímero não iônico: $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0,1% e tempo de mistura 5 minutos; polímero aniônico: $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0,1% e tempo de mistura 7 minutos (ensaio 1).

O ensaio com as melhores doses, concentrações e tempos de mistura foi repetido, com turbidez da ALF em torno de 35 uT. Nesses ensaios utilizou-se, aleatoriamente, a água de lavagem do filtro 2, uma vez que não existiu diferença estatística entre os filtros. Nesses ensaios, o sobrenadante foi coletado e caracterizado segundo parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Na Figura 6.16, encontram-se as curvas de variação da turbidez residual em função do tempo para os três polímeros e sem a aplicação do polímero. A curva de sedimentação e a eficiência de remoção de turbidez (aproximadamente de 95% para os polímeros catiônico e aniônico e 85% para o polímero não-iônico) foram semelhantes às obtidas nos ensaios anteriores (Figura 6.15), resultando em valores de turbidez ao final do ensaio de, aproximadamente, 2 uT para os polímeros catiônico e aniônico e em torno de 5 uT para o polímero não-iônico. Em relação ao ensaio sem aplicação de polímeros, a turbidez após 44 min era de 12,8 uT, com velocidade de sedimentação de $2,2 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$.

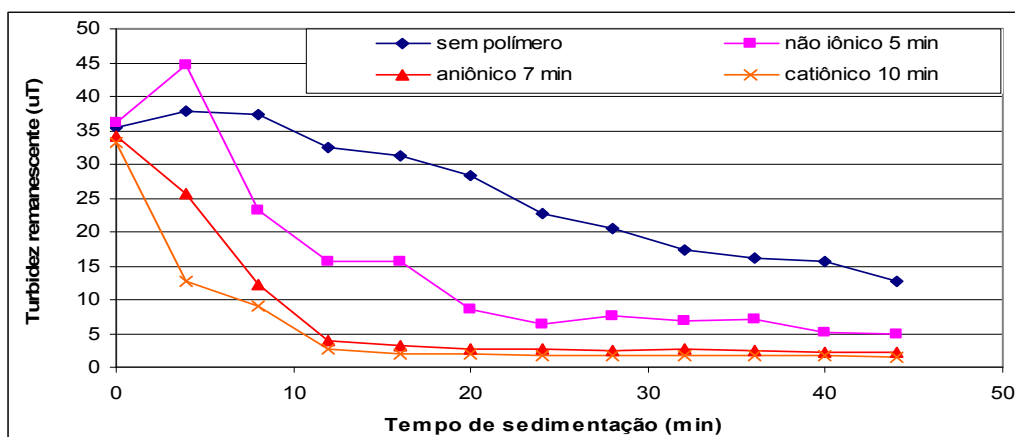


Figura 6.16: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, coleta a 7 cm de altura; polímero catiônico: $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0,1% e tempo de mistura 10 minutos; polímero não iônico: $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0,1% e tempo de mistura 5 minutos; polímero aniônico: $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0,1% e tempo de mistura 7 minutos (ensaio 2).

Os resultados da caracterização física e química do sobrenadante dos quatro ensaios estão apresentados na Tabela 6.5. A aplicação de polímeros proporcionou remoção considerável de todos os parâmetros, exceto DQO (41,2% de remoção); para alumínio, fósforo e manganês foi alcançada remoção de 100%. A utilização do polímero catiônico proporcionou as menores concentrações dos diversos parâmetros e os piores resultados referem-se aos ensaios sem aplicação de polímeros.

Tabela 6.5: Composição física e química da água de lavagem dos filtros da ETA UFV e das amostras clarificadas em ensaios em colunas de sedimentação.

| Parâmetro | ALF bruta | Sem polímero | Aniônico | Catiônico | Não iônico |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|--------------|----------|-----------|------------|
| DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 46,6 | 30,8 | 27,4 | 27,4 | 30,0 |
| Ferro ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 3,5 | 2,1 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| Alumínio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0,6 | 0,01 | ND | ND | ND |
| Fósforo ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0,1 | 0,01 | ND | ND | ND |
| Manganês ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0,1 | ND | ND | ND | ND |
| Alcalinidade total ($\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$) | 17,3 | 17,3 | 17,3 | 17,3 | 17,3 |
| pH | 7,7 | 7,7 | 7,6 | 7,6 | 7,7 |
| Cor (uC) | 150 | 45,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| Turbidez (uT) | 33,5 | 12,8 | 2,1 | 1,5 | 4,9 |
| Sólidos em Suspensão Totais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 75,0 | 29,5 | 7,0 | 7,0 | 10,5 |
| Sólidos Sedimentáveis ($\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$) | 3 | 0,40 | ND | ND | ND |

ND: não detectável

Pode-se constatar a ausência de alguns organismos pesquisados na ALF e a redução dos microrganismos inicialmente detectados com a clarificação assistida ou não por polímeros (Tabela 6.6).

Tabela 6.6: Caracterização microbiológica da água de lavagem do filtro 2 a ETA UFV e das amostras clarificadas em ensaios em colunas de sedimentação.

| Organismo | ALF bruta | Sem polímero | Aniônico | Catiônico | Não iônico |
|---------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Bactérias heterotróficas ⁽¹⁾ | 2,03 x 10 ² | 7,25 x 10 ¹ | 2,15 x 10 ¹ | 5,5 | 4,8 x 10 ¹ |
| Coliformes totais ⁽²⁾ | 2,3 x 10 ¹ | ND | ND | ND | ND |
| Coliformes termotolerantes ⁽²⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| <i>Escherichia coli</i> ⁽²⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| Esporos bactérias aeróbias ⁽³⁾ | 1,78 x 10 ⁴ | 1,32 x 10 ⁴ | 2,8 x 10 ³ | 5,0 x 10 ² | 1,30 x 10 ³ |
| Esporos bactérias anaeróbias ⁽³⁾ | 8,8 x 10 ¹ | 2,4 x 10 ¹ | 1 | ND | 3,5 |
| <i>Bacillus subtilis</i> ⁽³⁾ | 2,4 x 10 ¹ | ND | ND | ND | ND |
| <i>Cryptosporidium spp</i> ⁽⁴⁾ | ND | 3,0 x 10 ¹ | 5 | ND | 4 |
| <i>Giardia spp</i> ⁽⁵⁾ | ND | 1,0 x 10 ¹ | ND | ND | ND |

NOTAS: (1) UFC . mL⁻¹; (2) NMP por 100 mL⁻¹; (3) UFC por 100 mL⁻¹; (4) oocistos . L⁻¹; (5) cistos . L⁻¹; ND: não detectável.

Embora tenha sido feita apenas uma análise para cada parâmetro, pode-se especular que a não ocorrência de coliformes termotolerantes e *E. coli*, microrganismos menos resistentes à presença do cloro, provavelmente pode ser explicada pela utilização de água tratada na lavagem do filtro, conforme discutido anteriormente. Já a ausência de valores detectáveis de (oo)cistos pode estar relacionada a limitações da técnica de detecção, uma vez que ao longo do monitoramento foram identificados cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* nas amostras de ALF, com valores médios dos dois filtros de 2,26 e 5,10 (oo)cistos . L⁻¹, respectivamente. Dessa forma, embora na amostra utilizada nos ensaios não tenham sido detectados protozoários, esses, sem dúvida, podem estar presentes na ALF.

Considerando o tipo de clarificação avaliada, não foram observados coliformes totais e *Clostridium perfringens* em nenhuma amostra, inclusive quando não foi utilizado polímero. Em geral, os parâmetros microbiológicos seguiram a mesma tendência dos físicos e químicos, ou seja, o polímero catiônico parece ter proporcionado os melhores resultados.

Avaliando os parâmetros individualmente para a clarificação sem uso de polímero houve uma redução de 72,5% para as bactérias heterotróficas; 72,7% para esporos de bactérias anaeróbias e 25,8% para esporos de bactérias aeróbias. Quando o polímero catiônico foi utilizado, a redução desses organismos foi de 97,3%; 100% e 97,2%, respectivamente.

Com relação aos protozoários, observou-se a presença de (oo)cistos nas amostras de água clarificada, sem que os mesmos tivessem sido identificados na água de lavagem de filtro utilizada nos ensaios. Todas as análises para detecção e contagem de protozoários foram realizadas utilizando a mesma metodologia e partindo do mesmo volume de amostra (10 L). Contudo, a amostra composta da ALF apresentou valores de turbidez (33,5 uT) e de sólidos em suspensão totais (75 mg . L⁻¹) consideravelmente superiores aos das amostras que passaram por processo de clarificação (valores médios de 5,32 uT e 13,5 mg . L⁻¹). Sabe-se que a presença de partículas é fator limitante na visualização de (oo)cistos nas análises de imunofluorescência dificultando a leitura (KARANIS *et al.*, 1998); nesse sentido, a não detecção de protozoários na ALF pode ser devida a limitações da técnica analítica utilizada. Ressalta-se, ainda, que foi realizada uma única pesquisa dos parâmetros microbiológicos na água de lavagem utilizada nos ensaios.

Analisando os dados obtidos durante os experimentos de clarificação. o ensaio com uso de polímero catiônico foi o único a apresentar valor não detectável de oocistos de *Cryptosporidium* spp, sendo que foram detectados 3,0 x 10¹ oocistos . L⁻¹ quando não se utilizou polímero e 5 e 4 oocistos . L⁻¹ quando foram utilizados os polímeros o aniônico e o não iônico, respectivamente. Cistos de *Giardia* spp., foram encontrados apenas na amostra clarificada sem o uso de polímero (1,0 x 10¹ cistos . L⁻¹).

Apesar de os dados não permitirem inferências mais nítidas por não haver universo amostral suficiente, aparentemente, a remoção dos diversos parâmetros por clarificação encontra alguma associação com a remoção de turbidez, e com maior destaque para ferro, cor, SST, bactérias heterotróficas, esporos aeróbios e de esporos anaeróbios (Tabelas 6.5 e 6.6).

Esses resultados demonstram a importância da clarificação da ALF antes de se proceder ao descarte ou à recirculação do efluente. É nítida também a necessidade da escolha correta do tipo de polímero e da respectiva dose.

6.3. Avaliação preliminar de introdução de perigos com a recirculação de água de lavagem de filtros

Com base nos valores da concentração de microrganismos encontrados nos ensaios de sedimentação (Tabela 6.6), foram criados possíveis cenários de recirculação utilizando os efluentes sem clarificação, com clarificação sem uso de polímeros e com clarificação com uso de polímero catiônico. Foram simuladas também diferentes razões de recirculação (vazões de recirculação de ALF / vazão de água bruta): 4,63% (recirculação da ALF realizada de forma contínua) e 10%. Para fins desse exercício, foram arbitrados para os (oo)cistos de protozoários os valores encontrados no monitoramento do mês de agosto de 2006 para a ALF do filtro 1, quais sejam, 43,2 oocistos de *Cryptosporidium* por litro e 144 cistos de *Giardia* por litro (Tabela 6.7).

Quando a recirculação é proposta sem o tratamento prévio com clarificação (cenários 1 e 2), observam-se acréscimos de todos os parâmetros microbiológicos, com exceção dos coliformes. Já para a situação de recirculação com o tratamento prévio da água com clarificação, porém sem o uso de polímero (cenários 5 e 6), os acréscimos são observados para esporos de bactérias anaeróbias e aeróbias, cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. Nos cenários onde foi utilizado polímero catiônico (cenários 3 e 4), todos os parâmetros microbiológicos apresentaram redução (Tabela 6.7).

Tabela 6.7: Simulação da variação percentual da carga microbiana afluyente a ETA UFV em diferentes cenários de recirculação da água de lavagem de filtros.

| Parâmetros | Cenários de recirculação ⁽¹⁾ | | | | | |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Razão de recirculação : 4,63% sem clarificação | Razão de recirculação : 10% sem clarificação | Razão de recirculação : 4,63%; com clarificação utilizando polímero catiônico | Razão de recirculação : 10%; com clarificação utilizando polímero catiônico | Razão de recirculação : 4,63%; com clarificação sem polímero | Razão de recirculação: 10%; com clarificação sem polímero |
| Bactérias heterotróficas ⁽¹⁾ | 3,1 | 6,1 | -4,4 | -9,5 | -1,7 | -3,6 |
| Coliformes totais ⁽²⁾ | -4,4 | -9,5 | -4,6 | -10,0 | -4,6 | -10,0 |
| Coliformes termotolerantes ⁽²⁾ | -4,6 | -10,0 | -4,6 | -10,0 | -4,6 | -10,0 |
| Escherichia coli ⁽²⁾ | -4,6 | -10,0 | -4,6 | -10,0 | -4,6 | -10,0 |
| Esporos bactérias anaeróbias ⁽³⁾ | 22,4 | 37,2 | -4,6 | -10,0 | 4,5 | 8,7 |
| <i>Clostridium perfringens</i> ⁽³⁾ | 46,1 | 63,7 | -4,6 | -10,0 | -4,6 | -10,0 |
| Esporos bactérias aeróbias ⁽³⁾ | 5,6 | 10,9 | -4,3 | -9,3 | 3,2 | 6,3 |
| <i>Giardia</i> spp. ⁽⁴⁾ | 34,6 | 52,1 | -4,6 | -10,0 | 29,5 | 30,6 |
| <i>Cryptosporidium</i> spp. ⁽⁵⁾ | 89,9 | 94,8 | -4,6 | -10,0 | 87,8 | 89,1 |

NOTAS: (1) UFC . mL⁻¹; (2) NMP por 100mL; (3) UFC por 100mL; (4) cistos . L⁻¹; (5) oocistos . L⁻¹.

