

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE EM PEDREGULHO COMO PRÉ-TRATAMENTO À FILTRAÇÃO RÁPIDA DESCENDENTE



CLÁUDIA REGINA MEGDA

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

Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo

São Carlos

1999

Class.	TESE-EESC
Cutt.	3493
Tombo	045/00

341 0000 80 15

5/5 1070528

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

M496f Megda, Cláudia Regina
Filtração direta ascendente em pedregulho como pré-
tratamento à filtração rápida descendente / Cláudia
Regina Megda. -- São Carlos, 1999.

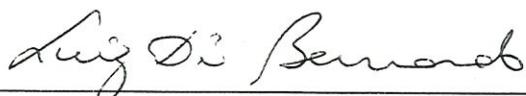
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo.

1. Tratamento de água. 2. Filtração direta
ascendente em pedregulho. 3. Filtração rápida
descendente. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **CLAUDIA REGINA MEGDA**

Dissertação defendida e aprovada em 29.10.99
pela Comissão Julgadora:



Prof. Tit. **LUIZ DI BERNARDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



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



Prof. Assoc. **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



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

Dedicatória

A minha querida mãe, que no tempo de realização deste trabalho, partiu para a casa do Pai.

Ao meu pai, Jorge, e ao meu irmão Marcelo, pelo incentivo nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela suprema força de vencer todos os obstáculos e iluminar os caminhos a seguir.

Ao Professor Dr. Luiz Di Bernardo pela orientação recebida durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Aos Professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC - USP, que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos colegas do curso e a todos os amigos que aqui conheci, em especial a: Márcia, Flávia, Liene, Luciana, Marina, Valter, Fazolo, Marcos, Paulo Tadeu, pela convivência enriquecedora e estímulo em todos os momentos.

A todos àqueles que, direta ou indiretamente, contribuiu de alguma maneira para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIações.....	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS.....	5
3.1.1 – Pré-filtros de pedregulho com escoamento horizontal.....	8
3.1.2 - Pré-filtros de pedregulho com escoamento vertical descendente.....	10
3.1.3 - Pré-filtros de pedregulho com escoamento ascendente.....	11
3.1.4 - Experiências da EESC-USP sobre a filtração em múltiplas etapas.....	14
3.2 - FILTRAÇÃO DIRETA EM AREIA COM ESCOAMENTO ASCENDENTE.....	18
3.2.1. Coagulação química da água.....	22
3.3. FILTRAÇÃO RÁPIDA DESCENDENTE.....	25
3.4. DUPLA FILTRAÇÃO.....	27
3.4.1. Introdução.....	27
3.5. FILTRAÇÃO DIRETA EM PEDREGULHO.....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	48
4.2. DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO DA INSTALAÇÃO PILOTO.....	48
4.2.1. Recalque de água bruta.....	48
4.2.2. Alimentação dos filtros.....	49
4.2.3. Preparo da solução de sulfato de alumínio.....	53
4.2.4. Ajuste das Vazões.....	55
4.2.5. Determinação de dosagem de solução de coagulante.....	55
4.2.6. Filtro Ascendente de Pedregulho	58
4.2.7. Filtro Rápido Descendente.....	59
4.2.8. Medição de perda de carga.....	60

4.2.9 Meios Granulares.....	61
4.2.9.1. Filtro ascendente de pedregulho	61
4.2.9.2. Filtro rápido descendente.....	62
4.2.10. Medição e Registro da Turbidez.....	63
4.2.11. Término da Carreira de Filtração.....	64
4.2.12. Limpeza do Filtro Ascendente de Pedregulho.....	64
4.2.13. Limpeza do Filtro Rápido Descendente.....	65
4.3. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL.....	67
4.3.1. Parâmetros de controle, locais de coleta e frequência das medições.....	68
5. RESULTADOS.....	70
5.2. INTRODUÇÃO.....	70
6. DISCUSSÃO.....	78
6.1. QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA.....	78
6.2. VARIAÇÕES DOS PARÂMETROS EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS NAS TAXAS DE FILTRAÇÃO.....	79
6.2.1. Turbidez e Cor Aparente.....	80
6.2.2. pH e temperatura.....	82
6.2.3. Perda de carga e duração da carreira de filtração.....	83
6.2.4. Ferro e manganês total.....	84
6.2.5. Coliformes totais e fecais.....	86
6.2.6. Contagem de partículas e carbono orgânico total.....	87
6.3. CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA FILTRADA NO FRD	89
7. CONCLUSÕES.....	91
8. RECOMENDAÇÕES.....	93
9. ANEXO A –	94
10. ANEXO B –	101
11. ANEXO C –	112
12. ANEXO D –	132
13. ANEXO E –	138
14. ANEXO F –	144
15. ANEXO G –	150
16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	167

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - PRÉ-FILTRO DE PEDREGULHO COM ESC. HORIZONTAL.....	9
FIGURA 3.2 - PRÉ-FILTRO DE PEDREGULHO COM ESC. HORIZONTAL EM SÉRIE.....	9
FIGURA 3.3 - PRÉ-FILTRO DE PEDREGULHO COM ESC. DESCENDENTE EM SÉRIE.....	10
FIGURA 3.4 - PRÉ-FILTRO DE PEDREGULHO COM ESC. ASCENDENTE EM CAMADA.....	11
FIGURA 3.5 - PRÉ-FILTRO DE PEDREGULHO COM ESC. ASCENDENTE EM SÉRIE.....	12
FIGURA 3.6 - DIAGRAMA TÍPICO DE COAGULAÇÃO EMPREGANDO SULFATO DE ALUMÍNIO....	24
FIGURA 3.7 - REMOÇÃO DE TURBIDEZ E COR VERDADEIRA PARA DUAS ALTERNATIVAS DE FILTRAÇÃO EM PEDREGULHO.....	32
FIGURA 3.8 - REMOÇÃO DE TURBIDEZ PARA DIFERENTES TAXAS DE FILTRAÇÃO E DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO.....	35
FIGURA 3.9 - VALORES MÉDIOS DE TURBIDEZ, COR VERDADEIRA, SÓLIDOS SUSPENSOS E COLIFORMES FECAIS PARA DIFERENTES OPÇÕES DE PRÉ-TRATAMENTO.....	38
FIGURA 3.10 - DOSAGEM MÍNIMA DE COAGULANTE PARA TRATAMENTO EM CICLO COMPLETO E FILTRAÇÃO DIRETA.....	40
FIGURA 3.11- REMOÇÃO DE TURBIDEZ, COR VERDADEIRA, SÓLIDOS SUSPENSOS COLIFORMES FECAIS PARA DIFERENTES ALTERNATIVAS DE FILTRAÇÃO EM PEDREGULHO....	42
FIGURA 3.12 - EFEITO DA DOSAGEM DE COAGULANTE NO EFLUENTE DO PRÉ-FILTRO DINÂMICO NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ NO FILTRO ASCENDENTE.....	44
FIGURA 3.13- TURBIDEZ MÉDIA E MÁXIMA, TEMPO DE PICO DAS VARIAÇÕES DA QUALIDADE DE ÁGUA EM SEIS MANANCIAS SUPERFICIAIS	45
FIGURA 3.14 - DOSAGEM DE COAGULANTE PARA DIFERENTES VALORES DE TURBIDEZ EM SEIS MANANCIAS SUPERFICIAIS.....	46
FIGURA 4.1 - ESQUEMA GERAL DA INSTALAÇÃO PILOTO.....	50
FIGURA 4.2 - ESQUEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA E DISTRIBUIÇÃO.....	51
FIGURA 4.3 - FOTO DO CANAL DE CHEGADA DA ADUTORA E RECALQUE DA ÁGUA BRUTA....	52
FIGURA 4.4 - FOTO DA CAIXA DE NÍVEL CONSTANTE PARA ALIMENTAÇÃO DA INSTALAÇÃO.....	52
FIGURA 4.5 - FOTO DO TANQUE DE PREPARO E ARMAZENAMENTO DE SOLUÇÃO DE COAGULANTE E BOMBA DOSADORA.....	54
FIGURA 4.6 - DETALHE DO INJETOR.....	54
FIGURA 4.7 - FOTO DO FILTRO DE LABORATÓRIO	56
FIGURA 4.8 - FOTO DO FILTRO DE PEDREGULHO ASCENDENTE.....	58
FIGURA 4.9 - FOTO DO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE	59
FIGURA 4.10 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA. DA AREIA.....	62
FIGURA 4.11 - FOTO DOS TURBIDÍMETROS DE ESCOAMENTO CONTÍNUO.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS DO MEIO GRANULAR DO PRÉ-FILTRO.....	14
TABELA 3.2 – CARACTERÍSTICAS DO MEIO GRANULAR.....	16
TABELA 3.3 - CRITÉRIOS DE PROJETO PARA CAMADA DE AREIA DOS FILTROS.....	28
TABELA 3.4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PROCESSOS DE FILTRAÇÃO.....	29
TABELA 3.5 - QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA BRUTA DURANTE O PERÍODO DE ESTUDO.....	34
TABELA 3.6 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA NO RIO CAUCA.....	36
TABELA 3.7- CARACTERÍSTICAS DO MEIO GRANULAR DAS UNIDADES DE PRÉ-TRATAMENTO.....	37
TABELA 3.8 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SEIS MANANCIAS SUPERFICIAIS.....	46
TABELA 4.1 - COMPOSIÇÃO DA CAMADA DE PEDREGULHO.....	61
TABELA 4.2 - PROGRAMAS DOS ENSAIOS.....	67
TABELA 4.3 - PARÂMETROS DE CONTROLE E FREQUÊNCIA DAS MEDIÇÕES.....	68
TABELA 4.4 - METODOLOGIA DE ENSAIOS.....	69
TABELA 5.1 – RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS.....	70
TABELA 5.2 – RESULTADOS GERAIS OBTIDOS NO ENSAIO 01.....	73
TABELA 5.3 - RESULTADOS GERAIS OBTIDOS NO ENSAIO 02.....	74
TABELA 5.4 - RESULTADOS GERAIS OBTIDOS NO ENSAIO 03.....	75
TABELA 5.5 - RESULTADOS GERAIS OBTIDOS NO ENSAIO 04.....	76
TABELA 5.6 - RESULTADOS GERAIS OBTIDOS NO ENSAIO 05.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

cm.....	centímetro
°C.....	Graus Celcius
CINARA.....	Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua
FDA.....	Filtração direta ascendente
FDPH.....	Filtração direta horizontal em pedregulho
FiMe.....	Filtração em Múltiplas Etapas
FPA.....	Filtro ascendente de pedregulho
FPAC.....	Filtro ascendente de pedregulho em camadas
FPAS.....	Filtro ascendente de pedregulho em série
FRD.....	Filtro rápido descendente
L.....	Litro
m.....	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mg.....	Miligrama
mL.....	Mililitro
µm.....	Micrometro
NMP.....	Número mais provável
PFDi.....	Pré-Filtro dinâmico
PFPH.....	Pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal
PFPHS.....	Pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal em série
PFPDC.....	Pré-filtro de pedregulho com escoamento descendente em camadas
PFPDS.....	Pré-filtro de pedregulho com escoamento descendente em série
PFA.....	Pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em camadas
PFAS.....	Pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em série
pH.....	Potencial hidrogeniônico
uC.....	Unidade de cor
uT.....	Unidade de turbidez

RESUMO

MEGDA, C.R. (1999). *Filtração Direta Ascendente em Pedregulho como Pré-Tratamento à Filtração Rápida Descendente*. São Carlos, 1999. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A filtração direta ascendente, em meio granular de pedregulho, como pré-tratamento à filtração rápida descendente, foi estudada em uma instalação piloto. O filtro ascendente possuía quatro subcamadas de pedregulho, com tamanho variando entre 31,7 e 2,4 mm e espessura total de 1,20 m. O efluente do filtro ascendente era encaminhado a um filtro descendente, contendo meio filtrante constituído unicamente de camada de areia (tamanho dos grãos entre 0,42 e 1,41mm, tamanho efetivo de 0,54 mm e coeficiente de desuniformidade igual a 1,57), com espessura de 0,70 m. Foram estudadas cinco taxas de filtração no filtro ascendente de pedregulho entre 12 e 115 m³/m² . dia, permanecendo constante e igual a 250 m³/m² . dia a taxa de filtração no filtro descendente de areia. A água bruta foi coagulada com sulfato de alumínio e apresentou durante a pesquisa, turbidez compreendida entre 6 e 71 uT. Com base no trabalho realizado, conclui-se principalmente que: (i) o filtro ascendente de pedregulho demonstrou capacidade de absorver picos de turbidez; (ii) as taxas empregadas influenciaram na duração da carreira do filtro descendente de areia; (iii) a eficiência global do sistema de dupla filtração com relação à remoção de turbidez, cor aparente, ferro, manganês, coliformes totais e fecais, foi praticamente a mesma, em todos os ensaios realizados.

palavras-chave: tratamento de água; filtração direta ascendente em pedregulho; filtração rápida descendente.

ABSTRACT

MEGDA, C.R. *Upflow Direct Filtration in gravel as pretreatment to downflow rapid filtration*. São Carlos, 1999. 170p. Dissertation (grade of master) – Engineering School of São Carlos – University of São Paulo - Brazil.

The upflow direct filtration, in a granule medium of gravel, as pretreatment to downflow rapid filtration, was studied in a pilot plant. The upflow filter had four subgrades of gravel, with size varying between 31,7 and 2,4 mm and total thickness of 1,20 m. The effluent of upflow filter was sent to a downflow filter, with filtering medium only made of sand grade (grains size between 0,42 and 1,41mm, effective size of 0,54 mm and desuniformity coefficient of 1,57), with thickness of 0,70 m. It were studied five rates of filtration in the upflow roughing filter between 12 and 115 m/d, the filtration of rate remaining invariable and equal 250 m/d in the downflow sand filter. The raw water was coagulated with aluminium sulfate and it showed, during a research, turbidity between 6 and 71 NTU. In view of work done, it was concluded that: (i) the upflow roughing filtration showed ability to absorb turbidity peaks; (ii) the used rates influenced in the runs lengths of downflow sand filter; (iv) the global double filtration sistem efficiency with relation to removal of turbidity, aparent color, iron, manganese, total and faecal coliforms, was practically the same, in all performed analyses.

Keywords: water treatment; upflow roughing direct filtration; downflow rapid filtration.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de tratamento de água para abastecimento têm, nas últimas décadas, experimentado significativos avanços científicos e tecnológicos. Esse fato vem acontecendo desde a revolução industrial do século XIX, quando o homem, na procura de uma melhor qualidade de vida do ponto de vista cultural, social e tecnológico, saiu do campo para as áreas urbanas. A crescente concentração populacional nas áreas urbanas, aliada ao desenvolvimento das atividades agrícolas e industriais, têm nos últimos anos ocasionado um acentuado aumento na utilização dos recursos hídricos, além de agravar continuamente os problemas relacionados à poluição dos mananciais superficiais. Para o equacionamento dessa questão, exige-se cada vez mais a aplicação de medidas tecnológicas eficazes e apropriadas para cada localidade. Em muitos casos a tecnologia de tratamento de água em ciclo completo ou convencional (compreendendo a coagulação, a floculação e a decantação precedendo a filtração descendente) pode ser a única recomendável, mas segundo DI BERNARDO (1996), o critério preponderante para a seleção da tecnologia de tratamento é a qualidade da água bruta.

Segundo GALVIS et al. (1996), mananciais superficiais que apresentam variações acentuadas na qualidade da água, elevam o custo de operação de uma estação de tratamento de água em ciclo completo, devido ao aumento da quantidade de produtos químicos e volume de lodo produzido. Para grandes centros urbanos, técnica e economicamente desenvolvidos, que dispõem de mão de obra especializada para operação e manutenção, essa tecnologia de tratamento de água é apropriada e sustentável. Por outro lado, para cidades pequenas e médias, que enfrentam limitações em sua adequada operação, pela falta de capacidade técnica de pessoal para controlar variações bruscas da qualidade de água, que requer ajustes rápidos e precisos da dosagem de coagulante químico, o emprego dessa tecnologia pode inviabilizar o tratamento e resultar na produção de água filtrada com qualidade imprópria ao consumo humano.

A Filtração em Múltiplas Etapas, F i M E, é uma tecnologia que vem ganhando a atenção dos profissionais ligados à área, pelo fato de ser uma tecnologia simples, que apresenta custos relativamente baixos de implantação, não exige mão-de-obra extremamente especializada na operação e manutenção e produz água tratada com qualidade compatível com os padrões exigidos. Além disso, é uma tecnologia apropriada às pequenas e médias cidades (GALVIS et al., 1996). Tal processo vem sendo desenvolvido por entidades nacionais e internacionais, destacando-se o Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (São Paulo – Brasil), o CINARA – Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamento Basico y Conservación del Recurso Hídrico da UNIVALLE – Universidad del Valle (Cali - Colômbia), o International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), (Delf - Holanda), o Department of Civil Engineering – Imperial College of Science, Technology and Medicine (Londres –Reino Unido).

Com o desenvolvimento cada vez maior de alternativas de pré-tratamento, CRUZ VELEZ et al. (1998) afirmam que a pré-filtração em pedregulho é uma opção de pré-tratamento, que ultimamente vem sendo utilizada, com o fim de reduzir o teor de sólidos suspensos da água bruta, compatibilizando as características da água àquelas normalmente desejáveis para a filtração rápida.

Com base na potencialidade do pré-tratamento de águas superficiais, a fim de constituir o afluente para unidades de filtração rápida, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho da filtração direta ascendente em pedregulho, que recebendo água coagulada, combina os aspectos positivos da filtração direta ascendente com os benefícios da pré-filtração em pedregulho. Como o tratamento final é a filtração rápida descendente em areia, o sistema de filtração resultante consiste numa variação do processo de dupla filtração, utilizando na filtração direta ascendente, meio granular constituído de pedregulho em lugar da areia.

De acordo com CRUZ VELEZ et al. (1998), a combinação de unidades de filtração pode viabilizar o estudo de novas alternativas de pré-tratamento para um número maior de situações que visam a melhoria da qualidade da água bruta, de tal forma que a ajuste ao tratamento subsequente, para que seja possível, no final do sistema de filtração, se ter água que atenda o padrão de potabilidade. Além disso, deve ser uma alternativa técnica e economicamente viável, principalmente para países em desenvolvimento.

Portanto, a pesquisa realizada neste trabalho, consiste em inovar a aplicação da filtração rápida (FiR) com o desenvolvimento de nova modalidade de clarificação e pré-tratamento de água com base na utilização da filtração direta em pedregulho com escoamento ascendente, em combinação com técnicas simplificadas de dosagens de coagulante.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi investigar experimentalmente o uso da filtração direta ascendente em pedregulho, como pré-tratamento à filtração rápida descendente em areia, de águas provenientes de mananciais superficiais e avaliar o desempenho global da instalação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção são abordados, de início, os conceitos básicos envolvendo a filtração em múltiplas etapas (FiME), e apresentada uma breve revisão sobre as experiências em escala piloto e real. Posteriormente, é revisada a literatura referente aos processos que compõem a dupla filtração: coagulação química da água, filtração direta em areia com escoamento ascendente e filtração rápida descendente em areia. Por fim, são destacados os principais aspectos relacionados à filtração direta em pedregulho.

3.1. FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS

Há uma crescente demanda por tecnologias de pré-tratamento apropriadas a pequenas e médias cidades de países em desenvolvimento. Essas tecnologias devem ser capazes de efetuar de forma eficiente o pré-tratamento de águas brutas que apresentem elevada matéria orgânica natural, agrotóxicos, algas e seus sub-produtos, fato que vem se verificando, de modo cada vez mais freqüente, com águas superficiais nos países tropicais.

Segundo GALVIS et al. (1996), a tecnologia de filtração de múltiplas etapas é uma resposta a essa necessidade de alternativas de tratamento de água de mananciais superficiais, que de forma contínua ou intermitente apresentem elevadas concentrações de impurezas.

A combinação das etapas de pré-filtração em pedregulho e filtração lenta em areia antecedendo a desinfecção é denominada filtração em múltiplas etapas (FiME) (GALVIS et al., 1997).

De acordo com DI BERNARDO (1997), a filtração em múltiplas etapas é caracterizada pela redução gradual do conteúdo de material suspenso e dissolvido e do número de microrganismos presentes na água, de forma a garantir,

após a desinfecção, que a água possa ser consumida pelo ser humano sem riscos à sua saúde.

A combinação de múltiplas barreiras é considerada uma maneira eficaz para garantir proteção contra doenças de veiculação hídrica. CRAUN et al. (1988) e GELDREICH et al. (1996) relatam que as barreiras naturais podem contribuir para proteger a qualidade dos mananciais de superfície, mas não devem substituir um sistema de tratamento de água apropriado, o qual deve remover ou inativar agentes patogênicos, especialmente alguns protozoários resistentes à desinfecção com cloro, que podem estar presentes em sistemas de abastecimento mesmo quando parâmetros de controle, como turbidez e coliformes totais atendam aos padrões de potabilidade.

De acordo com GALVIS et al. (1997), o tratamento de água para consumo humano, com base na aplicação de coagulantes químicos e filtração em pedregulho, como pré-tratamento à filtração rápida, tem demonstrado grande potencial e seu aproveitamento tem progredido em nível mundial. Durante as últimas décadas, principalmente na América Latina, têm sido observados avanços significativos na otimização de processos de pré-tratamento combinados com a filtração rápida de água coagulada (FiR).

As dificuldades para aproveitar adequadamente algumas das variantes da tecnologia FiR no tratamento de água, originadas na necessidade de adquirir, transportar, armazenar ou determinar a dosagem de coagulante químico, geralmente limitam sua aplicação às cidades grandes. Estas dificuldades aumentam em cidades de pequeno e médio porte, abastecidas por mananciais superficiais que apresentam variações bruscas de qualidade de água, pela complexidade de quantificar, ajustar e controlar adequadamente a dosagem de coagulante químico (GALVIS et al., 1997).

De acordo com GALVIS et al. (1997), AHSAN (1995), CRUZ VELEZ et al. (1998), a superação dessas dificuldades utilizando unidades de pré-tratamento da FiME consiste na aplicação da filtração em pedregulho em

combinação com a coagulação química, como unidades de floculação de contato ou sedimentação de águas a ser tratadas com filtros rápidos.

De acordo com WEGELIN et al. (1996) e CRUZ VELEZ et al. (1998), esta combinação parece ter boas possibilidades de reduzir a quantidade necessária de coagulantes químicos e de simplificar os procedimentos de ajuste e controle da dosagem durante a operação.

Segundo GALVIS et al. (1996), a utilização de filtros de pedregulho, antecedendo a coagulação química, para posterior tratamento com filtros rápidos, apresentaram reduções de 51 % nas dosagens requeridas de coagulantes e diminuições significativas no volume de lodos produzidos por sedimentação por efeito do pré-tratamento. O amortecimento das variações das características físico-químicas e microbiológica dos mananciais superficiais, no pré-tratamento com unidades de filtração em pedregulho, reduz a variação de demanda de coagulante, permitindo ampliar as possibilidades de aplicações das tecnologias de tratamento com filtração direta, com suas conhecidas vantagens em custos de investimento, operação e manutenção, assim como redução de lodos e seu conseqüente impacto ambiental.

A pré-filtração tem um grande papel no emprego da filtração direta em cidades que, pela sua população ou pelas características de seus mananciais, não podem se beneficiar da tecnologia de filtração em múltiplas etapas, FiME, que inclui a filtração lenta em areia como última barreira de tratamento (CINARA, 1996).

Usualmente são utilizados três tipos de pré-filtros de pedregulho: pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal (PFPH), pré-filtro de pedregulho com escoamento descendente (PFPD) e pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente (PFPA). A descrição das características físicas dos diversos tipos de pré-filtros podem ser encontradas em LATORRE (1994), AHSAN (1995), WEGELIN (1996) e GALVIS et al. (1997).

3.1.1. Pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal

A pré-filtração em pedregulho com escoamento horizontal consiste em uma unidade de superfície retangular, onde há subcamadas com material granular de tamanhos diferentes, as quais estão dispostas desde a mais grossa à mais fina, no sentido do escoamento.

AHSAN (1995) e WEGELIN (1996) ressaltam que o escoamento horizontal permite a construção de pré-filtros com câmaras pouco profundas, de comprimento ilimitado e arranjo simples. Segundo AHSAN (1995), usualmente são empregados dois tipos de unidades: o pré filtro com três ou quatro compartimentos em série no interior de uma única câmara (PFPH), conforme apresentado na FIGURA 3.1 e o pré-filtro constituído por três ou quatro câmaras independentes dispostas em série (PFPHS), apresentado na FIGURA 3.2.

De acordo com WEGELIN (1996), nos filtros do tipo PFPH, o material filtrante é usualmente distribuído em frações graúda (12 a 18 mm), média (8 a 12 mm) e fina (4 a 8 mm), com comprimento de 5 a 7 m. Segundo o autor, o comprimento da caixa do filtro depende da qualidade da água, do tamanho dos grãos do meio granular e da carga hidráulica. A largura da unidade de filtração depende da capacidade de filtração e pode variar de 2 a 5 m. A espessura do meio filtrante não é grande, sendo limitada a 1,5 m, devido a restrições de tipo estrutural e operacional. WEGELIN (1996) sugere a adoção de taxas de filtração situadas entre 8 e 36 m³/m² . dia, tomando-se a área perpendicular ao escoamento. O citado autor ressalta, ainda, que os pré-filtros de pedregulho com escoamento horizontal têm grande capacidade de armazenamento de sedimentos e são menos suscetíveis que os filtros de escoamento vertical ao transpasse de sólidos provocado por mudanças na taxa de filtração, uma vez que os sólidos ressuspensos são arrastados para o fundo do filtro ou ficam retidos nas camadas filtrantes subseqüentes.

Nos pré-filtros de pedregulho com escoamento horizontal, a maior parte dos sólidos se acumula na entrada de cada compartimento, de forma que os dispositivos de drenagem ali localizados aumentem a eficiência da limpeza hidráulica, o que requer velocidades de descarga de 1.440 a 2.160 m³/ m² . dia.

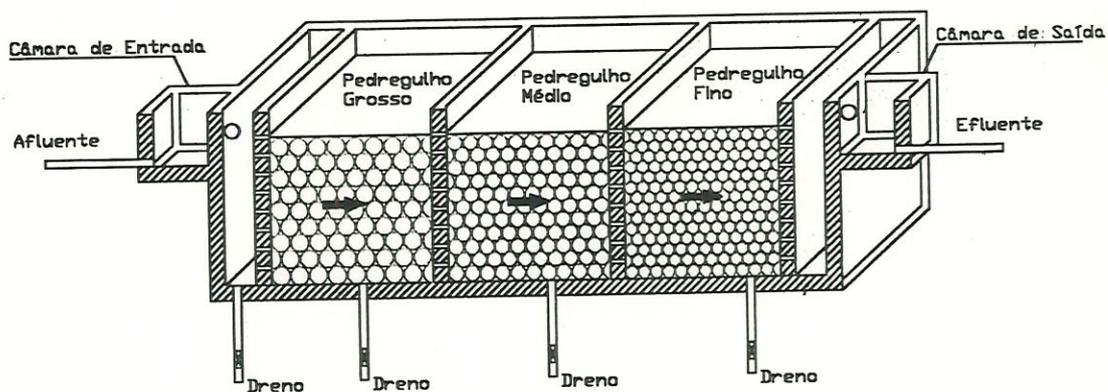


FIGURA 3.1 – Pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal (PFPH)

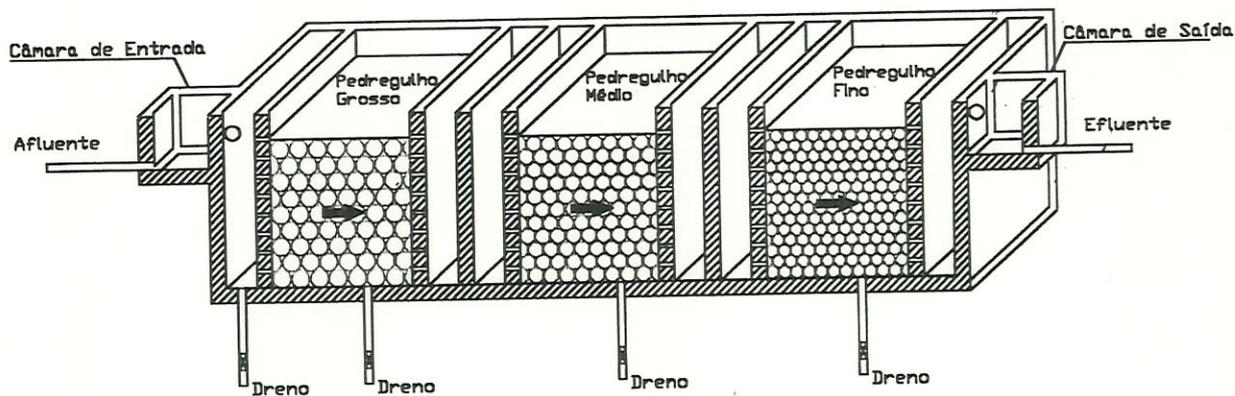


FIGURA 3.2 – Pré-filtro de pedregulho com escoamento horizontal em série (PFPHS)

3.1.2 Pré-filtros de pedregulho com escoamento vertical descendente

Esses tipos de pré-filtros em pedregulho apresentam o escoamento de água na direção vertical descendente e são alimentados pela parte superior das unidades, percolando o meio granular em direção ao sistema de drenagem, em que a água é coletada e enviada para a segunda e terceira câmara dispostas em série, conforme apresentado na FIGURA 3.3.

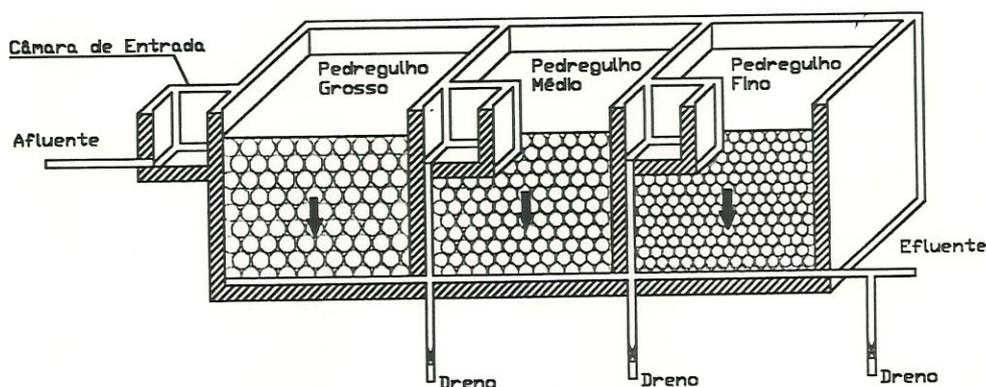


FIGURA 3.3 – Pré-filtro de pedregulho com escoamento descendente em série (PFPDS)

De acordo com WEGELIN (1996), essas unidades apresentam pouca capacidade de acumular sólidos, exigindo limpezas freqüentes através de descargas de fundo que nem sempre conferem a eficiência desejada, apesar das altas taxas de drenagem. No PFPD, a limpeza é dificultada pois, a maior parte dos sólidos deposita no topo do meio granular e tem que ser arrastado por uma quantidade de água de lavagem relativamente pequena desde a parte superior (mais suja) da unidade através das camadas inferiores (mais limpas) até o fundo.

PARDÓN (1994) relata uma instalação com PFPDS em escala real, localizada em Azpitia – Peru, composta por três compartimentos em série, tendo granulometria de 25 a 50 mm, 12 a 25 mm e 6 a 12 mm, respectivamente, na primeira, segunda e terceira seções e altura de 0,60 m. O autor ressalta que a taxa de filtração do PFPDS está compreendida entre 0,20 a 0,30 m/h, e que a unidade possui válvulas para execução de descargas de fundo.

3.1.3. Pré-filtros de pedregulho com escoamento ascendente

A pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente consiste na passagem da água no sentido ascensional, por uma ou várias unidades compostas por diferentes tamanhos de grãos, cuja granulometria decresce no sentido do escoamento. Os sistemas com uma unidade, denominados pré-filtros de pedregulho ascendentes em camadas (PFPAC), são formados por subcamadas de pedregulhos de diferentes tamanhos, sendo os maiores colocados no fundo e os menores no topo, conforme destacado na FIGURA 3.4. Em sistemas com mais de uma unidade, denominados de sistemas de pré-filtros de pedregulho ascendente em série (PFPAS), as frações do meio filtrante são colocadas em unidades dispostas em série, sendo os grãos de maior tamanho colocados na primeira unidade e os de menor tamanho na última, como apresentado na FIGURA 3.5.