De forma geral, os resultados sugerem que a clarificação minimiza os perigos associados à recirculação da ALF. Nos cenários onde não se utilizou tratamento prévio com clarificação (cenários 1 e 2), esperar-se-ia aumento de todos os parâmetros microbiológicos na água afluyente à ETA, e, por outro lado, o uso de clarificação resultaria na redução de alguns (clarificação sem o uso de polímero) ou de todos os parâmetros microbiológicos investigados (clarificação com uso de polímero catiônico).

Independentemente do cenário proposto, deve-se considerar que os organismos cuja carga afluyente à ETA seria aumentada com a recirculação da ALF poderiam ser removidos nos processos unitários de tratamento (decantação, filtração e desinfecção).

Entretanto, mesmo que as etapas de tratamento possam remover e, ou, inativar os microrganismos presentes na água, não se pode negligenciar o perigo que se evidencia em situações de recirculação de água de lavagem de filtros. Conforme demonstrado nos diferentes cenários explorados, em algumas condições há evidente aumento da carga afluyente a ETA de organismos reconhecidamente resistentes aos processos de tratamento, mais especificamente os protozoários.

Os resultados também sugerem que as razões de recirculação promoveriam a reintrodução de organismos na água afluyente à ETA, uma vez que, de forma, geral, nos

cenários onde foi considerado um maior volume de água recirculado (10%), haveria maior concentração de microrganismos, com exceção dos cenários 3 e 4.

Contudo, todas estas considerações devem ser vistas com cuidado, já que os valores aqui referidos são baseados em um único ensaio.

6.4. Ensaio de recirculação de água de lavagem do filtro na ETA Piloto

Na Figura 6.17 está representada a variação típica de turbidez da ALF ao longo do processo de retrolavagem dos filtros da ETA piloto (dois ensaios). Pode-se observar que diferentemente do que ocorre na ETA UFV (Figura 6.1), a maior carga de turbidez ocorre logo no início da lavagem, antes do primeiro minuto. Ademais, os picos são mais pronunciados, chegando a 420 uT. Essa diferença pode ser explicada, possivelmente, por uma pior qualidade da água afluyente ao filtro.

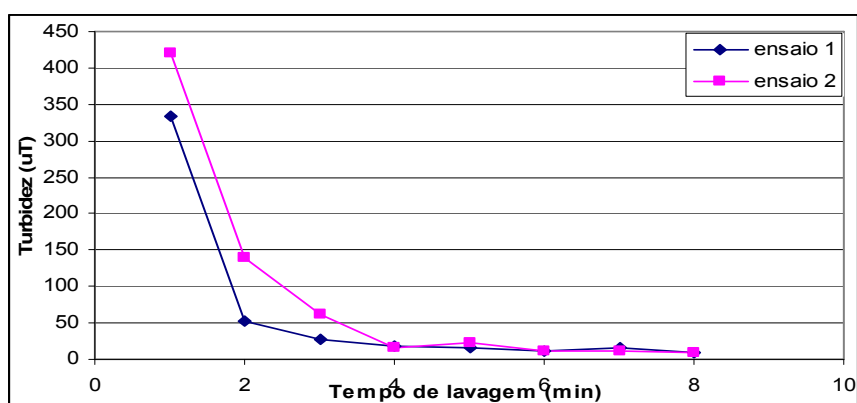


Figura 6.17: Variação de turbidez da água de lavagem do filtro da ETA piloto durante a operação de limpeza.

Na Tabela 6.8 encontram-se os resultados da caracterização da ALF do filtro da ETA piloto, bem como a comparação entre médias observadas na ETA piloto (EP) e na ETA UFV.

Tabela 6.8: Caracterização da água de lavagem de filtro, ETA UFV e ETA piloto, média e desvio-padrão ⁽¹⁾.

| Parâmetro | ETA UFV | | ALF Piloto ⁽³⁾ | Desvio padrão |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|---------------|
| | ALF 1 ⁽¹⁾⁽²⁾ | ALF 2 ⁽²⁾ | | |
| DQO (mg . L ⁻¹) | 49,1a | 46,8a | 30,7a | 16,6 |
| Fósforo (mg . L ⁻¹) | 0,1a | 0,1a | 0,1a | 0,1 |
| Ferro (mg . L ⁻¹) | 1,9a | 2,3a | 5,1b | 2,7 |
| Alumínio (mg . L ⁻¹) | 1,6a | 1,5a | 0,1b | 0,1 |
| Manganês (mg . L ⁻¹) | 3,0a | 2,7a | 0,2b | 0,2 |
| Alcalinidade total (mg CaCO ₃ . L ⁻¹) | 17,9a | 19,5ab | 22,1b | 3,8 |
| Turbidez (uT) | 52,4a | 49,6a | 58,4a | 31,8 |
| Sólidos em Suspensão Totais (mg . L ⁻¹) | 62,3a | 46,9ab | 52,7b | 61,5 |
| Sólidos sedimentáveis (mL . L ⁻¹) | 3,3a | 3,3a | 1,1b | 0,9 |
| <i>Giardia</i> spp. ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ | 9,27 | 4,57 | 0,90 | 11,1 |
| <i>Cryptosporidium</i> spp. ⁽⁵⁾⁽⁶⁾ | 10,09 | 1,79 | 3,57 | 7,92 |

Notas: (1) letras iguais nas mesmas linhas indicam a não existência de diferenças significativas entre médias (teste de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$); (2) $n = 9$; médias aritméticas, à exceção de (oo)cistos de protozoários – média geométrica; (3) $n = 10$; médias aritméticas, à exceção de (oo)cistos de protozoários – média geométrica; (4) cistos . L⁻¹; (5) teste estatístico não realizado por insuficiência de dados ($n = 5$); (6) oocistos . L⁻¹.

De modo geral, ocorreram algumas diferenças ($p < 0,05$) entre os diversos parâmetros da ALF da ETA piloto e da ETA UFV.

Os valores de DQO, fósforo e turbidez não diferiram entre a ALF da ETA UFV e da ETA piloto. A DQO da ALF da EP apresentou como valor médio 30,7 mg . L⁻¹ e desvio padrão de 16,6, enquanto que a turbidez média foi de 58,4 uT.

A alcalinidade total média da ALF da EP foi maior que a da ETA UFV, mas diferiu apenas da ALF1. Em relação aos sólidos em suspensão totais, os valores da EP apresentaram um grande desvio padrão (61,5) e os valores médios foram similares aos da ALF 2.

Já a concentração de ferro na ETA piloto foi bastante superior à da ETA UFV. Isso poderia ser explicado pelo fato da ETA piloto ter sido construída de chapas de aço e ter ocorrido liberação do ferro para a água. Em contrapartida, as concentrações de alumínio e manganês da EP foram bastante inferiores à da ETA UFV. Pode-se supor que essa diferença é decorrência do coagulante utilizado: na ETA UFV o sulfato de alumínio empregado é granular (maior impureza); já nos experimentos na EP foi utilizado o mesmo coagulante, só que em base líquida. A alteração do tipo de coagulante foi

necessária devido a problemas de entupimento do dosador quando se utilizou coagulante granular.

Um outro parâmetro que diferiu entre a EP e a ETA UFV foi o teor de sólidos sedimentáveis, o que poder indicar uma maior dificuldade de clarificar a ALF da EP sem o auxílio de polímeros.

As concentrações de (oo)cistos de protozoários foram, em geral, mais elevadas na ETA UFV, com exceção de oocistos de *Cryptosporidium* - maior na EP do que ALF2, mas sem confirmação estatística.

6.4.1. Recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto clarificada com polímero.

O polímero catiônico foi o melhor polímero encontrado nos ensaios de sedimentação em colunas, sendo, portanto, essa a escolha para os ensaios na EP (1 mg . L⁻¹, 0,1% e tempo de mistura 10 min).

Na Tabela 6.9 encontram-se os resultados de turbidez, oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* para as variantes operacionais testadas.

Tabela 6.9: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação com polímero catiônico.

| Razão de recirculação | Parâmetro | AB | ALF clarificada | Mistura AB +ALF | Água decantada | Água filtrada |
|-----------------------|---------------------------------------|-------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| 5% ⁽¹⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 42,7 | 3,9 | 40,6 | 10,8 | 1,1 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | 4 | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 47 | 4 | ND | ND | ND |
| 10% ⁽²⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 19,4 | 4,4 | 17,7 | 8,9 | 2,2 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | 10 | ND | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 40 | ND | ND | ND | ND |
| 15% ⁽³⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 174,0 | 5,5 | 150,5 | 30,0 | 1,4 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | 20 | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 25 | 25 | 20 | 10 | ND |
| 20% ⁽⁴⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 179 | 5,8 | 165 | 25,0 | 2,1 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | 60 | ND | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 30 | ND | ND | ND | ND |

NOTAS: (1) 0,005 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (2) 0,01 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (3) 0,015 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (4) 0,020 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (5) uT, valores médios ao longo da carreira de filtração; (6) oocistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; (7) cistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; AB: água bruta; ALF: água de lavagem do filtro pós-clarificação; ND: não detectável.

Foram detectados cistos de *Giardia* em todas as amostras de água bruta, com valores variando entre 25 a 47 cistos por litro. Já oocistos de *Cryptosporidium* foram detectados em duas das quatro amostras analisadas, tendo como valor máximo 60 oocistos por litro.

A ALF clarificada com o auxílio do polímero catiônico aplicado em dose de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ apresentou valores baixos de turbidez, em torno de 4 uT a 5 uT. Tomando por base o valor médio de turbidez da ALF da EP 58,4 uT (Tabela 6.8), verifica-se que a eficiência de remoção de turbidez no clarificador da EP foi próxima às dos ensaios de sedimentação (aproximadamente 93%).

Em se tratando da presença de protozoários na ALF clarificada, dos quatro ensaios realizados, em dois deles não foram detectados cistos de *Giardia* e, em três, oocistos *Cryptosporidium*. Nos dois ensaios em que foi encontrada *Giardia*, as concentrações foram de 4 e 25 cistos por litro. Na única amostra em que foi encontrado *Cryptosporidium*, esse organismo esteve presente na concentração de 4 oocistos por litro.

Da Tabela 6.9 pode-se observar também que a turbidez da mistura AB + ALF, ou seja, a água que realmente entra na ETA piloto foi menor que a turbidez da água bruta. Apesar de terem sido encontrados protozoários tanto na água bruta quanto na ALF clarificada, (oo)cistos foram detectados na mistura apenas no ensaio em que se testou $0,015 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ALF + $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ AB. Esses resultados refletem, mais uma vez, a dificuldade de recuperação de (oo)cistos em amostras ambientais. Vesey *et al.* (1993), testando a mesma técnica utilizada no presente trabalho, encontrou taxas de recuperação de 76% em águas deionizadas, 73,3% em águas tratadas e 75,6% em águas de rio.

Foi encontrada uma concentração de 10 cistos de *Giardia* por litro na água decantada no ensaio em que se testou a razão de recirculação de 15%, quando a água bruta e a água decantada apresentaram valores elevados de turbidez. Em todas as razões de recirculação testadas não foram detectados protozoários na água filtrada.

Os valores elevados na turbidez da água decantada podem ser decorrência de problemas construtivos na ETA piloto na conexão do floculador com o decantador, o que pode ter provocado a quebra dos flocos na tubulação de passagem até o decantador. Naturalmente, a deficiência de uma operação impacta a seguinte, o que explicaria os valores elevados de turbidez da água filtrada (1,14 uT a 2,23 uT).

6.4.2 Recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto clarificada sem a utilização de polímero

Na Tabela 6.10 estão apresentados os resultados dos ensaios em que a ALF foi clarificada por duas horas, sem utilização de polímero.

Tabela 6.10: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação sem utilização de polímero.

| Razão de recirculação | Parâmetro | AB | ALF clarificada | Mistura AB +ALF | Água decantada | Água filtrada |
|-----------------------|---------------------------------------|------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| 5% ⁽¹⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 8,4 | 16,5 | 8,4 | 7,8 | 1,9 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | 10 | ND | ND | ND |
| 10% ⁽²⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 12,2 | 16,4 | 13,0 | 7,4 | 0,4 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| 15% ⁽³⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 9,0 | 12,2 | 9,5 | 5,2 | 0,5 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | 5 | 8 | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 5 | ND | ND | ND | ND |
| 20% ⁽⁴⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 9,8 | 11,3 | 9,9 | 5,7 | 1,0 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 9 | ND | ND | ND | ND |

NOTAS: (1) 0,005 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (2) 0,01 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (3) 0,015 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (4) 0,020 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (5) uT, valores médios ao longo da carreira de filtração; (6) oocistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; (7) cistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; AB: água bruta; ALF: água de lavagem do filtro pós-clarificação; ND: não detectável.

Estes ensaios foram executados com valores de turbidez da água bruta bastante baixos, sempre menores que 12,2 uT. Isso provavelmente influenciou também a presença de protozoários. Em apenas duas amostras de água bruta foram encontrados protozoários, com valor máximo de 9 cistos de *Giardia* por litro.

Mesmo a ALF tendo ficado em repouso por duas horas, os valores de turbidez do clarificado foram superiores aos ensaios em que se clarificou a ALF com polímero catiônico. É importante observar que os valores de turbidez encontrados nesses ensaios foram muito próximos do valor encontrado no ensaio correspondente em colunas de sedimentação.

A presença de protozoários na ALF clarificada também pode ter sido influenciada pela qualidade água bruta, uma vez que *Giardia* (10 cistos . L⁻¹) e *Cryptosporidium* (8 oocistos . L⁻¹) foram encontrados em apenas duas amostras.

Da Tabela 6.10 pode-se observar que a recirculação da ALF clarificada praticamente não influenciou a turbidez da água afluyente à ETA piloto, uma vez que a turbidez da mistura AB + ALF foi muito próxima à da água bruta, independente da razão de recirculação. Não foram detectados protozoários na água decantada, na filtrada e na mistura água bruta + ALF clarificada.

6.4.3. Recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto sem clarificação.

Na Tabela 6.11 estão apresentados os resultados dos ensaios na ETA piloto em que se reciclou a ALF sem clarificá-la, mantendo-a sob agitação.

Tabela 6.11: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, sem clarificação.

| Razão de recirculação | Parâmetro | AB | ALF | Mistura AB +ALF | Água decantada | Água filtrada |
|-----------------------|---------------------------------------|------|-------|-----------------|----------------|---------------|
| 5% ⁽¹⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 6,6 | 68,4 | 11,5 | 4,0 | 0,4 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | 5 | 15 | ND | 1 | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| 10% ⁽²⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 8,5 | 79,7 | 20,1 | 4,6 | 0,9 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | 10 | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |
| 15% ⁽³⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 11,2 | 40,1 | 15,4 | 6,4 | 0,7 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | 16,6 | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 10 | 24,9 | ND | ND | ND |
| 20% ⁽⁴⁾ | Turbidez ⁽⁵⁾ | 18,3 | 139,7 | 37,3 | 7,5 | 1,3 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | 8 | 11 | ND | 2,5 |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | ND | ND | ND | ND |

NOTAS: (1) 0,005 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (2) 0,01 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (3) 0,015 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (4) 0,020 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (5) uT, valores médios ao longo da carreira de filtração; (6) oocistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; (7) cistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; AB: água bruta; ALF: água de lavagem do filtro sem clarificação; ND: não detectável.

Os valores de turbidez da ALF foram bastante elevados, variando de 40,1 uT a 139,7 uT. Provavelmente, a não clarificação da ALF influenciou a presença de protozoários, pois foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* em três das quatro amostras analisadas, com concentrações variando entre 8 e 16,6 oocistos por litro. Já a presença de *Giardia* foi detectada em apenas uma das quatro amostras - 24,9 cistos por litro.

A recirculação da ALF não clarificada provocou um aumento da turbidez da mistura AB + ALF em comparação à da água bruta, chegando a alterações de 18,3 uT (água bruta) para 37,2 uT (mistura) na razão de recirculação de 20%. Pode-se especular que caso não se tenha um rígido controle operacional da ETA uma alteração dessa magnitude pode interferir no processo de tratamento.

Em se tratando da presença de protozoários na mistura AB + ALF, foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* em duas das quatro amostras analisadas. Levando em consideração que nos ensaios em que foram detectados protozoários na mistura, não foram detectados na água bruta, poder-se-ia inferir que a recirculação da ALF caracterizaria uma introdução de perigo.

Ao longo do processo de tratamento, incluindo a recirculação da ALF, protozoários foram detectados em apenas uma amostra de água decantada - 1 oocisto de *Cryptosporidium* por litro. Ainda em relação à turbidez da água decantada pode-se observar que esta foi influenciada negativamente pelo aumento da razão de recirculação.

Ao se analisar a qualidade da água filtrada, observa-se que esta esteve abaixo de 1 uT para as razões de recirculação de 5%, 10% e 15%. Entretanto, no ensaio em que se recirculou 20% da ALF a turbidez média foi de 1,3 uT e se detectou a presença de 2,5 oocistos de *Cryptosporidium* por litro. Esse resultado merece destaque ainda maior porque em nenhuma das demais alternativas de recirculação testadas foram detectados protozoários na água filtrada.

De forma geral, esses resultados confirmam o que foi encontrado na avaliação preliminar de introdução de perigos com a recirculação da ALF (item 6.3 – Tabela 6.7); pode-se dizer que essa foi a pior situação encontrada, indicando que esta alternativa de recirculação evidencia a introdução de perigos.

6.4.4. Síntese dos resultados dos ensaios de recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto

Em adição, foram executados testes controle na estação piloto, simulando o tratamento sem recirculação da água de lavagem nas seguintes vazões 0,1 L . s⁻¹; 0,105 L . s⁻¹; 0,110 L . s⁻¹; 0,115 L . s⁻¹ e 0,120 L . s⁻¹ (Tabela 6.12). Nesses ensaios foram detectados cistos de *Giardia* em apenas uma amostra de água decantada (10 cistos . L⁻¹) e não

foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* em nenhuma amostra de água decantada e filtrada.

Tabela 6.12: Resultados dos ensaios sem recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto.

| Vazão (L . s ⁻¹) | Parâmetro | AB | Água decantada | Água filtrada |
|------------------------------|---------------------------------------|-------|----------------|---------------|
| 0,100 | Turbidez ⁽⁵⁾ | 35,8 | 12,8 | 1,1 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | 52 | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | 10 | ND |
| 0,105 | Turbidez ⁽⁵⁾ | 12,2 | 8,7 | 1,1 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | ND | ND |
| 0,110 | Turbidez ⁽⁵⁾ | 12,1 | 9,7 | 1,9 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | ND | ND |
| 0,115 | Turbidez ⁽⁵⁾ | 40,5 | 14,1 | 0,9 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | 17 | ND | ND |
| 0,120 | Turbidez ⁽⁵⁾ | 257,3 | 32,4 | 1,8 |
| | <i>Cryptosporidium</i> ⁽⁶⁾ | ND | ND | ND |
| | <i>Giardia</i> ⁽⁷⁾ | ND | ND | ND |

NOTAS: (1) 0,005 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (2) 0,01 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (3) 0,015 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (4) 0,020 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ AB; (5) uT, valores médios ao longo da carreira de filtração; (6) oocistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; (7) cistos . L⁻¹, valores de amostras compostas ao longo da carreira de filtração; AB: água bruta; ND: não detectável.

Aparentemente, a julgar pelos valores de turbidez, a recirculação da ALF com incrementos de vazão até 20% não causou problemas no desempenho da ETA piloto (Tabela 6.13). Entretanto, essa afirmativa deve ser interpretada com cautela, uma vez que esses são dados de uma estação experimental e não foi possível lançar mão de ferramentas de estatística para discutir os resultados.

Yang *et al.* (2006), em um estudo em escala piloto, não detectaram impactos no tratamento da água com razões de recirculação de ALF de 4%, 6% e 8% da vazão da água bruta, sem a ALF ter sido clarificada ou clarificando por três minutos com adição de polímeros.

Libânio e Carneiro (2001) relatam que a pequena alteração nos parâmetros hidráulicos dos processos unitários de tratamento da água (gradientes de mistura rápida e floculação e taxas de aplicação dos decantadores e filtros), devido ao aumento da vazão afluente, não constitui fator com relevância suficiente para inviabilizar a recirculação.

No presente estudo, em resumo, protozoários foram detectados no efluente do decantador nas seguintes situações (Tabela 6.13):

- (i) Ensaio sem recirculação da ALF para a vazão de projeto da ETA piloto;
- (ii) Ensaio de recirculação da ALF com clarificação com polímero, 15% de incremento sobre a vazão de projeto. Nesse ensaio a turbidez da água bruta e da água decantada eram elevadas e a turbidez da ALF clarificada era baixa (< 5 uT) e foram detectados protozoários na água bruta e na ALF clarificada;
- (iii) Recirculação da ALF sem clarificação, incremento de 5% sobre a vazão de projeto. Nesse caso foram detectados protozoários também na água bruta e na ALF (turbidez da ALF elevada, > 60 uT).

Na água filtrada, protozoários foram detectados apenas uma vez, quando da recirculação da ALF sem clarificação, com incremento de 20% sobre a vazão de projeto; nesse ensaio a elevada turbidez da ALF (≈ 60 uT) provocou incremento de cerca de 100% na turbidez afluente à ETA piloto; protozoários estiveram presentes também na ALF, mas ausentes na água bruta.

Tabela 6.13: Síntese dos resultados dos ensaios de recirculação da água de lavagem do filtro da ETA piloto.

| Vazão (L . s ⁻¹) | Turbidez Afluente (uT) | Água decantada | | | Água filtrada | |
|-------------------------------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|
| | | Turbidez (uT) | Remoção turbidez (%) | (oo)cistos protozoários ⁽¹⁾ | Turbidez (uT) | (oo)cistos protozoários ⁽¹⁾ |
| Ensaio controle (sem recirculação de ALF) | | | | | | |
| 0,100 | 35,8 | 12,8 | 65 | (+) | 1,1 | (-) |
| 0,105 | 12,2 | 8,7 | 29 | (-) | 1,1 | (-) |
| 0,110 | 12,1 | 9,7 | 20 | (-) | 1,9 | (-) |
| 0,115 | 40,5 | 14,1 | 65 | (-) | 0,9 | (-) |
| 0,120 | 257,3 | 32,4 | 87 | (-) | 1,8 | (-) |
| Clarificação com polímero e recirculação da ALF | | | | | | |
| 0,105 | 40,6 | 10,8 | 74 | (-) | 1,1 | (-) |
| 0,110 | 17,7 | 8,9 | 50 | (-) | 2,2 | (-) |
| 0,115 | 150,5 | 30,0 | 80 | (+) | 1,4 | (-) |
| 0,120 | 165,0 | 25,0 | 85 | (-) | 2,1 | (-) |
| Clarificação sem polímero e recirculação da ALF | | | | | | |
| 0,105 | 8,4 | 7,8 | 7 | (-) | 1,9 | (-) |
| 0,110 | 13,0 | 7,4 | 43 | (-) | 0,4 | (-) |
| 0,115 | 9,5 | 5,2 | 45 | (-) | 1,0 | (-) |
| 0,120 | 9,9 | 5,7 | 42 | (-) | 1,0 | (-) |
| Recirculação da ALF sem clarificação | | | | | | |
| 0,105 | 11,5 | 4,0 | 65 | (+) | 0,4 | (-) |
| 0,110 | 20,1 | 4,6 | 77 | (-) | 0,9 | (-) |
| 0,115 | 15,4 | 6,4 | 58 | (-) | 0,7 | (-) |
| 0,120 | 37,3 | 7,5 | 80 | (-) | 1,3 | (+) |

NOTA: (1) (+) presença; (-) ausência (-).

Considerando todas as análises realizadas nas amostras de água bruta (n = 25), a presença de (oo)cistos de protozoários não mostrou associação estatisticamente significativa com a turbidez (Tabela 6.14).

Tabela 6.14: Testes de correlação entre a turbidez da água bruta, ALF e a ocorrência de protozoários.

| Variáveis testadas | | Teste de Sperman | | Teste do coeficiente Phi | |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|--------------------------|--------|
| | | r_s | p | r_ϕ | p |
| Água Bruta | <i>Giardia</i> x turbidez | 0,2121 | 0,3086 | - | - |
| | <i>Cryptosporidium</i> x turbidez | 0,2092 | 0,3155 | - | - |
| ALF | <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> x turbidez $\geq 5,8$ uT e $\leq 5,8$ uT | - | - | 0,1826 | 0,6547 |
| | <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> x turbidez $\geq 11,3$ uT e $\leq 11,3$ uT | - | - | 0,3055 | 0,2850 |
| | | | | | |

Nas amostras de ALF (clarificada ou não), a presença de (oo)cistos de protozoários em amostras com turbidez mais baixa ($\leq 5,8$ uT e $\leq 11,3$ uT) ou mais elevada ($\geq 5,8$ uT e $\geq 11,3$ uT) também não revelou associação estatisticamente significativa (Teste de correlação de Spearman - $r_\phi = 0,1195$ e $0,3843$; $p = 0,8360$ e $0,6207$). Estes valores foram selecionados no banco de dados os mais próximos possíveis de 5 uT (presente em algumas recomendações para recirculação de ALF) e 10 uT, tomada aleatoriamente em dobro.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE DOS ESTUDOS

A caracterização da água de lavagem de filtros da ETA UFV confirma que este efluente apresenta elevado potencial poluidor e de contaminação microbiológica e que deve ser tratado antes de seu lançamento em corpos receptores ou de sua recirculação ao processo de tratamento.

Há indícios da ação do cloro da água de lavagem na qualidade do efluente final, pois organismos mais sensíveis à ação desse desinfetante – como as bactérias do grupo coliforme – apresentaram-se em menores concentrações do que na água bruta. Por outro lado, organismos mais resistentes – como esporos de bactérias e (oo)cistos de protozoários apresentaram-se em concentrações maiores do que na água bruta.

Isto confirma a potencial introdução de perigos associada à recirculação de água de lavagem de filtros e aponta para a necessidade de mais estudos direcionados ao emprego de organismos indicadores do grau de contaminação desse efluente.