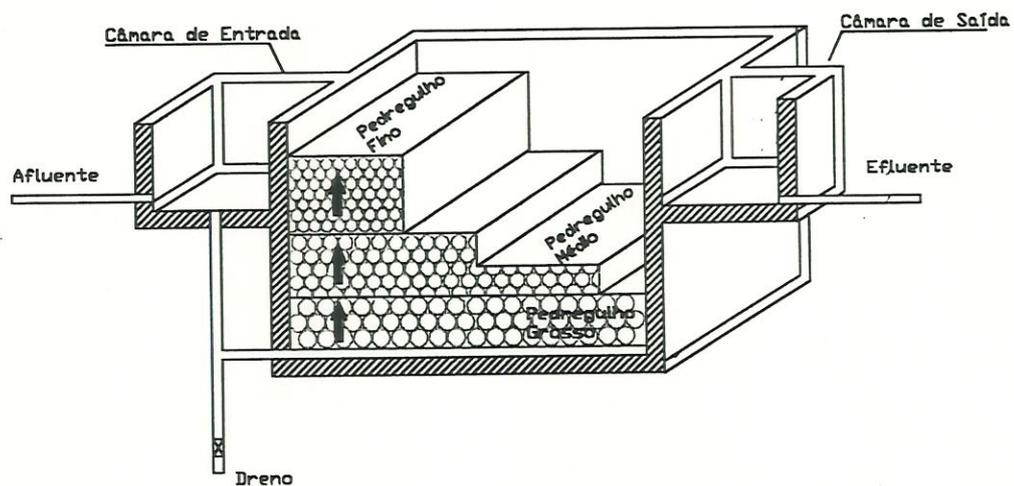


FIGURA 3.4 – Pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em camadas (PFPAC)

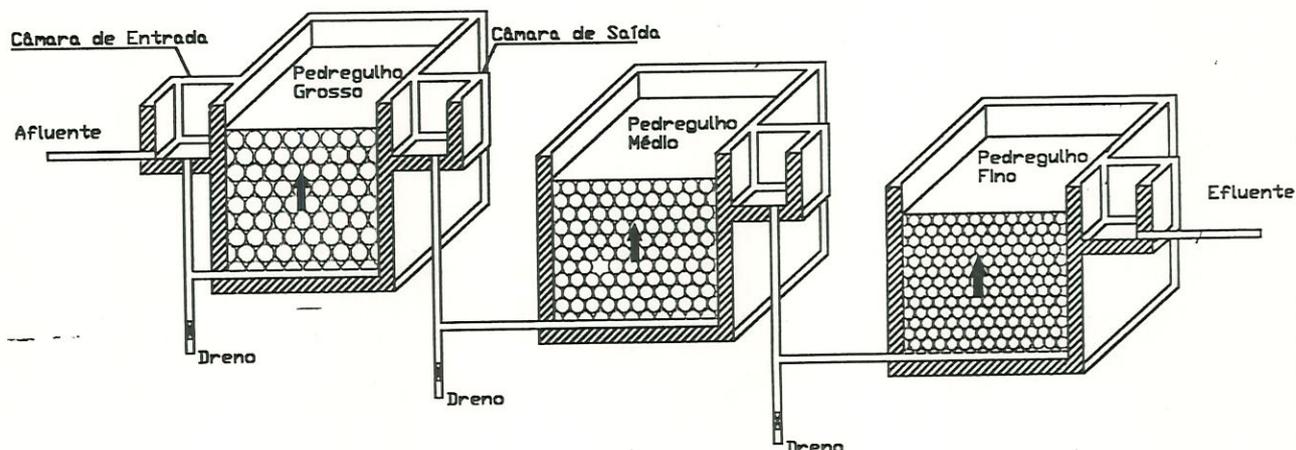


FIGURA 3.5 – Pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em série (PFPAS)

Em ambas configurações, o tamanho do material granular decresce no sentido do escoamento, de 25 a 1,6 mm e funcionam com taxa de filtração de 7,2 a 24 m³/m² .dia.

De acordo com GALVIS et al. (1997), a camada filtrante tem normalmente uma espessura máxima total de 1,5 m no PFPAC, para não dificultar a operação de limpeza, enquanto no PFPAS a espessura de cada camada depende do número de unidades em série. Espessuras maiores do meio granular, normalmente propiciam maior eficiência de remoção de impurezas, mas requer também velocidades de descarga mais elevadas.

Segundo WEGELIM (1996), no PFPAC, os sólidos retidos são acumulados próximos ao sistema de drenagem no fundo da câmara, e um volume de água de lavagem relativamente grande, acumulada na parte superior do filtro, está disponível para carrear os sólidos para fora da unidade.

Por causa desse importante aspecto de limpeza, a utilização de pré-filtro de pedregulho ascendente é preferível em lugar de pré-filtro de pedregulho descendente. Além disso, o uso de pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente em camadas (PFPAC) é recomendado em detrimento ao uso de pré-filtro de pedregulho com escoamento descendente em camadas (PFPDC). Isso porque no PFPAC a fração graúda do material granular é colocada no fundo e a fração mais fina no topo, de forma que os sólidos retidos se acumulem principalmente na fração graúda e podem ser facilmente arrastados com a água acumulada no próprio filtro. Já no PFPDC, para que os sólidos retidos na fração graúda sejam arrastados, da parte superior à inferior do filtro, há necessidade de um volume maior de água para a limpeza hidráulica. A utilização da PFPDC é recomendada em regiões onde há grande disponibilidade de recursos hídricos, caso contrário seu uso não é aconselhável.

Além da facilidade de limpeza, o sentido do escoamento no PFPA reduz interferências devidas à diferença de temperatura ou de densidade, melhorando o comportamento hidráulico e evitando formação de zonas mortas. Isso resulta em um tempo de retenção mais homogêneo e em um melhor processo de tratamento (GALVIS et al., 1996; e BERON, 1997).

Segundo GALVIS et al. (1997), a taxa de descarga deve ser superior a $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, entretanto, GALVIS et al. (1996) relatam descarga com taxa média de $9,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ em pré-filtro ascendente em série.

De acordo com DI BERNARDO (1993), a taxa de descarga deve ser superior a $200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ no pré-filtro ascendente em camadas e entre 100 e $200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ no pré-filtro ascendente em série.

Segundo DI BERNARDO (1997), o processo de pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical, quando comparado ao de escoamento horizontal, sob diferentes taxas de filtração, apresentou melhor desempenho, não apenas pela eficiência de remoção de impurezas, mas também pela facilidade de operação e manutenção, especialmente com relação às limpezas periódicas do meio granular.

3.1.4. Experiências da EESC-USP sobre a Filtração em Múltiplas Etapas

Desde meados dos anos 80, na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP)-Brasil, várias pesquisas têm sido realizadas, utilizando-se predominantemente pré-filtros de pedregulho com escoamento ascendente precedendo a filtração lenta, destacando-se os trabalhos de RUGNO (1988), BRESAOLA (1990), POCASANGRE (1990), RIVERA VALENZUELA (1991) e RUIZ BOJORGE (1996).

RUGNO (1988) estudou o desempenho da pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente seguida da filtração lenta em areia. A pesquisa foi dividida em três fases experimentais, com granulometria e espessuras indicadas na TABELA 3.1 e taxa de filtração variando entre 6 e 36 m³/m² . dia.

TABELA 3.1 – Características do meio granular do pré-filtro de pedregulho

Fase Experimental	Tamanho do pedregulho (mm)	Espessura (m)
Primeira e Segunda	6,4 - 8,0	1,25
Terceira	6,4 - 8,0	0,80
	2,4 - 4,8	0,45

Fonte: RUGNO, 1988

Na primeira fase experimental, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia, a eficiência máxima de remoção de turbidez e cor aparente foi de 71 % e 56 % respectivamente, com valores médios de 28 % para turbidez e 29 % para cor aparente.

Na terceira fase experimental, com taxas de filtração variando de 12 a 36 m³/m² . dia, foi verificada eficiência média de remoção para turbidez e cor aparente de 38 % e 44 % respectivamente.

Algumas das conclusões que o autor chegou são apresentadas a seguir:

- (i) no início da operação do pré-filtro, a eficiência de remoção da turbidez, cor aparente e ferro total é pequena e inconstante, melhorando com o tempo de operação se os parâmetros de qualidade da água bruta permanecerem praticamente constantes;
- (ii) pode-se afirmar que a eficiência de remoção da turbidez, cor aparente e ferro total, basicamente depende da variação dos parâmetros de qualidade da água bruta, ou seja, quanto maior o valor na água bruta menor a sua eficiência de remoção;
- (iii) com a elevação das taxas de filtração houve decréscimo na eficiência de remoção de turbidez e cor aparente;
- (iv) a granulometria menor foi mais eficiente na remoção de turbidez, cor aparente e ferro total, apesar da perda de carga ser um pouco superior;
- (v) quando se tem picos nos parâmetros turbidez, cor aparente e ferro total na água bruta, que perduram vários dias, coincidentemente tem-se a menor eficiência de remoção nos parâmetros citados.

BRESAOLA (1990) comparou o desempenho de três unidades filtrantes: um pré-filtro de areia grossa com escoamento ascendente (PFAA) e dois pré-filtros do tipo PFPAC. O meio filtrante do PFAA era composto por duas camadas, uma de areia cujo tamanho dos grãos variou de 0,59 a 2,00 mm e, outra, de pedregulho com tamanho variando de 2,4 a 3,2 mm. Já o meio granular dos dois PFPAC era composto somente por uma camada de pedregulho. A diferença que existia entre ambos era que, no PFPAC-1, o tamanho dos grãos do meio filtrante variou de 19,0 a 6,4 mm, enquanto no PFPAC-2 variou de 19,0 a 2,4 mm.

Os filtros foram operados com taxas de filtração variando de 6 a 36 m³/m² .dia. Os resultados operacionais permitiram concluir que: (i) o PFAA apresentou maior eficiência que o PFPAC na remoção de turbidez, cor aparente, ferro e manganês, coliformes fecais e totais; (ii) houve dificuldade de remoção de partículas retidas no meio filtrante do PFAA; (iii) o PFAA não deve ser utilizado

com taxa de filtração superior a $18 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, porque seu desempenho fica prejudicado, resultando em um baixo rendimento na produção de água filtrada; (iv) o PFPAC possui maior capacidade de armazenamento de sólidos retidos que o PFAA; (v) a eficiência do PFPAC na remoção de turbidez e cor aparente não variou com o aumento da taxa de filtração; (vi) o PFPAC-2 apresentou maior eficiência que o PFPAC-1.

POCASANGRE (1990) avaliou o desempenho de dois pré-filtros, sendo um pré-filtro de pedregulho ascendente em camadas (PFPAC) e o outro um pré-filtro de pedregulho descendente em camadas (PFPDC). Em ambos, o meio granular era constituído de três subcamadas de pedregulho e uma de areia grossa, com as mesmas características da unidade estudada por DI BERNARDO & ROCHA (1990) conforme destacado na TABELA 3.2. Os pré-filtros foram operados com taxa de filtração de 12 a $36 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, variando a qualidade da água bruta para elevação da turbidez.

TABELA 3.2 - Características do meio granular do pré-filtro

Subcamada	Tamanho médio dos grãos (mm)	Espessura da Subcamada (m)
1	25,0 - 50,0	0,60
2	6,4 - 12,7	0,40
3	2,4 - 4,8	0,40
4	1,4 - 2,0	0,40

Fonte: POCASANGRE, 1990

Quando ocorriam picos de turbidez no afluente, a qualidade do efluente se deteriorava, demonstrando que as unidades possuem capacidade limitada de atenuação de variações bruscas na qualidade do afluente. As diferenças nas taxas de filtração não influenciaram substancialmente a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, ferro total e coliformes totais.

A descarga de fundo não foi eficiente para limpeza do pré-filtro de escoamento descendente, exigindo repetidas vezes a introdução de água no sentido ascensional, para se obter uma remoção adequada das impurezas retidas.

A principal diferença foi observada nos valores de perda de carga. Para uma única carreira de filtração no pré-filtro de escoamento ascendente, ocorriam duas ou mais carreiras no pré-filtro de escoamento descendente.

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, POCASANGRE (1990) chegou às seguintes conclusões:

- as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente, ferro total e coliformes totais, tanto no PFPAC quanto no PFPDC foram praticamente iguais, não havendo diferença nos resultados pela variação da taxa de filtração;
- a duração da carreira de filtração no PFPDC foi menor que no PFPAC; sendo que o PFPDC se mostrou influenciado pela qualidade do afluente;
- quando, no afluente, a turbidez foi maior que 100 uT, a eficiência de remoção atingiu valores superiores a 50 % em ambos pré-filtros; para valores de cor aparente no afluente superiores a 150 uC, a eficiência de remoção variou de 40 a 60%.

RIVERA VALENZUELA (1991) estudou o desempenho de uma unidade de pré-filtração do tipo PFPAC com meio granular constituído por quatro camadas superpostas com tamanho médio dos grãos variando entre 50 e 1,4 mm. Em uma primeira fase, o desempenho dessa unidade foi avaliado para taxas de filtração de 24 e 36 m³/m² . dia, utilizando-se água bruta de manancial de superfície. Em uma segunda fase, a unidade operou com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia e água afluente modificada (com turbidez próxima a 200 uT). Os principais resultados com o pré-filtro operando com taxas de filtração de 24 e 36 m³/m² . dia, foram:

- para taxa de filtração de 24 m³/m² . dia : (i) 55% de remoção de turbidez; (ii) 67% de remoção de ferro total; (iii) 75 % de remoção de manganês total; (iv) 63 % de remoção de partículas; (v) de 87 a 98% de remoção de coliformes totais; (vi) de 89 a 96% de remoção de bactérias.
- para taxa de filtração de 36 m³/m² . dia: (i) 41 a 66% de remoção de turbidez; (ii) 33 a 82% de remoção de ferro total; (iii) 99 a 100% de remoção de manganês total; (iv) 56 a 73% de remoção de partículas; (v) 84 a 99% de remoção de coliformes totais; (vi) 66 a 95% de remoção de bactérias; (vii) 44 a 69% de remoção de cor aparente.

VALENZUELA (1991) observou ainda que: (a) o pré-filtro apresentou dificuldade em atenuar variações bruscas de turbidez, já que a maioria das partículas presentes na água bruta e responsáveis por essas variações eram extremamente pequenas e passavam pelas unidades filtrantes; (b) o pré-filtro apresentou 93% de eficiência na remoção de cistos de giárdia; (c) quanto maior a concentração de coliformes totais e número de bactérias no afluente, maior foi a quantidade removida.

RUIZ BOJORGE (1996) investigou a influência do uso de mantas sintéticas instaladas no topo de pré-filtros de pedregulho e areia grossa com escoamento ascendente. Foram usadas duas unidades, sendo uma com mantas (PFPCM) e a outra sem (PFPSM). As taxas de filtração foram de 12, 24 e 36 m³/m² . dia e o meio granular com as mesmas características usadas por POCASANGRE (1990). Foram executados sete ensaios, sendo os resultados da comparação entre o PFPCM e o PFPSM favoráveis ao primeiro com relação à eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, número de coliformes totais e número de partículas, independentemente da taxa de filtração e da qualidade da água bruta.

Dentre os principais resultados obtidos com a utilização das mantas no topo dos pré-filtros, RUIZ BOJORGE (1996) observou: (i) aumento na duração das carreiras quando foram executadas descargas de fundo; (ii) aumento da taxa de filtração; (iii) melhora na qualidade da água efluente do pré-filtro; (iv) maior capacidade de atenuar variações bruscas na qualidade da água bruta.

3.2 Filtração Direta em Areia com Escoamento Ascendente

A filtração direta ascendente consiste, basicamente, na passagem da água coagulada com escoamento ascendente por um filtro de camada única de areia, sem nenhuma unidade de floculação ou decantação à montante. A dosagem de coagulante necessária é bem menor do que quando se tem a decantação, pois não há necessidade de se formar flocos sedimentáveis como neste último caso. A floculação acontece na camada suporte, onde fica retida grande parte das impurezas. Como a

filtração ocorre no sentido decrescente da granulometria, há uma melhor utilização da camada de areia para a retenção de impurezas.

O meio filtrante dessa unidade de filtração é, comumente, formado por duas camadas superpostas. A inferior (denominada camada suporte) é constituída por pedregulho e tem espessura de 0,60 a 0,80 m, enquanto a superior é constituída por areia e tem espessura de 1,6 a 2,0 m.

A filtração direta ascendente vem sendo estudada desde meados da década de 1970 na Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Dentre esses estudos destacam-se os realizados por MENDES (1985), TEIXEIRA (1986), PATERNIANI (1986), CRUZ VELEZ (1993), LARA PINTO (1994) e ISAAC (1997).

Os principais resultados dos estudos realizados por MENDES (1985) permitiram concluir que a dosagem de coagulante na FDA podia ser reduzida, atingindo até 25% dos valores de dosagens ótimos utilizados na coagulação para tratamento de água em ciclo completo. TEIXEIRA (1986) observou que grande quantidade de impurezas ficava retida na camada suporte, devido à intensa floculação e sedimentação que ali ocorria. Este fato foi confirmado por LARA PINTO (1994) que verificou, ainda, grande retenção de impurezas no primeiro quarto da espessura da camada de areia no sentido do escoamento, sendo que a camada superior de areia trabalha muito pouco nessa retenção.

PATERNIANI (1986) relatou estudo feito em uma instalação piloto, na qual investigou a influência de descargas de fundo intermediárias durante a carreira de filtração na eficiência de remoção de microrganismos, tendo concluído que, embora essas descargas aumentassem a duração da carreira, mostravam-se prejudiciais do ponto de vista bacteriológico, por causarem picos de turbidez e microrganismos no efluente.

CRUZ VELEZ (1993) avaliou o desempenho da FDA com taxas de filtração de até 480 m³/m² . dia no tratamento de água com turbidez e cor aparente inferiores a 30 uT e 120 uC, respectivamente, tendo chegado às seguintes conclusões:

- (i) após o período inicial de amadurecimento do filtro, a qualidade da água filtrada, relativamente à cor aparente e turbidez, atendia ao padrão de potabilidade, independentemente da taxa de filtração;
- (ii) em termos de coliformes totais e contagem de microrganismos heterótrofos em placa, associada à baixa turbidez, a qualidade da água filtrada apresentava características favoráveis à obtenção de desinfecção eficiente;
- (i) com relação à possibilidade de fluidificação da camada de areia utilizada no experimento, devido às altas taxas de filtração empregadas, foi constatada ausência de risco de ocorrência desse fenômeno, mesmo quando a taxa de filtração atingiu 900 m³/m² . dia.

De acordo com DI BERNARDO (1996), a operação dos filtros pode ser realizada com taxa de filtração constante ou declinante variável. Em qualquer dos casos, é recomendável que a taxa de filtração não ultrapasse 280 m³/m² . dia. O uso da taxa constante permite o tratamento de águas com turbidez e cor verdadeira inferiores a 100 uT e 100 uC, enquanto a utilização da taxa declinante variável só é indicada quando a turbidez e a cor verdadeira afluentes forem relativamente baixas (turbidez < 20 uT e cor verdadeira < 20 uC) e a taxa de filtração média for inferior a 200 m³/m² . dia. Além disso, só é recomendável o uso da filtração direta ascendente para águas cujas características não apresentem variações abruptas.

Na filtração direta ascendente a carreira de filtração de um filtro deve ser interrompida sempre que a perda de carga no meio filtrante, sistema de drenagem, tubulações e acessórios, iguale a carga hidráulica máxima disponível de 2 a 3 m, segundo DI BERNARDO (1993d). De acordo com observações do autor citado, para evitar a ocorrência de ruptura do meio filtrante na interface entre as camadas de pedregulho e de areia, o valor da perda de carga na camada de areia deve ser limitado a 90 % do valor de sua espessura.

LARA PINTO (1994) investigou a execução de descargas de fundo intermediárias durante carreiras de filtração em que foram empregadas taxas de filtração de até 480 m³/m² . dia. Algumas de suas principais conclusões foram:

- (i) o efluente produzido era de excelente qualidade, não havia ocorrência de fluidificação, transpasse ou rupturas na interface, mesmo após a execução de uma descarga de fundo durante a carreira de filtração;
- (ii) independentemente da taxa de filtração, os picos no valor da turbidez e na concentração de microrganismos que ocorriam após uma descarga de fundo eram inferiores aos limites definidos pelos padrão de potabilidade e eram de curta duração (\cong 10 min);
- (iii) as descargas de fundo intermediárias removiam impurezas acumuladas na camada suporte, reduziam a perda de carga e proporcionavam carreiras de filtração mais longas.

DI BERNARDO (1996) recomenda a injeção de água na interface pedregulho/areia durante as descargas de fundo intermediárias, de modo a evitar a formação de vácuo nessa região, o que provoca a piora de qualidade da água após a reativação do filtro, devido ao surgimento de picos de turbidez e de microrganismos. Em geral, a limpeza dos filtros é realizada por meio de lavagem de todo o meio filtrante com água em fluxo ascensional introduzida na base da camada de pedregulho. Segundo DI BERNARDO (1996), uma vez que esse método de limpeza não consegue remover completamente a grande quantidade de lodo que se acumula na camada de pedregulho durante a operação do filtro, deve-se realizar sua drenagem por meio de uma descarga de fundo imediatamente antes da operação de lavagem.

ISAAC (1997) investigou a influência da disposição inicial dos grãos de areia na eficiência da filtração direta ascendente, utilizando uma instalação piloto constituída por seis filtros com meio filtrante de 1,95 m de espessura e mesma granulometria ($D_{\max} = 2,00$ mm, $D_{\min} = 0,59$ mm; $D_{10} = 0,8$ mm; $C_d = 1,5$). Em um

dos filtros, o meio filtrante foi colocado de modo estratificado e nos demais, dispostos com diferentes graus de mistura. Os filtros foram operados em paralelo, com taxas de filtração de 200 a 520 m³/m² . dia, com e sem execução de descargas de fundo intermediárias. Ao final do experimento foi constatado que:

- (i) ocorreu elevada mistura entre os grãos maiores e menores em todos os filtros, causada pela lavagem com água e ar;
- (ii) para turbidez do afluente inferior a 30 uT, os filtros com maior grau de mistura produziram efluente com a mesma qualidade que aquele com meio filtrante inicialmente estratificado, sem transpasse de turbidez;
- (iii) a duração das carreiras nos filtros utilizando meio filtrante misturado foram maiores do que aquela obtida com meio filtrante estratificado, não ocorrendo fluidificação dos grãos mais finos, para taxas de até 520 m³/m² . dia.

3.2.1 Coagulação química da água

Segundo WEBER apud AHSAN (1995), a coagulação é um processo de desestabilização das partículas para permitir a formação de agregados. Essa desestabilização é alcançada pela adição de substâncias químicas (coagulantes) em uma unidade de mistura rápida. Esses coagulantes, tais como: sais de alumínio, ferro ou polímeros sintéticos, quando adicionados à água, alteram a força iônica do meio aquoso, permitindo a formação de flocos. O Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$) é, atualmente, o coagulante mais largamente utilizado na Europa e em países em desenvolvimento (AHSAN, 1995).

Segundo DI BERNARDO (1993d) e AHSAN (1995), a coagulação de partículas decorre de quatro mecanismos: compressão da dupla camada, adsorção-neutralização de carga, varredura e adsorção-formação de pontes. No entanto, de acordo com AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) e O'MELIA (1972); ALAERTS & VAN HAUTE (1982); JOHNSON & AMIRTHARAJAH (1983) apud AHSAN (1995), a coagulação de águas de abastecimento e de águas residuárias é realizada com maior frequência, por adsorção-neutralização de cargas, por varredura ou pela combinação desses dois mecanismos.

De acordo com O'MELIA & STUMM (1967); HAHN & STUMM (1968); GREGORY (1993) apud AHSAN (1995), no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas, ocorre a adsorção de espécies hidrolisadas solúveis do coagulante na superfície dos colóides, de forma que se produza neutralização total da carga da partícula, ou mudança de sua carga superficial em sítios que atrairão eletrostaticamente sítios de carga contrária em outras partículas. Segundo O'MELIA & STUMM (1968); O'MELIA (1972); ALAERTS & VAN HAUTE (1982) apud AHSAN (1995), esse mecanismo implica a possibilidade de reestabilização (por excesso de carga positiva) da suspensão coloidal e, também, a existência de uma relação estequiométrica entre a área superficial dos colóides e a dosagem de coagulante. As reações que precedem a coagulação por adsorção-neutralização são extremamente rápidas e ocorrem em microssegundos.

AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) e DI BERNARDO (1993d) observam que o mecanismo de adsorção-neutralização de carga é muito importante quando o tratamento da água é feito por meio de uma das tecnologias da filtração direta, pois não há necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio filtrante. Segundo AMIRTHARAJAH & MILLS (1982), a mistura rápida deve ser realizada em misturador de alta intensidade que produza gradiente de velocidade bastante elevado em tempo de mistura inferior a 1 s.

Na FIGURA 3.6, pode ser apreciado o diagrama de coagulação desenvolvido pela superposição de extensivos dados da literatura sobre o diagrama de estabilidade do sulfato de alumínio. Por meio desse diagrama são definidas as regiões específicas onde a coagulação pode ocorrer relacionadas aos seus principais mecanismos. Contudo, os limites que definem as diferentes regiões podem variar um pouco em função das características da água. O uso do diagrama permite prever as condições ótimas em que a coagulação pode ocorrer, em termos da dosagem de sulfato de alumínio e do valor do pH da solução.

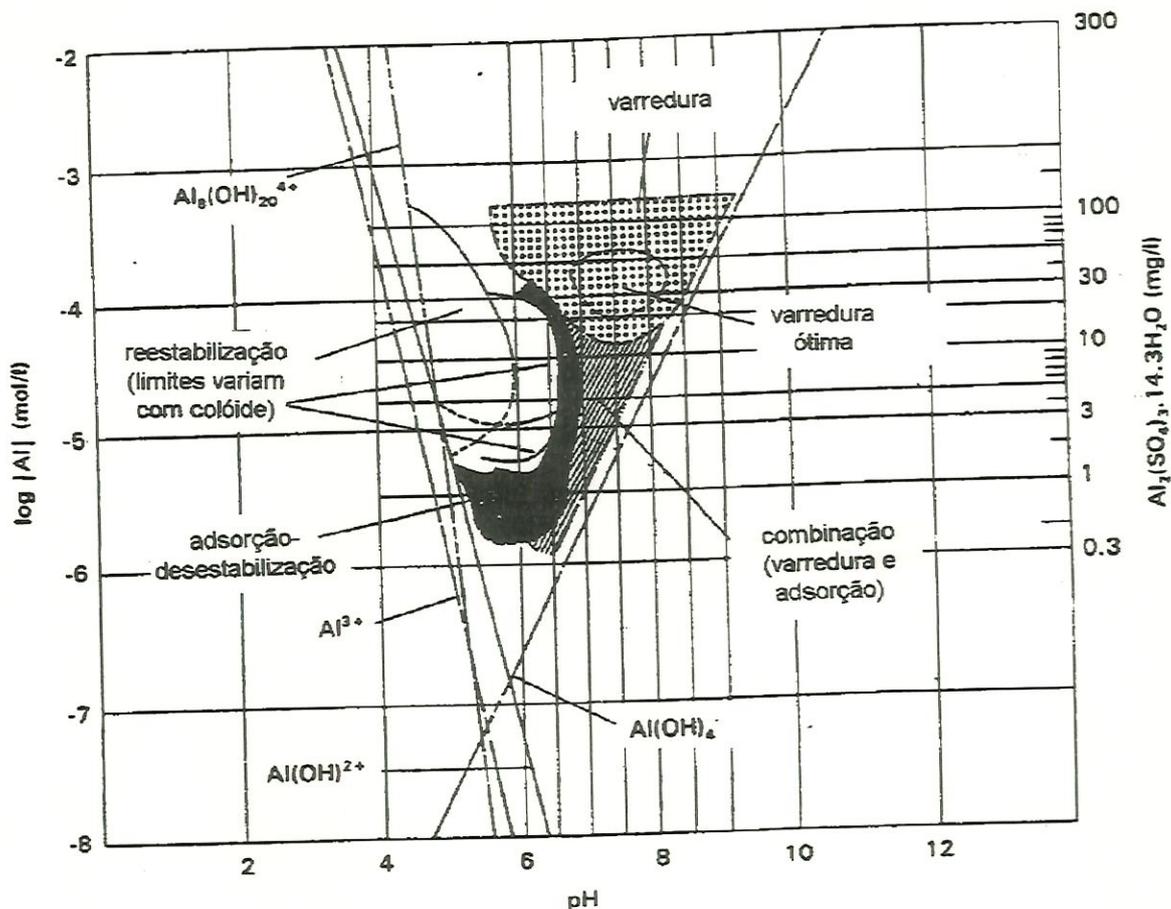


FIGURA 3.6 – Diagrama Típico de Coagulação Empregando Sulfato de Alumínio como Coagulante - AMIRTHARAJAH & MILLS (1982)

De acordo com EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985), a remoção de cor associada à presença de ácidos húmicos pode ocorrer devido a dois principais mecanismos, que parecem estar estreitamente relacionados àqueles responsáveis pela remoção de turbidez e que dependem das condições de pH. Na faixa de pH de 6 a 8, onde ocorrem condições propícias à rápida formação do precipitado de hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3(s)$), a coagulação do ácido húmico decorre de sua adsorção a esse precipitado. Na faixa de pH de 4,0 a 5,5, pode-se admitir que o ácido húmico é precipitado, na forma de Humato de Alumínio, pelo mecanismo de neutralização de carga causado por espécies hidrolisadas (solúveis ou em fase sólida incipiente) de alumínio.

3.3 Filtração Rápida Descendente

A filtração rápida descendente (FRD) é a técnica em que a água, após pré-tratamento, escoam com movimento descendente através de um meio filtrante de areia e/ou antracito. O meio filtrante constituído de camada única de areia apresenta grãos com tamanhos de 0,42 a 1,41 mm e espessura de 0,6 a 0,8 m. Esse meio filtrante propicia o desenvolvimento, durante a filtração, de uma compactação das impurezas retidas no topo de sua camada filtrante, resultando elevada taxa de crescimento de perda de carga, com conseqüente redução da carreira de filtração. Quando de granulometria fina, conduz à obtenção de efluente de boa qualidade, mas resulta em carreiras de filtração curtas. Quando de granulometria grossa, resulta em efluente de qualidade inferior, porém, com carreiras de maior duração.

A lavagem do meio filtrante consiste na introdução de água no sentido ascendente com alta velocidade (80 a 100 cm/min) durante um período de 7 a 10 min, com o objetivo de provocar a fluidificação e conseqüente expansão do meio granular (15 a 30 %), para liberar as impurezas retidas, que são então removidas pelo escoamento da água.

Segundo FOX & LEKKAST (1977), a areia utilizada nos filtros rápidos não deve ter coeficiente de desuniformidade maior do que 2,0 e, se possível, mais próximo de 1,5, e tamanho efetivo entre 0,7 e 2,0 mm, dependendo da taxa de filtração aplicada.

De acordo com CLEABY (1970), a adoção da taxa de filtração em uma estação de tratamento requer considerações acerca da qualidade desejada para o efluente, características da água bruta, tamanho efetivo da areia, espessura e características da camada filtrante.

Em relação aos valores das taxas de filtração utilizadas atualmente em filtros rápidos de areia, o desenvolvimento de meios filtrantes apropriados e o uso de polieletrólitos como auxiliares de floculação e filtração têm permitido o tratamento de água com sucesso, para taxas tão altas como as compreendidas entre 600 e 1200 m³/m² . dia. Por outro lado, pesquisadores como CLEASBY (1970) e HUDSON (1969) acreditam que as vantagens diminuem quando são empregadas taxas acima de

600 m³/m² . dia, devido à maior supervisão requerida, e à necessidade de uma especial preparação do meio.

Durante a filtração, em qualquer instante, a resistência total do filtro à passagem da água deve ser igual à carga hidráulica disponível. A resistência total à filtração é igual à soma da perda de carga no meio filtrante (laminar) com as perdas na comporta de entrada, no sistema de drenagem, em tubulações e acessórios (turbulentas). Os filtros de uma estação de tratamento de água podem operar com carga hidráulica disponível constante ou variável, assim como a resistência total à filtração pode ser mantida constante ou variável. Sendo a taxa de filtração proporcional à razão entre a carga hidráulica disponível e a resistência total à filtração, resultam quatro condições básicas de controle dos filtros:

- 1) carga hidráulica disponível constante e resistência total do filtro constante: resulta em taxa de filtração constante, sendo necessária a instalação de dispositivo controlador de perda de carga turbulenta. Esse método é denominado taxa constante com controlador;
- 2) carga hidráulica disponível variável e resistência total do filtro constante: nesse caso, há também necessidade de instalação de dispositivo controlador de perda de carga turbulenta, o qual deverá compensar também as variações de nível para que resulte taxa constante;
- 3) carga hidráulica disponível constante e resistência total do filtro variável: tem-se o método de controle com taxa declinante contínua, durante a carreira de filtração;
- 4) carga hidráulica disponível variável e resistência total do filtro variável: a taxa de filtração pode resultar constante ou declinante. Quando a vazão afluyente a uma estação é equitativamente distribuída entre os filtros e esses operam de forma independente, a taxa de filtração resulta constante. Caso as comportas de entrada nos filtros sejam “afogadas” e os filtros operem como vasos comunicantes, a taxa de filtração resulta declinante e variável.

A taxa de filtração, como pode ser visto, é de fundamental importância em relação à produção de água de boa qualidade e em quantidade desejada. Concluindo, portanto, de acordo com HUDSON (1969), para se decidir qual a taxa de filtração ideal para uma dada estação de tratamento, são necessárias considerações sobre: 1) qualidade do efluente desejada, 2) características do afluente, 3) método de operação do sistema (taxa constante ou declinante), e 4) as características e as condições da camada filtrante. Conclui-se com isso, que o mais indicado seria um estudo inicial em instalação piloto, relacionando todos esses fatores num intervalo de tempo necessário.

3.4. DUPLA FILTRAÇÃO

3.4.1. Introdução

Usualmente o processo de dupla filtração consiste da filtração direta ascendente seguida pela filtração rápida descendente. O meio filtrante dos filtros é constituído unicamente de areia, com diferença de que a areia no ascendente possui grãos maiores que aquela usada quando se tem somente a filtração direta ascendente. A coagulação da água é realizada no mecanismo de neutralização de cargas e, geralmente, a filtração ascendente é operada com descargas de fundo intermediárias, introduzindo água na interface pedregulho-areia.

Segundo DI BERNARDO (1993a), a dupla filtração é recomendada para os casos em que:

- a água bruta, embora apresente valores de turbidez, cor verdadeira e concentração de algas que tornem possível seu tratamento apenas por meio da filtração direta ascendente, apresente NMP de coliformes totais elevado ou exista a possibilidade da presença de outros organismos que sejam altamente resistentes à desinfecção com cloro (cercária da esquistossomose, por exemplo);

- a água bruta presente, apenas temporariamente, valores de turbidez, cor verdadeira ou concentração algal superiores àqueles que tornariam possível seu tratamento apenas por meio da filtração direta ascendente.

Nas situações descritas não é aconselhável o uso da filtração direta ascendente como único sistema de tratamento. A filtração rápida com escoamento descendente é introduzida no sistema, como tratamento complementar, com a finalidade de remover impurezas que não tenham sido retidas na filtração direta ascendente.

De acordo com DI BERNARDO (1993a), havendo a introdução da filtração rápida descendente como tratamento complementar, o filtro ascendente pode ter camada de areia com espessura menor e granulometria maior, uma vez que a turbidez de seu efluente pode ser superior a 1 uT; além disso, tais filtros podem ser operados com taxas de filtração mais elevadas. O autor sugere os seguintes critérios de projeto indicados na TABELA 3.3 e taxas de filtração variando entre 200 e 300 m³/m² . dia, para os dois tipos de filtros.

TABELA 3.3 – Critérios de Projeto para a camada de areia dos filtros

Unidade de Filtração	Tamanho dos grãos (mm)	Tamanho Efetivo (mm)	Espessura (m)	Método de Operação
FDA	0,71 - 2,38	0,9 - 1,2	1,2 - 1,6	TC* e DFI**
FRD	0,42 - 1,41	0,45 - 0,55	0,6 - 0,7	TC ou TD***

Fonte: DI BERNARDO (1993)

* TC = taxa constante

** DFI = descarga de fundo intermediária

*** TD = taxa declinante

3.5. Filtração Direta em Pedregulho

Na filtração direta em pedregulho, a água a ser tratada é inicialmente coagulada e, em seguida, submetida à filtração através de meio granular de pedregulho. AHSAN (1995), IDROBO CASTRO (1996), CRUZ VELEZ et al. (1996), WEGELIN (1996) e CRUZ VELEZ et al. (1998) vêm estudando a possibilidade de seu emprego na fase de pré-tratamento.

Nas pesquisas de AHSAN (1995), foi estudada principalmente a filtração direta em pedregulho com escoamento horizontal (FDPH), a qual, segundo ele, combinaria as vantagens do processo de filtração direta com as do processo de pré-filtração em pedregulho com escoamento horizontal (PFPH). De acordo com o autor, a filtração direta e a PFPH apresentam as vantagens e desvantagens descritas na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – Vantagens e desvantagens dos processos de filtração direta e PFPH

Processo	vantagens	desvantagens
Filtração Direta	(a) elevada eficiência de remoção de impurezas (95 a 99%); (b) remove cor (limitada) e matéria coloidal (c) elevada taxa de filtração (240 a 480 m ³ /m ² . dia);	(a) trata água com baixa turbidez (5 a 25 uT); (b) elevados custos operacionais (produtos químicos e lavagem) (c) carreira de filtração curta (10 a 20 horas);
Pré-Filtro de Pedregulho Horizontal	(a) trata água com turbidez entre 50 e 200 uT ; (b) boa eficiência de remoção de impurezas (80 a 90%); (c) carreira de filtração longa (semanas a meses); (d) tecnologia simples.	(a) baixa taxa de filtração (12 a 36 m ³ /m ² . dia); (b) baixa eficiência de remoção de cor e colóides estáveis; (c) limpeza do filtro requer intensa mão de obra.

Fonte: AHSAN(1995)

O processo combinado (FDPH), estudado por AHSAN (1995), caracteriza-se por tratar águas com turbidez elevada (> 200 uT); por apresentar boa eficiência de remoção (90 a 99%) e carreiras de filtração longas (dias a semanas); e por operar com taxa de filtração média (24 a 240 m³/m² . dia). Segundo o autor, na FDPH ocorrem coagulação (na unidade de mistura rápida) e clarificação (no meio granular).

AHSAN (1995) utilizou duas instalações piloto: a primeira composta por unidade de coagulação química e unidade de filtração direta em pedregulho com escoamento horizontal (FDPH); a segunda somente por unidade de pré-filtração em pedregulho com escoamento horizontal em série (PFPH), sem aplicação de coagulante. Ambas as unidades de filtração eram constituídas por dois compartimentos em série, ambos com 2 m de comprimento e 20 cm de diâmetro, no interior de uma única câmara. No primeiro compartimento o tamanho dos grãos era de 20 mm e no segundo de 8 mm. Portanto AHSAN (1995):

- comparou o desempenho da PFPH com FDPH
- estudou e otimizou os principais parâmetros de processo da FDPH no pré-tratamento de águas com turbidez elevada (200 uT);
- determinou a configuração ótima para a segunda câmara do filtro;
- estudou a remoção de turbidez no processo de FDPH em função da sua variação e da presença de cor na água afluyente;
- investigou a remoção de cor nos processos de FDPH e PFPH.

Côm relação à comparação entre os desempenhos, estão resumidas, a seguir, algumas das principais conclusões dos estudos: (i) o desempenho da FDPH foi sistematicamente melhor, alcançando eficiências de remoção de partículas mais altas que a PFPH; (ii) a FDPH aceita turbidez média e alta (160 a 510 uT), produzindo efluente de boa qualidade ($\cong 2$ uT); (iii) a FDPH opera sob taxas de filtração maiores (72 a 168 m³/m² . dia) que a PFPH (12 a 24 m³/m² . dia); (iv) a FDPH se mostrou uma técnica de pré-tratamento apropriada a pequenas cidades em países em desenvolvimento, podendo substituir o processo de floculação/sedimentação que precede a filtração rápida descendente (FRD).

Quanto à otimização dos principais parâmetros de processo da FDPH no pré-tratamento de águas com turbidez elevada (200 uT), os resultados obtidos indicaram que o valor ótimo de gradiente de velocidade (considerando a eficiência de remoção do filtro e duração da carreira de filtração) foi na faixa de 200 a 300 s^{-1} . Com relação à configuração ótima para a segunda câmara do filtro, os resultados indicaram comprimento de 3 a 4 m e grãos com 8 a 13 mm de tamanho.

Os resultados dos estudos referentes à remoção de turbidez no processo de FDPH em função da sua variação e da presença de cor na água afluyente permitiram concluir que: (i) a dosagem ótima de coagulante, o gradiente de velocidade e o tempo de mistura determinados para água bruta com 200 uT são aplicáveis também para uma larga faixa de turbidez (100 a 400 uT) e de pH (6,5 a 9,0); (ii) quando a turbidez afluyente variou de 100 a 400 uT, o FDPH ainda produziu efluente com turbidez estável (2 a 4 uT); (iii) quando a turbidez afluyente for superior a 200 uT por períodos longos, deverão ser evitadas taxas de filtração altas ($> 120 m^3/m^2 \cdot dia$), uma vez que a duração da carreira de filtração resultará inferior a 2 dias.

Quanto à remoção de cor nos processos de FDPH e PFPH, alguns dos principais resultados (FIGURA 3.7) e conclusões dos estudos foram: (i) o PFPH não foi eficiente na remoção de cor, pois para taxa de filtração de $24 m^3/m^2 \cdot dia$, quando a água bruta apresentou turbidez de 200 uT e cor de 80 uC, a redução de cor caiu de 60% para 30% após 48 horas de operação; nesse mesmo período a eficiência de remoção de turbidez caiu de 90% para 80%, enquanto que, para taxa de filtração alta ($120 m^3/m^2 \cdot dia$), houve apenas 8% de remoção de cor e 35% de remoção de turbidez; (ii) na FDPH, para taxa de filtração de $120 m^3/m^2 \cdot dia$, e água bruta com turbidez de 200 uT, a presença de cor (80 uC) reduziu à metade a carreira de filtração além de aumentar drasticamente a turbidez média do efluente (de 2 uT a cerca de 75 uT), enquanto que a redução de cor foi da ordem de 65%; (iii) o aumento da dosagem de coagulante ou a redução de cor foi da ordem de 65%; (iii) o aumento da dosagem de coagulante ou a redução do pH, ou ambos, podem melhorar o desempenho da FDPH.

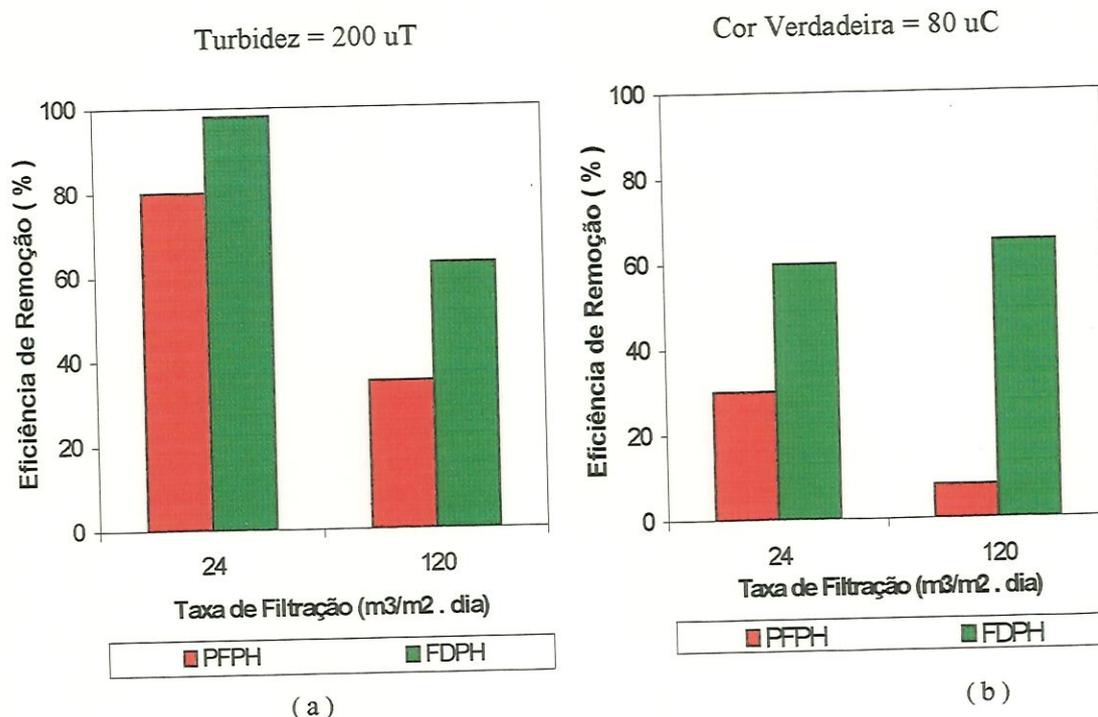


FIGURA 3.7 – Remoção de turbidez (a) e cor verdadeira (b) para duas alternativas de filtração em pedregulho para água bruta com turbidez de 200 uT e cor de 80 uC. Adaptada de AHSAN (1995).

IDROBO CASTRO (1996) realizou pesquisas em estação de tratamento de água em escala real constituída por três estágios de filtração, sendo o primeiro a FGD_i; o segundo, a PFPAS; e a terceira, a FRD. Essa estação apresentava problemas operacionais decorrentes de acentuadas variações na cor, turbidez e concentração de sólidos suspensos no afluente. Com o intuito de melhorar a eficiência, foi aplicado sulfato de alumínio ao afluente, antes da unidade de PFPAS, que assim passaria a funcionar como unidade de FDPAS. Algumas das conclusões finais do autor são: (i) a FDPAS, além de ser mais eficiente que a PFPAS, mostrou-se uma alternativa de pré-tratamento que deve ser considerada nos casos em que as águas apresentam altos valores de turbidez e cor; (ii) a FDPAS, precedendo a etapa de filtração rápida, evita sua colmatação, aumenta a duração da carreira de filtração, incrementando sua eficiência; (iii) a FDPAS pode ser uma alternativa aos tratamentos convencionais, e seus custos de operação podem ser inferiores aos de um sistema convencional, para populações menores que 3.000 habitantes.

Na Bolívia, as pesquisas de WEGELIN et.al. (1996) foram primeiramente realizadas em escala piloto, na cidade de Tarata, e posteriormente em escala real, adaptando-se um sistema de filtração existente, composto por pré-filtros de pedregulho com escoamento horizontal e filtros lentos. Essa adaptação ocorreu porque o sistema não funcionava adequadamente, devido aos altos valores de turbidez apresentados no manancial que abastecia a cidade. Nesta localidade a água bruta apresentava turbidez entre 150 e 1300 uT com valores mais frequentes entre 300 e 600 uT, e valores de ferro total entre 3 e 15 mg/L.

De acordo com WEGELIN et al. (1996), a estação de tratamento desta cidade era constituída por dois pré-filtros de pedregulho com escoamento horizontal, com comprimento total de 18 m, divididos em quatro módulos contendo pedregulho entre 20 e 5 mm. A operação com taxas de filtração variando entre 3 e 12 m³/m² . dia resultaram em eficiências entre 42 % e 21% respectivamente, reduzindo a turbidez de 400 uT para valores entre 232 e 318 uT. Os resultados indicaram que até mesmo para taxas de filtração muito baixas, os valores de turbidez não eram adequados para a filtração lenta, inviabilizando o uso da tecnologia da filtração em múltiplas etapas sem a utilização de coagulantes. Além disso, estudos em instalação piloto demonstraram a necessidade de adição de coagulante químico para desestabilização da água bruta. Analisando os resultados observou-se que a coagulação da água bruta proporcionou uma boa eficiência na remoção de turbidez para dosagem de 60 mg/L de sulfato de alumínio. Com base nesses resultados e experiências anteriores a respeito da filtração em pedregulho, as unidades de filtração horizontal em pedregulho com escoamento horizontal foram transformadas em unidades de filtração ascendente em pedregulho.

Segundo WEGELIN et al. (1996) o sistema pesquisado em escala piloto era constituído de três unidades de filtração ascendente em pedregulho disposta em série (FPAS). O meio granular era distribuído em frações de 20, 15 e 5 mm, em três unidades independentes em série. Com o intuito de melhorar a eficiência de remoção de impurezas, foi aplicado coagulante químico ao efluente da primeira unidade de filtração em série.

Os principais parâmetros da qualidade da água bruta durante o período de operação da instalação piloto são apresentados na TABELA 3.5.

TABELA 3.5 – Qualidade físico-química da água bruta durante o período de estudo

PARÂMETRO	VALORES MÍNIMO / MÁXIMO
pH	6,5 / 6,7
Temperatura (° C)	14 / 15
Condutividade (µmho/cm)	119 / 230
Turbidez (uT)	350 / 2000
Alcalinidade (mg CaCO ₃ / L)	25 / 40
Dureza (mg CaCO ₃ / L)	50 / 70
Ferro Total (mg/L)	13 / 50
Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ / L)	5,30 / 6,40
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	200 / 5000
Coliformes Fecais (UFC/100 mL)	180 / 1500

Fonte: WEGELIN et al. (1996)

Em uma primeira etapa os filtros foram operados com diferentes vazões para determinar a taxa de filtração ótima, com uma dosagem de sulfato de alumínio de 60 mg/L. Dentre os principais resultados, a eficiência de remoção de turbidez para diferentes taxas de filtração, podem ser comparadas na FIGURA 3.8(a), ficando entre 1,5 % e 3,0% na primeira unidade do FPAS, para valores de turbidez na água bruta entre 377 e 384 uT. Pode-se observar que a eficiência aumentou para 13%, na primeira unidade do FPAS, quando os valores de turbidez na água bruta variou entre 665 e 895 uT. A eficiência de remoção de turbidez da segunda unidade de PFPAS foi sempre superior a 90 % e a do sistema com as três unidades de FPAS foi superior a 98 %. Observou-se que a maior eficiência de remoção de turbidez ocorreu para uma taxa de filtração de 10 m³/m² . dia, quando os valores de turbidez da água bruta eram elevados.

Na segunda etapa do experimento, após a determinação da taxa de filtração ótima de 10 m³/m² . dia, o filtro ascendente em pedregulho foi operado variando-se a dosagem de sulfato de alumínio. Antes da aplicação do coagulante era introduzida a cal para elevar o pH a 10. Os resultados apresentados na FIGURA 3.8(b) indicaram que havia possibilidade de serem aplicados menores dosagens de coagulante, obtendo-se boa eficiência de remoção de impurezas.

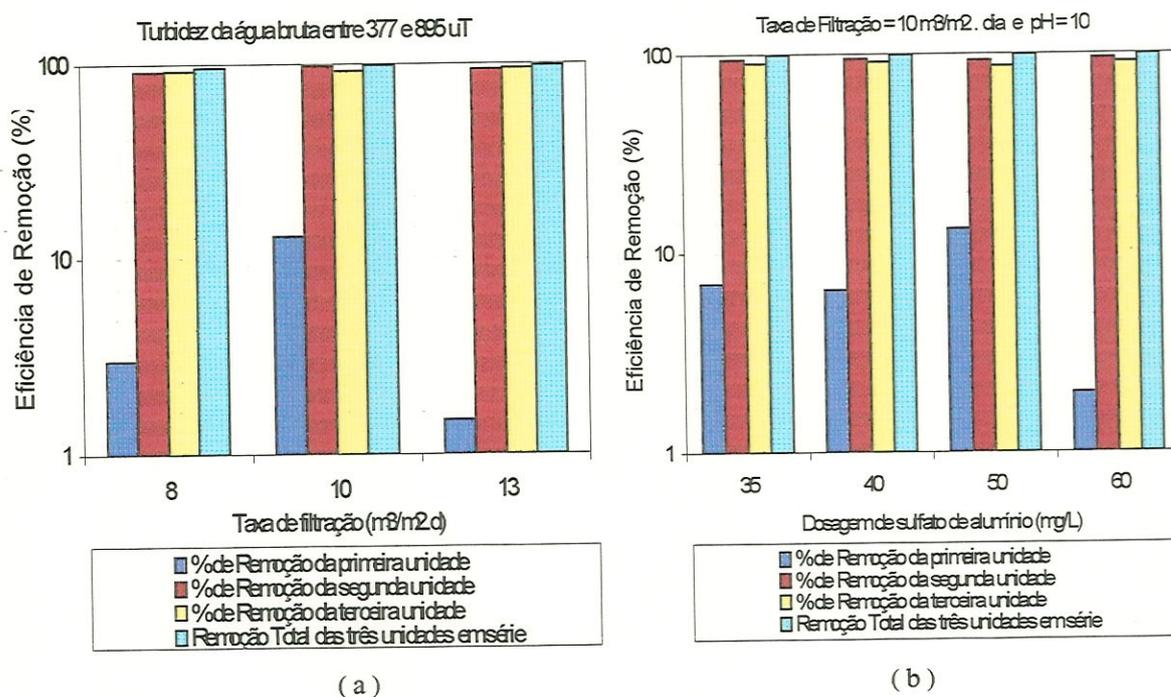


FIGURA 3.8 – Remoção de turbidez para diferentes taxas de filtração (a) e dosagem de sulfato de alumínio (b) de uma instalação piloto composta por três unidades de filtração ascendente em pedregulho em série. Adaptada de WEGELIN et al.(1996).

De maneira geral, WEGELIN et al. (1996), chegaram as seguintes conclusões:

- (i) A eficiência em remoção de turbidez na primeira unidade de FPAS, na qual não havia aplicação de coagulante, foi muito baixa. Por isso não havia justificativas para a inclusão dessa unidade ao sistema.
- (ii) O sistema de filtração ascendente em pedregulho composto por duas unidades apresentou boa eficiência de remoção de turbidez até com valores altos de turbidez na água bruta.

CRUZ VELEZ et al. (1996) compararam o efeito de três diferentes opções de pré-tratamento na coagulação química para a sustentabilidade da filtração rápida, utilizando a filtração em múltiplas etapas (FiME). Os três pré-tratamentos apresentavam as seguintes configurações:

- a) unidade de pré-filtração dinâmica (PFDi)
- b) PFDi + unidade de coagulação química + unidade de filtração ascendente em pedregulho disposta em camadas (FPAC)
- c) PFDi + unidade de coagulação química + unidade de filtração ascendente em pedregulho disposta em série (FPAS)

As investigações ocorreram na Colômbia, e foram realizadas primeiramente em escala piloto, e posteriormente em escala real, utilizando água bruta do rio Cauca, com características apresentadas na TABELA 3.6.

TABELA 3.6 – Parâmetros de qualidade da água bruta no Rio Cauca (1991)

PARÂMETRO	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
Turbidez (uT)	76,7	18	750
Cor Verdadeira (uC)	60,0	18	230
Sólidos Suspensos (mg/L)	138	17	978
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	34790	3800	117.000
Ferro Total (mg/L)	4,0	0,5	9,0
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	20,2	10,3	30,7
pH	---	6,7	7,5
Dureza (mg/L CaCO ₃)	31,6	20,3	35,0

Adaptada de CRUZ VELEZ et al. (1996)

Os principais parâmetros operacionais das três opções de pré-tratamento são apresentados na TABELA 3.7.

TABELA 3.7 – Características do meio granular das unidades de pré-tratamento

Etapa de Pré-Tratamento	PFDi	FPAC	FPAS3		
			Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3
Características					
Área (m ²)	1,9	3,14	3,14	3,14	3,14
Taxa Filtração (m/h)	2 – 3	0,3- 0,45 -1	0,70	0,70	0,70
Espessura meio granular (m)	0,60	1,55	1,55	1,55	1,55
Espessura da camada (m)					
25 a 19 mm	0,20	0,30	0,30	0,15	
19 a 13 mm	0,20	0,15	1,25	0,15	0,10
13 a 6 mm	0,20	0,15		1,25	0,10
6 a 3 mm		0,40			0,675
3 a 2 mm		0,55			0,675

Fonte: CRUZ VELEZ et al. (1996)

Nos sistemas de pré-tratamento com PFDi, PFDi mais FPAC e PFDi mais FPAS3, resultaram eficiência médias de 39 %, 75,9 % e 87,4 % para turbidez, 72,9 %, 96,1 % e 98,6 % para sólidos suspensos, 12,9 %, 42,7 % e 63,8 % para cor verdadeira, 68,5 %, 98,9 % e 99,8 % para coliformes fecais, respectivamente.

Os valores médios de turbidez, cor verdadeira, sólidos suspensos e coliformes fecais, da água bruta e dos efluentes dos sistemas de pré-tratamento, são apresentados na FIGURA 3.9.

Os resultados da investigação mostraram que a filtração em múltiplas etapas (FiME) apresenta uma significativa remoção de material suspenso e dissolvido, e possibilita uma considerável diminuição da quantidade de coagulante químico utilizado e de lodo proveniente do tratamento, indicando que a filtração grosseira apresenta vantagens econômicas que facilitam a sustentabilidade dos sistemas de filtração rápida em pequenas e médias cidades de países em desenvolvimento.

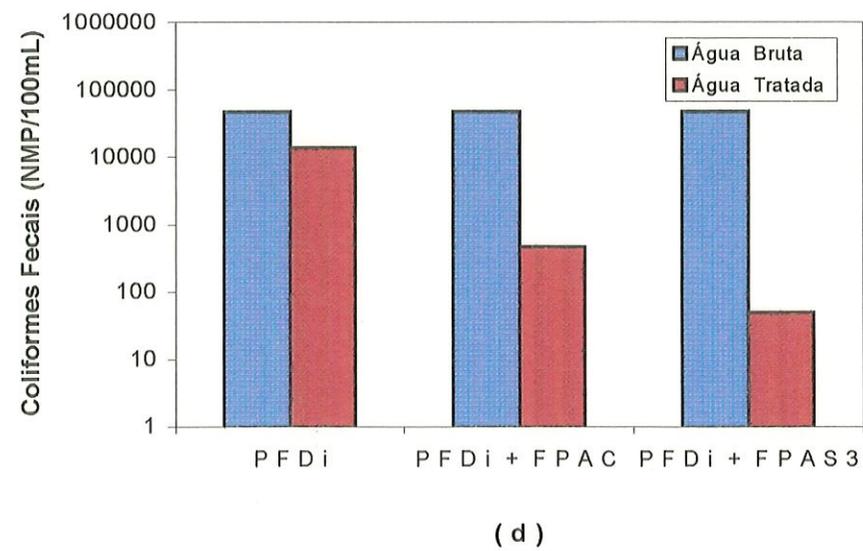
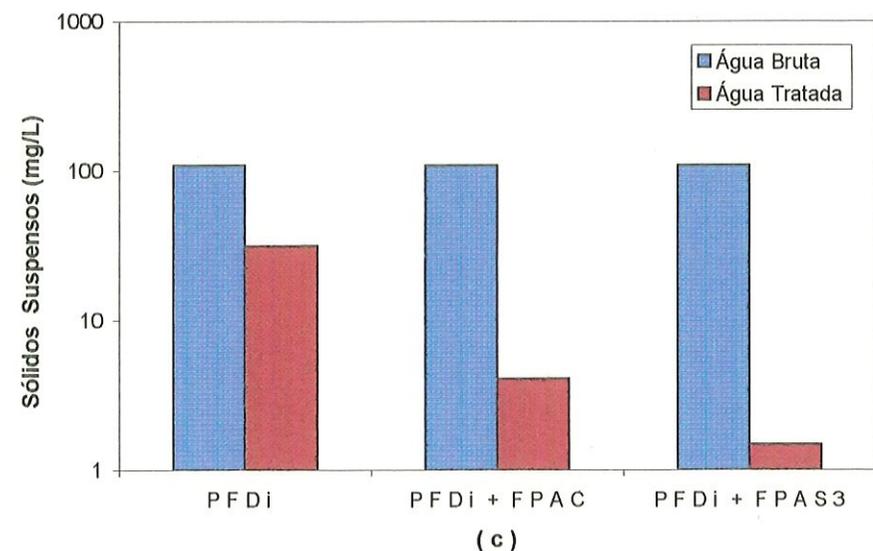
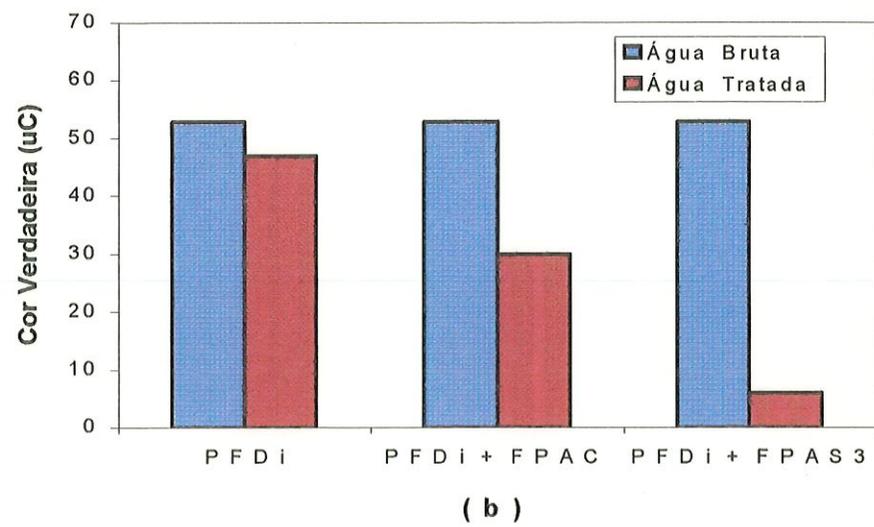
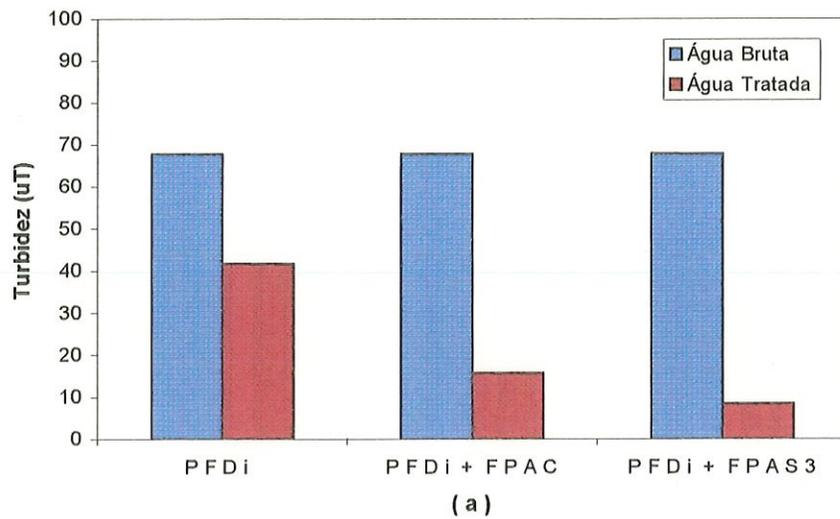


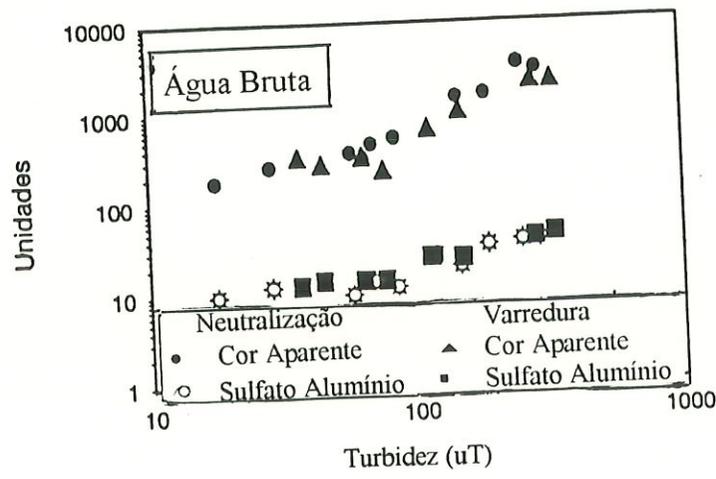
FIGURA 3.9 – Valores médios de turbidez (a), cor verdadeira (b), sólidos suspensos (c) e coliformes fecais (d) da água bruta e efluentes das diferentes opções de pré-tratamento com filtro de pedregulho. Adaptada de CRUZ VELEZ et al. (1996).

Para determinar a dosagem ótima de coagulante foram feitos ensaios em Jar-Test para diferentes qualidades de água bruta do rio Cauca. Os resultados obtidos nos ensaios para a condição de pH de coagulação de 5,5 a 5,8, correspondente à região onde predomina o mecanismo de adsorção-neutralização e de pH de 6,7 a 7,0, correspondente à região onde predomina o mecanismo de varredura ou a combinação do mecanismo de varredura e adsorção-neutralização, são apresentados na FIGURA 3.9. Nessa figura, além dos valores mínimos de dosagem de coagulante em função da turbidez, há também a variação da cor aparente com a turbidez de cada tipo de água.

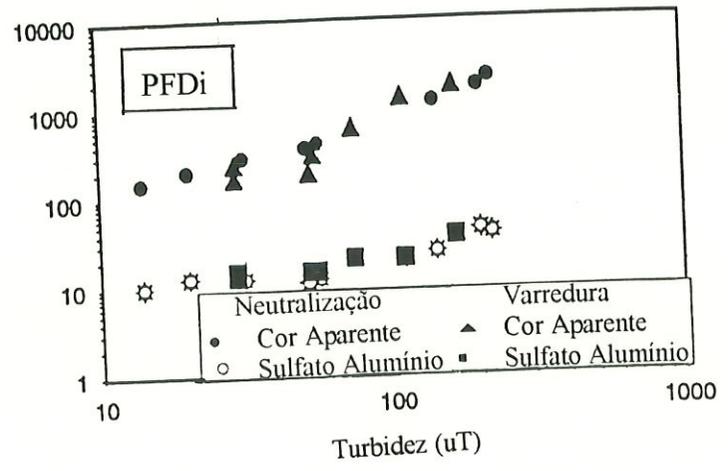
Dentre os principais resultados, observa-se que para turbidez menor que 100 uT, há pouca variação na dosagem de coagulante, com valores entre 10 e 15 mg/L, para os dois mecanismos de coagulação. Para turbidez maior que 100 uT observa-se que a variação na dosagem de coagulante é maior e que a curva de cor aparente da água bruta indica uma grande relação entre este parâmetro e a dosagem aplicada, e mostra que elevada quantidade de matéria orgânica na água bruta pode ocasionar maior variação na dosagem de coagulante.

Nos gráficos (b), (c) e (d) da FIGURA 3.9. verificam-se as dosagens mínimas de coagulante em função da turbidez da água bruta para as diferentes opções de pré-tratamento. A comparação da qualidade da água em cada etapa de pré-tratamento mostra menores valores de turbidez e de cor aparente quando mais barreiras de pré-tratamento são colocadas. O melhor desempenho foi obtido pelo FGAS3, que apresentou um valor máximo de turbidez efluente de 152 uT, sendo que a maior parte das amostras apresentavam turbidez menor que 100 uT. A cor aparente do efluente apresentou um valor máximo de 1288 uC, sendo geralmente menores que 200 uC.

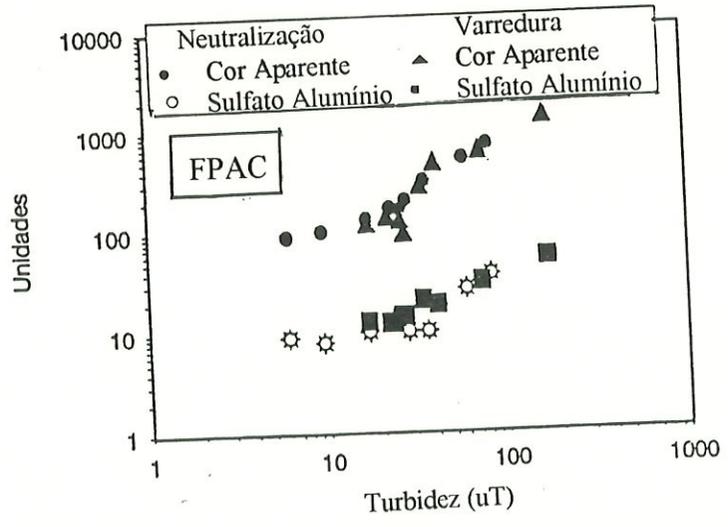
O valor máximo de turbidez efluente no PFDi e FPAC corresponderam a 201 e 172 uT, e cor aparente de 1760 e 1336 uC respectivamente, apresentando menor eficiência de remoção em relação ao FPAS3.