As boas práticas recomendariam, portanto, a realização de ensaios de tratabilidade prévios à implantação da recirculação de água de lavagem de filtros, incluindo a perspectiva de risco à saúde. E, nesse sentido, os ensaios em coluna de sedimentação realizados no trabalho revelaram todo seu potencial de aplicação.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios em coluna de sedimentação e na ETA piloto, reúnem-se evidências de que a clarificação por sedimentação com o uso de polímeros minimiza os perigos associados à recirculação da água de lavagem de filtros.

A recirculação de água de lavagem de filtros, nas faixas de vazão de recirculação testadas nesse trabalho (incrementos de vazão de até 20%), não parecem influenciar a performance do tratamento em termos de remoção de turbidez. Por outro lado, vazões mais elevadas podem aumentar a carga de patógenos afluente à estação de tratamento de água.

Os resultados não permitiram inferências mais conclusivas sobre a qualidade recomendável da água de lavagem de filtros (limites de turbidez) e de limites de vazão de recirculação. Por outro lado, e também com base nos resultados, o princípio da cautela recomendaria valores mais baixos (de turbidez e de vazão).

De posse desses indícios, recomendam-se estudos mais bem controlados, no sentido de verificar os impactos do aumento da carga de patógenos e a capacidade dos processos

unitários de tratamento (decantação e filtração) em absorvê-los. Somente assim, poder-se-ia imaginar cenários mais concretos e estimar riscos à saúde, mediante a aplicação da metodologia de avaliação quantitativa de risco microbiológico. Acredita-se que esta é a abordagem mais adequada para subsidiar a formulação de normas à respeito da recirculação da água de lavagem de filtros.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, G. H. **Investigação da ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia* em água de lavagem de filtro de estações de tratamento de água de Campinas, São Paulo**. 2003. 37p. Relatório final de Iniciação Científica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2001
- APHA, AWWA, WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington DC, USA: APHA, AWWA, WEF, 1998.
- AROTA, H.; GIOVANNI, G.; LECHEVALLIER, M. Spent filter backwash water contaminants and treatment strategies. **Journal AWWA**, v.93, n.5, p.100-112, 2001.
- BARBOSA, A.B.D. A experiência da CAESB em recuperação de água de lavagem de filtros e desidratação de lodo de ETA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, Foz do Iguaçu, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997 (CD ROM).
- BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Metais e sólidos: aspectos legais dos resíduos de estações de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa-PB, 2001. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001 (CD-ROM).
- BASHAW, W.T.; GINN, R.; THOMSON. Design for Reclaiming Filter Backwash Water at the James E. Quarles Water Treatment Plant. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION ANNUAL CONFERENCE, Denver-CO, 2000. **Proceedings...** Denver-CO: AWWA, 2000 (CD-ROM).
- BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E.; et al. Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII, Porto Alegre-RS, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000 (CD-ROM).
- BASTOS, R.K.X.; HELLER, L.; VIEIRA, M.B.C.M.; BRITO, L.L.A.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E. *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts dynamics in Southeast Brazil: occurrence in surface water and removal in water treatment processes. **Water Science and Technology**, v.14, n.2. p.15-22. 2004.
- BASTOS, R.K.X.; OLIVEIRA, D.C.; FREITAS, A.G.; NASCIMENTO, L.E. Ensaio de tratabilidade e avaliação de desempenho. Recursos fundamentais de projeto e operação de ETAs com vistas à otimização do tratamento e da qualidade da água. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEMANTO, VIII, Belo Horizonte-MG, 2005. **Anais...** Brasília: ASSEMAE, 2005 (CD ROM).
- BASTOS, R.K.X.; PERÍGOLO, R.A.; NASCIMENTO, L.E. Controle operacional e da qualidade da água em estações de tratamento em situações adversas. A importância do conhecimento dos parâmetros de funcionamento da ETA. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEMANTO, VII, Santo André - SP, 2003. **Anais...** Brasília: ASSEMAE, 2003 (CD ROM).

- BOLTO, B.; GREGORY, J. Organic polyelectrolytes in water treatment. **Water Research** v. 41. n. 11, p. 2301– 2324. 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 18 de março 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências **Diário Oficial da União**, 26 de março de 2004, Seção 1, pg. 266.
- CASTRO, A.A.; DIAS, A. M. V.; RENNÓ, C. R. A.; CÉSAR, L. A. S.; DEMATTOS, M.; MONTEIRO, T. A. S. Soluções para tratamento de resíduos de estação de tratamento de água - proposta para a unidade de tratamento de resíduos (UTR) do Rio das Velhas na RMBH. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, Foz do Iguaçu-PR, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997 (CD ROM).
- COLBOURNE, J. Thames water utilities experience with *Cryptosporidium*. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, Phyladelphia, Pa. 1989. **Proceedings...** Denver, CO: AWWA, p. 275-278, 1989.
- CORNWELL, D.; MACPHEE, N.M.; MCTIGUE, H.; ARORA, G.; DIGIOVANNI, M.; LE CHEVALLIER, J.; TAYLOR. **Treatment options for *Giardia*, *Cryptosporidium*, and other contaminants in recycled backwash water.** Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation, 347p. 2001.
- CORNWELL, D.; R. LEE. **Recycle stream effects on water treatment.** Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation. 153 p.,1993.
- CORNWELL, D.A.; LEE, R.G. Waste stream recycling: its effect on water quality. **Journal AWWA**, v.86, n.11, p. 50-63. 1994.
- CRAUN, G.F. Waterborne Giardiasis in the United States: A review. **American Journal of Public Health**, v.69, n.8, p. 817-819, 1979.
- CRAUN, G.F.; HUBBS, S.A.; FROST, F.; et al. Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis. **Journal AWWA**, v.90, n.9, p.81-91, 1998.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de tratabilidade de água e de resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: Rima, 236p. 2002.
- DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P.S.; SOUZA FILHO, A.G. Água de lavagem de filtros rápidos In: REALI, M.A.P. (coord.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, p. 143-168. 1999.
- FERREIRA FILHO, S.S. Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, Foz do Iguaçu-PR, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997 (CD ROM).

- FONTANA, A.O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reúso de água de lavagem de filtros. Estudo de caso - ETA Cardoso.** 2004. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2004.
- FOUT, G.S.; SCHAEFFER III, F.W.; MESSER, J.W.; DAHLING, D.R.; STETLER, R.E. **Membrane filtration method for *C perfringens*. ICR Microbiological Laboratory Manual.** Cincinnati: EPA, 1996 (EPA 600/R- 95/178).
- GRANDIN, S.R. **Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água. São Paulo.** 1992. 456f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 1992.
- GREAT LAKES. Upper Mississippi river board of state and provincial public health and environmental managers. **Recommended Standards for Water Works.** Albany, NY: Health Education Services. 42p. 1997.
- KARANIS, P. SCHOENEN, D.; SEITZ H. M. Distribution and removal of *Cryptosporidium* and *Giardia* in water supplies in Germany. **Water Science and Technology**, v.37, n.2, p. 9-18, 1998.
- KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities.** 2^{ed}. New York: John Wiley & Sons, 691 p. 2000.
- LE CHEVALLIER, M.W.; NORTON, W.D.; LEE, R.G. *Giardia* and *Cryptosporidium spp.* in filtered drinking water supplies. **Applied and Environmental Microbiology**, v.57, n.9, p.2617-2628, 1991.
- LE GOUELLEC, Y.A.; CORNWELL, D.A.; MACPHEE, M. J. Treating microfiltration backwash. **Journal AWWA**, v.96, n.1, p.72-83, 2004.
- LIBÂNIO, M.; CARNEIRO, L. G. P. L. As perspectivas da recirculação das águas de lavagem dos filtros em estações de tratamento de água. **Sanare –Revista Técnica da Sanepar.** n. 16. p. 6-8, 2001.
- MEDEIROS, M.A.C.; SANCHES, F.G.; JUNK, M.A.S. **Estudo da viabilidade e implantação da recuperação da água de lavagem dos filtros e do lodo dos decantadores da ETA Capim Fino, através da estação de tratamento de lodo - ETL Capim Fino.** Limeira-SP: Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET, 60p. 2003.
- MOSS, L. Backwash water return effects: evaluation and mitigation. In: AWWA WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, Salt Lake City, UT. 2000. **Proceedings...** Denver, CO: AWWA, 2000 (CD-ROM).
- OLIVEIRA, D.C.; BASTOS, R.K.X.; BORGES, N.B.; PIMENTA, J.F.P.; NASCIMENTO, L.E. Avaliação de desempenho de filtros rápidos de fluxo descendente: a importância da adequada operação. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXX, Punta del Este, Uruguay, 2006. **Anais...** Montevideo: AIDIS, 2006 (CD-ROM).
- PETERSEN, D.W.; CALHOUN, B. Do You Recycle? Results of AWWA's recycle practices survey. In: AWWA WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, Anaheim, Ca., 1995. **Proceedings...** Denver, CO: AWWA, 1995 (CD-ROM).
- RICE, E.W.; FOX, K.R.; MILTNER, R.J.; LYTLE, D.A.; JOHNSON, C.H. Evaluating plant performance with endospores. **Journal AWWA**, v.88 n.9, p.122-130, 1996.

- ROSE, J.B., DARBIN, H., GERBA, C.P. Correlations of the protozoa *Cryptosporidium* and *Giardia* with water quality variables in a watershed. **Water Science and Technology**, v.20, n.11-12, p.271-2776, 1988.
- SANTOS FILHO, J.D.; SANTA RITA, E.S. **Gerenciamento do resíduo gerado na clarificação da água da RLAM**. 2002. 54 f. Monografia (Pós-graduação em Saneamento) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2002.
- SCALIZE, P.L.; DI BERNARDO, L. Caracterização da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água e dos sobrenadantes e sedimentos obtidos após ensaios de clarificação utilizando polímero aniônico. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII, Porto Alegre-RS, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000 (CD ROM).
- SCALIZE, P.S. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário**. 1997. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 1997.
- SOLO-GABRIELE, H.; NEUMEISTER, S. US outbreaks of criptosporidiosis. **Journal AWWA**, v.88, n.9, p.76-86, 1996.
- SOUZA FILHO, A.G. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam cloreto férrico como coagulante primário**. 1997. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 1998.
- SOUZA FILHO, A.G.; DI BERNARDO, L. Caracterização e clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, Rio de Janeiro-RJ, 1999. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999 (CD ROM).
- TOBIASON, J.E.; EDZWALD, J.K.; LEVESQUE, B.R.; KAMINSKI, G.S.; DUNN, H.J.; GALANT, P.B. Full-Scale assessment of waste filter backwash recycle. **Journal AWWA** v.95, n.7, p.80-93, 2003.
- TOBIASON, J.E.; LEVESQUE, B.R.; EDZWALD, J.K.; KAMINSKI, G.S.; DUNN, H.J.; GALANT, P.B. Water quality impacts of filter backwash recycle. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, Tampa, 1999. **Proceedings...** Denver, CO: AWWA, 1999 (CD-ROM).
- UNITED KINGDOM WATER INDUSTRY RESEARCH. **Guidance manual supporting the water treatment recommendations from the Badenoch group of experts on *Cryptosporidium***. 1^{ed}. London: Water Industry Research Limited, 158p. 1998.
- UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Filter backwash recycling rule. Technical guidance manual**. Washington, DC: USEPA, Office of Ground Water and Drinking Water. 2002, 166p. (EPA 816-R-02-014).

- UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulations. Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule; Proposed Rule. Part II (40 CFR, Parts 141, and 142).** Washington, DC, Federal Register, Rules and regulations, Federal Register/V. 65, n. 69/Monday, April 10, 2000/Proposed Rules, p.19046-19150.
- VESEY, G.; SLADE, J.S.; BYRNE, M.; SHEPHERD, K.; DENNIS, P.J.; FRICKER, C.R. A new method for the concentration of *Cryptosporidium* oocysts from water; **Journal of Applied Bacteriology**, n. 75: p. 82-86, 1993.
- YANG, C. B.; CHENG, Y.L.; LIU, J.C.; LEE, D.J. Treatment and reuse of backwash water in Taipei water treatment plant, Taiwan. **Water Science and Technology: Water Supply**. v.6. n. 6. p. 89–98. 2006.