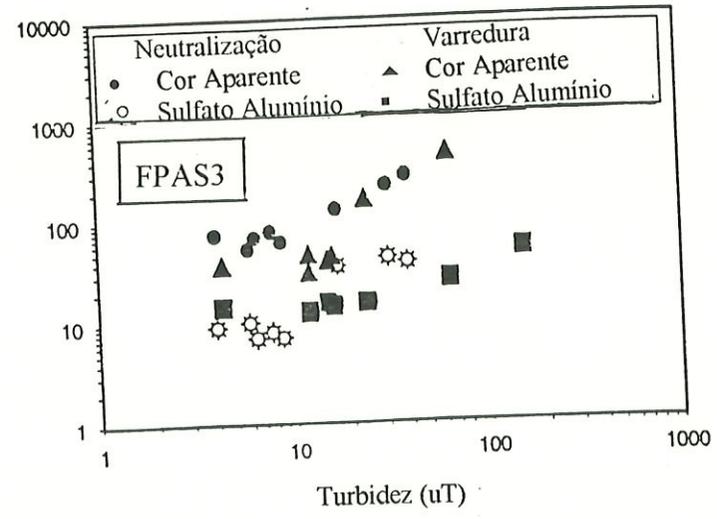
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: CRUZ VELEZ et al. (1996)

FIGURA 3.10 – Dosagem mínima de coagulante para tratamento em ciclo completo e filtração direta para diferentes alternativas de pré-tratamento

As eficiências de remoção de turbidez e cor verdadeira para diferentes opções de pré-tratamento podem ser comparadas na FIGURA 3.10, ficando acima de 38 % e abaixo de 88 % para turbidez, acima de 10 % e abaixo de 65 % para cor verdadeira.

A água bruta possuía concentração média de sólidos suspensos de 111 mg/L, sendo reduzida para 32 mg/L pelo PFDi, 4,1 mg/L pelo PFDi + FPAC e para 1,5 mg/L pelo PFDi + FPAS3, ficando a eficiência de remoção acima de 72,9 % e abaixo de 99 %, conforme FIGURA 3.10.

O NMP médio de coliformes fecais de 4895/100 mL na água bruta, foi reduzido para 14031/100 mL no efluente do PFDi, 471/100 mL no efluente do PFDi + FPAC e 51 NMP/100 mL no efluente do PFDi + FPAS3. A porcentagem de remoção foi superior 65 % e inferior a 99 %, como também pode ser visto na FIGURA 3.10.

Nota-se na Figura 3.10, que a unidade de pré-filtração dinâmica (PFDi) apresenta uma alta remoção de sólidos suspensos, significativa redução de turbidez (39,4%), baixa remoção de cor verdadeira (12,9%). No sistema de PFDi + FPAC a remoção de cor verdadeira foi 42 %, e na unidade de PFDi + FPAS3 a remoção de cor verdadeira foi de 63,8 %.

A redução na dosagem de coagulante foi em média entre 14 e 15 % na unidade de pré-filtração dinâmica (PFDi), entre 29 e 34 % na unidade de pré-filtração dinâmica seguida da unidade de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente em camadas (PFDi + FPAC) e entre 45 e 51 % na unidade de pré-filtração dinâmica seguida da unidade de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente em série (PFDi + FPAS3).

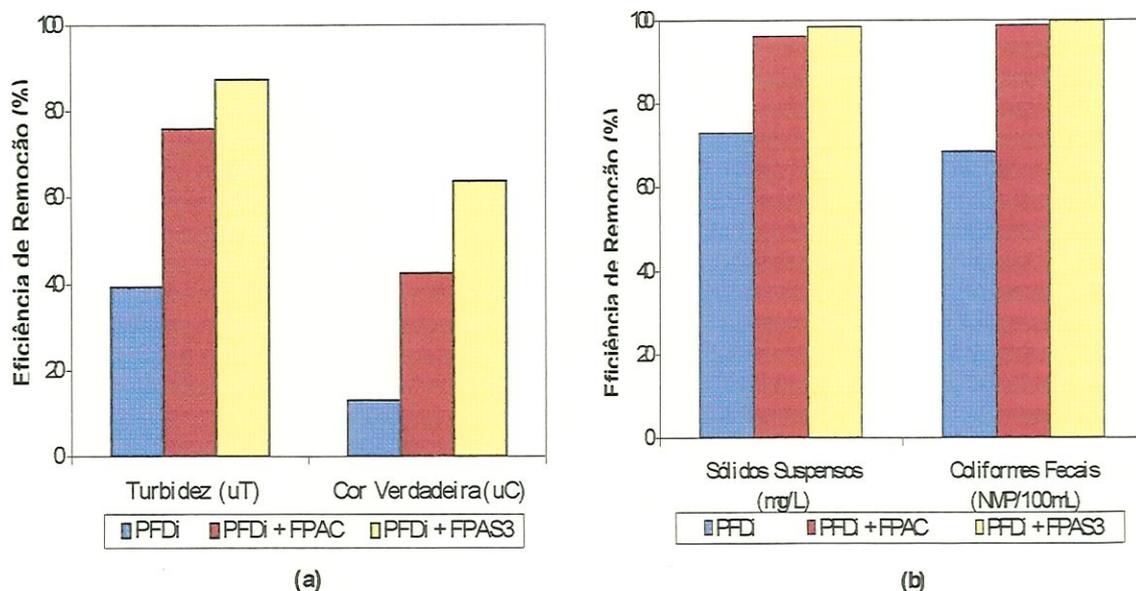


FIGURA 3.11 – Remoção de turbidez, cor verdadeira, sólidos suspensos e coliformes fecais para diferentes alternativas de filtração em pedregulho com valores de água bruta de 68 uT, 53 uC (a), 111 mg/L e 3800 NMP de coliformes fecais/100 mL (b). Adaptada de CRUZ VELEZ et al. (1996).

De acordo com os resultados obtidos por CRUZ VELEZ et al. (1996), nos ensaios de coagulação da água do rio Cauca, as dosagens de coagulante estão relacionadas com a quantidade de matéria orgânica dissolvida (altos valores de cor verdadeira), a qual não é removida pelas unidades de pré-tratamento com a mesma eficiência que o material em suspensão.

Os estudos em instalações piloto e os resultados em unidades em escala real, permitiram CRUZ VELEZ et al. (1996) chegar às seguintes conclusões em relação aos efeitos do pré-tratamento na dosagem de coagulante para águas superficiais.

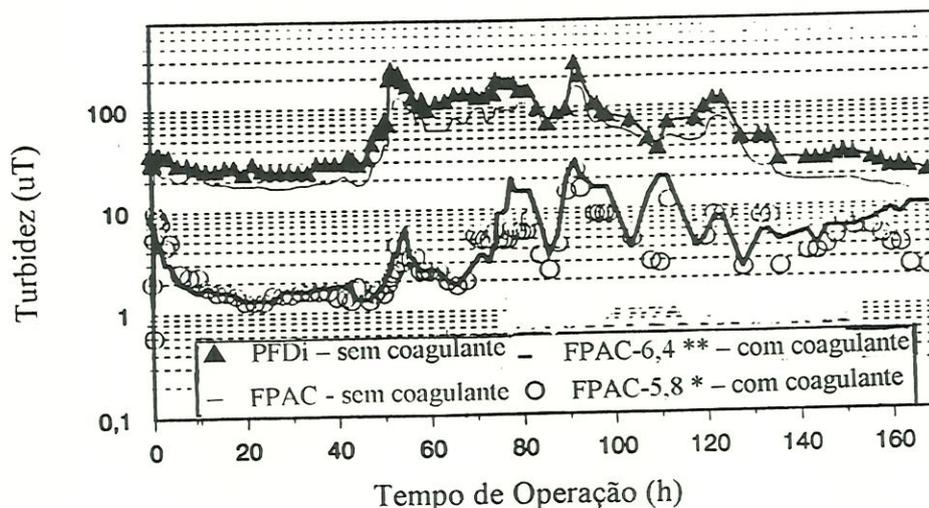
- (i) o pré-tratamento com unidades de filtração em pedregulho permite reduzir as dosagens de coagulante na coagulação química, tanto no mecanismo de varredura (Tratamento em Ciclo Completo), como no mecanismo de adsorção-neutralização (filtração direta);
- (ii) para os níveis de qualidade de água estudada, o pré-tratamento com filtração grosseira de águas com características similares às do rio Cauca, permite reduzir a dosagem de coagulante. O pré-tratamento com PFDi permite uma porcentagem máxima de redução entre 10 e 15 %, com PFDi + FPAC entre 35 e 45 % e com PFDi + FPAS3 entre 48 e 51 %.

CRUZ VELEZ et al. (1998a) relatam estudos com FiME operada em instalação piloto, na Estação de Puerto Mallarino, Colômbia, como pré-tratamento para tecnologias com filtração rápida. O sistema de pré-tratamento era composto por pré-filtração dinâmica (PFDi), unidade de coagulação química, pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente em camadas (FPAC) e filtração rápida (FiR). O rio Cauca, que abastece estas unidades de pré-tratamento, apresenta periodicamente grande quantidade de material em suspensão e dissolvido, além de elevada contaminação microbiológica.

A primeira fase do experimento foi a investigação da influência da taxa de filtração no FPAC na remoção de impurezas. O filtro ascendente de pedregulho foi operado com taxa de filtração de 1, 3, 6 e 12 m/h, apresentando eficiência de remoção de impurezas de 90 % para taxa de filtração de 1m/h e até 50 % com taxas de filtração superiores a 3 m/h. Para tratar águas com turbidez média afluyente de 20 uT, o FPAC atingiu perda de carga máxima de 0,40 m. A duração da carreira de filtração foi de 74 horas para uma taxa de filtração de 12 m/h, 144 horas para 6 m/h e 168 horas para 3 m/h.

Os resultados preliminares mostravam que a qualidade do efluente em termos de material em suspensão era diretamente afetada pela taxa de filtração e que a remoção de matéria orgânica não foi afetada pela mesma (CRUZ VELEZ et al. 1998a).

A segunda fase do experimento foi o estudo do efeito da dosagem de coagulante no efluente do PFDi na remoção de impurezas no FPAC operando com velocidade de 1 m/h. Durante uma carreira de filtração de 65 horas, foram obtidos efluentes com turbidez menor que 5 uT, conforme apresentado na FIGURA 3.12.



Fonte: CRUZ VELEZ et. al. (1998a)

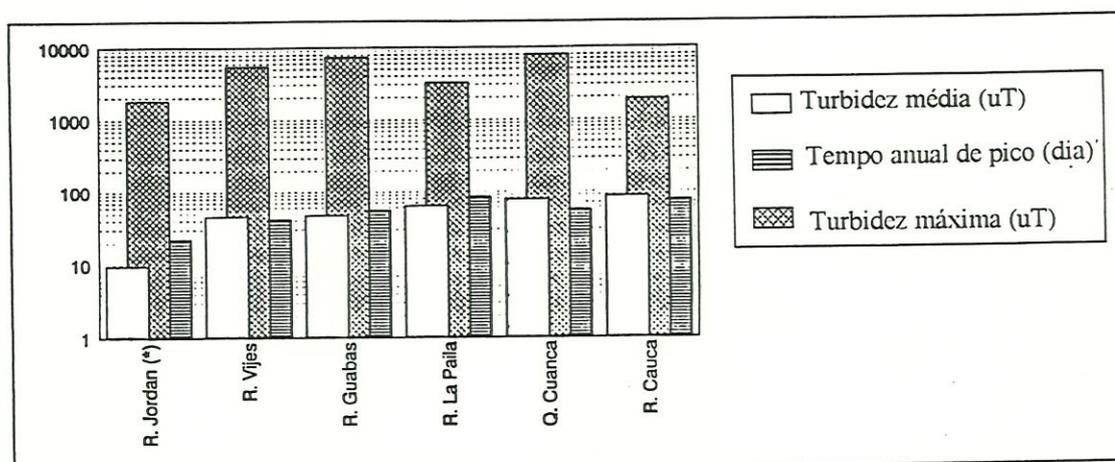
FIGURA 3.12 – Efeito da dosagem de coagulante no efluente do PFDi (taxa = 2 m/h) na remoção de turbidez no FPAC (taxa = 1 m/h).

* FPA-C-5,8 = filtração ascendente em pedregulho disposta em camadas, pH de coagulação = 5,8.

** FPA-C-6,4 = filtração ascendente em pedregulho disposta em camadas, pH de coagulação = 6,4.

CRUZ VELEZ et al. (1998b) compararam a qualidade da água e a dosagem de coagulante da água do rio Cauca (rio de vale) com águas de cinco rios de montanha, na Colômbia. Os seis mananciais que abasteciam as mesmas unidades de filtração em pedregulho, citados por CRUZ VELEZ et.al. (1998a), possuíam valores médios de turbidez entre 10 e 85 uT, com picos máximos significativamente superiores nos rios de bacia pequena (rio de montanha) do que em rio de vale (rio Cauca).

A duração do tempo acumulado com variações de qualidade de água, considerando como variações os picos que elevavam o valor da turbidez acima de 100 uT, indicava que na maioria dos rios em montanha apresentam um tempo menor nesta condição, exceção de um dos mananciais (R. La Paila) que apresentou tempo maior que o rio de vale. O tempo anual de picos variou entre 20 e 90 dias, para mananciais que apresentavam variações rápidas na qualidade da água, dificultando a operação das unidades de tratamento, conforme visualiza-se na FIGURA 3.13.



Fonte: CRUZ VELEZ et.al (1998)

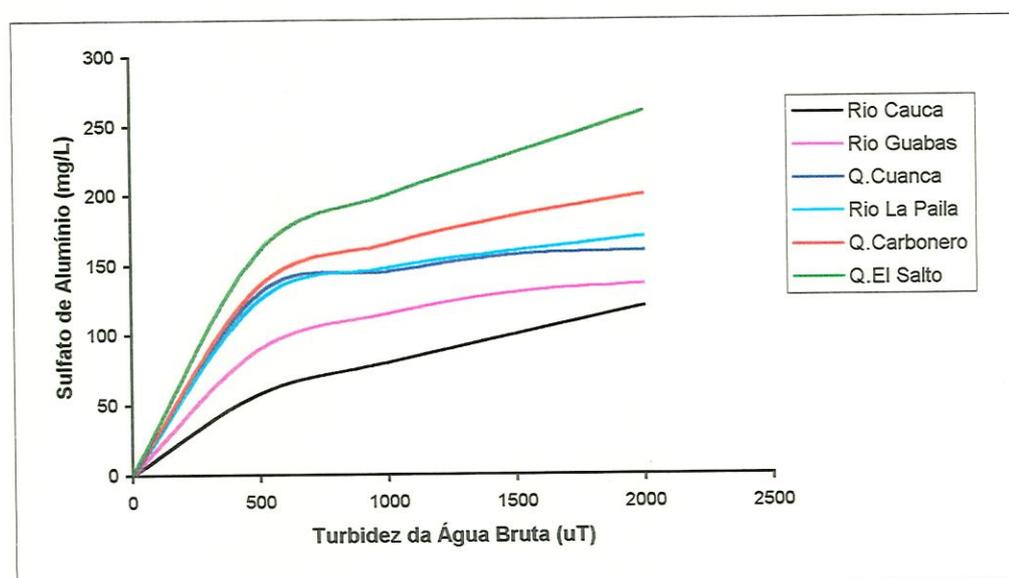
FIGURA 3.13 – Turbidez média e máxima, tempo anual de pico das variações da qualidade da água bruta em seis mananciais superficiais do Vale do Cauca.

As características físico-químicas da qualidade das águas são apresentadas na TABELA 3.8. A FIGURA 3.14 indica a relação entre a dosagem de coagulante (sulfato de alumínio) e a turbidez para os cinco mananciais de montanha e do rio Cauca, comparando-se a dosagem de coagulante da água do rio Cauca para o mecanismo de varredura com os resultados de dosagem de coagulante obtidos com base em registros de operação de unidades de tratamento de águas superficiais de montanha. Observa-se que para estes mananciais eram utilizadas dosagens maiores de coagulante. Por exemplo, para um mesmo valor de turbidez, o manancial de montanha do rio Guabas utiliza quase o dobro de coagulante do que o manancial do rio Cauca.

TABELA 3.8 –Características físico-químicas de seis mananciais superficiais

Mananciais	Características (valores médios)			
	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	Dureza (mg/LCaCO ₃)	Cor Aparente (uC)
Rio Guabas	8,0	60	67	85
Rio Jordan	8,0	164	161	43
Rio Cuanca	7,8	72	80	168
Rio Vijes	7,8	120	140	92
Rio Paila	8,0	94	111	175
Rio Cauca	6,7-7,6	24	30	70*

Fonte: CRUZ VELEZ (1998) - * média



Adaptada de WEGELIN (1998)

FIGURA 3.12 – Dosagem de coagulante (sulfato de alumínio comercial) para diferentes valores de turbidez em cinco mananciais superficiais e um manancial superficial misturado com águas subterrâneas (Q.El Salto).

Algumas conclusões preliminares que os autores obtiveram são apresentadas a seguir:

- (i) a pré-filtro dinâmico demonstrou ser um promissor acondicionamento para aumentar as possibilidades técnicas da clarificação em filtro ascendente de pedregulho em camadas;
- (ii) a combinação da pré-filtração dinâmica (PFDi) e filtração ascendente em pedregulho disposta em camadas (FPAC), constituem como uma opção viável de pré-tratamento para tecnologia com filtração rápida no tratamento de águas superficiais em países tropicais;
- (iii) houve a necessidade do emprego de alternativas de pré-tratamento, utilizando filtros de pedregulho, devido aos mananciais de montanha ou de vale apresentarem altos valores de turbidez, que impossibilitavam à contínua e adequada operação dos sistemas de tratamento com coagulação química.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Considerações Iniciais

A investigação experimental foi realizada em uma instalação piloto montada no Laboratório de Instalações Piloto - LIP, próximo ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC).

A água bruta utilizada no experimento era proveniente do córrego Monjolinho, um dos mananciais de superfície que abastece a cidade de São Carlos. A água era retirada da adutora do Espraiado em local situado no interior do LIP.

Basicamente, a instalação piloto, representada esquematicamente na FIGURA 4.1, consistia em: bomba de recalque de água retirada da adutora do Espraiado; reservatório de armazenamento de água bruta; bomba de recalque de água do reservatório à caixa de nível constante; tubulação de alimentação do filtro ascendente de pedregulho, na qual era introduzido o coagulante; filtro rápido descendente de areia, tanque de solução de sulfato de alumínio; bomba dosadora de solução.

4.2. Descrição e funcionamento da instalação piloto

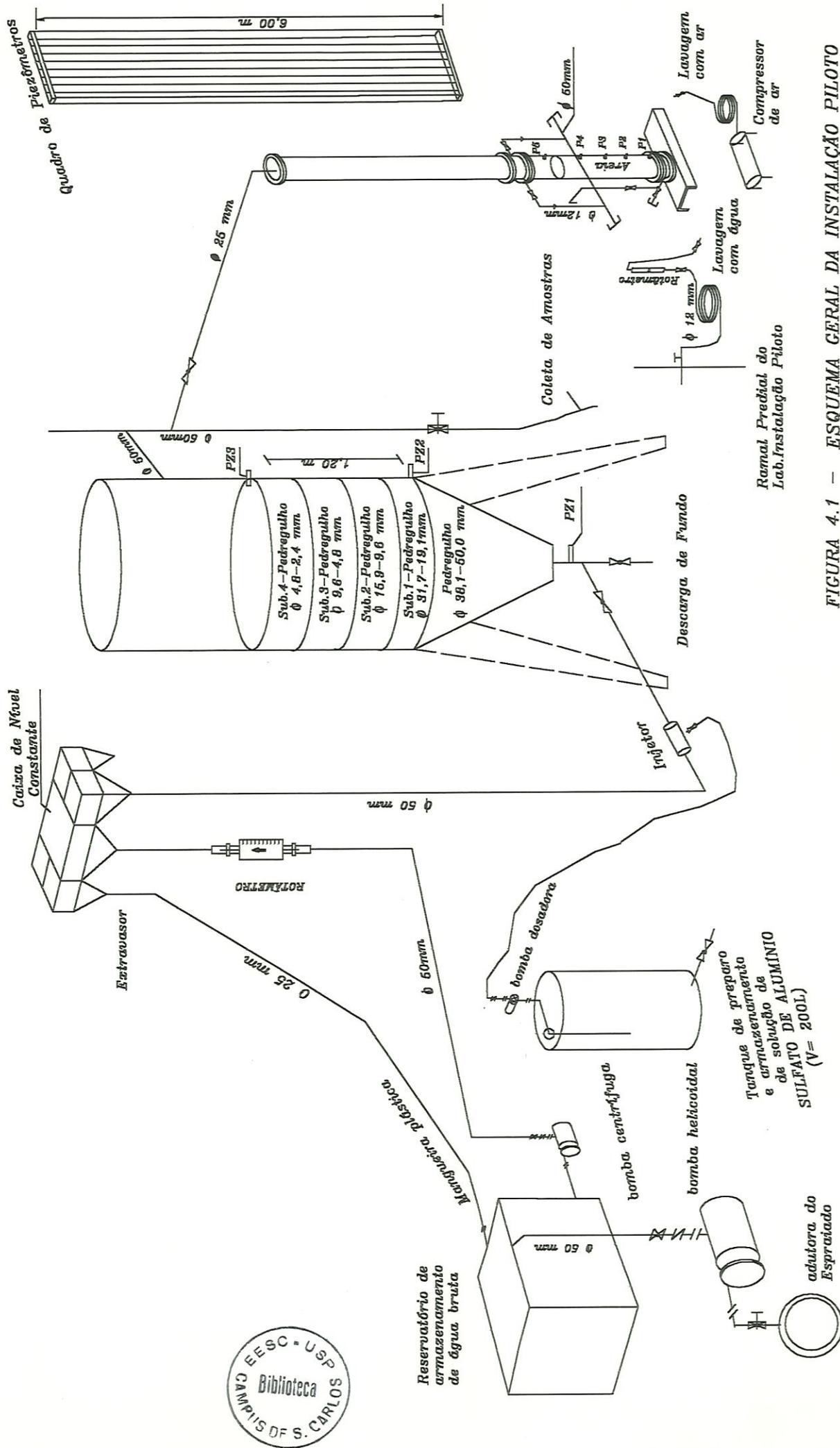
4.2.1. Recalque de água bruta

A água era retirada da adutora do Espraiado e bombeada para um reservatório de armazenamento, semi-enterrado (R1), com 15 m³ de capacidade, conforme apresentado na FIGURA 4.2. O recalque de água bruta era efetuado por um conjunto elevatório dotado de bomba helicoidal de 1cv (B1), com capacidade para bombear de 1000 a 4000 L/h com altura manométrica de 15 mca (FIGURA 4.3). As tubulações de sucção e de recalque eram de PVC e tinham diâmetro de 50 mm.

4.2.2. Alimentação dos filtros

Disponha-se de bomba centrífuga (B2), com tubulações de sucção e recalque de PVC de 50 mm de diâmetro para recalcar água do reservatório à caixa de nível constante. A água bombeada para a caixa de nível constante (CNC), por gravidade era encaminhada ao sistema de filtração, conforme visualiza-se na FIGURA 4.2. A caixa de nível constante (FIGURA 4.4) era construída em chapa de aço, com volume aproximado de 50L (base $\cong 50 \times 50$ cm; altura - 20cm; fundo em tronco de pirâmide invertido com altura de 10 cm). Essa caixa tinha entrada pelo fundo, por meio de uma tubulação de PVC rígido (diâmetro 50 mm), que dispunha de um rotâmetro para medição de vazão. A caixa de nível constante estava situada acima da borda superior do filtro ascendente de pedregulho, de modo a propiciar uma carga hidráulica de aproximadamente 6,00 m. A tubulação de recalque era provida de uma válvula de gaveta e de uma derivação para descarte do excesso de vazão, que retornava ao reservatório de armazenamento, para garantir um funcionamento mais adequado desse conjunto elevatório.

A caixa de nível constante possuía também uma saída constituída de tubulação de PVC (diâmetro 25 mm), com descarga livre, contendo registro de esfera para controle de vazão de água bruta no enchimento do FPA. Acopladas a funis receptores, a tubulação seguinte que possuía diâmetro de 50 mm, recebia essa água, podendo ter o nível variável em seu interior. Na extremidade inferior dessa tubulação vertical estava conectada uma tubulação horizontal de PVC, que encaminhava o afluente ao fundo do FPA. Nesta tubulação foi instalado um injetor para aplicação do coagulante. A tubulação horizontal de alimentação do FPA apresentava uma derivação, antes de sua entrada, que possibilitava o desvio de água para a execução de descargas de fundo e realização de ensaios para determinação de dosagem de coagulante. O efluente do FPA era conduzido, por gravidade, ao filtro rápido descendente em areia (FRD), cujo efluente era encaminhado para a rede de drenagem da EESC-USP.



Ramal Predial do Lab. Instalação Piloto

FIGURA 4.1 - ESQUEMA GERAL DA INSTALAÇÃO PILOTO



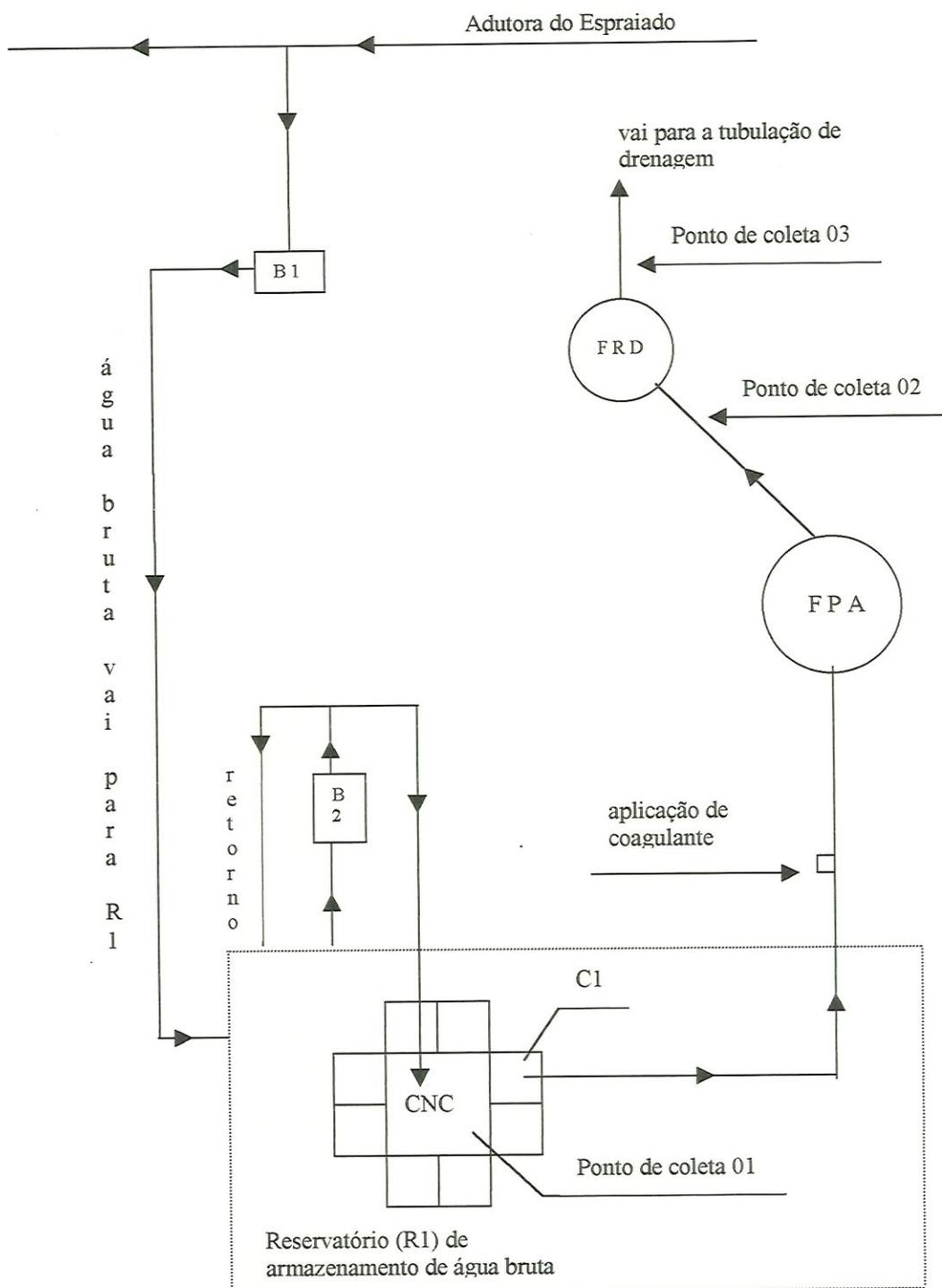


FIGURA 4.2 – ESQUEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA E DISTRIBUIÇÃO



FIGURA 4.3 – CANAL DE CHEGADA DA ADUTORA E RECALQUE DA ÁGUA BRUTA

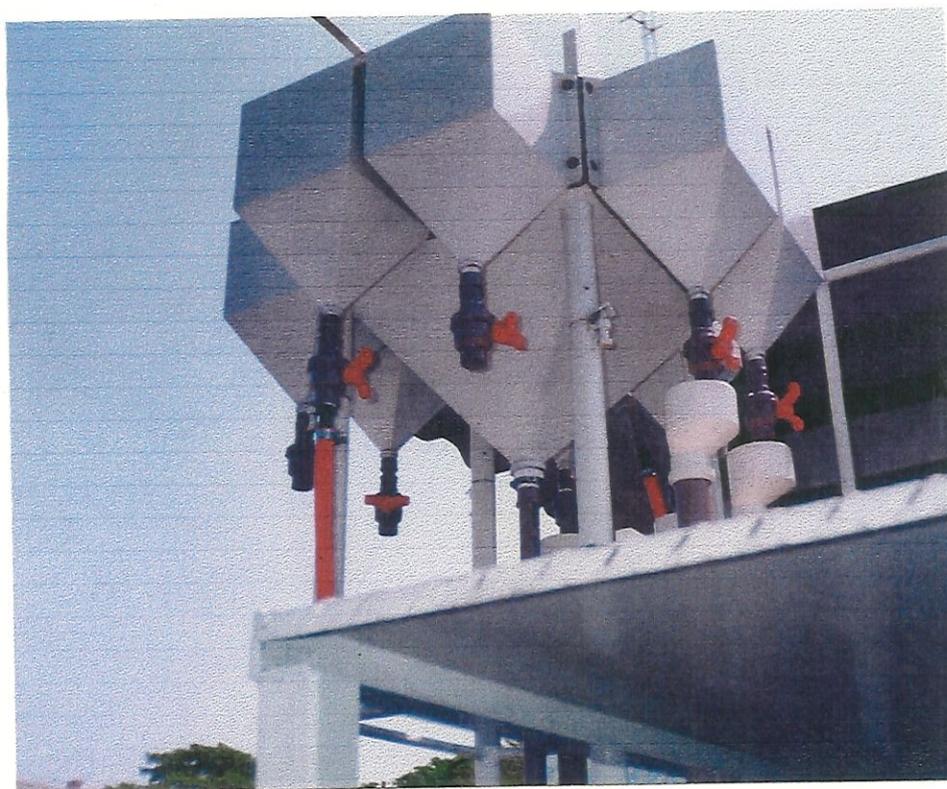


FIGURA 4.4– CAIXA DE NÍVEL CONSTANTE PARA ALIMENTAÇÃO DA INSTALAÇÃO

4.2.3. Preparo da solução de sulfato de alumínio

O preparo e armazenamento da solução de sulfato de alumínio era realizado num tanque com volume útil de 200 litros, construído em fibra de vidro, contendo escala graduada (FIGURA 4.5). A solução de coagulante era preparada a partir da diluição da solução comercial de Sulfato de Alumínio Líquido produzida por Produtos Químicos Guaçu, cujas especificações técnicas, fornecidas pelo fabricante são as seguintes: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8$ a 9%; $\text{Fe}_2\text{O}_3 =$ máximo 0,05%; Insolúveis = traços ; Acidez livre (H_2SO_4) = traços ; pH a $20^\circ \text{C} = 2,9$ a $3,2$; Al_2O_3 livre = 0,3 a 0,5% ; Aparência = incolor ; Viscosidade = 26 centipoise; Ponto de Congelamento = -17°C ; Massa Específica = 1,31 a $1,32 \text{ g/cm}^3$.

A diluição da solução comercial de sulfato de alumínio líquido era feita com água proveniente do poço do campus da USP (com pH da ordem de 7,1), de modo a obter uma concentração deste coagulante no tanque compatível com as vazões a serem aplicadas na instalação piloto. A solução era preparada diluindo-se 200g da solução comercial, em 200 L de água proveniente do poço, resultando aproximadamente 1000 mg do produto comercial por litro.

As dosagens especificadas, em cada ensaio, como estão em (mg/L) foram calculadas em função do $\text{Al}_2(\text{SO}_3) \cdot 14 \text{ H}_2\text{O}$ com base em sua massa específica.

A solução de sulfato de alumínio diluída era recalçada por uma bomba dosadora (FIGURA 4.5) tipo 0308 (Prominent , capacidade 8,40 L/h,) por meio de mangueira plástica transparente (diâmetro 3mm) diretamente para a tubulação de água bruta que alimentava o filtro de pedregulho ascendente (FPA). O coagulante era introduzido em um injetor no mesmo sentido do escoamento da água para promoção da mistura rápida (detalhes do injetor na Figura 4.6). Com a bomba dosadora desligada, efetuava-se o ajuste da posição do seletor, de acordo com a vazão desejada em cada ensaio de filtração. O acionamento e desligamento da bomba era feito através da conexão da tomada da mesma diretamente à rede de energia elétrica.

A solução de sulfato de alumínio diluída para cada ensaio de filtração era renovada, sendo descartado o volume não utilizado anteriormente.



FIGURA 4.5 – TANQUE DE PREPARO E ARMAZENAMENTO DE SOLUÇÃO DE COAGULANTE E BOMBA DOSADORA

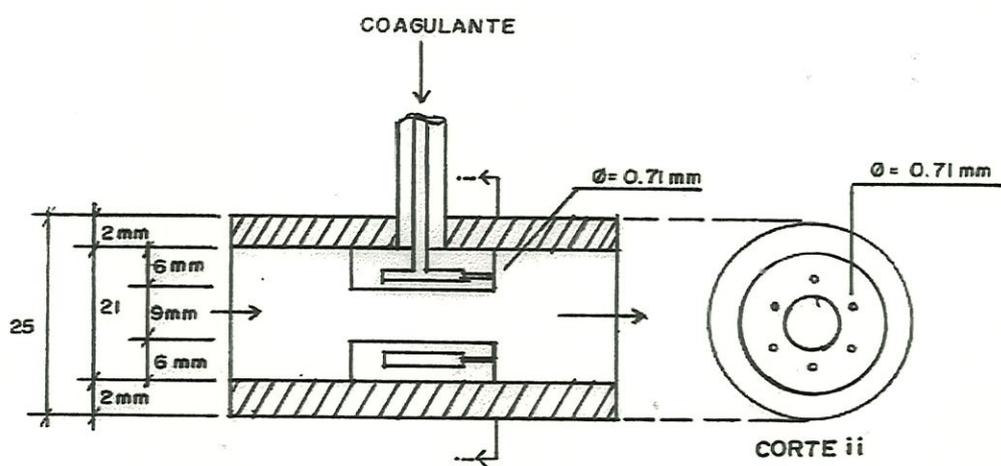


FIGURA 4.6 - DETALHE DO INJETOR

4.2.4. Ajuste das Vazões

O ajuste da vazão que entrava no filtro ascendente de pedregulho era feito na caixa de nível constante por meio de vertedor triangular previamente calibrado e registro de esfera instalado a montante da caixa. Abrindo-se ou fechando-se gradualmente o registro de esfera era alcançada a vazão desejada, a qual era confirmada pelas medidas indicadas no rotâmetro.

Na saída do filtro ascendente de pedregulho, a vazão afluente ao filtro rápido descendente de areia era regulada através de registro de esfera e aferidas por método volumétrico, utilizando-se proveta graduada e cronômetro.

4.2.5. Determinação de dosagem de solução de coagulante

Antes do início de cada carreira, eram realizados ensaios em filtro de laboratório, conforme procedimento recomendado por DI BERNARDO (1993b), para determinar a dosagem de solução de coagulante necessária e o respectivo pH de coagulação, até obter-se uma turbidez da água filtrada menor que 1 uT. Eram realizados vários ensaios para garantir uma dosagem que permitisse trabalhar no mecanismo de coagulação predominantemente por neutralização de cargas.

O filtro de laboratório era constituído por um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro e altura de 25 cm, conforme visualiza-se na FIGURA 4.7, fixado a um suporte. O meio filtrante era formado por uma camada de areia com espessura total de 15 cm, composto por tamanho de grãos variando de 0,59 a 0,84 mm. Através da tomada de pressão instalada na entrada da tubulação do FPA, era coletada água coagulada, a qual passava pelo filtro de laboratório com taxa de filtração entre 60 e 120 m³/m². dia. Com auxílio de uma mangueira de silicone (diâmetro 5 mm) fixada no fundo do filtro de laboratório; amostras de água filtrada eram coletadas para medição da turbidez.

Para a realização do ensaio de determinada dosagem do coagulante, eram utilizados os seguintes aparatos: filtro de laboratório, bequers, proveta, potenciômetro, turbidímetro digital de bancada e cronômetro.



FIGURA 4.7 – FILTRO DE LABORATÓRIO FIXADO POR UM SUPORTE

A dosagem de solução de sulfato de alumínio era determinada com base na seguinte metodologia:

- a) lavagem da areia e colocação da mesma no filtro de laboratório;
- b) a água bruta era bombeada para a caixa de nível constante com a derivação instalada na tubulação que alimenta o filtro ascendente de pedregulho, aberta, e a bomba dosadora desligada, impedindo a entrada de água ao filtro ascendente de pedregulho;
- c) Conferia-se a vazão da água bruta, previamente ajustada (conforme descrito no item 4.2.4) para obter-se a taxa de filtração do ensaio a realizar;
- d) determinação da vazão da bomba dosadora, sendo esta definida por um balanço de massa feito a partir da dosagem de coagulante desejada, da vazão da água

bruta e da concentração da solução de sulfato de alumínio no tanque, conforme equação (I):

$$D = \frac{q \cdot c}{(Q+q)} \quad (I)$$

D: dosagem estimada no ensaio em filtro de laboratório (mg/L)

Q : vazão da água bruta (L / h)

q : vazão da bomba dosadora (L / h)

c : concentração da solução de sulfato de alumínio (mg/L)

- e) uma vez realizado este cálculo, a bomba dosadora era acionada, com o seletor na posição correspondente à vazão necessária. A solução do coagulante era aplicada por meio de um injetor instalado na tubulação que alimenta o filtro ascendente de pedregulho. Anteriormente à introdução do coagulante no injetor, a vazão da bomba dosadora era conferida por método volumétrico, utilizando-se proveta graduada e cronômetro;
- f) decorridos alguns minutos após o acionamento da bomba dosadora de sulfato de alumínio, eram coletadas amostras de água coagulada, através de uma tomada de pressão instalada na tubulação de entrada do FPA, para a determinação do pH de coagulação;
- g) iniciava-se o ensaio no filtro de laboratório. Se a turbidez da água filtrada resultasse maior que 1 uT, ajustava-se a bomba dosadora, lavava-se a areia do filtro e iniciava-se o ensaio novamente, até alcançar uma turbidez do filtrado inferior a 1 uT;
- h) determinada a dosagem de solução de sulfato de alumínio, então podia ser iniciada a carreira de filtração;
- i) lavagem da areia do filtro de laboratório para posterior utilização nos próximos ensaios.

4.2.6. Filtro Ascendente de Pedregulho (FPA)

O filtro de pedregulho ascendente (FPA) era construído em chapa metálica com 6,4 mm de espessura, e constituído por duas partes: a superior, de formato cilíndrico, com diâmetro interno de 0,80 m e altura de 2,55 m; e a inferior de formato cônico, com altura de 0,45 m, conforme visualiza-se na FIGURA 4.8, ao lado direito. A estrutura do filtro era dotada de três suportes metálicos que elevavam sua borda superior a uma altura de 3,40 m.



FIGURA 4.8 - VISTA FRONTAL DO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO (FPA)

4.2.7. Filtro Rápido Descendente (FRD)

O filtro rápido descendente de areia (FRD) era construído em acrílico, de formato cilíndrico, com diâmetro interno de 91 mm e altura de 2,80 m, conforme visualiza-se na FIGURA 4.9, primeiro da esquerda para direita. A altura do filtro era obtida pela união de três segmentos, um de 0,60 m de comprimento e dois de 1,00m cada, mais duas peça de 0,10 m cada uma (para entrada e saída).



FIGURA 4.9 – VISTA FRONTAL DO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE (FRD)

A união entre dois segmentos na montagem do filtro era feita com flanges providos de orifícios com parafusos e anel de borracha para vedação. Na base do filtro estava uma das peças contendo duas entradas: uma para introdução de água para lavagem e outra para injeção de ar destinada à lavagem auxiliar. Entre a peça e o primeiro segmento, havia uma placa perfurada dotada de tela para sustentação da camada de areia, bem como para distribuição de água e ar sob a mesma. A segunda peça ficava entre os dois segmentos e continha dois orifícios, nos quais estavam conectadas mangueiras plásticas (diâmetro 12 mm) e dois registros que permitiam o descarte da água de lavagem. Próximo à saída do filtro havia um ponto de tomada de água para alimentar o turbidímetro de escoamento contínuo. Na parte inferior do filtro havia dois registros que permitiam, por meio de manobra adequada, entrada de água para lavagem e saída de água filtrada. O filtro era mantido na posição vertical por uma estrutura suporte metálica. Os detalhes do filtro rápido descendente de areia, podem ser vistos no esquema geral da instalação piloto apresentada na FIGURA 4.1.

4.2.8. Medição de perda de carga

O filtro ascendente de pedregulho era dotado de três tomadas de pressão (piezômetros), cujos eixos encontravam-se instalados na tubulação de entrada do filtro (PZ1), 0,45 m acima do fundo cônico (PZ2) e no topo do meio granular (PZ3), conforme visualiza-se na FIGURA 4.1.

No filtro descendente de areia as medidas de perda de carga eram efetuadas também com auxílio de piezômetros instalados nas alturas de 0,0m (piezômetro P1), 0,2 m (P2), 0,40m (P3), 0,60m (P4) e 0,80m (P5), medidos a partir da placa perfurada, como pode ser visualizado na FIGURA 4.1.

Das tomadas de pressão partiam mangueiras plásticas transparentes (diâmetro 6,4 mm) que eram afixadas num único quadro para os dois filtros. Este quadro geral de piezômetros, construído em chapa metálica e medindo 6 metros de altura, continha escala em papel milimetrado e subdivisões em centímetros.

4.2.9. Meios Granulares

4.2.9.1. Filtro Ascendente de Pedregulho (FPA)

O meio granular do FPA era constituído por duas camadas de pedregulho: uma disposta no fundo cônico da unidade, com tamanho variando de 50 a 38,1 mm; outra disposta na parte cilíndrica, com espessura total de 1,20 m, formada por quatro subcamadas, conforme detalhado na Tabela 4.1.

A água entrava pela parte inferior da unidade de filtração ascendente em pedregulho, passando por meios granulares maiores inicialmente e menores no topo, sendo o efluente coletado na parte superior por tubos de PVC perfurados.

TABELA 4.1 - COMPOSIÇÃO DA CAMADA DE PEDREGULHO

Subcamada	Espessura (cm)	Tamanho dos grãos (mm)
1 ^a	30	31,7 a 19,1
2 ^a	30	15,9 a 9,6
3 ^a	30	9,6 a 4,8
4 ^a	30	4,8 a 2,4

As camadas de pedregulho foram separadas por peneiramento utilizando-se um agitador mecânico para remoção dos grãos com tamanhos superiores ao máximo e inferiores ao mínimo e colocados na unidade de filtração.

4.2.9.2. Filtro Rápido Descendente (FRD)

O meio granular do FRD era formado por uma camada de areia com espessura de 0,70 m, tendo como suporte uma placa perfurada dotada de tela. A geratriz inferior interna do trecho mais alto da tubulação de saída de água filtrada ficava 0,10 m acima do topo da camada de areia, garantindo que o meio filtrante ficasse totalmente submerso e estabelecendo carga hidráulica disponível máxima de 2,02 m. O tamanho dos grãos da areia variava de 1,41 a 0,42 mm, com $D_{10} \cong 0,54$ mm e $D_{60} \cong 0,85$ mm, resultando coeficiente de desuniformidade (CD) igual a 1,57. Duas aberturas laterais para saída da água de lavagem encontravam-se situadas a 0,65m acima do topo do meio filtrante, permitindo sua expansão em até 92 %.

A separação inicial da areia foi feita previamente utilizando-se as peneiras com abertura da malha igual a 1,41 mm e 0,42 mm, desprezando-se o material retido na primeira e o que passava na última. Da quantidade total de areia lavada e separada (23 kg), foi retirada uma amostra de 210 g (por quarteamento). A caracterização da areia foi feita segundo método de peneiramento para teste granulométrico, tendo sido utilizada a série de peneiras com aberturas das malhas igual a 0,42-0,59-0,71-0,84-1,00-1,19-1,41mm. A curva granulométrica assim obtida está apresentada na FIGURA 4.10.

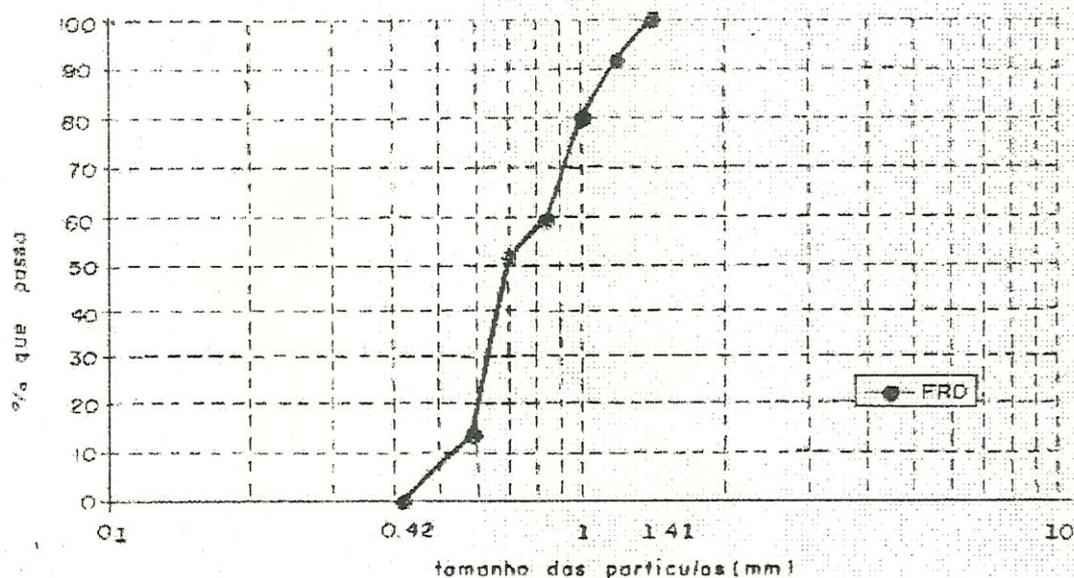


FIGURA 4.10 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA

4.2.10. Medição e Registro da Turbidez

Foram empregados dois turbidímetros de escoamento contínuo (nefelométricos, modelo HACH 1720/digital, EUA). Um dos aparelhos era utilizado para medir a turbidez da água bruta e o outro a turbidez do efluente do FRD. A água era enviada aos aparelhos contínuos por meio de mangueiras transparentes de plástico (diâmetro 6,4 mm), cuja vazão era controlada na faixa de 0,5-1,0L/min. Também era utilizado um turbidímetro de bancada (HACH) para realizar a calibração dos turbidímetros contínuos (por comparação), assim como para os ensaios para determinação de dosagem. Os turbidímetros contínuos (FIGURA 4.11) eram calibrados periodicamente segundo método indicado pelo fabricante (padrão preparado a partir de solução de formazina).



FIGURA 4.11- TURBIDÍMETROS DE ESCOAMENTO CONTÍNUO PARA MONITORAMENTO DA ÁGUA BRUTA E DO EFLUENTE DO FRD

4.2.11. Término da Carreira de Filtração

A carreira de filtração era encerrada quando a perda de carga lida nos piezômetros do FRD atingia o valor máximo de 2,02 m, ou seja, carga hidráulica disponível totalmente utilizada.

Após o encerramento da carreira do FRD, era fechado o registro de entrada de água coagulada e aberto o desvio, sendo a água coagulada descartada pela tubulação de drenagem. O registrador acoplado ao turbidímetro contínuo era desligado também nesse momento. Após concluído o ensaio, eram desligadas a bomba de recalque de água bruta e a bomba dosadora de solução de sulfato de alumínio. O consumo total da solução de sulfato de alumínio podia ser determinado pelo abaixamento do nível no tanque. Pelo intervalo de tempo em que a bomba dosadora permanecia ligada, podia-se checar a vazão dosada. Na etapa subsequente, era executada a lavagem do filtro descendente de areia (FRD), de forma a possibilitar a realização de outro ensaio de filtração.

4.2.12. Limpeza do Filtro Ascendente de Pedregulho

A limpeza do meio granular do filtro ascendente de pedregulho foi realizada somente uma única vez, durante todos os ensaios. Após o encerramento do ensaio 01, a limpeza foi feita realizando-se descargas de fundo, abrindo-se e fechando-se rapidamente o registro de drenagem, para que ocorresse arrastamento dos sólidos presentes. Este procedimento era repetido até que se obtivesse uma água de descarga de fundo clarificada (visual). O enchimento do filtro para execução das descargas provinha da própria instalação; e em seguida era introduzida água tratada, pela parte superior do filtro, através de mangueira plástica (diâmetro 25 mm), conectada ao ramal predial do Laboratório de Instalação Piloto. Durante o enchimento o registro de descarga ficava aberto. Anteriormente à realização de descargas de fundo, o afluente era encaminhado para uma tubulação de derivação, que possibilitava o desvio de água para a rede de drenagem da EESC-USP.

4.2.13. Limpeza do Filtro Rápido Descendente de Areia

A limpeza do filtro descendente de areia foi efetuada por meio de aplicação de ar e água e, era feita após o encerramento da carreira de filtração. Para a lavagem com água era utilizada uma mangueira de plástico flexível, com diâmetro de 25 mm, conectada à entrada de água para lavagem, proveniente do ramal predial do Laboratório de Instalação Piloto. A lavagem auxiliar com ar consistia de uma tubulação de cobre (diâmetro 9,5 mm) conectada por mangueira plástica a um compressor, a qual continha uma derivação, contendo registros próprios para gases. Essa tubulação continha, ainda, uma válvula para retirada do excesso de ar na linha. A introdução de ar era feita por uma entrada de diâmetro de 6,4 mm, situada abaixo da placa perfurada com tela.

O procedimento para lavagem simultânea com ar e água foi o seguinte:

- a) Encerrada uma carreira de filtração, diminuía-se o nível da água na caixa do filtro até aproximadamente 10 cm acima do topo da camada de areia;
- b) O compressor de ar era ligado, com o registro de entrada de ar no filtro todo fechado e com a válvula na extremidade da tubulação de ar totalmente aberta;
- c) Com auxílio de um registro acoplado na tubulação de ar, era fechada a válvula na extremidade; e aberto o registro para introdução do ar no filtro;
- d) Injetava-se ar e água em contra-corrente, simultaneamente, durante 3 minutos. As vazões utilizadas, tanto para o ar (vazão 350 L/h; taxa 5 L/s.m²) quanto para a água (135 L/h), foram reguladas através de rotâmetros, de modo que promovessem a fluidificação do meio filtrante, facilitando a remoção das impurezas retidas, e de forma que, ao final dos 3 minutos, o nível da água não tivesse ainda alcançado a saída de água de lavagem, impedindo a perda de material fino;

- e) Após 3 minutos, era fechado o registro e logo em seguida aberta a válvula para saída do excesso na tubulação de ar; e em seguida era desligado o compressor;
- f) Encerrava-se a aplicação do ar e introduzia-se água para promover expansão de 30%, durante tempo de 5 minutos ou até que a turbidez da água de lavagem fosse menor ou igual a 1,0 uT. Durante esta etapa procurava-se eliminar todo o ar contido na camada de areia, com leves pancadas na parede do filtro; ao final, o registro de entrada de água para lavagem era fechado, mas a mangueira continuava acoplada para auxiliar na compactação da areia até que retomasse à altura inicial.
- g) Após a interrupção da injeção de água, era efetuado o retorno da areia à posição inicial; feita em queda livre; resultava numa altura de alguns centímetros a mais do que a altura de 0,70 cm e por meio de repetidas manobras “abre e fecha “ do registro e, também, com leves pancadas na parede do filtro, atingia-se o nível desejado.

4.3. Investigação Experimental

Durante toda a investigação experimental, a água bruta utilizada era proveniente do córrego Monjolinho, um dos mananciais de superfície que abastece a cidade de São Carlos.

Foram realizados cinco ensaios de filtração, variando-se em cada ensaio a taxa de filtração no filtro ascendente de pedregulho (FPA), estabelecidas em 12, 36, 60, 90 e 115 m³/m². d. O filtro rápido descendente de areia (FRD) funcionou com taxa constante de 250 m³/m². d, à qual correspondia a vazão de 67,70 L/h. A programação dos ensaios pode ser visualizada na TABELA 4.2.

TABELA 4.2 – PROGRAMAÇÃO DOS ENSAIOS

Ensaio de Filtração	Unidade de Filtração	Taxa de Filtração (m ³ /m ² . dia)	Vazão (L/h)
01	FPA	12	251,50
	FRD	250	67,70
02	FPA	36	754,50
	FRD	250	67,70
03	FPA	60	1278,45
	FRD	250	67,70
04	FPA	90	1886,25
	FRD	250	67,70
05	FPA	115	2410,20
	FRD	250	67,70

4.3.1. Parâmetros de Controle, locais de coleta e frequência das medições

Na operação dos filtros foram efetuadas medidas dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, diariamente durante os ensaios, conforme frequência apresentada na TABELA 4.3.

TABELA 4.3 – Parâmetros de controle, locais de coleta ou medição e frequência

Parâmetro	Local	Frequência
Turbidez (UT)	ponto 1,2 e 3	de 3 a 5 horas
Cor Aparente (UC)	ponto 1,2 e 3	de 3 a 5 horas
Cor Verdadeira (UC)	ponto 1,2 e 3	1 x dia
pH	ponto 1,2 e 3	1 x dia
Temperatura (°C)	ponto 2 e 3	de 3 a 5 horas
Nº partículas e distribuição por tamanho	ponto 1,2 e 3	1 x dia
Ferro total e manganês (mg/L)	ponto 1,2 e 3	1 x dia
Alcalinidade (mg. CaCO ₃ / L)	ponto 1	1 x dia
Carbono orgânico total (mg/L)	ponto 1,2 e 3	1 x dia
Coliformes totais e fecais (NMP/100mL)	ponto 1,2 e 3	1 x dia
Vazão (L/h)	ponto 1,2 e 3	1 x dia
Leituras dos piezômetros	FPA e FRD	de 3 a 5 horas

Foram selecionados três pontos de coleta de amostras conforme descrição a seguir e indicados na FIGURA 4.2.

- Ponto de coleta 01 - Água bruta (amostra coletada na caixa de nível constante)
- Ponto de coleta 02 - Efluente do FPA
- Ponto de coleta 03 - Efluente do FRD

A realização da pesquisa envolveu várias determinações, nas quais foram utilizados vários equipamentos pertencentes ao Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP, que possibilitaram a medição de cada parâmetro de controle (TABELA 4.4.).

TABELA 4.4 – Metodologia de Ensaio

Parâmetro	Métodos e equipamentos
Turbidez	Método nefelométrico utilizando-se Turbidímetro de escoamento contínuo e, para aferição diária, aparelho TURBIDIMETER 2100P - HACH
Cor Aparente	Através de espectrofotometria, utilizando-se aparelho DR – 4000 – HACH
Cor Verdadeira	Através de espectrofotometria, utilizando-se aparelho DR 4000- HACH
Temperatura	Leitura em termômetro de mercúrio
pH	Método potenciométrico, utilizando-se aparelho ORION – modelo 310
Ferro Total e Manganês Total	Utilização de Espectrofotômetro de Absorção Atômica INTRALAB, modelo AA-1275, com comprimento de ondas de 248,3 mm e 279,5 mm, respectivamente
Coliformes Totais e Fecais	Método do substrato definido, utilizando-se reagente COLILERT
Alcalinidade	Método da titulação potenciométrica com ácido sulfúrico
Carbono orgânico total	Utilização de aparelho TOC 5000-A - SHIMADZU
Partículas – número e tamanho	Contador de partículas COULTER COUNTER, modelo TAI

5. RESULTADOS

5.1. Introdução

Na TABELA 5.1. é apresentado um resumo dos cinco ensaios realizados, excluindo-se aqueles que foram interrompidos (não considerados no estudo), devido à ocorrência de problemas com a operação da instalação piloto. Os demais dados experimentais obtidos nos ensaios de filtração são apresentados nos anexos (de A a G), os quais foram organizados de forma a facilitar a compreensão e posterior análise dos resultados, por meio de gráficos e tabelas.

TABELA 5.1. RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS

ENSAIO DE FILTRAÇÃO	DATA DE INICIO	DATA DE TÉRMINO	UNIDADE DE FILTRAÇÃO	TAXA (m ³ / m ² .dia)	DURAÇÃO DA CARREIRA
01	22/10/98	05/11/98	FPA* FRD**	12 250	14 dias
02	16/11/98	18/11/98	FPA FRD	36 250	46 horas
03	16/12/98	18/12/98	FPA FRD	60 250	41 horas
04	21/12/98	22/12/98	FPA FRD	90 250	26 horas
05	28/12/98	29/12/98	FPA FRD	115 250	21 horas

* FPA: Filtro Ascendente de Pedregulho

** FRD: Filtro Rápido Descendente de Areia

No anexo A são apresentados os quadros correspondentes às características da água bruta (afluente) e da água filtrada (efluente dos filtros), em função do tempo de operação. Os valores dos parâmetros físicos de qualidade da água medidos (cor aparente, turbidez e pH do afluente; turbidez, cor aparente e pH dos efluentes dos filtros), para diferentes taxas de filtração, estão indicados nos Quadros A .1 a A .5. São indicadas também neste anexo, as dosagens de sulfato de alumínio aplicadas e os valores de temperatura da água bruta.

No anexo B são apresentadas as figuras que relacionam a turbidez da água bruta e dos efluentes dos filtros em função do tempo de operação, correspondentes aos quadros do anexo A . Da mesma forma, tem-se a cor aparente da água bruta e dos efluentes dos filtros durante cada ensaio.

O anexo C é composto pelos quadros de leituras piezométricas, seguidos por seus respectivos quadros de perda de carga total, correspondentes a cada ensaio, em função do tempo de operação. Também estão indicados os valores de perda de carga obtidos para cada porção do meio granular, calculados pela diferença entre os valores lidos em piezômetros contíguos e, da temperatura de água dos efluentes dos filtros, conforme quadros C.1 até C.10.

Nos quadros C.11 até C.15 são apresentados os parâmetros da água bruta e dos efluentes dos filtros, medidos uma vez ao dia durante os ensaios, com diferentes taxas de filtração.

No anexo D têm-se as figuras que contém a variação da perda de carga total nos dois filtros, em função do tempo de operação, correspondentes aos quadros C.1 a C.10.

A partir dos quadros C.11 a C.15, foram construídos os gráficos apresentados no Anexo E, que indicam a concentração de ferro total e manganês total na água bruta e nos efluentes dos filtros, em função do tempo de operação, nos diferentes ensaios de filtração, conforme visualiza-se nas figuras E.1 a E.10.

Ainda com base nos resultados dos quadros C.11 a C.15, foram elaborados os gráficos apresentados no anexo F, que possibilitam avaliar a eficiência dos filtros no controle de qualidade bacteriológica da água, medida a partir da remoção de coliformes totais no processo. Nos quadros de F.1 a F.5 estão apresentados os resultados do NMP de coliformes totais por 100 mL de amostra da água bruta e dos efluentes dos filtros em função do tempo de operação.

No anexo G são apresentados os valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas da água bruta e dos efluentes dos filtros, e porcentagens de remoção de cada ensaio, ao longo da carreira de filtração, e que estão apresentados nos quadros G.1 a G.5.

A partir dos resultados dos quadros G.1 a G.5, foram construídos os gráficos de número de partículas em função do tamanho das partículas, conforme figuras G.6 até G.10.

Para se obter uma melhor visualização das características da água bruta e dos efluentes dos filtros, nas tabelas 5.2 a 5.6 são apresentados os resultados gerais, com valores mínimos e máximos medidos nos cinco ensaios realizados.

TABELA 5.2 - Resultados gerais obtidos no ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia no FPA e FRD com taxa de 250 m³/m². dia
Período: 22/10/98 a 05/11/98

Parâmetro	Água Bruta	Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho	Efluente do Filtro Rápido Descendente de Areia
Turbidez (uT)	10,10 a 46,10	0,28 a 3,33	0,18 a 0,68
Cor Aparente (uC)	92 a 297	2 a 16	2 a 12
Cor Verdadeira (uC)	20 a 141	1 a 8	1 a 4
pH	6,60 a 8,00	6,49 a 7,40	6,43 a 7,20
Ferro Total (mg/L)	0,99 a 2,00	0,2 a 0,4	0,07 a 0,2
Manganês Total (mg/L)	0,025 a 0,11	0,015 a 0,04	0,01 a 0,03
Coliformes Totais (NMP/100mL)	181 a 8604	13,1 a 798	2 a 185
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	< 1 a 86	< 1 a 10	< 1 a 2
Carbono Orgânico Total (mg/L)	3,313 a 10,330	2,455 a 5,006	1,028 a 3,505

TABELA 5.3 - Resultados gerais obtidos no ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia no FPA e FRD com taxa de 250 m³/m² . dia
 Período: 16/11/98 a 18/11/98

Parâmetro	Água Bruta	Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho	Efluente do Filtro Rápido Descendente de Areia
Turbidez (uT)	6,80 a 11,80	0,73 a 4,30	0,21 a 0,71
Cor Aparente (uC)	75 a 130	10 a 35	4 a 30
Cor Verdadeira (uC)	18 a 24	1 a 9	1 a 2
pH	7,15 a 7,55	7,02 a 7,32	6,81 a 7,26
Ferro Total (mg/L)	0,14 a 0,60	0,06 a 0,14	0,02 a 0,03
Manganês Total (mg/L)	0,05 a 0,20	0,03 a 0,06	0,016 a 0,025
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1095 a 8164	14,8 a 253,4	2 a 7,8
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	11 a 45	< 1 a 2	< 1 a 1
Carbono Orgânico Total (mg/L)	4,892 a 7,707	2,379 a 3,517	0,672 a 2,237

TABELA 5.4 - Resultados gerais obtidos no ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m² . dia no FPA e FRD com taxa de 250 m³/m² . dia
Período: 16/12/98 a 18/12/98

Parâmetro	Água Bruta	Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho	Efluente do Filtro Rápido Descendente de Areia
Turbidez (uT)	41,30 a 71,00	2,76 a 4,27	0,21 a 0,85
Cor Aparente (uC)	307 a 425	8 a 17	4 a 12
Cor Verdadeira (uC)	31 a 106	1 a 5	1 a 4
pH	6,81 a 7,16	6,44 a 6,92	6,47 a 6,87
Ferro Total (mg/L)	1,2 a 2,1	0,5 a 0,7	0,18 a 0,2
Manganês Total (mg/L)	0,03 a 0,09	0,02 a 0,04	0,01 a 0,015
Coliformes Totais (NMP/100mL)	378,4 a 521,6	46,2 a 83,6	28,8 a 51,7
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	9,8 a 55,6	2,3 a 6,3	<1 a 3
Carbono Orgânico Total (mg/L)	4,187 a 11,440	2,171 a 3,236	0,551 a 2,113

TABELA 5.5 - Resultados gerais obtidos no ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m² . dia no FPA e FRD com taxa de 250 m³/m² . dia
 Período: 21/12/98 a 22/12/98

Parâmetro	Água Bruta	Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho	Efluente do Filtro Rápido Descendente de Areia
Turbidez (uT)	24,30 a 29,20	2,94 a 5,23	0,31 a 0,42
Cor Aparente (uC)	151 a 253	16 a 33	9 a 18
Cor Verdadeira (uC)	25 a 74	6 a 11	5 a 9
pH	6,69 a 7,33	6,51 a 6,73	6,49 a 6,64
Ferro Total (mg/L)	1,15 a 1,88	0,03 a 0,4	0,15 a 0,23
Manganês Total (mg/L)	0,03 a 0,07	0,02 a 0,035	0,013 a 0,02
Coliformes Totais (NMP/100mL)	118,7 a 488,4	6,3 a 186	2 a 5,2
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	1 a 30,1	< 1 a 5	<1 a 1,5
Carbono Orgânico Total (mg/L)	3,964 a 7,679	2,584 a 4,062	1,088 a 3,739

TABELA 5.6 - Resultados gerais obtidos no ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m² . dia no FPA e FRD com taxa de 250 m³/m² . dia
 Período: 28/12/98 a 29/12/98

Parâmetro	Água Bruta	Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho	Efluente do Filtro Rápido Descendente de Areia
Turbidez (uT)	17,10 a 36,80	3,49 a 5,12	0,30 a 0,36
Cor Aparente (uC)	136 a 220	36 a 64	9 a 14
Cor Verdadeira (uC)	61 a 98	11 a 20	6 a 10
pH	6,50 a 6,87	6,36 a 6,45	6,30 a 6,43
Ferro Total (mg/L)	1,87 a 2,45	0,3 a 0,35	0,12 a 0,17
Manganês Total (mg/L)	0,03 a 0,09	0,02 a 0,04	0,01 a 0,015
Coliformes Totais (NMP/100mL)	13,6 a 24,2	3 a 4	1 a 2
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	7 a 8	2 a 2,5	<1 a 1,3
Carbono Orgânico Total (mg/L)	3,923 a 4,156	3,047 a 3,672	2,930 a 3,475

6. DISCUSSÃO

6.1. Qualidade da Água Bruta

Como referido na introdução deste trabalho, na avaliação das diferentes tecnologias para o tratamento de água bruta para fins de abastecimento, a qualidade da água bruta é o primeiro item a ser considerado, de acordo com DI BERNARDO (1993): deve-se procurar o menor custo, sem deixar de lado a segurança na produção de água potável.

Assim, na aplicação prática dos resultados obtidos nesta investigação experimental com relação à variação da taxa de filtração no filtro ascendente em pedregulho, a qual é discutida a seguir quanto à sua influência na eficiência dessa tecnologia, é fundamental considerar as características da água utilizada no estudo, para as quais as conclusões são válidas.

Conforme resultados apresentados nos quadros do anexo A, a turbidez do afluente à instalação piloto registrada em todos os ensaios de filtração variou na faixa de 6 a 71 uT, permanecendo a maior parte do tempo abaixo de 30 uT. E a cor aparente variou na faixa de 75 a 425 uC.

Com relação ao pH foi observado que a água bruta apresentou, no período em que foi desenvolvida a pesquisa, valores na faixa de 6,5 e 8,0 e alcalinidade entre 8,5 e 23 mg/L CaCO₃. Após a adição de sulfato de alumínio na instalação piloto, o valor do pH permaneceu entre 5,68 e 7,18.

É importante considerar que as dosagens de coagulante utilizadas foram sempre determinadas antes da operação dos filtros a partir de ensaios de filtração em filtro de laboratório. Como pode ser observado nos Quadros A .1 a A .5, de maneira geral, nos ensaios de filtração, com a coagulação sendo feita adequadamente, as carreiras foram encerradas sempre ao ser atingida a perda de carga total de 2,04 m no filtro rápido descendente de areia, não sendo observada tendência à ocorrência do transpasse da turbidez. Tal comportamento independeu da taxa de filtração no filtro ascendente de pedregulho ser mais alta ou mais baixa. Ressalta-se, assim, a importância da coagulação na tecnologia da filtração direta ascendente em pedregulho e, conseqüentemente, a necessidade de um controle operacional constante e qualificado, utilizando-se filtro de laboratório para determinar a dosagem de coagulante necessária para cada variação da qualidade da água que ocorre em estações de tratamento.