ANEXO A: RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CLARIFICAÇÃO DA ALF EM COLUNA DE SEDIMENTAÇÃO

Tabela A.1: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 83,7 | 83,7 | 83,7 | 83,7 | 115 |
| 4 | 17,2 | - | 13,2 | - | 113 |
| 8 | 13,2 | 19,5 | 14 | 10 | 110 |
| 12 | 9,22 | 10,8 | 10,8 | 8,4 | 108 |
| 16 | 9,8 | 18,1 | 10,6 | 8,2 | 106 |
| 20 | 10,4 | 11,3 | 10,5 | 9,7 | 104 |
| 24 | 9,9 | 11,4 | 11,2 | 8,5 | 103 |
| 28 | 9,6 | 11,3 | 10,7 | 7,5 | 101 |
| 32 | 10 | 11,5 | 9,9 | 8,2 | 99 |
| 36 | 9,9 | 10,2 | 9,4 | 7,6 | 96 |
| 40 | 9,6 | 10,0 | 9,6 | 8,4 | 94 |
| 44 | 10,9 | 10,0 | 9,0 | 7,6 | 92 |

Tabela A.2: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 5 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 95,5 | 95,5 | 95,5 | 95,5 | 113 |
| 4 | 19,2 | 12,6 | 16,5 | 11 | 11 |
| 8 | 21,3 | 16,3 | 11,8 | 9,61 | 109 |
| 12 | 11,5 | 18,6 | 12 | 11,1 | 107 |
| 16 | 14,8 | 15,5 | 12,9 | 9,6 | 105 |
| 20 | 15,1 | 14,6 | 13,2 | 14,7 | 103 |
| 24 | 13,9 | 13,7 | 11,5 | 12,7 | 101 |
| 28 | 15,1 | 15 | 9,7 | 11,1 | 98,5 |
| 32 | 13,2 | 12,1 | 10,3 | 10,1 | 96,5 |
| 36 | 13,7 | 11,5 | 13 | 9,9 | 94 |
| 40 | 11,2 | 10,8 | 11,2 | 9,3 | 92 |
| 44 | 12,5 | 11,3 | 12,5 | 8,7 | 90 |

Tabela A.3: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 7 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 89,8 | 89,8 | 89,8 | 89,8 | 117 |
| 4 | 27,6 | 34,6 | 20,4 | 15,3 | 115 |
| 8 | 32,6 | 31,4 | 19 | 14,5 | 112 |
| 12 | 22,7 | 29,7 | 17,5 | 14,2 | 110 |
| 16 | 22 | 26,5 | 15,8 | 16,1 | 108 |
| 20 | 21,9 | 23 | 12,2 | 12,9 | 106 |
| 24 | 21,2 | 21,7 | 18,8 | 16,9 | 104 |
| 28 | 20,7 | 19,5 | 18,7 | 18,5 | 102 |
| 32 | 19,3 | 17,6 | 17,6 | 15,4 | 100 |
| 36 | 18,8 | 20,5 | 19,3 | 16 | 98,5 |
| 40 | 17 | 18,8 | 18,2 | 16,1 | 97 |
| 44 | 16,8 | 18,7 | 17,8 | 20 | 95 |

Tabela A.4: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 10 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 89 | 89 | 89 | 89 | 118 |
| 4 | 35,2 | 27,2 | 29,2 | 22,6 | 117 |
| 8 | 26,3 | 27,4 | 24,9 | 26,4 | 115 |
| 12 | 31,4 | 24,6 | 28,7 | 22,8 | 113 |
| 16 | 21,7 | 24,7 | 22,5 | 23,6 | 11 |
| 20 | 24 | 27 | 25 | 20,2 | 109 |
| 24 | 19,9 | 27 | 24,1 | 18,9 | 107,5 |
| 28 | 21,6 | 27,3 | 23,8 | 19,1 | 106 |
| 32 | 19,8 | 24,7 | 25,6 | 18,5 | 104 |
| 36 | 19,6 | 22,3 | 19,3 | 19,9 | 102 |
| 40 | 20,6 | 22,6 | 19,8 | 17,3 | 100 |
| 44 | 19,1 | 21,6 | 19,5 | 17 | 98 |

Tabela A.5: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 70,4 | 70,4 | 70,4 | 70,4 | 117 |
| 4 | 31,1 | 39,5 | 10,2 | 7,0 | 115,5 |
| 8 | 23,3 | 11,3 | 7,2 | 5,7 | 114 |
| 12 | 15,6 | 7,6 | 5,1 | 5,6 | 112,5 |
| 16 | 7,8 | 6,3 | 7,7 | 5,7 | 111 |
| 20 | 7,9 | 6,2 | 6,0 | 5,2 | 109 |
| 24 | 6,2 | 6,3 | 6,1 | 5,0 | 108 |
| 28 | 6,4 | 6,3 | 5,2 | 4,4 | 106 |
| 32 | 6,3 | 6,2 | 5,8 | 5,0 | 104,5 |
| 36 | 6,1 | 5,9 | 5,9 | 4,80 | 103 |
| 40 | 5,6 | 5,7 | 4,95 | 5,1 | 101,5 |
| 44 | 5,1 | 7,7 | 4,95 | 5,1 | 100 |

Tabela A.6: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 71,9 | 71,9 | 71,9 | 71,9 | 117 |
| 4 | 49,2 | 21,4 | 25,4 | 11,7 | 116 |
| 8 | 9,7 | 16,1 | 16,2 | 8,3 | 113 |
| 12 | 8,6 | 11,9 | 8,4 | 6,7 | 111 |
| 16 | 6,7 | 9,9 | 9,4 | 9,2 | 110 |
| 20 | 9,2 | 9,5 | 9,9 | 7,1 | 108,5 |
| 24 | 9,8 | 9,6 | 8,9 | 6,4 | 107 |
| 28 | 13,5 | 9,5 | 7,4 | 5,7 | 106,5 |
| 32 | 9,5 | 8,1 | 7,7 | 6,8 | 104 |
| 36 | 8,8 | 8,9 | 6,9 | 6,1 | 102,5 |
| 40 | 9,2 | 8,2 | 7,8 | 6,2 | 101 |
| 44 | 8,6 | 7,8 | 7,7 | 6,2 | 99,5 |

Tabela A.7: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,6% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 65,7 | 65,7 | 65,7 | 65,7 | 116 |
| 4 | 56,2 | 19,6 | 16,3 | 12,7 | 115 |
| 8 | 20,3 | 21,9 | 15,8 | 12,7 | 114 |
| 12 | 12,2 | 14,3 | 11,4 | 10,7 | 113 |
| 16 | 15,8 | 14,8 | 10,9 | 11,6 | 111 |
| 20 | 12,8 | 11,4 | 11,3 | 9,4 | 109 |
| 24 | 12,6 | 12,4 | 9,9 | 12 | 108 |
| 28 | 12,1 | 11,4 | 9,7 | 9,1 | 106 |
| 32 | 15,9 | 13,4 | 10,3 | 8,9 | 105 |
| 36 | 11,1 | 12,0 | 9,0 | 9,7 | 103 |
| 40 | 10,2 | 11,3 | 10,2 | 9,8 | 102 |
| 44 | 9,4 | 9,5 | 8,4 | 8,7 | 101 |

Tabela A.8: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 63,8 | 63,8 | 63,8 | 63,8 | 117 |
| 4 | 51,5 | 29,8 | 14,9 | 7,8 | 115 |
| 8 | 16,7 | 13 | 6,6 | 5,9 | 113 |
| 12 | 15,3 | 7,4 | 7,5 | 7,8 | 111 |
| 16 | 7,7 | 7,0 | 6,4 | 5,7 | 110 |
| 20 | 6,0 | 7,8 | 5,4 | 5,3 | 109 |
| 24 | 6,4 | 5,89 | 5,88 | 5,4 | 107 |
| 28 | 5,8 | 5,6 | 5,3 | 5,2 | 106 |
| 32 | 5,5 | 5,8 | 5,5 | 6,2 | 105 |
| 36 | 5,8 | 5,9 | 5,4 | 5,2 | 103 |
| 40 | 5,5 | 5,3 | 5,4 | 7,3 | 102 |
| 44 | 5,6 | 6,8 | 5,4 | 5,2 | 100 |

Tabela A.9: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 70,4 | 70,4 | 70,4 | 70,4 | 117 |
| 4 | 31,1 | 39,5 | 10,2 | 7,0 | 115,5 |
| 8 | 23,3 | 11,3 | 7,2 | 5,7 | 114 |
| 12 | 15,6 | 7,6 | 5,1 | 5,6 | 112,5 |
| 16 | 7,8 | 6,3 | 7,7 | 5,7 | 111 |
| 20 | 7,9 | 6,2 | 6,0 | 5,2 | 109 |
| 24 | 6,2 | 6,3 | 6,1 | 5,0 | 108 |
| 28 | 6,4 | 6,3 | 5,2 | 4,35 | 106 |
| 32 | 6,3 | 6,2 | 5,8 | 5,0 | 104,5 |
| 36 | 6,1 | 5,9 | 5,9 | 4,8 | 103 |
| 40 | 5,6 | 5,7 | 4,95 | 5,1 | 101,5 |
| 44 | 5,1 | 7,7 | 4,95 | 5,2 | 100 |

Tabela A.10: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 3 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 64 | 64 | 64 | 64 | 116 |
| 4 | 54,5 | 61 | 25,7 | 18,9 | 115 |
| 8 | 32,8 | 24,8 | 20,2 | 14,6 | 113 |
| 12 | 22,8 | 16,9 | 16,3 | 13,8 | 112 |
| 16 | 13 | 17,5 | 10,2 | 12 | 111 |
| 20 | 11,5 | 10,9 | 12 | 10 | 110 |
| 24 | 11,5 | 10,4 | 9,5 | 11,4 | 108 |
| 28 | 10,2 | 10,5 | 9,6 | 8,6 | 107 |
| 32 | 9,8 | 9,3 | 8,9 | 7,6 | 105 |
| 36 | 9,3 | 11,5 | 9,3 | 9,5 | 104 |
| 40 | 8,29 | 9,4 | 9,0 | 8,6 | 102 |
| 44 | 9,45 | 10,1 | 8,6 | 7,9 | 101 |

Tabela A.11: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 63,8 | 63,8 | 63,8 | 63,8 | 117 |
| 4 | 51,5 | 29,8 | 14,9 | 7,8 | 115 |
| 8 | 16,7 | 13 | 6,6 | 5,9 | 113 |
| 12 | 15,3 | 7,4 | 7,5 | 7,8 | 111 |
| 16 | 7,7 | 7,0 | 6,5 | 5,6 | 110 |
| 20 | 6,0 | 7,8 | 5,3 | 5,3 | 109 |
| 24 | 6,4 | 5,9 | 5,9 | 5,4 | 107 |
| 28 | 5,8 | 5,6 | 5,3 | 5,2 | 106 |
| 32 | 5,5 | 5,8 | 5,5 | 6,2 | 105 |
| 36 | 5,7 | 5,9 | 5,4 | 5,2 | 103 |
| 40 | 5,5 | 5,3 | 5,4 | 7,3 | 102 |
| 44 | 5,6 | 6,8 | 5,4 | 5,2 | 100 |

Tabela A.12: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 7 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 64,4 | 64,4 | 64,4 | 64,4 | 116 |
| 4 | 26,2 | 27,2 | 9,2 | 7,4 | 114 |
| 8 | 13,1 | 7,3 | 9,6 | 4,25 | 112 |
| 12 | 5,0 | 4,80 | 4,45 | 4,30 | 111 |
| 16 | 3,90 | 4,30 | 4,05 | 4,05 | 110 |
| 20 | 3,90 | 5,00 | 4,75 | 3,50 | 108 |
| 24 | 3,60 | 3,65 | 3,55 | 3,75 | 107 |
| 28 | 3,75 | 3,55 | 3,25 | 3,35 | 106 |
| 32 | 3,80 | 3,45 | 3,55 | 3,40 | 105 |
| 36 | 3,65 | 3,50 | 3,50 | 3,60 | 103 |
| 40 | 3,35 | 3,85 | 3,35 | 3,90 | 102 |
| 44 | 3,65 | 3,85 | 3,35 | 3,05 | 101 |

Tabela A.13: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 10 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 68,8 | 68,8 | 68,8 | 68,8 | 116 |
| 4 | 17,8 | 21,4 | 14,3 | 4,80 | 114 |
| 8 | 4,70 | 5,3 | 7,0 | 3,90 | 113 |
| 12 | 3,80 | 3,60 | 4,65 | 3,30 | 111 |
| 16 | 3,95 | 3,30 | 3,10 | 3,20 | 110 |
| 20 | 4,20 | 3,35 | 3,25 | 3,25 | 109 |
| 24 | 3,05 | 3,10 | 3,45 | 3,95 | 108 |
| 28 | 3,15 | 3,05 | 2,90 | 2,95 | 107 |
| 32 | 4,00 | 3,50 | 3,15 | 2,60 | 105 |
| 36 | 2,90 | 2,95 | 3,50 | 2,45 | 104 |
| 40 | 2,95 | 2,85 | 2,85 | 3,40 | 102 |
| 44 | 3,15 | 2,85 | 2,80 | 2,55 | 101 |

Tabela A.14: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 93,4 | 93,4 | 93,4 | 93,4 | 118 |
| 4 | 22,2 | 18,4 | 14,4 | 13,1 | 115 |
| 8 | 28,1 | 12,1 | 10,4 | 12,6 | 114 |
| 12 | 8,7 | - | 11,0 | 11,5 | 112 |
| 16 | 9,2 | 9,2 | 11,0 | 9,9 | 109 |
| 20 | 8,6 | 10,5 | 9,7 | 9,8 | 108 |
| 24 | 9,5 | 9,9 | 9,3 | 10,0 | 107 |
| 28 | 9,5 | 9,7 | 9,8 | 9,4 | 106 |
| 32 | 10,1 | 9,5 | 10,0 | 9,2 | 105 |
| 36 | 9,1 | 9,6 | 9,6 | 9,3 | 104 |
| 40 | 9,9 | 9,4 | 9,7 | 9,3 | 102 |
| 44 | 9,0 | 9,4 | 10,5 | 9,8 | 101 |