As dosagens de coagulante utilizadas, variaram entre aproximadamente 6 e 11,5 mg/L.

Os valores absolutos indicados para as dosagens utilizadas na instalação piloto foram estimados a partir do balanço feito entre a concentração no tanque de preparo da solução, a vazão de água bruta na tubulação de alimentação do filtro ascendente de pedregulho e a vazão da bomba dosadora.

6.2. Variações dos parâmetros em função das mudanças nas taxas de filtração

Como foi descrito anteriormente, foram utilizadas diferentes taxas de filtração no filtro ascendente de pedregulho (FPA), compreendidas entre 12 e 115 m³/m² .d. As mudanças na taxa de filtração eram efetuadas alterando-se a vazão de entrada no filtro ascendente em pedregulho. Para maior segurança na manutenção da taxa de filtração, a vazão foi conferida várias vezes durante os ensaios, através do método volumétrico, utilizando-se um cronômetro digital e um frasco aferido.

6.2.1. Turbidez e Cor Aparente

Durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/2 . dia, a turbidez afluente ao filtro ascendente de pedregulho variou de 10,10 a 46,10 uT, sendo o valor máximo da saída de 3,33 uT. As eficiências mais frequentemente encontradas para a remoção de turbidez variaram entre 50 e 60% , com valores máximos chegando a 90 %.

A cor aparente variou de 92 a 297 uC no afluente, enquanto no efluente variou entre 2 e 16 uC. A eficiência máxima de remoção chegou a 96 % no filtro ascendente em pedregulho.

Para valores de turbidez no afluente entre 6,80 e 11,80 uT, foi registrado no efluente do filtro ascendente de pedregulho do ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia, valores variando entre 0,73 e 4,30 uT. A porcentagem de remoção foi da ordem de 64 %.

Conforme verifica-se no quadro A.2, todas as amostras de cor aparente no efluente do filtro ascendente de pedregulho, durante o ensaio 02, apresentaram valores entre 10 e 36 uC, para afluente entre 75 e 130 uC.

A turbidez da água bruta no ensaio 03, alcançou 71 uT, sendo no efluente do filtro ascendente de pedregulho, compreendida entre 2,76 e 4,27 uT, com mais de 80 % das amostras apresentando turbidez superior a 3,5 uT. Na Figura B.3 observa-se o efeito do amortecimento do pico de turbidez, que ocorreu com 28 horas de funcionamento do filtro, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m² . dia. Nesse ensaio a amostra coletada às 17:30 horas do dia 17/12/98, apresentou turbidez de 71 uT na água bruta, sendo reduzido para 4,27 uT no efluente do filtro ascendente em pedregulho, resultando eficiência de remoção superior a 90 %.

A cor aparente apresentou valores no efluente do filtro ascendente de pedregulho entre 8 e 17 uC, para valores no afluente entre 307 e 425 uC. Durante o pico no final da carreira, com valores de 425 uC no afluente, o efluente do filtro ascendente de pedregulho foi de 17 uC, resultando eficiência máxima de remoção da ordem de 95%.

Durante o ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m² . dia, os valores de turbidez no afluente variaram entre 24,30 e 29,20 uT, registrando-se no efluente do filtro ascendente de pedregulho, turbidez acima de 4,0 uT em 50 % das amostras. A eficiência de remoção de turbidez com maior frequência variou entre 75 e 89 %.

A cor aparente no afluente variou entre 151 e 253 uC, com mais de 60 % das amostras no efluente apresentando cor aparente inferior a 25 uC.

A turbidez de água bruta, durante o ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m² . dia, variou entre 17,10 e 36,80 uT, sendo que no efluente do filtro ascendente de pedregulho 60 % das amostras apresentaram valores inferiores a 4,0 uT. A eficiência máxima chegou a 77 %, com maiores frequências para as eficiências de remoção entre 60 e 70%.

A cor aparente variou entre 136 e 220 uC no afluente, enquanto no efluente do filtro ascendente de pedregulho os valores variaram entre 36 e 64 uC. O valor máximo de remoção foi de 76%.

Pela análise dos quadros do anexo A e das figuras do anexo B, verificou-se que, quando a qualidade da água bruta permanecia com pequenas variações, a eficiência do filtro ascendente de pedregulho para remoção de turbidez e de cor aparente apresentava uma certa constância nos valores, com pequenas tendências a melhorar com o tempo. Os menores valores de eficiência de remoção tanto de turbidez como de cor aparente, foram no início dos ensaios.

Nos gráficos de água bruta e do efluente do filtro ascendente de pedregulho para turbidez e cor aparente, apresentados nas figuras do anexo B, observa-se que o comportamento dos dois parâmetros foram similares durante os ensaios. Observa-se que picos de turbidez e cor aparente na água bruta foram seguidos por picos de menor intensidade no efluente do filtro ascendente de pedregulho em todos os ensaios realizados.

No dia 15/11/98, antes da realização do ensaio 02, procedeu-se a lavagem do filtro ascendente de pedregulho. O sistema foi paralisado e executadas descargas de fundo (vale notar que durante todos os ensaios, essa foi a única lavagem). Pode-se verificar nas figuras B.1 a B.5 que não houve variação dos parâmetros medidos, devido ao tempo em que o filtro ascendente de pedregulho ficou parado.

6.2.2 pH e Temperatura

Em relação ao pH, observou-se que durante todos os ensaios ele se manteve com valores bem próximos, com uma pequena tendência do pH do efluente do filtro ascendente de pedregulho apresentar valores ligeiramente inferiores ao da água bruta, conforme pode-se observar nos quadros do anexo A. A explicação do pH efluente ser menor é atribuída a injeção de coagulante na tubulação de água bruta.

A temperatura da água afluenta variou muito pouco no decorrer de cada ensaio. Com relação aos valores de temperatura indicados para os efluentes dos filtros, as pequenas diferenças observadas entre eles num mesmo horário, principalmente durante o dia, foram em geral inferiores a 0,5 C; e praticamente eles igualavam-se durante à noite. Como esperado, as quedas de temperatura da água eram acompanhadas por aumentos nas perdas de carga. E vice-versa, dependendo da temperatura ambiente do local onde se encontrava a instalação piloto, a temperatura da água no interior dos filtros se elevava causando uma estagnação ou às vezes até a queda nos níveis dos piezômetros que, em seguida, voltavam a crescer.

6.2.3. Perda de Carga e Duração da carreira de filtração

Conforme o Quadro C.1 observou-se que a variação da perda de carga no filtro ascendente de pedregulho, operado com taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, foi de 2 a 17 cm. A duração da carreira de filtração foi de 14 dias no ensaio 01, quando o encerramento da carreira, deu-se pela perda de carga limite de 2,02 m no filtro descendente de areia.

No ensaio 02, com taxa de filtração de $36 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, a perda de carga foi de 2 cm no primeiro dia e nos dias subsequentes aumentou para 6 cm e posteriormente para 9 cm, com tendência em permanecer com valores maiores que 9 cm até o final da carreira. Observou-se que a perda de carga inicial no ensaio 02 apresentou valor semelhante à perda de carga inicial do ensaio 01, devido a execução de descarga de fundo realizada no filtro ascendente, após ao término do ensaio 01. A carreira de filtração atingiu 46 horas e foi encerrada pela perda de carga limite no filtro descendente de areia.

Observou-se que no ensaio 03, a variação da perda de carga com o tempo de operação no filtro ascendente de pedregulho atingiu um valor máximo de 27,9 cm de perda de carga, para taxa de filtração de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$. O encerramento da carreira de filtração ocorreu com 41 horas, após o filtro descendente de areia ter atingido perda de carga de 2,02 m.

Na Figura D.4, é apresentada a perda de carga em função do tempo de operação do ensaio 04, com taxa de filtração de $90 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$. A perda de carga máxima no filtro ascendente em pedregulho foi de 57,3 cm. Observou-se que a duração da carreira de filtração, no ensaio 04, foi de 26 horas quando o filtro descendente de areia atingiu sua perda de carga limite.

No ensaio 05, o filtro ascendente de pedregulho operado com taxa de filtração de 115 m³/m² . dia, apresentou variação da perda de carga entre 54,3 e 61,4 cm, conforme visualiza-se na Figura D.5. O encerramento da carreira de filtração ocorreu com 21 horas de funcionamento do filtro descendente de areia.

De um modo geral comprovou-se que, ao longo das carreiras de filtração, os leitos filtrantes do filtro ascendente de pedregulho colmatou-se devido a retenção das partículas durante o tempo de operação, originando uma perda de carga que foi aumentando durante esse tempo, em todos os ensaios realizados.

Em relação à duração da carreira de filtração observou-se que foi mais longa quando o filtro ascendente de pedregulho trabalhou com menor taxa de filtração. Este fato também foi observado por CRUZ VELEZ et al.(1998).

6.2.4 Ferro Total e Manganês Total

Durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia, a concentração de ferro total no afluente variou entre 0,99 e 2,00 mg/L sendo que no efluente do filtro ascendente de pedregulho foram verificadas concentrações entre 0,2 e 0,4 mg/L. As eficiências de remoção resultavam entre 56 e 85 %, sendo as mais baixas verificadas quando o afluente apresentava valores baixos de concentração de ferro total.

A concentração de manganês total no afluente ao filtro ascendente de pedregulho variou de 0,025 a 0,11 mg/L, sendo alcançada eficiência máxima de remoção de 64 % no efluente.

A concentração de ferro total no ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia, foi sempre inferior a 0,15 mg/L no efluente do filtro ascendente de pedregulho, não ocasionando problemas no filtro descendente de areia. A eficiência máxima de remoção foi da ordem de 77 %.

A concentração de manganês total no afluente variou entre 0,05 e 0,2 mg/L, com mais de 50 % das amostras no efluente do filtro ascendente de pedregulho apresentando concentração de manganês total com valor inferior a 0,1 mg/L. Os valores mínimos e máximos de remoção variaram entre 0,03 e 0,06 mg/L.

Durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m² . dia, os valores mínimos e máximos de ferro total no afluente foram 1,2 e 2,10 mg/L, respectivamente, enquanto no efluente do filtro ascendente de pedregulho foram de 0,5 e 0,70 mg/L. Constata-se na Figura E.3 que, para valores altos de ferro total no afluente, a eficiência de remoção é bastante elevada, chegando até 70 %, porém em amostra que apresentou concentração menor de ferro total no afluente, a eficiência de remoção foi relativamente baixa.

Eficiência de remoção entre 33 e 56 % foram obtidas para manganês total no efluente do filtro ascendente de pedregulho, com valores no afluente variando entre 0,03 e 0,09 mg/L e no efluente entre 0,02 e 0,04 mg/L.

A eficiência de remoção de ferro total no ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m² . dia, atingiu valores entre 65 e 84 % no efluente do filtro ascendente de pedregulho. A concentração média foi inferior a 0,35 mg/L no efluente do filtro ascendente, para afluente com 1,52 mg/L.

A concentração máxima de manganês total no efluente do filtro ascendente de pedregulho foi menor que 0,021 mg/L para um valor máximo no afluente de 0,07 mg/L. A eficiência média de remoção foi da ordem de 45 % durante o ensaio 04.

De acordo com a Figura E.5, referente ao ensaio 05, a concentração de ferro total no efluente do filtro ascendente de pedregulho manteve-se abaixo de 0,36 mg/L, para afluentes abaixo de 2,46 mg/L. A eficiência máxima de remoção chegou a 86 %.

A concentração de manganês total no efluente manteve-se abaixo de 0,05 mg/L, para afluente abaixo de 0,1 mg/L. São evidentes na Figura E.10, as reduções de manganês total obtidas no efluente do filtro ascendente em pedregulho, podendo-se destacar sua maior eficiência de remoção quanto maior foi o valor de manganês total no afluente.

Nas Figuras E.1 a E.10 são mostrados que, quando ocorria pico de ferro total e manganês total no afluente, o valor de ferro total e manganês total no efluente acompanhava o mesmo, porém em menor magnitude. Também é importante ressaltar que quanto maior foi o tempo de operação no filtro ascendente de pedregulho maior foi a eficiência de remoção, quando a qualidade do afluente apresentava pequenas variações.

6.2.5 Coliformes Totais e Fecais

A concentração média de coliformes totais no afluente, durante o ensaio 01, foi de 1520 NMP/100mL enquanto no efluente do filtro ascendente de pedregulho os valores médios foram inferiores a 275 NMP/100mL. A eficiência média de remoção foi de 82 %. É evidente na Figura F.1, o alto grau de remoção alcançado no filtro ascendente de pedregulho, quando a concentração máxima na água bruta foi de 8604 NMP/100mL.

No ensaio 02, a concentração máxima de coliformes totais no afluente de 8164 NMP/100mL foi reduzida para 253 NMP/100mL no efluente do filtro ascendente em pedregulho, com eficiência de remoção de 97 %.

A remoção média do NMP de coliformes totais, durante o ensaio 03, foi inferior a 90 %, com valores máximos no efluente do filtro ascendente de pedregulho abaixo de 85 coliformes/100mL.

A concentração de coliformes totais no afluente, durante o ensaio 04, variou entre 118 e 488 NMP/100mL, enquanto no efluente do filtro ascendente em pedregulho a concentração máxima foi de 186 NMP/100mL.

Em termos globais, durante o ensaio 05, a eficiência média de remoção de coliformes totais foi de 81 % no efluente do filtro ascendente de pedregulho, com concentrações médias no efluente inferior a 4 NMP/100mL, revelando uma baixa contaminação na água bruta.

A variação de coliformes totais durante cada ensaio, é apresentada nas Figuras F.1 a F.5, nas quais percebe-se que o NMP de coliformes totais/ 100mL no efluente do filtro ascendente de pedregulho independe da taxa de filtração.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se dizer que para coliformes fecais o filtro ascendente de pedregulho, apresentou comportamento igual durante todos os ensaios. As maiores eficiências médias atingidas estiveram compreendidas entre 70 e 99 %. Esses resultados confirmam estudo realizado por CRUZ VELEZ et al. (1996), no qual o filtro ascendente de pedregulho teve remoção de coliformes fecais na faixa de 65 a 98 %.

6.2.6 Contagem de Partículas e Carbono Orgânico Total

Durante o ensaio 01, verificou-se que houve diferença significativa na remoção de partículas na faixa de tamanho médio entre 2 e 48 μm , com o filtro ascendente de pedregulho apresentando eficiência entre 39 e 98 %.

No ensaio 02, mais de 75 % das partículas no afluente possuíam tamanho médio de 2 e 4 μm . A eficiência média de remoção de partículas no filtro ascendente de pedregulho foi superior a 80 %.

No ensaio 03, observou-se que o filtro ascendente de pedregulho apresentou eficiência de remoção superior a 85 % para todos os tamanhos médios de partículas.

A eficiência de remoção no ensaio 04, variou entre 60 e 76 % para faixas de tamanho entre 2 e 48 μm no efluente do filtro ascendente em pedregulho.

No ensaio 05, a eficiência global variou entre 77 e 95 % para faixas de tamanho entre 2 e 48 μm na saída do filtro rápido descendente em areia.

Uma atenção especial deve ser dada à remoção de partículas com tamanho entre 4 a 12 μm , pois é nesta faixa que se encontram os cistos de *Giardia*. As porcentagens médias de remoção no filtro ascendente em pedregulho em todos os ensaios variaram, nesta faixa, entre 70 e 96 %.

Em algumas situações, pôde-se perceber uma diferença no comportamento do filtro rápido, com relação à eficiência apresentada. Porém, de maneira geral, a eficiência global do sistema (água bruta \rightarrow filtro rápido) foi praticamente a mesma, independentemente das taxas de filtração empregadas. Com isso, tornou-se possível admitir que o sistema investigado possibilitou remoção entre 80 a 95%, para partículas com tamanho variando entre 2 a 48 μm .

De um modo geral, o teor de carbono orgânico total (COT) na água bruta variou de 3,313 a 11,440 mg/l. Os valores médios de remoção de COT observados no filtro ascendente de pedregulho estiveram bastante próximas nos cinco ensaios realizados, variando entre 37 e 48 %.

As reduções no filtro descendente de areia sofreram pequenas variações nos diferentes ensaios. Os valores médios no efluente variaram entre 1 e 4 mg/L. Não foi possível tirar conclusões precisas à respeito da influência da taxa de filtração.

6.3. Características da água filtrada no FRD

De maneira geral, a qualidade da água produzida pelo filtro rápido descendente de areia, nos cinco ensaios, não apresentou diferenças significativas quanto à turbidez e a cor aparente. Especificamente, quanto aos valores de turbidez do efluente final, pode-se dizer que eles se enquadram dentro das exigências da Portaria 36/GM (1990) para qualidade de água de um sistema de abastecimento público.

Quando a qualidade da água bruta permaneceu com pequenas variações, a eficiência do filtro rápido descendente de areia para remoção de turbidez apresentou uma certa constância nos valores, com tendência a melhorar com o tempo, chegando ao final da carreira de filtração, com valores abaixo de 0,5 uT.

O filtro descendente de areia produziu efluente com valores de turbidez, na maior parte do tempo, independentemente da taxa de filtração e do afluente, entre 0,3 e 0,6 uT, sempre abaixo do máximo de 1 uT, preconizada pela Portaria 36/GM (1990).

Em nenhuma das carreiras de filtração realizadas, houve tendência para a ocorrência do transpasse da turbidez, ou seja, valores continuamente crescentes a partir de certo tempo de funcionamento. Um único caso anormal, em relação à turbidez do efluente, ocorreu no ensaio 03, com taxa de 60 m³/m² . dia no filtro ascendente de pedregulho (Figura B.3), pois faltando poucas horas para seu encerramento, a turbidez do afluente aumentou bruscamente de 47,2 para 71 uT, o que causou um aumento da turbidez do efluente, de 0,20 para 0,85 uT. Houve diminuição em seguida para 0,38 uT no final da carreira, o que não caracteriza o transpasse. Isso provavelmente ocorreu por problemas na coagulação da água bruta.

Em todos os ensaios realizados o encerramento das carreiras de filtração deu-se pela perda de carga limite de 2,02 m no filtro descendente de areia. A duração da carreira de filtração, foi de 14 dias, 46 horas, 41 horas, 26 horas e 21 horas, respectivamente nos ensaios 01, 02, 03, 04 e 05.

Com relação à qualidade bacteriológica da água, não foram observadas diferenças significativas entre ensaios: para turbidez da água bruta entre 6 e 71 uT e NMP de coliformes fecais por 100 mL de até 86, o NMP de coliformes por 100 mL esteve abaixo de 6, permanecendo consistentemente abaixo de 2 unidade. Assim, os efluentes do filtro descendente de areia em todos os ensaios realizados, apresentaram boa qualidade, condição apropriada à uma eficiente desinfecção. A concentração de coliformes totais no afluente, durante os ensaios de filtração, variou entre 13,6 a 8604 NMP/100mL, enquanto no efluente do filtro descendente de areia, a concentração variou entre 1 a 185 NMP/100mL.

O baixo nível de contaminação apresentado pela água bruta, na maioria dos ensaios, restringe estes resultados às condições da presente pesquisa, não permitindo uma generalização quanto à maior ou menor eficiência do filtro no controle de qualidade bacteriológica da água, sendo necessários outros estudos mais específicos para este fim.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados do trabalho realizado, conclui-se que:

- a) o filtro ascendente de pedregulho demonstrou capacidade de absorver picos de turbidez, para taxas de filtração de 12 a 115 m³/m² . dia e água bruta com turbidez menor que 71 uT;
- b) pequenas variações de turbidez foram freqüentemente acompanhadas de variações significativas no número de partículas ou na distribuição de tamanhos;
- c) a eficiência global do sistema com relação à remoção de partículas foi praticamente a mesma, independente da taxa empregada;
- d) a eficiência de remoção de ferro total e manganês total aumentou com a concentração desses metais no afluente, não apresentando variações significativas em função da taxa de filtração;
- e) a qualidade bacteriológica de efluente final não foi influenciada pela taxa de filtração;
- f) no início da carreira de filtração a eficiência de remoção de impurezas foi menor, e aumentou com o tempo de operação do filtro ascendente de pedregulho devido à retenção do material flocculento que permaneceu nos vazios da camada de pedregulho;

- g) a duração da carreira do filtro descendente de areia foi maior quando o filtro ascendente de pedregulho trabalhou com menor taxa de filtração;
- h) verificou-se que a perda de carga tinha tendência de crescer, conforme se aumentava a taxa de filtração;
- i) o filtro descendente de areia produziu efluente com turbidez sempre inferior a 1 uT, independente da qualidade da água bruta e da taxa empregada;
- j) para água bruta com qualidade variável de 6 a 71 uT, a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, ferro, manganês, coliformes totais e fecais, resultante no sistema de dupla filtração, foi praticamente a mesma, em todos os ensaios realizados.

8. RECOMENDAÇÕES

A partir da presente pesquisa considera-se importante fazer as seguintes recomendações:

- a) pesquisar a eficiência do sistema com a utilização de água com qualidade diferente, principalmente com relação à influência da taxa de filtração;
- b) desenvolver estudos semelhantes a este, com águas que apresentem alta turbidez e cor;
- c) testar o emprego de granulometrias diferentes no filtro ascendente de pedregulho;
- d) desenvolver um estudo sobre a frequência de execução de descargas de fundo, para avaliar detalhadamente sua influência no desempenho da unidade de filtração ascendente em pedregulho.

ANEXO A

Quadro A.1 - Característica da água bruta e dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa = 12 m³/m² . dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa = 250 m³/m² . dia) e dosagem de coagulante ao longo da carreira de filtração.
Ensaio 01 - De 22/10/98 a 05/11/98

Data dia/mês	Hora (h:min)	Tempo de Operação (h:min)	Dosagem Sulfato (mg/L)	Água Bruta					Filtro Ascendente de Pedregulho			Filtro Descendente de Areia		
				Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Temp. (C)	CaCO ₃ (mg/L)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH
22/Out.	16:00	0:00	7,8	15,10	152	7,22	23,5		3,33	15	6,97	0,68	11	
22/Out.	20:00	4:00	7,8	15,00	150	7,20	23,4	14,60	2,78	14	6,94	0,67	10	6,65
22/Out.	0:00	8:00	7,8	15,50	158	7,10	22,7	14,63	1,50	16	7,09	0,35	12	6,95
23/Out.	09:30	17:30	7,8	15,00	152				0,44	8		0,25	6	
23/Out.	14:00	22:00	7,8	15,40	141	8,00		14,82	0,80	8	7,20	0,35	7	7,20
23/Out.	18:00	26:00	7,8	15,30	133	7,61	22,5		0,74	7	7,12	0,44	8	7,17
23/Out.	22:00	30:00	7,8	12,80	122				0,66	8		0,61	8	
24/Out.	10:00	42:00	7,8	14,30	135				0,60	8		0,37	8	
24/Out.	14:00	46:00	7,8	13,70	142	7,20	22,4	15,60	0,56	9	7,16	0,27	9	6,47
24/Out.	18:30	50:30	7,8	12,30	117				0,28	2		0,35	2	
24/Out.	22:00	54:00	7,8	12,30	128				0,34	5		0,54	4	
25/Out.	11:00	67:00	7,8	14,70	131				0,33	4		0,28	4	
25/Out.	16:30	72:30	7,8	12,40	117	6,60	24,5	15,37	0,86	15	6,49	0,26	6	6,45
25/Out.	21:30	77:30	7,8	15,00	144				0,71	8		0,58	7	
26/Out.	10:00	90:00	7,8	14,80	150	7,20	24,6	17,40	0,64	11	6,63	0,29	10	6,43
26/Out.	14:30	94:30	7,8	12,90	137				0,31	5		0,24	4	
26/Out.	18:00	98:00	7,8	13,00	125				0,35	2		0,30	2	
26/Out.	22:00	102:00	7,8	13,70	112				0,39	4		0,31	3	
27/Out.	08:30	112:30	7,8	13,80	130				0,35	2		0,24	2	
27/Out.	12:30	116:30	7,8	13,20	128	7,00	21,6	15,95	0,38	5	6,55	0,35	5	6,65
27/Out.	16:30	120:30	7,8	13,90	142				0,37	3		0,33	3	
27/Out.	21:00	125:00	7,8	12,50	119				0,39	13		0,35	12	
28/Out.	09:00	137:00	7,8	14,70	134				0,34	4		0,30	3	
28/Out.	14:00	142:00	7,8	22,60	202	7,18	24,3	15,95	0,37	2	6,67	0,35	2	6,54
28/Out.	18:00	146:00	7,8	46,10	297				2,58	2		0,63	2	
28/Out.	21:30	149:30	7,8	29,00	230				1,28	2		0,30	2	
29/Out.	09:00	161:00	7,8	29,6	224				1,3	5		0,37	2	
29/Out.	13:30	165:30	7,8	30,60	262	7,80	20,5	15,08	0,44	4	7,20	0,32	3	7,00

Quadro A.1 (continuação) - Característica da água bruta e dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa = 12 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa = 250 m³/m². dia) e dosagem de coagulante ao longo da carreira de filtração. Ensaio 01 - De 22/10/98 a 05/11/98

Data dia/mês	Hora (h:min)	Tempo de Operação (h:min)	Dosagem Sulfato (mg/L)	Água Bruta					Filtro Ascendente de Pedregulho			Filtro Descendente de Areia		
				Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Temp. (C)	CaCO ₃ (mg/L)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH
29/Out.	17:30	169:30	7,8	23,90	195				0,69	7		0,32	3	
29/Out.	22:00	174:00	7,8	25,30	219				0,30	4		0,26	3	
30/Out.	08:45	185:20	7,8	20,60	189				0,35	3		0,29	3	
30/Out.	13:30	189:30	7,8	18,90	158	7,40	19,2	14,50	0,34	4	7,40	0,33	3	6,85
30/Out.	17:45	194:20	7,8	16,40	150				0,34	12		0,28	11	
30/Out.	22:00	198:00	7,8	16,20	148				0,33	10		0,37	11	
31/Out.	09:30	209:30	7,8	17,60	165				0,31	10		0,30	9	
31/Out.	14:00	214:00	7,8	15,40	132	7,20	19,3	18,27	0,62	2	6,83	0,35	2	6,73
31/Out.	19:30	219:30	7,8	15,30	130				0,38	9		0,30	8	
01/Nov.	09:20	233:30	7,8	14,60	134				0,34	4		0,21	3	
01/Nov.	14:00	238:00	7,8	13,50	131				0,34	4		0,23	4	
01/Nov.	18:30	242:30	7,8	13,00	120	7,00	21,9	16,82	0,38	3	6,79	0,29	2	6,67
01/Nov.	21:50	246:20	7,8	12,90	116				0,52	5		0,26	3	
02/Nov.	09:15	257:30	7,8	14,10	120	7,40	20,7	18,85	0,54	7	6,69	0,23	4	6,62
02/Nov.	15:30	263:30	7,8	11,40	107				0,78	14		0,28	7	
02/Nov.	19:00	267:00	7,8	11,40	106				0,75	12		0,30	7	
02/Nov.	22:00	270:00	7,8	11,60	107				0,62	10		0,31	6	
03/Nov.	08:45	281:20	7,8	11,40	127				0,43	5		0,26	4	
03/Nov.	13:30	285:30	7,8	11,30	106	7,20	26,6	18,27	0,47	21	7,03	0,28	8	6,87
03/Nov.	17:45	290:20	7,8	11,30	109				0,44	5		0,25	4	
03/Nov.	21:45	294:20	7,8	10,90	107				0,38	6		0,23	5	
04/Nov.	08:45	305:20	7,8	11,60	112				0,42	6		0,23	4	
04/Nov.	14:30	310:30	7,8	11,90	115	7,20	24,8	17,40	0,32	5	6,94	0,18	3	6,89
04/Nov.	18:20	314:30	7,8	11,30	113				0,33	6		0,23	5	
04/Nov.	22:30	318:30	7,8	14,20	143				0,32	7		0,29	6	
05/Nov.	09:30	329:30	7,8	12,50	102				0,44	2		0,21	2	
05/Nov.	14:00	334:00	7,8	10,10	92	6,90	27,1	15,95	0,32	5	6,78	0,29	2	6,70

Quadro A.2 - Característica da água bruta e dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa = 36 m³/m² . dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa = 250 m³/m² . dia) e dosagem de coagulante ao longo da carreira de filtração.
 Ensaio 02 - De 16/11/98 a 18/11/98

Data dia/mês	Hora (h:min)	Tempo de Operação (h:min)	Dosagem Sulfato (mg/L)	Água Bruta					Filtro Ascendente de Pedregulho			Filtro Descendente de Areia		
				Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Temp. (C)	CaCO ₃ (mg/L)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH
16/Nov.	06:45	0:00	6,1	6,80	75	7,28	22,1	16,82	4,30	35	7,13	0,71	30	7,10
16/Nov.	11:00	4:15	6,1	6,88	76				4,18	30		0,63	22	
16/Nov.	15:30	8:45	6,1	7,37	78	7,30	28,1	17,40	2,69	31	7,02	0,40	4	6,81
16/Nov.	19:00	12:15	6,1	9,60	84				2,57	28		0,35	4	
16/Nov.	00:00	17:15	6,1	10,30	107	7,15	27,0	14,30	1,57	22	7,10	0,33	7	7,09
17/Nov.	09:00	26:15	6,1	10,90	130	7,50	28,2	15,10	1,79	27	7,15	0,35	13	7,22
17/Nov.	12:30	29:45	6,1	10,00	121				1,04	16		0,29	11	
17/Nov.	16:30	33:45	6,1	11,00	125				0,77	11		0,26	8	
17/Nov.	20:30	37:45	6,1	11,80	97	7,45	30,6	17,16	0,73	10	7,32	0,21	4	7,26
18/Nov.	04:50	46:05	6,1	11,20	114	7,55	30,8	13,78	0,78	10	7,30	0,30	6	7,17

Quadro A.3 - Característica da água bruta e dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa = 60 m³/m² . dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa = 250 m³/m² . dia) e dosagem de coagulante ao longo da carreira de filtração.
 Ensaio 03 - De 16/12/98 a 18/12/98

Data dia/mês	Hora (h:min)	Tempo de Operação (h:min)	Dosagem Sulfato (mg/L)	Água Bruta					Filtro Ascendente de Pedregulho			Filtro Descendente de Areia		
				Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Temp. (C)	CaCO ₃ (mg/L)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH
16/Dez.	13:25	0:00	11,5	48,30	359	6,87	27,0	15,88	3,81	12	6,65	0,54	9	6,68
16/Dez.	18:30	5:05	11,5	49,80	363	6,81	26,5	15,95	3,84	14	6,60	0,57	10	6,56
16/Dez.	22:30	9:05	11,5	42,90	334				3,50	13		0,40	9	
17/Dez.	09:00	19:35	11,5	41,30	322	7,02	24,1	21,75	3,78	10	6,44	0,40	7	6,47
17/Dez.	13:00	23:35	11,5	47,20	378				3,56	13		0,21	8	
17/Dez.	17:30	28:05	11,5	71,00	425	7,16	24,5	22,67	4,27	17	6,92	0,85	12	6,87
17/Dez.	21:30	32:05	11,5	64,30	335				3,78	14		0,56	9	
18/Dez.	00:00	34:35	11,5	63,60	315				3,47	13		0,41	6	
18/Dez.	06:35	41:10	11,5	60,90	307	7,09	23,2	21,04	2,76	8	6,88	0,38	4	6,81

Quadro A.4 - Característica da água bruta e dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa = 90 m³/m² . dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa = 250 m³/m² . dia) e dosagem de coagulante ao longo da carreira de filtração.
 Ensaio 04 - De 21/12/98 a 22/12/98

Data dia/mês	Hora (h:min)	Tempo de Operação (h:min)	Dosagem Sulfato (mg/L)	Água Bruta					Filtro Ascendente de Pedregulho			Filtro Descendente de Areia		
				Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Temp. (C)	CaCO ₃ (mg/L)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH
21/Dez.	21:05	0:00	8,3	29,20	253	7,30	25,3	8,66	3,24	22	6,61	0,42	18	6,57
21/Dez.	00:00	2:55	8,3	28,60	249	7,33	25,0	8,70	3,30	21	6,68	0,40	16	6,55
22/Dez.	08:30	11:25	8,3	27,50	162	6,69	25,0	13,05	2,94	16	6,51	0,33	11	6,49
22/Dez.	12:45	16:10	8,3	26,80	151				4,13	20		0,31	10	
22/Dez.	17:15	20:40	8,3	27,00	187	7,14	24,8	12,90	5,23	26	6,73	0,41	10	6,64
22/Dez.	22:35	26:00	8,3	24,30	152				4,68	33		0,38	9	

Quadro A.5 - Característica da água bruta e dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa = 115 m³/m² . dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa = 250 m³/m² . dia) e dosagem de coagulante ao longo da carreira de filtração.
Ensaio 05 - De 28/12/98 a 29/12/98

Data dia/mês	Hora (h:min)	Tempo de Operação (h:min)	Dosagem Sulfato (mg/L)	Água Bruta					Filtro Ascendente de Pedregulho			Filtro Descendente de Areia		
				Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Temp. (C)	CaCO ₃ (mg/L)	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH	Turb. (uT)	Cor Ap. (uC)	pH
28/Dez.	14:10	0:00	8,1	19,50	155	6,87	26,1	19,98	3,77	38	6,44	0,33	12	6,41
28/Dez.	17:00	2:50	8,1	17,10	147	6,82	25,6	19,72	3,51	36	6,36	0,31	10	6,30
28/Dez.	21:30	7:20	8,1	17,40	136				3,49	41		0,30	9	
29/Dez.	08:45	18:35	8,1	36,80	220	6,51	23,0	17,11	5,12	64	6,39	0,36	14	6,35
29/Dez.	11:03	20:53	8,1	35,50	201	6,50	23,5	17,15	4,96	52	6,45	0,35	13	6,43