Tabela A.15: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de 5 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 79,6 | 79,6 | 79,6 | 79,6 | 116 |
| 4 | 57,3 | 22,3 | 25,4 | 27,2 | 113 |
| 8 | 12,9 | 20,1 | 19,2 | 19 | 111 |
| 12 | 17,4 | 18,1 | 20,7 | 20 | 109 |
| 16 | 18 | 19,2 | 20,2 | 18,8 | 108 |
| 20 | 18,7 | 19,3 | 19,3 | 18,5 | 107 |
| 24 | 14,5 | 19,9 | 19,3 | 18,8 | 105 |
| 28 | 20,4 | 19,9 | 18,6 | 18,8 | 103 |
| 32 | 19,4 | 19,2 | 18,8 | 18,8 | 101 |
| 36 | 19,4 | 19,2 | 19,5 | 19 | 99 |
| 40 | 19 | 18,9 | 18,4 | 20,3 | 97 |
| 44 | 18,5 | 18,8 | 18,6 | 19,5 | 95 |

Tabela A.16: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de 7 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 77,1 | 77,1 | 77,1 | 77,1 | 118 |
| 4 | 23,9 | 46,9 | 24 | 29,5 | 116 |
| 8 | 15,2 | 17,4 | 24,6 | 24,3 | 115 |
| 12 | 15,4 | 27,5 | 24,6 | 25,6 | 113 |
| 16 | 22,3 | 20,9 | 24,1 | 20,3 | 111 |
| 20 | 22,7 | 23,7 | 24 | 22,8 | 110 |
| 24 | 23,2 | 23,9 | 23,7 | 23,3 | 108 |
| 28 | 22,8 | 23,5 | 23 | 22,9 | 107 |
| 32 | 23,1 | 22,9 | 23 | 22,9 | 105 |
| 36 | 22,6 | 22,6 | 22,9 | 22,8 | 103 |
| 40 | 23,5 | 22,9 | 23,1 | 22,8 | 101 |
| 44 | 23,1 | 22,8 | 23 | 23,1 | 100 |

Tabela A.17: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de 10 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 72,8 | 72,8 | 72,8 | 72,8 | 117 |
| 4 | 22,5 | 31,6 | 32,7 | 43,6 | 115 |
| 8 | 18,5 | 20,4 | 29,1 | 41,7 | 113 |
| 12 | 28,8 | 23,2 | 27,4 | 37,0 | 11 |
| 16 | 37,5 | 24,3 | 29,3 | 34,7 | 110 |
| 20 | 23,9 | 25,6 | 26,1 | 31,9 | 109 |
| 24 | 29,5 | 26,9 | 31,0 | 32,7 | 108 |
| 28 | 29,8 | 28,2 | 31,6 | 30,9 | 106 |
| 32 | 28,5 | 28,6 | 28,6 | 30,9 | 104 |
| 36 | 29,9 | 30,3 | 30,2 | 30,9 | 102 |
| 40 | 29,6 | 30,5 | 33,2 | 30,7 | 100 |
| 44 | 30,3 | 31,1 | 29,7 | 31,4 | 98 |

Tabela A.18: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 66,5 | 66,5 | 66,5 | 66,5 | 116 |
| 4 | 64,4 | 48,9 | 29,1 | 12,0 | 114 |
| 8 | 23,6 | 25,9 | 12,6 | 12,2 | 113 |
| 12 | 23,0 | 11,2 | 12,1 | 12,3 | 111 |
| 16 | 14,4 | 9,0 | 10,8 | 8,8 | 109 |
| 20 | 8,6 | 8,9 | 9,1 | 8,4 | 107 |
| 24 | 8,5 | 6,6 | 6,6 | 7,2 | 105 |
| 28 | 11,0 | 10,0 | 7,0 | 6,6 | 104 |
| 32 | 6,5 | 5,8 | 5,2 | 5,3 | 102 |
| 36 | 5,8 | 5,9 | 5,4 | 5,2 | 100 |
| 40 | 5,3 | 5,6 | 5,1 | 4,95 | 99 |
| 44 | 5,5 | 5,3 | 4,80 | 4,55 | 97 |

Tabela A.19: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 61,4 | 61,4 | 61,4 | 61,4 | 115 |
| 4 | 41,4 | 26,9 | 40,8 | 12,7 | 112 |
| 8 | 23,0 | 19,6 | 15,2 | 7,8 | 11 |
| 12 | 11,3 | 9,0 | 6,8 | 6,7 | 109 |
| 16 | 8,1 | 6,8 | 6,9 | 5,9 | 108 |
| 20 | 6,5 | 6,6 | 6,2 | 5,6 | 107 |
| 24 | 6,8 | 6,7 | 6,0 | 6,0 | 105 |
| 28 | 5,8 | 6,3 | 6,4 | 6,0 | 103 |
| 32 | 8,1 | 6,5 | 6,0 | 5,6 | 102 |
| 36 | 6,2 | 5,9 | 5,8 | 5,8 | 101 |
| 40 | 6,6 | 5,8 | 5,3 | 5,4 | 99 |
| 44 | 6,8 | 5,9 | 5,6 | 5,5 | 98 |

Tabela A.20: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,6% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 64,6 | 64,6 | 64,6 | 64,6 | 113 |
| 4 | 36,0 | 39,6 | 17 | 14,5 | 111 |
| 8 | 10,3 | 10,2 | 14,5 | 10,2 | 109 |
| 12 | 13,3 | 10,3 | 11,1 | 10,1 | 106 |
| 16 | 10,3 | 10,7 | 10,1 | 9,4 | 104 |
| 20 | 10,5 | 9,8 | 10,0 | 9,8 | 102 |
| 24 | 10,5 | 10,5 | 9,9 | 9,1 | 100 |
| 28 | 10,1 | 10,7 | 9,9 | 8,7 | 98 |
| 32 | 10,4 | 9,6 | 9,2 | 8,9 | 96 |
| 36 | 9,7 | 9,7 | 9,0 | 9,2 | 94 |
| 40 | 9,6 | 8,9 | 9,0 | 9,3 | 93 |
| 44 | 10,3 | 11,5 | 8,5 | 9,1 | 91 |

Tabela A.21: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 71,1 | 71,1 | 71,1 | 71,1 | 118 |
| 4 | 68,4 | 51,6 | 37 | 22,4 | 115 |
| 8 | 41,8 | 34,6 | 14,6 | 22,5 | 114 |
| 12 | 32,1 | 26,7 | 21,9 | 17,3 | 112 |
| 16 | 17,4 | 16 | 12,2 | 13,2 | 110 |
| 20 | 12,9 | 15,5 | 12,1 | 11,8 | 108 |
| 24 | 12,9 | 11,1 | 10,5 | 8,2 | 106 |
| 28 | 10,6 | 10,5 | 8,2 | 8,9 | 105 |
| 32 | 10,3 | 6,7 | 11,8 | 9,4 | 104 |
| 36 | 12,9 | 9,9 | 7,6 | 6,9 | 103 |
| 40 | 9,9 | 8,2 | 7,2 | 6,6 | 101 |
| 44 | 8,3 | 7,2 | 6,9 | 7,1 | 100 |

Tabela A.22: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 66,5 | 66,5 | 66,5 | 66,5 | 116 |
| 4 | 64,4 | 48,96 | 29,1 | 12,0 | 114 |
| 8 | 23,6 | 25,9 | 12,6 | 12,2 | 113 |
| 12 | 23,0 | 11,2 | 12,1 | 12,3 | 111 |
| 16 | 14,4 | 9,0 | 10,8 | 8,8 | 109 |
| 20 | 8,6 | 8,9 | 9,1 | 8,5 | 107 |
| 24 | 8,5 | 6,6 | 6,6 | 7,2 | 105 |
| 28 | 11,0 | 10,0 | 7,0 | 6,6 | 104 |
| 32 | 6,5 | 5,8 | 5,2 | 5,3 | 102 |
| 36 | 5,8 | 5,9 | 5,4 | 5,2 | 100 |
| 40 | 5,3 | 5,6 | 5,1 | 4,95 | 99 |
| 44 | 5,5 | 5,3 | 4,75 | 4,55 | 97 |

Tabela A.23: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de 3 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 72,1 | 72,1 | 72,1 | 72,1 | 116 |
| 4 | 77,4 | 24,6 | 24,6 | 11,5 | 115 |
| 8 | 21,6 | 21,7 | 12,3 | 8,7 | 113 |
| 12 | 24,9 | 13,3 | 15,4 | 7,9 | 111 |
| 16 | 11,6 | 10,4 | 8,9 | 7,8 | 110 |
| 20 | 13,9 | 8,0 | 8,3 | 8,0 | 108 |
| 24 | 8,5 | 8,3 | 8 | 6,9 | 107 |
| 28 | 9,02 | 8,58 | 7,6 | 7,2 | 105 |
| 32 | 9,0 | 8,3 | 7,9 | 6,5 | 104 |
| 36 | 7,9 | 8,3 | 7,1 | 6,6 | 103 |
| 40 | 9,5 | 7,1 | 7,2 | 7,3 | 102 |
| 44 | 7,4 | 7,3 | 7,6 | 6,8 | 101 |

Tabela A.24: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 3 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 68,4 | 68,4 | 68,4 | 68,4 | 115 |
| 4 | 64,5 | 63,0 | 58,4 | 40,5 | 113 |
| 8 | 61,6 | 43,8 | 39,2 | 29,1 | 11 |
| 12 | 46,8 | 33,4 | 31,1 | 24,3 | 110 |
| 16 | 23,8 | 28,4 | 25,8 | 23,7 | 109 |
| 20 | 18,7 | 19,7 | 29,7 | 18,4 | 107 |
| 24 | 20,3 | 19,1 | 19,2 | 18,2 | 106 |
| 28 | 17,0 | 22,0 | 18,2 | 12,2 | 105 |
| 32 | 19,9 | 19,4 | 19,0 | 13,8 | 103 |
| 36 | 13,5 | 17,1 | 14,1 | 16,2 | 102 |
| 40 | 18,8 | 18,8 | 16,3 | 13,8 | 101 |
| 44 | 15,2 | 13,5 | 12,4 | 12,1 | 99 |

Tabela A.25: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 66,5 | 66,5 | 66,5 | 66,5 | 116 |
| 4 | 64,4 | 48,96 | 29,1 | 12,0 | 114 |
| 8 | 23,6 | 25,9 | 12,6 | 12,2 | 113 |
| 12 | 23,0 | 11,2 | 12,1 | 12,3 | 111 |
| 16 | 14,4 | 9,0 | 10,8 | 8,8 | 109 |
| 20 | 8,6 | 8,9 | 9,1 | 8,5 | 107 |
| 24 | 8,5 | 6,6 | 6,6 | 7,2 | 105 |
| 28 | 11 | 10 | 7,0 | 6,6 | 104 |
| 32 | 6,5 | 5,8 | 5,2 | 5,3 | 102 |
| 36 | 5,8 | 5,9 | 5,4 | 5,2 | 100 |
| 40 | 5,3 | 5,6 | 5,1 | 4,95 | 99 |
| 44 | 5,5 | 5,3 | 4,80 | 4,55 | 97 |

Tabela A.26: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 7 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 62,8 | 62,8 | 62,8 | 62,8 | 116 |
| 4 | 74,9 | 67,5 | 54 | 29,1 | 115 |
| 8 | 33,6 | 43,1 | 17,2 | 12,9 | 114 |
| 12 | 30,5 | 15,9 | 17,2 | 11,5 | 113 |
| 16 | 14,5 | 13 | 10,8 | 9,8 | 112 |
| 20 | 9,2 | 10,8 | 10,1 | 9,0 | 111 |
| 24 | 8,8 | 9,7 | 9,1 | 9,05 | 110 |
| 28 | 10,9 | 12,9 | 7,8 | 7,6 | 108 |
| 32 | 8,9 | 7,8 | 7,8 | 5,5 | 107 |
| 36 | 7,6 | 7,7 | 5,6 | 5,5 | 105 |
| 40 | 7,0 | 7,2 | 5,7 | 4,65 | 104 |
| 44 | 7,3 | 6,4 | 4,80 | 4,60 | 103 |

Tabela A.27: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não iônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 10 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | 116 |
| 4 | 76,3 | 77,4 | 60,3 | 24,4 | 114 |
| 8 | 24,3 | 32,8 | 18 | 10,3 | 113 |
| 12 | 23,5 | 18,6 | 10 | 7,5 | 111 |
| 16 | 11,3 | 14,7 | 6,8 | 5,5 | 110 |
| 20 | 8,8 | 7,0 | 4,95 | 5,4 | 109 |
| 24 | 11,4 | 7,9 | 6,0 | 5,2 | 108 |
| 28 | 6,6 | 5,8 | 4,95 | 4,35 | 107 |
| 32 | 5,5 | 7,4 | 7,1 | 3,90 | 105 |
| 36 | 5,00 | 6,2 | 6,3 | 4,60 | 104 |
| 40 | 4,60 | 6,4 | 4,50 | 3,60 | 102 |
| 44 | 4,90 | 4,30 | 6,4 | 3,60 | 101 |

Tabela A.28: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 75,1 | 75,1 | 75,1 | 75,1 | 116 |
| 4 | 46,6 | 30,7 | 29,9 | 26,7 | 114 |
| 8 | 24,9 | 18,9 | 20,9 | 24,4 | 112 |
| 12 | 20,5 | 22,8 | 21,6 | 22,3 | 110 |
| 16 | 22,2 | 19,5 | 18,6 | 18,2 | 108 |
| 20 | 20 | 19,4 | 18,8 | 17 | 107 |
| 24 | 20,4 | 18,8 | 17,9 | 14,6 | 106 |
| 28 | 23,4 | 18,3 | 16,1 | 15 | 104 |
| 32 | 16,9 | 16,6 | 14,8 | 13,6 | 102 |
| 36 | 17,1 | 16,7 | 13,3 | 13 | 101 |
| 40 | 17 | 14,9 | 14 | 12,3 | 99 |
| 44 | 16,5 | 14,7 | 12,6 | 14 | 97 |

Tabela A.29: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 5 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 83,5 | 83,5 | 83,5 | 83,5 | 116 |
| 4 | 101 | 80,3 | 83,2 | 49,1 | 115 |
| 8 | 45,1 | 35 | 34,1 | 36,5 | 113 |
| 12 | 34,2 | 34,5 | 34,1 | 31,1 | 11 |
| 16 | 33,5 | 31,2 | 27,5 | 26,3 | 110 |
| 20 | 30,1 | 31,5 | 25,9 | 27,3 | 109 |
| 24 | 30,1 | 28 | 30,2 | 23 | 107 |
| 28 | 28,5 | 25,9 | 26,2 | 24,5 | 105,5 |
| 32 | 24,7 | 24,5 | 26,7 | 25 | 104 |
| 36 | 26,9 | 25 | 24,7 | 25,6 | 102 |
| 40 | 23,6 | - | 23,5 | 22,5 | 100 |
| 44 | 23,4 | 23,9 | 23,4 | 20,4 | 99 |

Tabela A.30: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 7 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 85 | 85 | 85 | 85 | 116 |
| 4 | 97,4 | 44,1 | 73,2 | 46,5 | 115 |
| 8 | 43,8 | 35,4 | 32,5 | 30,7 | 113 |
| 12 | 38,1 | 30,1 | 26 | 27,2 | 11 |
| 16 | 32,5 | 35,9 | 21,7 | 23,4 | 110 |
| 20 | 24,1 | 22,8 | 23,8 | 21,1 | 109 |
| 24 | 22 | 25,2 | 18,6 | 23,6 | 107 |
| 28 | 22,5 | 20,4 | 20,5 | 20,7 | 105 |
| 32 | 19,4 | 19,8 | 21,1 | 20,9 | 104 |
| 36 | 20 | 22,3 | 19,6 | 20,4 | 102 |
| 40 | 19,3 | 19,4 | 19 | 18,5 | 100 |
| 44 | 19,2 | 19,3 | 18,3 | 18,6 | 99 |

Tabela A.31: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 10 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 87,6 | 87,6 | 87,6 | 87,6 | 118 |
| 4 | 80,8 | 75,3 | 64,5 | 45,6 | 116 |
| 8 | 46,2 | 32,8 | 32,7 | 39,9 | 115 |
| 12 | 31,1 | 31,7 | 26,2 | 26,1 | 113 |
| 16 | - | 28,5 | 26 | 25,9 | 111,5 |
| 20 | 26,6 | 24,7 | 26,7 | 20,6 | 109,5 |
| 24 | 30,1 | 24 | 21,5 | 19,6 | 107,5 |
| 28 | 39,7 | 24,7 | 25,1 | 19,1 | 106 |
| 32 | 36 | 21,9 | 21,2 | 19 | 104,5 |
| 36 | 24,5 | 20,4 | 17,8 | 17,9 | 103 |
| 40 | 24 | 24,8 | 18,9 | 18,7 | 101 |
| 44 | 22 | 18,9 | 18,1 | 18,7 | 99 |

Tabela A.32: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 70,7 | 70,7 | 70,7 | 70,7 | 117 |
| 4 | 54,1 | 28,2 | 22,6 | 12,9 | 116 |
| 8 | 13,2 | 11,8 | 10,7 | 8,8 | 115 |
| 12 | 10,4 | 9,3 | 8,7 | 8,2 | 11 |
| 16 | 12,7 | 9,6 | 9,1 | 8,0 | 110 |
| 20 | 9,2 | 9,4 | 8,5 | 8,4 | 109 |
| 24 | 10,4 | 9,8 | 8,0 | 7,5 | 107 |
| 28 | 9,9 | 10,7 | 8,1 | 7,9 | 105,5 |
| 32 | 8,6 | 12,7 | 8,2 | 7,3 | 104 |
| 36 | 8,2 | 8,0 | 7,7 | 7,3 | 102 |
| 40 | 8,1 | 8,0 | 7,6 | 7,5 | 100,5 |
| 44 | 7,7 | 8,0 | 7,7 | 7,0 | 99 |

Tabela A.33: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 72,9 | 72,9 | 72,9 | 72,9 | 116 |
| 4 | 35,1 | 39,3 | 42,3 | 35,5 | 114 |
| 8 | 21,2 | 25,2 | 27,5 | 24,7 | 113 |
| 12 | 20 | 22,3 | 22,6 | 19,9 | 111 |
| 16 | 21,1 | 20,8 | 20,5 | 14,2 | 110 |
| 20 | 21,9 | 19,3 | 17,2 | 15,6 | 108 |
| 24 | 19,4 | 18,2 | 18,5 | 15,7 | 106 |
| 28 | 18,1 | 16,3 | 14,5 | 12,9 | 104 |
| 32 | 17,1 | 16,7 | 14,6 | 11,3 | 103 |
| 36 | 16,4 | 17 | 12,6 | 10,7 | 102 |
| 40 | 14,4 | 14,1 | 12,1 | 10,5 | 101 |
| 44 | 16,6 | 14,4 | 11,8 | 10,7 | 99 |

Tabela A.34: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 2 mg . L⁻¹, concentração de 0,3% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 69,2 | 69,2 | 69,2 | 69,2 | 117 |
| 4 | 57,6 | 42,1 | 20,4 | 30,2 | 116 |
| 8 | 20,3 | 19,2 | 13,9 | 13 | 114 |
| 12 | 13,2 | 16,9 | 12,3 | 10,3 | 112 |
| 16 | 9,6 | 9,6 | 9,4 | 9,5 | 111 |
| 20 | 9,0 | 9,8 | 8,1 | 7,8 | 109 |
| 24 | 8,3 | 7,9 | 8,1 | 7,0 | 108 |
| 28 | 8,1 | 8,1 | 7,8 | 7,8 | 107 |
| 32 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,7 | 105 |
| 36 | 8,3 | 7,0 | 7,3 | 6,9 | 103 |
| 40 | 7,3 | 7,2 | 7,1 | 7,1 | 101 |
| 44 | 7,5 | 7,1 | 7,2 | 7,0 | 100 |

Tabela A.35: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 73,1 | 73,1 | 73,1 | 73,1 | 117 |
| 4 | 68,5 | 59,5 | 57 | 21,3 | 115 |
| 8 | 21,5 | 14,1 | 15,0 | 9,9 | 113 |
| 12 | 23,0 | 10,0 | 8,8 | 7,2 | 112 |
| 16 | 10,0 | 7,5 | 8,0 | 7,8 | 110 |
| 20 | 8,7 | 8,9 | 9,5 | 7,1 | 109 |
| 24 | 7,7 | 7,1 | 7,0 | 6,3 | 107 |
| 28 | 7,8 | 6,7 | 6,1 | 5,3 | 105 |
| 32 | 6,9 | 6,6 | 5,9 | 5,1 | 103 |
| 36 | 6,5 | 5,9 | 5,8 | 4,65 | 102 |
| 40 | 6,2 | 6,0 | 5,4 | 5,1 | 100 |
| 44 | 6,0 | 5,7 | 5,4 | 4,55 | 98 |

Tabela A.36: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 70,7 | 70,7 | 70,7 | 70,7 | 117 |
| 4 | 54,1 | 28,2 | 22,6 | 12,9 | 116 |
| 8 | 13,2 | 11,8 | 10,7 | 8,8 | 115 |
| 12 | 10,4 | 9,3 | 8,7 | 8,2 | 11 |
| 16 | 12,7 | 9,6 | 9,1 | 8,0 | 110 |
| 20 | 9,2 | 9,4 | 8,5 | 8,4 | 109 |
| 24 | 10,4 | 9,8 | 8,0 | 7,5 | 107 |
| 28 | 9,9 | 10,7 | 8,1 | 7,9 | 105,5 |
| 32 | 8,6 | 12,7 | 8,2 | 7,3 | 104 |
| 36 | 8,2 | 8,0 | 7,7 | 7,3 | 102 |
| 40 | 8,1 | 8,0 | 7,6 | 7,5 | 100,5 |
| 44 | 7,7 | 8,0 | 7,6 | 7,0 | 99 |

Tabela A.37: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 3 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 69,2 | 69,2 | 69,2 | 69,2 | 113 |
| 4 | 54,9 | 55,2 | 43 | 28,8 | 112 |
| 8 | 16,4 | 17,5 | 16,9 | 14,4 | 11 |
| 12 | 15,7 | 25,8 | 14,8 | 13,3 | 110 |
| 16 | 13,9 | 23,3 | 16,4 | 13 | 108 |
| 20 | 11,2 | 17,3 | 16,5 | 12,5 | 107 |
| 24 | 12,8 | 12,5 | 19,1 | 10,2 | 106 |
| 28 | 11,0 | 13 | 12,8 | 10,0 | 105 |
| 32 | 11,1 | 12,1 | 11,3 | 10,9 | 103 |
| 36 | 10,7 | 10,9 | 11,7 | 9,9 | 102 |
| 40 | 12,6 | 10,7 | 12 | 10,5 | 101 |
| 44 | 11,2 | 12,5 | 9,1 | 8,8 | 100 |

Tabela A.38: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de 1 mg . L⁻¹, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 3 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 70,4 | 57,4 | 57,4 | 57,4 | 116 |
| 4 | 53,5 | 62,4 | 41,1 | 24,4 | 114 |
| 8 | 24,2 | 29,6 | 27,3 | 15,8 | 112 |
| 12 | 20,1 | 22,2 | 14,9 | 13,4 | 111 |
| 16 | 20,6 | 20 | 15,8 | 15,5 | 110 |
| 20 | 20,5 | 16,3 | 15,6 | 13,5 | 108 |
| 24 | 14,1 | 14,7 | 14,5 | 11,3 | 107 |
| 28 | 14,6 | 12,4 | 12,5 | 11,8 | 106 |
| 32 | 13,8 | 12 | 11,7 | 9,5 | 105 |
| 36 | 13,2 | 10 | 10,3 | 9,5 | 103 |
| 40 | 13,5 | 11,5 | 10,4 | 9,6 | 102 |
| 44 | 11,7 | 11,6 | 9,9 | 9,6 | 101 |

Tabela A.39: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 72,6 | 72,6 | 72,6 | 72,6 | 116 |
| 4 | 41 | 31,6 | 26,3 | 15,7 | 115 |
| 8 | 13,4 | 23,6 | 12,2 | 8,4 | 113 |
| 12 | 12,4 | 10,7 | 8,2 | 8,1 | 110 |
| 16 | 9,4 | 8,6 | 7,4 | 7,2 | 109 |
| 20 | 9,1 | 8,0 | 7,14 | 6,06 | 107 |
| 24 | 9,02 | 7,15 | 6,9 | 6,6 | 106 |
| 28 | 7,3 | 7,9 | 6,9 | 6,2 | 104 |
| 32 | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 6,6 | 103 |
| 36 | 6,6 | 6,7 | 6,3 | 6,0 | 101 |
| 40 | 6,6 | 6,7 | 6,5 | 5,8 | 100 |
| 44 | 5,8 | 6,3 | 6,3 | 5,9 | 98 |

Tabela A.40: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 7 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 68,6 | 68,6 | 68,6 | 68,6 | 115 |
| 4 | 53,8 | 65 | 28,8 | 10,2 | 113 |
| 8 | 14,8 | 11,7 | 14,3 | 7,7 | 112 |
| 12 | 9,2 | 8,1 | 6,2 | 5,5 | 110 |
| 16 | 6,6 | 6,2 | 6,3 | 6,0 | 109 |
| 20 | 6,7 | 6,1 | 6,0 | 4,95 | 107 |
| 24 | 5,3 | 5,9 | 6,4 | 4,95 | 106 |
| 28 | 5,4 | 6,1 | 6,2 | 4,15 | 105 |
| 32 | 5,1 | 5,8 | 5,3 | 4,30 | 103 |
| 36 | 5,3 | 5,5 | 5,00 | 4,40 | 102 |
| 40 | 4,70 | 5,10 | 4,55 | 4,10 | 100 |
| 44 | 4,80 | 4,95 | 5,30 | 4,70 | 99 |

Tabela A.41: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 10 min.

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 70 | 70 | 70 | 70 | 116 |
| 4 | 63,1 | 48,9 | 19,4 | 14 | 115 |
| 8 | 29,5 | 21,8 | 9,2 | 7,2 | 113 |
| 12 | 14,2 | 9,1 | 7,5 | 6,4 | 112 |
| 16 | 13,7 | 8,2 | 5,4 | 5,2 | 110 |
| 20 | 7,0 | 5,6 | 5,4 | 5,4 | 109 |
| 24 | 5,2 | 4,40 | 4,40 | 4,30 | 107 |
| 28 | 5,15 | 4,15 | 4,00 | 3,60 | 105 |
| 32 | 4,85 | 4,50 | 4,40 | 4,40 | 104 |
| 36 | 4,30 | 4,25 | 4,60 | 3,70 | 103 |
| 40 | 3,90 | 4,15 | 3,75 | 3,75 | 101 |
| 44 | 3,85 | 3,85 | 3,95 | 3,45 | 99 |

Tabela A.42: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, sem aplicação de polímero (Ensaio 2).

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 35,4 | 35,4 | 35,4 | 35,4 | 117 |
| 4 | 37,9 | 38,2 | 26,7 | 32,8 | 116 |
| 8 | 37,4 | 37,4 | 27,2 | 28 | 115 |
| 12 | 32,4 | 31,9 | 28,8 | 27,8 | 113 |
| 16 | 31,2 | 27,9 | 25,2 | 29,8 | 112 |
| 20 | 28,3 | 25 | 21,7 | 22,1 | 110 |
| 24 | 22,8 | 23 | 19,3 | 20,1 | 109 |
| 28 | 20,4 | 20,9 | 18,7 | 17,1 | 107 |
| 32 | 17,3 | 19,1 | 14,3 | 13,8 | 106 |
| 36 | 16,2 | 15,5 | 11,2 | 11,9 | 104 |
| 40 | 15,5 | 14,2 | 11,7 | 11,8 | 103 |
| 44 | 12,8 | 12,8 | 11,2 | 9,2 | 101 |

Tabela A.43: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero não-iônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 5 min (Ensaio 2).

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 36,2 | 36,2 | 36,2 | 36,2 | 116 |
| 4 | 44,6 | 43,7 | 47,4 | 35 | 115 |
| 8 | 23,2 | 32 | 27,1 | 21,3 | 114 |
| 12 | 15,7 | 15,7 | 8,6 | 9,7 | 113 |
| 16 | 15,5 | 9,4 | 7,8 | 9,6 | 112 |
| 20 | 8,5 | 8,2 | 10,2 | 7,0 | 111 |
| 24 | 6,3 | 6,4 | 12,9 | 7,3 | 110 |
| 28 | 7,6 | 6,5 | 9,9 | 5,3 | 109 |
| 32 | 6,8 | 6,8 | 6,0 | 5,5 | 107 |
| 36 | 7,1 | 6,9 | 6,7 | 5,5 | 107 |
| 40 | 5,20 | 7,1 | 4,20 | 5,4 | 106 |
| 44 | 490 | 7,4 | 3,85 | 4,25 | 105 |

Tabela A.44: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero aniônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 7 min (Ensaio 2).

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 34,2 | 34,2 | 34,2 | 34,2 | 115 |
| 4 | 25,6 | 26,8 | 10,7 | 9,6 | 113 |
| 8 | 12,1 | 6,65 | 4,05 | 3,85 | 112 |
| 12 | 3,85 | 2,85 | 2,80 | 3,65 | 111 |
| 16 | 3,25 | 3,00 | 2,75 | 2,80 | 110 |
| 20 | 2,60 | 2,60 | 2,60 | 3,05 | 109 |
| 24 | 2,70 | 2,45 | 2,75 | 2,70 | 108 |
| 28 | 2,50 | 2,40 | 2,10 | 3,00 | 106 |
| 32 | 2,70 | 2,30 | 2,25 | 2,00 | 106 |
| 36 | 2,50 | 2,20 | 2,30 | 2,25 | 105 |
| 40 | 2,15 | 2,20 | 2,20 | 2,45 | 104 |
| 44 | 2,10 | 2,30 | 2,40 | 2,05 | 104 |

Tabela A.45: Ensaio de clarificação da ALF da ETA UFV, turbidez remanescente x tempo de sedimentação, dose de polímero catiônico de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentração de 0,1% e tempo de mistura de 10 min (Ensaio 2).

| Tempo de coleta (min) | Ponto de coleta | | | | Nível da d'água na coluna (cm) |
|-----------------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| | H1 (7 cm) | H2 (32 cm) | H3 (57 cm) | H4 (82 cm) | |
| 0 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 116 |
| 4 | 12,7 | 21,2 | 6,6 | 4,95 | 115 |
| 8 | 9,0 | 2,75 | 2,20 | 2,00 | 114 |
| 12 | 2,75 | 2,55 | 2,20 | 2,05 | 113 |
| 16 | 2,05 | 1,85 | 1,60 | 2,10 | 112 |
| 20 | 1,85 | 1,70 | 1,55 | 1,60 | 111 |
| 24 | 1,65 | 1,75 | 1,80 | 1,60 | 110 |
| 28 | 1,80 | 1,65 | 1,60 | 1,80 | 109 |
| 32 | 1,70 | 1,70 | 1,65 | 1,55 | 109 |
| 36 | 1,70 | 1,65 | 1,65 | 1,70 | 108 |
| 40 | 1,65 | 1,80 | 1,75 | 1,60 | 107 |
| 44 | 1,50 | 1,65 | 1,55 | 1,60 | 106 |

ANEXO B: RESULTADOS DOS ENSAIOS NA ETA PILOTO

Tabela B. 1: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação sem utilização de polímero, 0,020 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 9,82 | 10 | 10 | 9,3 | 9,9 |
| | Decantada | 5,69 | 3,3 | 5,7 | 6,6 | 7,2 |
| | Filtrada | 1,03 | 1,05 | 1,35 | 0,95 | 0,75 |
| | mistura | 9,93 | 10,5 | 9,9 | 9,7 | 9,6 |
| | ALF | 11,3 | 13,1 | 12,9 | 10,4 | 8,6 |

Tabela B. 2: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação sem utilização de polímero, 0,015 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 8,9 | 8,8 | 9,5 | 8,4 | 9,2 |
| | Decantada | 5,2 | 3,20 | 5,56 | 6,0 | 6,0 |
| | Filtrada | 0,50 | 0,70 | 0,45 | 0,40 | 0,45 |
| | mistura | 9,5 | 10,2 | 9,8 | 8,9 | 9,1 |
| | ALF | 12,2 | 14,4 | 13 | 11,1 | 10,3 |

Tabela B. 3: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação sem utilização de polímero, 0,010 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 12,2 | 11,7 | 12,2 | 12,7 | 12,1 | 12,2 |
| | Decantada | 7,4 | 4,7 | 7,7 | 7,9 | 8,6 | 8,1 |
| | Filtrada | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| | mistura | 13 | 12,8 | 12,9 | 13,7 | 12,6 | 13 |
| | ALF | 16,4 | 20,5 | 23,1 | 21,7 | 18,5 | 18 |

Tabela B. 4: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação sem utilização de polímero 0,005 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 8,4 | - | 8,6 | 8,4 | 8,2 |
| | Decantada | 7,8 | - | 8,0 | 7,9 | 7,5 |
| | Filtrada | 1,95 | - | 2,60 | 1,90 | 1,30 |
| | mistura | 8,4 | - | 8,4 | 8,4 | 8,3 |
| | ALF | 16,5 | - | 19 | 15,8 | 14,7 |

Tabela B. 5: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, sem clarificação, $0,020 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ALF + $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | | | |
|------------------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 09:00 | 10:00 | 11:00* | 12:00* | 13:00 | 14:00 |
| VAZÃO ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$) | | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 18,3 | 18 | 18,7 | - | - | 18,4 | 18,1 |
| | Decantada | 7,5 | 5,0 | 7,7 | - | - | 8,9 | 8,5 |
| | Filtrada | 1,30 | 1,05 | 0,80 | - | - | 2,2 | 1,10 |
| | mistura | 37,3 | 37,7 | 51,8 | - | - | 40,8 | 18,7 |
| | ALF | 139,7 | 146 | 140 | - | - | 148 | 25,1 |

*A ETA UFV não funcionou de 11:00hs até 12:40hs

Tabela B. 6: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, sem clarificação, $0,015 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ALF + $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | | | |
|------------------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 |
| VAZÃO ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$) | | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 11,25 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,5 | 11,2 | 11,2 |
| | Decantada | 6,40 | 3,70 | 5,2 | 6,4 | 7,6 | 7,8 | 7,6 |
| | Filtrada | 0,65 | 0,95 | 0,75 | 0,50 | 0,50 | 0,65 | 0,55 |
| | mistura | 15,4 | 14,7 | 15,7 | 16 | 15,2 | 16,4 | 14,4 |
| | ALF | 40,1 | 34,5 | 42,5 | 43,6 | 39,8 | 46,6 | 33,6 |

Tabela B. 7: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, sem clarificação, 0,005 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 6,6 | 6,6 | 6,4 | 6,4 | 6,7 |
| | Decantada | 4,00 | 1,70 | 3,80 | 4,60 | 6,1 |
| | Filtrada | 0,45 | 0,60 | 0,45 | 0,25 | 0,45 |
| | mistura | 11,5 | 13 | 11,4 | 10,5 | 11 |
| | ALF | 68,4 | 70,2 | 71,6 | 56,4 | 70,3 |

Tabela B. 8: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação com polímero catiônico, 0,020 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 179 | 188 | - | 176 | 173 |
| | Decantada | 25,0 | 16,4 | - | 31,6 | 26,9 |
| | Filtrada | 2,05 | 2,60 | - | 1,25 | 2,30 |
| | mistura | 165 | 148 | - | 153 | 194 |
| | ALF | 5,8 | 9,8 | - | 6,6 | 1,05 |

Tabela B. 9: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação com polímero catiônico, 0,015 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 174 | 176 | 172 | 178 | 170 |
| | Decantada | 30,0 | 25,5 | 30,2 | 31,4 | 33 |
| | Filtrada | 1,40 | 1,85 | 1,45 | 1,40 | 1,00 |
| | mistura | 150 | 154 | 152 | 151 | 145 |
| | ALF | 5,5 | 5,30 | 4,55 | 6,85 | 5,30 |

Tabela B.10: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação com polímero catiônico, 0,010 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 |
| VAZÃO (L . s ⁻¹) | | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 19,4 | 20,1 | 19,3 | 19,5 | 18,6 |
| | Decantada | 8,9 | 6,2 | 9,1 | 9,6 | 10,8 |
| | Filtrada | 2,25 | 3,30 | 2,05 | 1,9 | 1,7 |
| | mistura | 17,7 | 18,3 | 17,1 | 17,7 | - |
| | ALF | 4,4 | 1,65 | 4,40 | 7,15 | - |

Tabela B. 11: Resultados dos ensaios de recirculação de água de lavagem de filtro na ETA piloto, clarificação com polímero catiônico, 0,0105 L . s⁻¹ ALF + 0,1 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 10:00 | 11:00* | 12:00 | 13:00 | 14:00 |
| VAZÃO (L . s⁻¹) | | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 42,7 | 42,5 | - | 39,5 | 43,9 | 47,5 |
| | Decantada | 10,8 | 3,96 | - | 12 | 12,8 | 14,6 |
| | Filtrada | 1,15 | 1,50 | - | 1,30 | 1,05 | 0,70 |
| | mistura | 40,6 | 40,2 | - | 37,5 | 40,7 | 44,1 |
| | ALF | 3,95 | 4,10 | - | 4,10 | 3,90 | 3,70 |

*A ETA UFV não funcionou de 10:30hs até 11:40hs

Tabela B. 12: Resultados dos ensaios sem recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto, 0,120 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 |
| VAZÃO (L . s⁻¹) | | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 257 | 242 | 249 | 268 | 270 |
| | Decantada | 32,4 | 12,8 | 37,2 | 39,9 | 39,6 |
| | Filtrada | 1,75 | 2,05 | 2,25 | 1,60 | 1,1 |

Tabela B. 13: Resultados dos ensaios sem recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto, 0,115 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 |
| VAZÃO (L . s⁻¹) | | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 | 0,115 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 40,5 | 28,1 | 34,5 | 37,5 | 47,1 | 50,4 | 45,4 |
| | Decantada | 14,10 | 8,7 | 12,8 | 13,6 | 14,9 | 17,6 | 16,9 |
| | Filtrada | 0,85 | 1,40 | 0,85 | 1,40 | 0,90 | 0,30 | 0,30 |

Tabela B.14: Resultados dos ensaios sem recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto, 0,105 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | MÉDIA | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 |
| VAZÃO (L . s⁻¹) | | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 | 0,105 |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 12,2 | 12,2 | 12 | 12,3 | 12,2 | 12,2 | 12,2 |
| | Decantada | 8,7 | 8,8 | 7,0 | 8,8 | 9,5 | 9,7 | 8,6 |
| | Filtrada | 1,1 | 1,50 | 1,85 | 1,25 | 0,95 | 0,70 | 0,50 |

Tabela B.15: Resultados dos ensaios sem recirculação da água de lavagem do filtro na ETA piloto, 0,100 L . s⁻¹ Água Bruta.

| | | HORA DA COLETA | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | MÉDIA | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | |
| VAZÃO (L . s⁻¹) | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| TURBIDEZ (uT) | Bruta | 35,8 | 35,2 | 34,7 | 36,3 | 37,1 | 35,6 | |
| | Decantada | 12,8 | 1,4 | 14 | 18,5 | 14 | 16,1 | |
| | Filtrada | 1,10 | 0,45 | 1,4 | 1,01 | - | 1,6 | |