ANEXO B

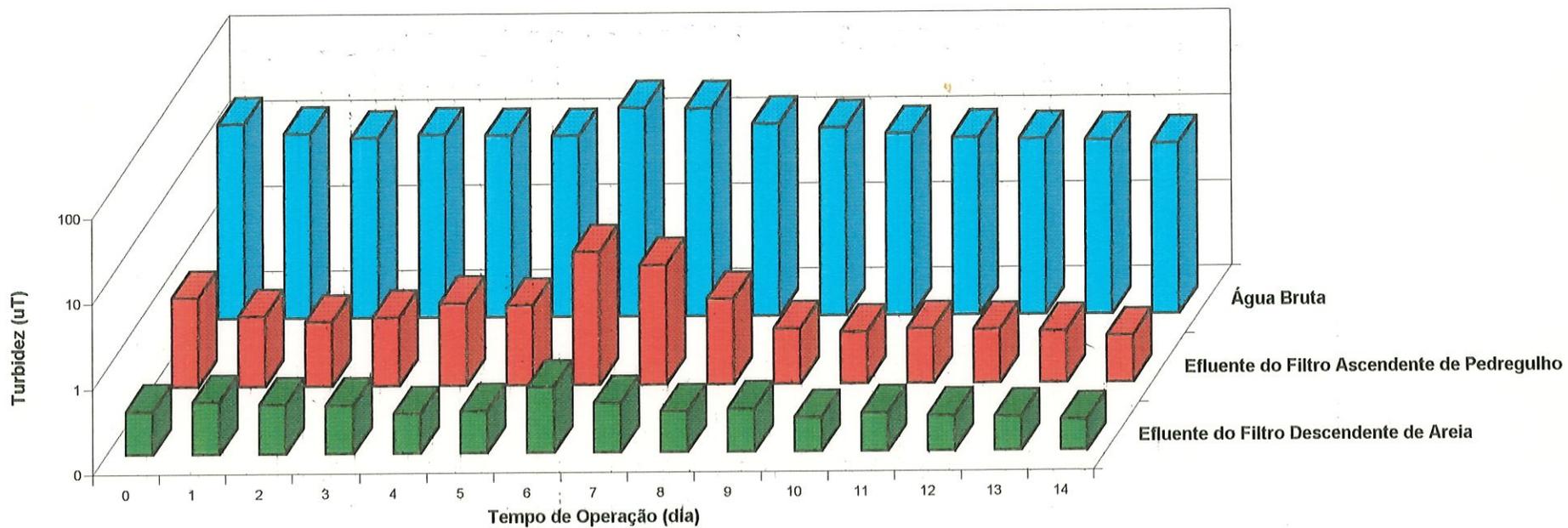


FIGURA B.1 - VARIÇÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 01, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 12 m³/m² . dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m² . dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

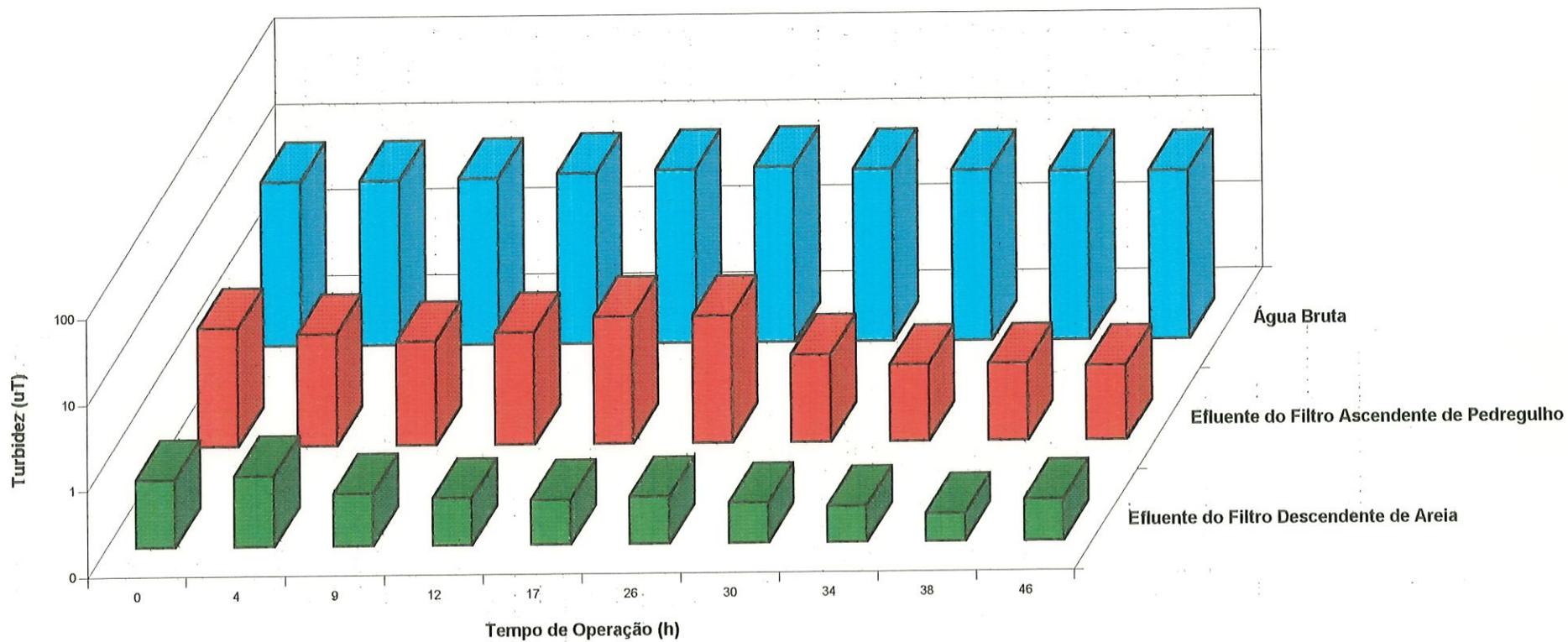


FIGURA B.2 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 02, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 36 m³/m² . dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m² . dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

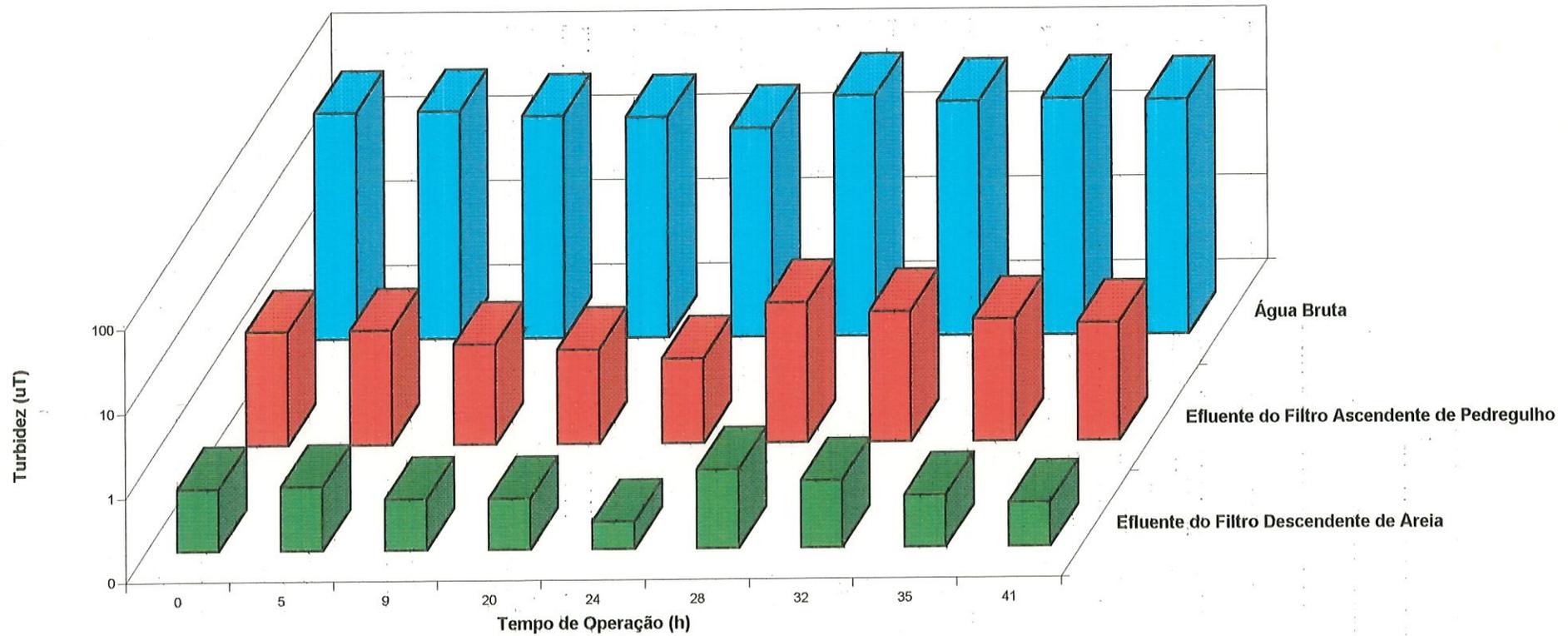


FIGURA B.3 - VARIACÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 03, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 60 m³/m² . dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m² . dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

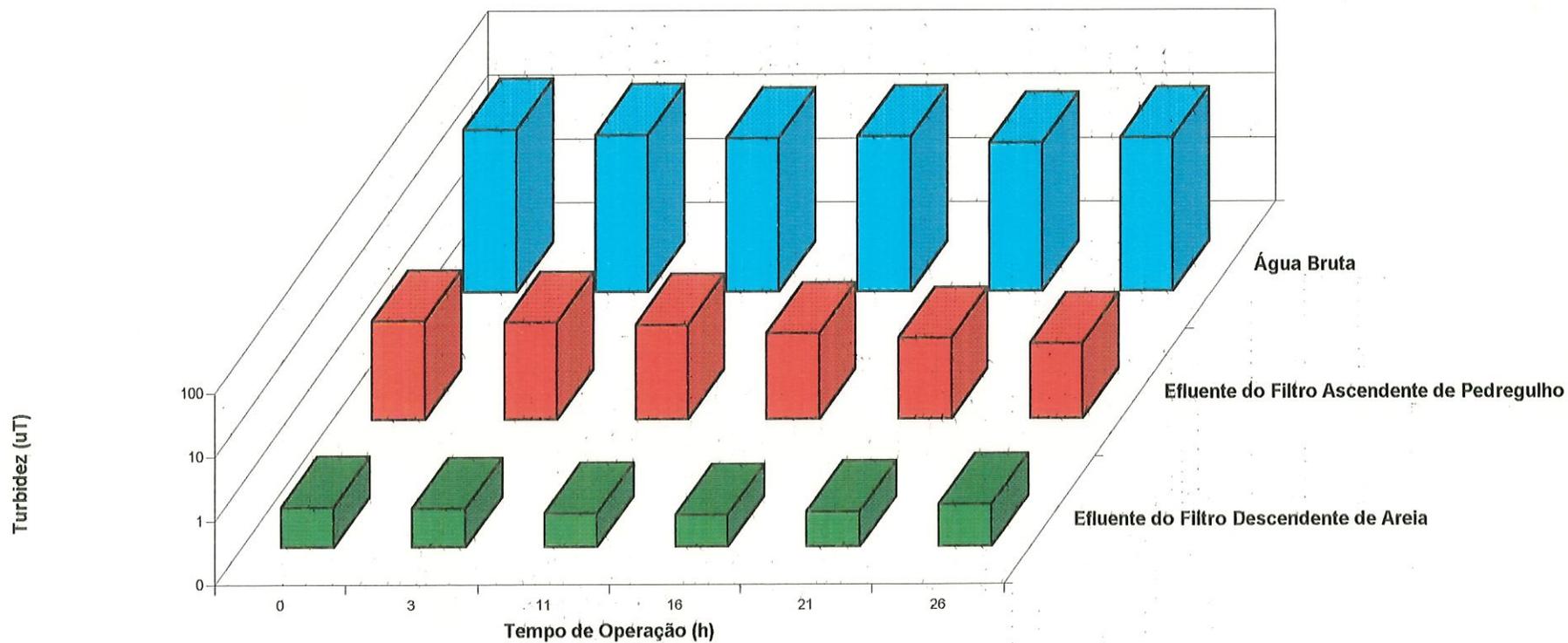


FIGURA B.4 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 04, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 90 m³/m² . dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m² . dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

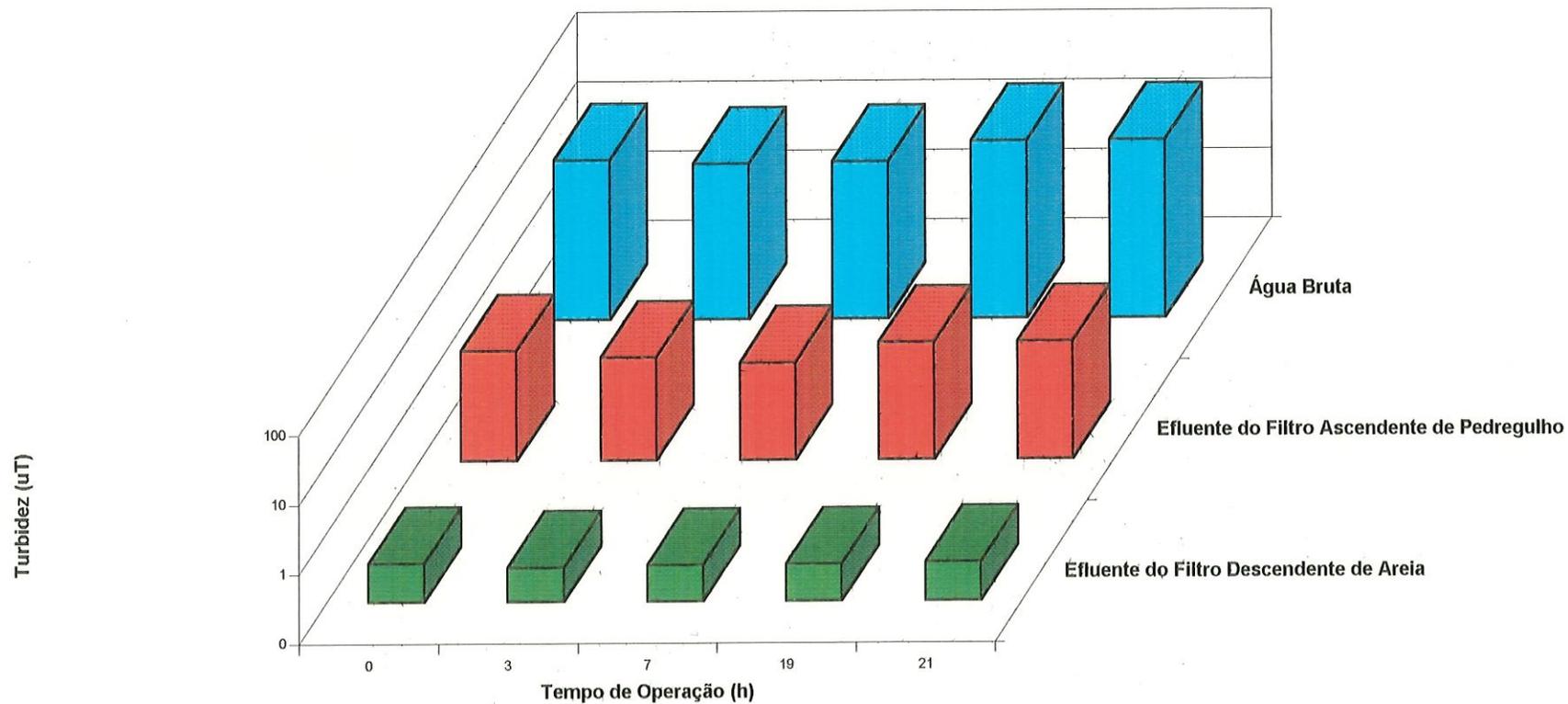


FIGURA B.5 - VARIAÇÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 05, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 115 m³/m² . dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m² . dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

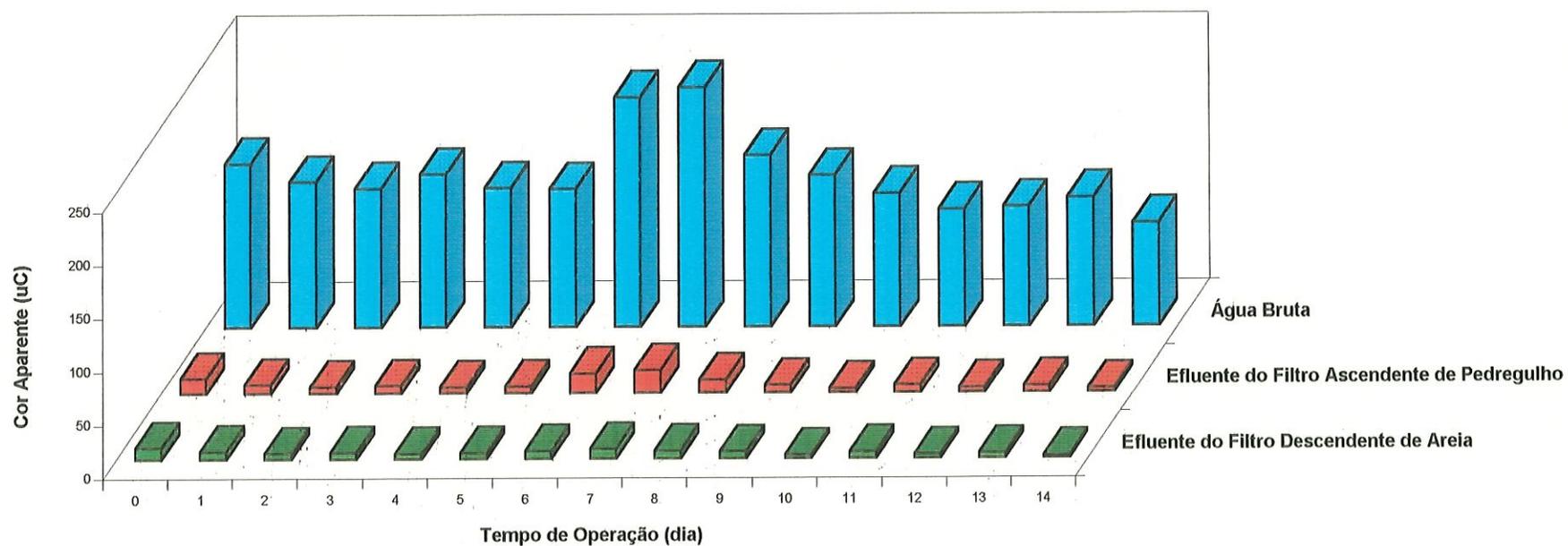


FIGURA B.6 - VARIÇÃO DA COR APARENTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 01, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 12 m³/m². dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m². dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

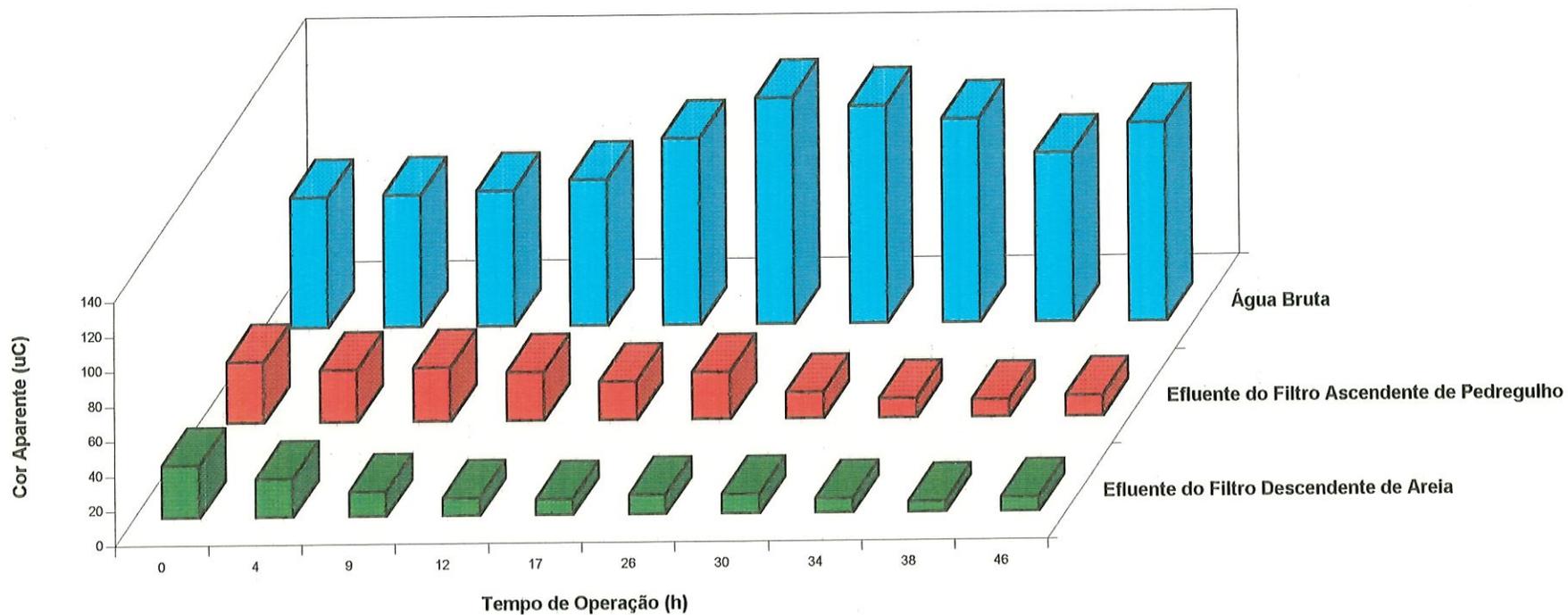


FIGURA B.7 - VARIÇÃO DA COR APARENTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 02, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 36 m³/m². dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m². dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

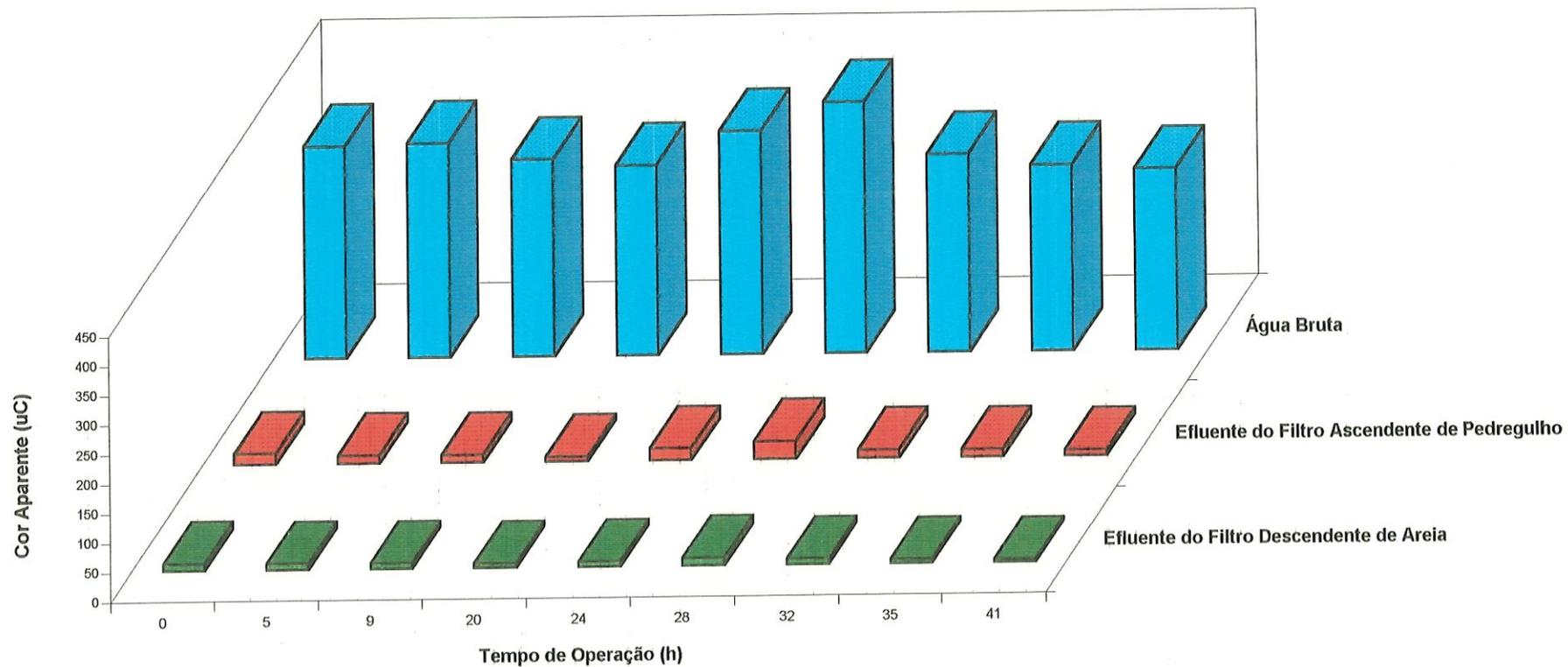


FIGURA B.8 - VARIACÃO DA COR APARENTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 03, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 60 m³/m². dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m². dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

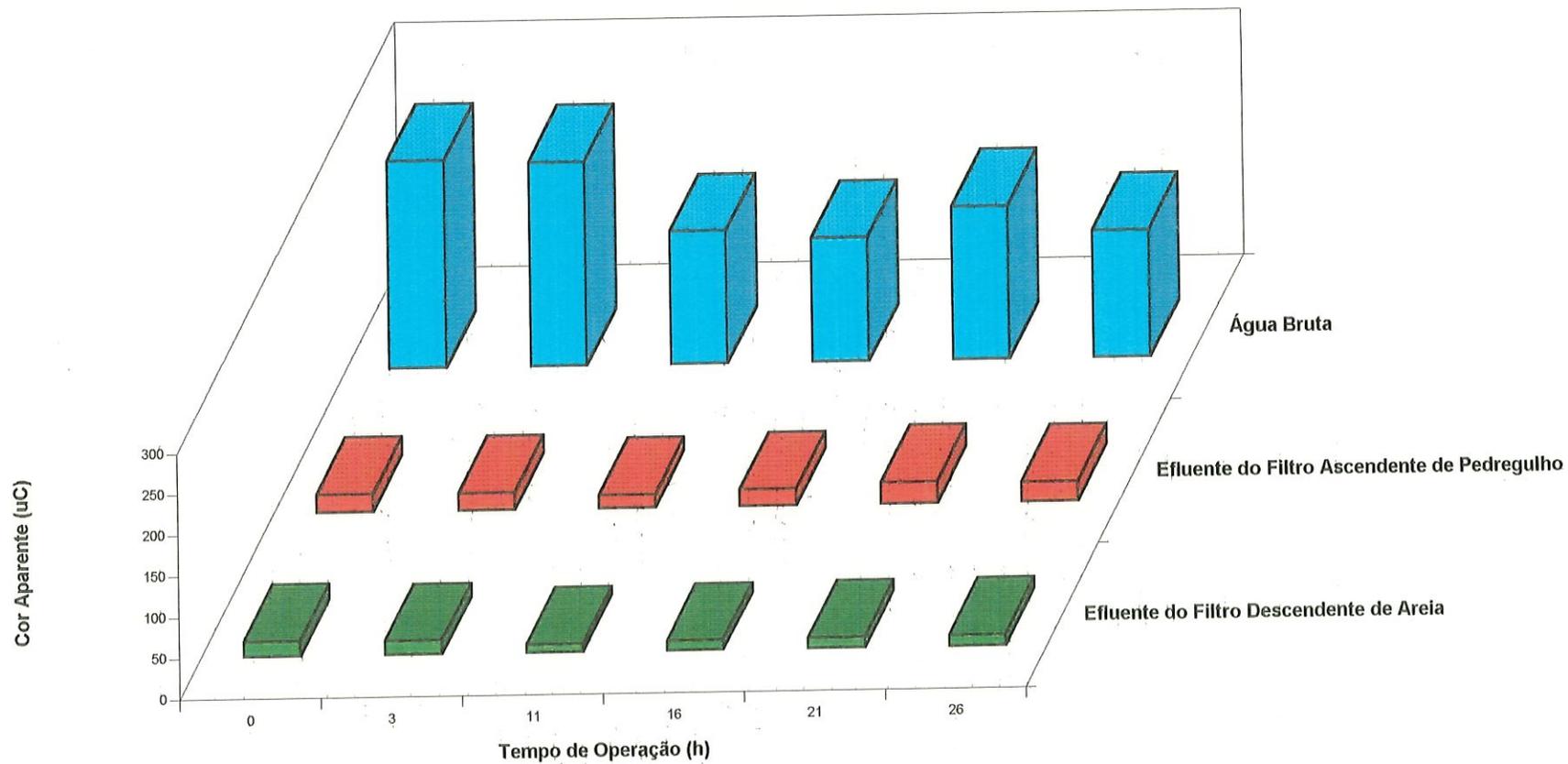


FIGURA B.9- VARIAÇÃO DA COR APARENTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 04, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 90 m³/m². dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m². dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

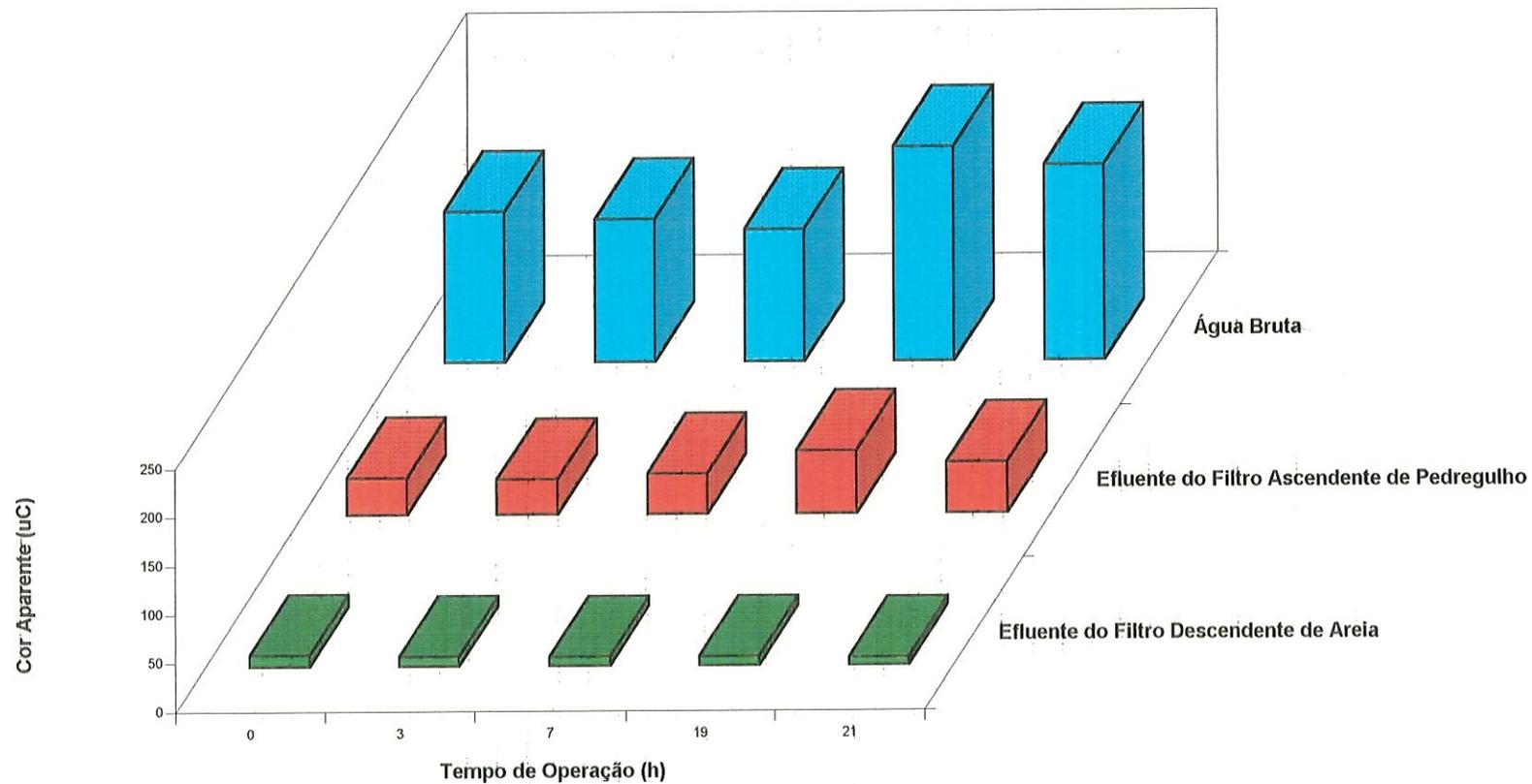


FIGURA B.10- VARIAÇÃO DA COR APARENTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO, DURANTE O ENSAIO 05, COM TAXA DE FILTRAÇÃO DE 115 m³/m². dia NO FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO E DE 250 m³/m². dia NO FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA

ANEXO C

Quadro C.1 - Filtro Ascendente de Pedregulho - Taxa de Filtração = 12 m³/m² . dia
 Ensaio 01 - De 22/10/98 a 05/11/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas			Perdas de Carga			Temp.
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	Camada de Pedregulho		Total	
						0 - 45	45 - 120		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)	
22/Out.	16:00	0:00	354,8	354,7	354,6	0,1	0,1	0,2	24,1
22/Out.	19:30	3:30	357,6	357,7	357,8	0,1	0,2	0,2	23,3
22/Out.	23:15	7:15	355,5	355,4	355,1	0,1	0,3	0,4	23,0
23/Out.	08:15	16:15	353,9	353,7	353,2	0,2	0,5	0,7	24,6
23/Out.	11:40	19:40	351,2	351,0	350,2	0,2	0,8	1,0	25,0
23/Out.	14:40	22:40	360,7	360,6	359,4	0,1	1,2	1,2	26,8
23/Out.	18:00	26:00	366,5	366,4	365,2	0,1	1,2	1,3	27,0
23/Out.	21:45	29:45	358,7	358,7	357,4	0,0	1,3	1,3	26,0
24/Out.	09:30	31:30	353,1	353,1	351,5	0,0	1,6	1,6	25,2
24/Out.	12:45	34:45	364,7	364,6	362,7	0,1	1,9	2,0	26,7
24/Out.	17:45	39:45	359,5	359,4	357,3	0,1	2,1	2,2	26,0
24/Out.	22:00	44:00	361,3	361,2	359,0	0,1	2,2	2,3	24,1
25/Out.	08:30	54:30	335,0	335,0	332,7	0,0	2,3	2,3	22,9
25/Out.	11:20	57:20	343,8	343,8	343,0	0,0	2,5	2,6	24,2
25/Out.	15:30	61:30	359,0	358,9	356,3	0,1	2,6	2,7	26,0
25/Out.	18:30	64:30	351,6	351,5	348,8	0,1	2,7	2,8	25,0
25/Out.	21:20	67:20	341,2	340,8	338,5	0,0	2,3	2,7	23,8
26/Out.	08:00	78:00	337,2	337,2	334,8	0,0	2,4	2,4	23,2
26/Out.	12:00	82:00	338,7	338,7	335,8	0,0	2,9	2,9	23,3
26/Out.	15:10	85:10	345,9	345,7	342,6	0,2	3,1	3,3	24,1
26/Out.	21:30	91:30	337,0	337,0	333,7	0,0	3,3	3,3	23,0
27/Out.	08:30	102:30	328,1	328,1	324,7	0,0	2,7	3,4	22,0
27/Out.	11:30	105:30	321,9	321,7	318,4	0,2	3,3	3,5	21,0
27/Out.	14:30	108:30	335,2	335,1	331,9	0,1	3,2	3,3	22,7
27/Out.	18:40	112:40	321,9	321,9	318,4	0,0	3,5	3,5	21,4

Quadro C.1 (continuação) - Filtro Ascendente de Pedregulho - Taxa de Filtração = 12 m³/m² . dia
 Ensaio 01 - De 22/10/98 a 05/11/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas			Perdas de Carga			Temp.
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	Camada de Pedregulho		Total	
						0 - 45	45 - 120		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)	
27/Out.	21:15	115:15	324,7	324,7	321,1	0,0	3,6	3,6	21,0
28/Out.	08:40	126:40	326,5	326,5	322,0	0,0	4,5	4,5	21,5
28/Out.	11:40	129:40	331,6	331,6	326,7	0,0	4,9	4,9	22,1
28/Out.	14:40	132:40	346,8	346,7	341,7	0,1	5,0	5,1	24,0
28/Out.	17:40	135:40	346,7	346,7	341,5	0,0	5,2	5,2	24,3
28/Out.	21:20	139:20	344,2	344,2	338,8	0,0	5,4	5,4	23,7
29/Out.	10:00	152:00	339,3	339,3	333,6	0,0	5,7	5,7	23,0
29/Out.	13:30	155:30	330,9	330,9	324,8	0,0	6,1	6,1	25,8
29/Out.	21:45	163:45	345,5	345,5	339,4	0,0	6,1	6,1	23,8
30/Out.	08:30	174:30	362,4	362,4	355,6	0,0	6,8	6,8	21,9
30/Out.	21:50	187:50	325,7	325,5	318,8	0,2	6,7	6,9	21,2
31/Out.	09:25	199:25	317,9	317,7	311,1	0,2	6,6	6,8	20,0
31/Out.	14:00	204:00	319,7	319,7	312,7	0,0	7,0	7,0	20,2
31/Out.	18:45	208:45	325,7	325,7	318,4	0,0	7,3	7,3	21,0
01/Nov.	09:20	223:20	319,5	319,5	311,4	0,0	8,1	8,1	20,0
02/Nov.	09:00	247:00	323,0	323,0	312,8	0,0	10,2	10,2	20,2
02/Nov.	15:45	253:45	350,8	350,7	340,3	0,1	10,4	10,5	24,0
03/Nov.	09:00	271:00	322,5	322,5	311,5	0,0	11,0	11,0	20,0
03/Nov.	13:40	275:40	342,2	342,1	329,8	0,1	12,3	12,3	22,5
04/Nov.	09:00	295:00	325,3	325,2	312,1	0,1	13,1	13,1	20,1
04/Nov.	18:30	304:30	352,5	352,4	338,0	0,1	14,4	14,4	23,5
05/Nov.	09:30	319:30	348,5	348,4	333,1	0,1	15,3	15,4	22,9
05/Nov.	16:00	326:00	375,0	374,7	358,0	0,3	16,7	17,0	26,0

Quadro C.2 - Filtro Rápido Descendente de Areia - Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia
 Ensaio 01 - De 22/10/98 a 05/11/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas					Perdas de Carga				Temp.	
								Camada de Areia					Total
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	PIEZ 4	PIEZ 5	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 70		
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)		
22/Out.	16:00	0:00	78,6	68,1	54,1	41,8	29,9	10,5	14,0	12,3	11,9	48,7	24,1
22/Out.	19:30	3:30	81,3	69,0	54,2	41,2	29,6	12,3	14,8	13,0	11,6	41,7	23,3
22/Out.	23:15	7:15	85,1	70,6	54,9	41,4	28,5	14,5	15,7	13,5	12,9	56,6	23,0
23/Out.	08:15	16:15	92,4	75,1	58,9	42,8	28,8	17,3	16,2	13,7	13,3	63,6	24,2
23/Out.	11:40	19:40	94,4	75,7	59,1	44,9	31,3	18,7	16,6	14,2	13,6	63,1	25,0
23/Out.	14:40	22:40	94,6	76,3	59,6	45,7	32,6	18,3	16,7	13,9	13,1	62,0	26,0
23/Out.	18:00	26:00	95,9	77,2	60,4	46,3	33,1	18,7	16,8	14,1	13,2	62,8	27,0
23/Out.	21:45	29:45	94,5	76,2	59,5	45,4	32,3	18,3	16,7	14,1	12,3	62,2	26,0
24/Out.	09:30	31:30	93,1	74,9	58,0	43,9	31,4	18,2	16,9	14,1	12,5	51,1	25,2
24/Out.	12:45	34:45	94,3	76,0	59,0	44,8	31,5	18,3	17,0	14,2	13,3	62,8	26,7
24/Out.	17:45	39:45	93,6	75,2	58,4	43,0	31,1	18,4	16,8	15,4	11,9	62,5	26,0
24/Out.	22:00	44:00	94,6	76,0	58,6	43,9	30,4	18,6	17,4	14,7	13,5	64,2	25,0
25/Out.	08:30	54:30	92,5	73,6	56,7	42,3	29,2	18,9	16,9	14,4	13,1	63,3	22,9
25/Out.	11:20	57:20	94,6	75,1	58,0	43,5	30,1	19,5	17,1	14,5	13,4	63,3	24,2
25/Out.	15:30	61:30	96,2	76,3	59,1	44,6	31,2	19,9	17,2	14,5	13,4	65,0	26,0
25/Out.	18:30	64:30	94,9	74,7	57,7	43,7	30,7	18,6	17,2	14,0	13,0	64,2	25,0
25/Out.	21:20	67:20	94,2	73,6	56,9	42,7	29,8	19,5	16,7	14,2	12,9	64,4	23,8
26/Out.	08:00	78:00	96,1	74,2	57,1	42,8	29,6	21,9	17,1	14,3	13,2	66,5	23,2
26/Out.	12:00	82:00	96,6	74,5	57,2	42,9	29,8	22,1	17,3	14,3	13,1	66,8	23,3
26/Out.	15:10	85:10	97,5	75,2	58,0	43,5	30,3	22,3	17,2	14,5	13,2	67,2	24,1
26/Out.	21:30	91:30	95,2	73,7	56,8	42,6	29,5	21,5	16,9	14,2	13,1	65,7	23,0

Quadro C.2 (continuação) - Filtro Rápido Descendente de Areia - Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia
 Ensaio 01 - De 22/10/98 a 05/11/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas					Perdas de Carga				Temp.	
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	PIEZ 4	PIEZ 5	Camada de Areia					Total
								0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 70		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)
27/Out.	08:30	102:30	94,1	72,7	55,6	41,3	28,1	21,4	17,1	14,3	13,2	66,0	22,0
27/Out.	11:30	105:30	91,2	70,8	54,2	40,4	27,6	20,4	16,6	13,8	12,8	63,6	21,0
27/Out.	14:30	108:30	94,3	73,5	56,3	42,0	28,7	20,8	17,2	14,3	13,3	65,6	22,7
27/Out.	18:40	112:40	92,3	71,7	54,8	40,7	27,7	20,6	16,9	14,1	13,0	64,6	21,4
27/Out.	21:15	115:15	92,9	71,8	54,8	40,4	27,5	21,1	17,0	14,4	12,9	65,4	21,0
28/Out.	08:40	126:40	94,4	72,4	55,1	40,7	28,5	22,0	17,3	14,4	12,2	65,9	21,5
28/Out.	11:40	129:40	95,0	73,0	55,5	41,1	27,8	22,0	17,5	14,4	13,3	67,2	22,1
28/Out.	14:40	132:40	96,9	74,9	57,2	42,6	29,2	22,0	17,7	14,6	13,4	67,7	24,0
28/Out.	17:40	135:40	95,6	74,3	56,8	42,4	29,0	21,3	17,5	14,4	13,4	66,6	24,0
28/Out.	21:20	139:20	95,3	74,1	56,6	42,1	28,9	21,2	17,5	14,5	13,2	66,4	23,7
29/Out.	10:00	152:00	95,1	74,1	56,4	41,8	28,5	21,0	17,7	14,6	13,3	66,6	23,0
29/Out.	13:30	155:30	98,0	76,7	58,7	43,9	30,0	21,3	18,0	14,8	13,9	68,0	25,8
29/Out.	21:45	163:45	94,1	73,6	56,5	41,9	28,9	20,5	17,1	14,6	13,0	65,2	23,8
30/Out.	08:30	174:30	93,7	72,8	55,3	40,9	27,5	20,9	17,5	14,4	13,4	66,2	21,9
30/Out.	14:00	180:00	94,4	73,1	55,5	41,0	27,8	21,3	17,6	14,5	13,2	66,6	22,1
30/Out.	18:08	184:08	93,6	72,1	56,6	40,2	27,2	21,5	15,5	16,4	13,0	66,4	21,0
30/Out.	21:50	187:50	95,6	73,1	55,3	40,7	27,2	22,5	17,8	14,6	13,5	68,4	21,2
31/Out.	09:25	199:25	96,3	72,0	54,4	39,8	26,5	24,3	17,6	14,6	13,3	69,8	20,0
31/Out.	14:00	204:00	97,4	72,3	54,6	40,0	26,6	25,1	17,7	14,6	13,4	70,8	20,2
31/Out.	18:45	208:45	97,7	73,3	55,6	40,7	27,1	24,4	17,7	14,9	13,6	70,6	21,0
31/Out.	23:45	213:45	99,2	72,2	54,4	39,8	26,5	27,0	17,8	14,6	13,3	72,7	20,0

Quadro C.2 - (continuação) - Filtro Rápido Descendente de Areia - Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia

Ensaio 01 - De 22/10/98 a 05/11/98

Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas					Perdas de Carga				Temp. (C)	
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	PIEZ 4	PIEZ 5	Camada de Areia					Total
								0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 70		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
01/Nov.	09:20	223:20	101,8	72,4	49,6	39,9	26,6	29,4	22,8	9,7	13,3	75,2	20,0
01/Nov.	14:30	228:30	104,9	73,5	56,4	41,5	28,0	31,4	17,1	14,9	13,5	76,9	22,1
01/Nov.	17:35	231:35	106,0	74,2	56,9	41,8	28,2	31,8	17,3	15,1	13,6	77,8	22,5
02/Nov.	09:00	247:00	133,0	73,3	54,9	40,2	26,7	59,7	18,4	14,7	13,5	106,3	20,2
02/Nov.	12:20	250:20	141,3	74,9	56,5	41,7	28,1	66,4	18,4	14,8	13,6	113,2	22,4
02/Nov.	15:45	253:45	159,5	76,8	58,1	43,1	29,2	82,7	18,7	15,0	13,9	130,3	24,0
02/Nov.	18:55	256:55	169,2	75,3	56,9	42,1	28,5	93,9	18,4	14,8	13,6	140,7	23,1
02/Nov.	22:20	260:20	170,6	73,5	55,3	40,6	27,3	97,1	18,2	14,7	13,3	143,3	21,0
03/Nov.	09:00	271:00	170,2	73,7	55,1	40,2	26,7	96,5	18,6	14,9	13,5	143,5	20,0
03/Nov.	13:40	275:40	179,1	75,5	56,8	41,9	28,1	103,6	18,7	14,9	13,8	151,0	22,5
03/Nov.	18:00	280:00	187,8	75,1	56,3	41,4	27,8	112,7	18,8	14,9	13,6	160,0	22,0
03/Nov.	21:45	283:45	185,2	73,4	54,8	40,0	26,7	111,8	18,6	14,8	13,3	158,5	20,0
04/Nov.	09:00	295:00	199,8	74,0	55,2	40,3	26,7	125,8	18,8	14,9	13,6	173,1	20,1
04/Nov.	14:40	300:40	210,4	77,1	57,6	42,6	28,2	133,3	19,5	15,0	14,4	182,2	23,2
04/Nov.	18:30	304:30	206,5	77,0	57,7	42,6	28,7	129,5	19,3	15,1	13,9	177,8	23,2
04/Nov.	22:30	308:30	199,7	75,6	56,3	41,5	27,8	124,1	19,3	14,8	13,7	171,9	22,0
05/Nov.	09:30	319:30	220,8	76,9	57,4	42,3	28,0	143,9	19,5	15,1	14,3	192,8	22,9
05/Nov.	14:15	324:15	233,4	79,8	60,0	44,5	30,3	153,6	19,8	15,5	14,2	203,1	25,8
05/Nov.	16:00	326:00	231,8	79,8	60,0	44,6	30,6	152,0	19,8	15,4	14,0	201,2	26,0

Quadro C.3 - Filtro Ascendente de Pedregulho - Taxa de Filtração = 36 m³/m² . dia

Ensaio 02 - De 16/11/98 a 18/11/98

Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas			Perdas de Carga			Temp. (C)
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	Camada de Pedregulho		Total	
						0 - 45	45 - 120		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
16/Nov.	06:45	0:00	329,8	329,7	329,6	0,1	0,1	0,2	21,5
16/Nov.	07:00	0:15	330,1	330,0	329,9	0,1	0,1	0,2	21,6
16/Nov.	12:00	5:15	353,1	352,6	351,9	0,5	0,7	1,2	27,0
16/Nov.	14:50	8:05	361,3	360,9	359,7	0,4	1,2	1,6	28,1
16/Nov.	23:50	17:05	355,7	355,3	353,4	0,4	1,9	2,3	25,2
17/Nov.	08:00	25:15	360,3	360,0	356,4	0,3	3,6	3,9	26,0
17/Nov.	12:00	29:15	370,8	370,2	365,1	0,6	5,1	5,7	29,5
17/Nov.	16:00	33:15	370,8	370,4	364,0	0,4	6,4	6,8	29,4
17/Nov.	20:50	38:05	366,2	365,7	358,4	0,5	7,3	7,8	27,0
18/Nov.	04:41	45:56	359,7	359,4	350,6	0,3	8,8	9,1	24,8

Quadro C.4 - Filtro Rápido Descendente de Areia - Taxa = 250 m³/m² . dia
 Ensaio 02 - De 16/11/98 a 18/11/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas					Perdas de Carga				Temp.	
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	PIEZ 4	PIEZ 5	Camada de Areia					Total
								0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 70		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)
16/Nov.	06:45	0:00	79,9	68,3	53,9	41,9	30,8	11,6	14,4	12,0	11,1	49,1	21,5
16/Nov.	07:00	0:15	80,0	66,3	51,6	39,3	27,8	13,7	14,7	12,3	11,5	52,2	21,6
16/Nov.	12:00	5:15	110,0	78,6	57,9	43,0	29,9	31,4	20,7	14,9	13,1	80,1	27,0
16/Nov.	14:50	8:05	131,2	80,3	59,2	43,9	30,6	50,9	21,1	15,3	13,3	100,6	28,1
16/Nov.	23:50	17:05	151,3	74,7	58,5	43,6	30,2	76,6	16,2	14,9	13,4	121,1	25,2
17/Nov.	08:00	25:15	166,4	77,8	59,8	44,3	30,5	88,6	18,0	15,5	13,8	135,9	26,0
17/Nov.	12:00	29:15	177,9	80,3	61,2	45,2	31,2	97,6	19,1	16,0	14,0	146,7	29,5
17/Nov.	16:00	33:15	194,9	80,6	61,4	45,2	31,2	114,3	19,2	16,2	14,0	163,7	29,4
17/Nov.	20:50	38:05	208,6	80,2	60,8	44,8	30,8	128,4	19,4	16,0	14,0	177,8	27,0
18/Nov.	04:41	45:56	231,2	79,2	59,8	43,9	29,9	152,0	19,4	15,9	14,0	201,3	24,8

Quadro C.5 - Filtro Ascendente de Pedregulho - Taxa de Filtração = 60 m³/m². dia

Ensaio 03 - De 16/12/98 a 18/12/98

Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas			Perdas de Carga			Temp.
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	Camada de Pedregulho		Total	
						0 - 45	45 - 120		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)
16/Dez.	13:25	0:00	362,4	362,2	353,3	0,2	8,9	9,1	28,1
16/Dez.	15:25	2:00	362,7	362,4	353,2	0,3	9,2	9,5	27,2
16/Dez.	17:55	4:30	363	362,6	352,8	0,4	10,5	10,2	26,7
16/Dez.	21:55	8:30	363,8	363,3	352,3	0,5	11	11,5	30,6
17/Dez.	08:55	19:30	364,6	364,0	352	0,6	12	12,6	24,0
17/Dez.	12:05	22:40	365	364,3	351,8	0,7	12,5	13,2	25,5
17/Dez.	15:20	25:55	379,3	378,5	363,8	0,8	4,7	15,5	24,5
17/Dez.	18:15	28:10	379,5	378,6	363,6	0,9	12,3	15,9	24,7
17/Dez.	22:10	32:05	380,9	379,8	364,2	1,1	15,6	16,7	23,8
18/Dez.	00:15	34:10	381,1	379,9	363,5	1,2	16,4	17,6	23,0
18/Dez.	06:35	40:30	378,2	376,9	357,8	1,3	19,1	20,4	23,2
18/Dez.	06:54	40:49	373,3	372,0	350,1	1,3	21,9	23,2	23,5

Quadro C.6 - Filtro Rápido Descendente de Areia - Taxa de Filtração = 250 m3/m2 . dia
 Ensaio 03 - De 16/12/98 a 18/12/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data (d/mm/a)	Hora (h:min)	Tempo de Operação (h:min)	Leituras Piezométricas					Perdas de Carga				Temp. (C)	
								Camada de Areia					Total (cm)
			PIEZ 1 (cm)	PIEZ 2 (cm)	PIEZ 3 (cm)	PIEZ 4 (cm)	PIEZ 5 (cm)	0 - 20 (cm)	20 - 40 (cm)	40 - 60 (cm)	60 - 70 (cm)		
16/Dez.	13:25	0:00	86,7	71,7	56,6	42,9	26,6	15,0	15,1	13,7	12,5	60,1	28,1
16/Dez.	15:25	2:00	99,9	72,3	57,1	43,2	30,6	21,6	15,2	13,9	12,6	69,3	27,2
16/Dez.	17:55	4:30	106,4	74,6	58,3	44,0	31,1	31,8	16,3	14,3	12,9	75,3	26,7
16/Dez.	21:55	8:30	117,0	74,8	58,0	43,6	30,6	42,2	16,8	14,4	13,0	86,4	30,6
17/Dez.	08:55	19:30	139,7	74,5	57,0	42,2	29,3	65,2	17,5	14,8	12,9	110,4	24,0
17/Dez.	12:05	22:40	150,1	76,9	59,9	43,7	30,2	73,2	17,0	16,2	13,5	119,9	25,5
17/Dez.	15:20	25:55	155,8	76,4	58,2	43,1	29,6	79,4	18,2	15,1	13,6	126,2	24,5
17/Dez.	18:15	28:10	163,8	77,0	58,3	43,2	29,7	86,8	18,7	15,1	13,5	134,1	24,7
17/Dez.	22:10	32:05	186,1	78,3	58,1	42,5	29,1	107,8	20,2	15,6	13,4	157,0	23,8
18/Dez.	00:15	34:10	193,3	78,9	57,7	42,2	28,6	114,4	21,2	15,5	13,6	164,7	23,0
18/Dez.	06:35	40:30	221,8	84,3	58,4	42,4	28,7	137,5	25,9	16,0	13,7	193,1	23,2
18/Dez.	06:54	40:49	230,5	89,5	63,0	46,7	28,9	141,0	26,5	16,3	17,8	201,6	23,5

Quadro C.7 - Filtro Ascendente de Pedregulho - Taxa de Filtração = 90 m³/m² . dia

Ensaio 04 - De 21/12/98 a 22/12/98

Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas			Perdas de Carga			Temp.
						Camada de Pedregulho		Total	
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	0 - 45	45 - 120		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)	
21/Dez.	21:10	0:00	384,1	382,9	360,9	1,2	22,0	23,2	26,7
21/Dez.	22:30	1:20	396,0	394,7	365,5	1,3	29,2	30,5	26,4
22/Dez.	00:22	2:58	398,4	396,1	362,9	2,3	33,2	35,5	26,1
22/Dez.	08:16	10:12	400,9	399,1	355,8	1,8	43,3	45,1	25,1
22/Dez.	11:17	13:13	410,8	409,1	361,8	1,7	47,3	49,0	25,9
22/Dez.	14:35	16:31	417,9	416,0	366,8	1,9	49,2	51,1	26,1
22/Dez.	17:51	19:47	418,2	416,2	366,1	2,0	50,1	52,1	26,9
22/Dez.	22:24	24:20	421,7	419,4	368,3	2,3	50,5	53,4	24,2
22/Dez.	23:56	25:52	425,9	423,2	371,6	2,7	51,6	54,3	24,8

Quadro C.8 - Filtro Rápido Descendente de Areia - Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia
 Ensaio 04 - De 21/12/98 a 22/12/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas					Perdas de Carga				Temp.	
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	PIEZ 4	PIEZ 5	Camada de Areia					Total
								0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 70		
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)
21/Dez.	21:10	0:00	88,5	67,3	51,1	39,9	30,9	21,2	16,2	11,2	9,0	57,6	26,7
21/Dez.	22:30	1:20	89,8	69,1	52,0	40,2	31,1	20,7	17,1	11,8	9,1	58,7	26,4
22/Dez.	00:22	2:58	99,1	69,1	51,9	40,0	30,9	30,0	17,2	11,9	9,1	68,2	26,1
22/Dez.	08:16	10:12	142,6	69,6	51,6	39,4	30,3	73,0	18,0	12,2	9,1	112,3	25,1
22/Dez.	11:17	13:13	162,1	70,4	52,0	39,8	30,8	91,7	18,4	12,2	9,0	131,3	25,9
22/Dez.	14:35	16:31	183,8	72,8	52,2	40,0	30,9	111,0	20,6	12,2	9,1	152,9	26,1
22/Dez.	17:51	19:47	208,1	76,9	53,3	40,8	31,5	131,2	23,6	12,5	9,3	176,6	26,9
22/Dez.	22:24	24:20	225,7	78,5	50,9	38,5	29,6	147,2	27,6	12,4	8,9	196,1	24,2
22/Dez.	23:56	25:52	234,4	83,4	54,3	41,6	32,6	151,0	29,1	12,7	9,0	201,8	24,8

Quadro C.9 - Filtro Ascendente de Pedregulho - Taxa de Filtração = 115 m³/m² . dia
 Ensaio 05 - De 28/12/98 a 29/10/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas			Perdas de Carga		Temp.	
			PIEZ 1	PIEZ 2	PIEZ 3	Camada de Pedregulho			
						0 - 45	45 - 120		Total
(d/m/aa)	(h:min)	(h:min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(C)	
28/Dez.	14:10	0:00	410,9	408,1	356,6	2,8	51,5	54,3	24,8
28/Dez.	15:17	1:07	413,2	410,5	357,6	2,7	52,9	55,6	24,9
28/Dez.	15:51	1:41	414,4	411,8	358,0	2,6	53,8	56,4	25,0
28/Dez.	17:32	3:22	419,7	417,5	361,7	2,2	55,8	58,0	25,5
28/Dez.	21:15	7:25	414,5	412,5	355,3	2,0	57,2	59,2	24,7
29/Dez.	08:30	18:40	401,1	396,8	341,5	4,3	55,3	59,6	23,0
29/Dez.	10:14	20:24	404,4	400,4	343,5	4,0	56,9	60,9	23,3
29/Dez.	10:33	20:43	406,8	402,9	345,4	3,9	57,5	61,4	23,5

Quadro C.10 -Filtro Rápido Descendente de Areia - Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia
 Ensaio 05 - De 28/12/98 a 29/12/98
 Valores de leitura piezométrica e de perda de carga em função do tempo de operação

Data	Hora	Tempo de Operação	Leituras Piezométricas					Perdas de Carga				Temp. (C)	
								Camada de Areia					Total (cm)
			PIEZ 1 (cm)	PIEZ 2 (cm)	PIEZ 3 (cm)	PIEZ 4 (cm)	PIEZ 5 (cm)	0 - 20 (cm)	20 - 40 (cm)	40 - 60 (cm)	60 - 70 (cm)		
28/Dez.	14:10	0:00	84,6	72,9	58,1	43,7	30,3	11,7	14,8	14,4	13,4	54,3	24,8
28/Dez.	15:17	1:07	87,6	73,3	58,4	43,8	30,4	14,3	14,9	14,6	13,4	57,2	24,9
28/Dez.	15:51	1:41	90,9	73,9	28,8	44,0	30,4	17,0	15,1	14,8	13,6	60,5	25,0
28/Dez.	17:32	3:22	100,7	74,8	59,4	44,3	30,7	25,9	15,4	15,1	13,6	70,0	25,5
28/Dez.	21:15	7:25	123,0	75,1	58,6	43,7	30,1	47,9	16,5	14,9	13,6	92,9	24,7
29/Dez.	08:30	18:40	210,6	87,8	59,1	42,3	28,9	122,8	28,7	16,8	13,4	181,7	23,0
29/Dez.	10:14	20:24	227,9	92,5	61,0	42,3	29,1	135,4	31,5	18,7	13,2	198,8	23,3
29/Dez.	10:33	20:43	233,0	96,9	64,0	45,0	31,5	136,1	32,9	19,0	13,5	201,5	23,5

Quadro C.11 - Parâmetros da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho e do Filtro Rápido Descendente de Areia, medidos uma vez por dia, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia.

Parâmetro	Data	Água Bruta	Filtro Ascendente de Pedregulho	Filtro Descendente de Areia
Ferro Total (mg/L)	22/Out.	1,00	0,25	0,20
	24/Out.	2,00	0,30	0,10
	26/Out.	1,72	0,3	0,07
	28/Out.	1,28	0,2	0,1
	30/Out.	1,48	0,3	0,09
	01/Nov.	1,6	0,3	0,08
	03/Nov.	1,75	0,25	0,09
	05/Nov.	0,99	0,4	0,1
Manganês Total (mg/L)	22/Out.	0,050	0,035	0,020
	24/Out.	0,110	0,030	0,010
	26/Out.	0,070	0,040	0,025
	28/Out.	0,025	0,021	0,030
	30/Out.	0,029	0,018	0,028
	01/Nov.	0,027	0,016	0,027
	03/Nov.	0,030	0,015	0,029
	05/Nov.	0,026	0,017	0,018
Coliformes Totais (NMP/100mL)	22/Out.	980,4	495	6,3
	24/Out.	224,7	63	4,1
	26/Out.	181	13,1	2
	28/Out.	244,2	80	3
	30/Out.	8604	798	185
	01/Nov.	650	276	4
	03/Nov.	882	401	5
	05/Nov.	387	49	3
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	22/Out.	63,1	2	< 1
	24/Out.	< 1	< 1	< 1
	26/Out.	< 1	< 1	< 1
	28/Out.	86,0	10,0	2,0
	30/Out.	80,9	7,1	< 1
	01/Nov.	< 1	< 1	< 1
	03/Nov.	< 1	< 1	< 1
	05/Nov.	74,0	3,0	< 1

Quadro C.11 (continuação) - Parâmetros da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho e do Filtro Rápido Descendente de Areia medidos uma vez por dia, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia.

Parâmetro	Data	Água Bruta	Filtro Ascendente de Pedregulho	Filtro Descendente de Areia
Cor Verdadeira (uC)	22/Out.	35	3	2
	24/Out.	46	2	1
	26/Out.	29	4	2
	28/Out.	27	1	1
	30/Out.	141	5	2
	01/Nov.	38	8	4
	03/Nov.	27	1	1
	05/Nov.	20	1	1
Carbono Orgânico Total (mg/L)	22/Out.	3,930	3,105	2,166
	24/Out.	3,641	2,455	1,201
	26/Out.	10,330	5,006	2,480
	28/Out.	7,038	3,260	3,505
	30/Out.	4,326	3,403	1,028
	01/Nov.	3,483	3,296	3,115
	03/Nov.	3,313	2,765	1,311
	05/Nov.	7,410	3,511	1,833

Quadro C.12 - Parâmetros da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho e do Filtro Rápido Descendente de Areia, medidos uma vez por dia, durante o ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia.

Parâmetro	Data	Água Bruta	Filtro Ascendente de Pedregulho	Filtro Descendente de Areia
Ferro Total (mg/L)	16/Nov.	0,14	0,06	0,02
	17/Nov.	0,23	0,08	0,02
	18/Nov.	0,6	0,14	0,03
Manganês Total (mg/L)	16/Nov.	0,2	0,06	0,016
	17/Nov.	0,1	0,04	0,025
	18/Nov.	0,05	0,03	0,02
Coliformes Totais (NMP/100mL)	16/Nov.	8164,0	253,4	7,8
	17/Nov.	2098,0	121,1	6,3
	18/Nov.	1095	14,8	2
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	16/Nov.	45,0	2,0	1,0
	17/Nov.	20,0	< 1	< 1
	18/Nov.	11	< 1	< 1
Cor Verdadeira (uC)	16/Nov.	18	5	1
	17/Nov.	19	9	2
	18/Nov.	24	1	1
Carbono Orgânico Total (mg/L)	16/Nov.	7,707	3,136	0,672
	17/Nov.	4,925	3,517	2,237
	18/Nov.	4,892	2,379	1,450

Quadro C.13 - Parâmetros da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho e do Filtro Rápido Descendente de Areia, medidos uma vez por dia, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m² . dia.

Parâmetro	Data	Água Bruta	Filtro Ascendente de Pedregulho	Filtro Descendente de Areia
Ferro Total (mg/L)	16/Dez.	1,52	0,60	0,18
	17/Dez.	2,10	0,70	0,20
	18/Dez.	1,2	0,5	0,2
Manganês Total (mg/L)	16/Dez.	0,090	0,040	0,010
	17/Dez.	0,030	0,020	0,010
	18/Dez.	0,040	0,030	0,015
Coliformes Totais (NMP/100mL)	16/Dez.	378,4	83,6	51,7
	17/Dez.	410,6	53,1	35,0
	18/Dez.	521,6	46,2	28,8
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	16/Dez.	55,6	6,3	3,0
	17/Dez.	21,8	4,0	1,0
	18/Dez.	9,8	2,3	< 1
Cor Verdadeira (uC)	16/Dez.	48	1	1
	17/Dez.	106	5	4
	18/Dez.	31	1	1
Carbono Orgânico Total (mg/L)	16/Dez.	11,440	3,236	0,551
	17/Dez.	5,547	2,171	2,113
	18/Dez.	4,187	3,149	1,246

Quadro C.14 - Parâmetros da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho e do Filtro Rápido Descendente de Areia, medidos uma vez por dia, durante o ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m² . dia.

Parâmetro	Data	Água Bruta	Filtro Ascendente de Pedregulho	Filtro Descendente de Areia
Ferro Total (mg/L)	21/Dez.	1,15	0,40	0,23
	22/Dez.	1,88	0,30	0,15
Manganês Total (mg/L)	21/Dez.	0,030	0,020	0,013
	22/Dez.	0,070	0,035	0,020
Coliformes Totais (NMP/100mL)	21/Dez.	488,4	186,0	5,2
	22/Dez.	118,7	6,3	2,0
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	21/Dez.	30,1	5,0	1,5
	22/Dez.	1,0	< 1	< 1
Cor Verdadeira (uC)	21/Dez.	25	11	9
	22/Dez.	74	6	5
Carbono Orgânico Total (mg/L)	21/Dez.	3,964	2,584	1,088
	22/Dez.	7,679	4,062	3,739

Quadro C.15 - Parâmetros da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho e do Filtro Rápido Descendente de Areia, medidos uma vez por dia, durante o ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m² . dia.

Parâmetro	Data	Água Bruta	Filtro Ascendente de Pedregulho	Filtro Descendente de Areia
Ferro Total (mg/L)	28/Dez.	1,87	0,30	0,17
	29/Dez.	2,45	0,35	0,12
Manganês Total (mg/L)	28/Dez.	0,030	0,020	0,010
	29/Dez.	0,090	0,040	0,015
Coliformes Totais (NMP/100mL)	28/Dez.	13,6	4,0	1,0
	29/Dez.	24,2	3,0	2,0
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	28/Dez.	7,0	2,0	< 1
	29/Dez.	8,0	2,5	1,3
Cor Verdadeira (uC)	28/Dez.	61	9	6
	29/Dez.	98	20	10
Carbono Orgânico Total (mg/L)	28/Dez.	4,156	3,672	3,475
	29/Dez.	3,923	3,047	2,930

ANEXO D

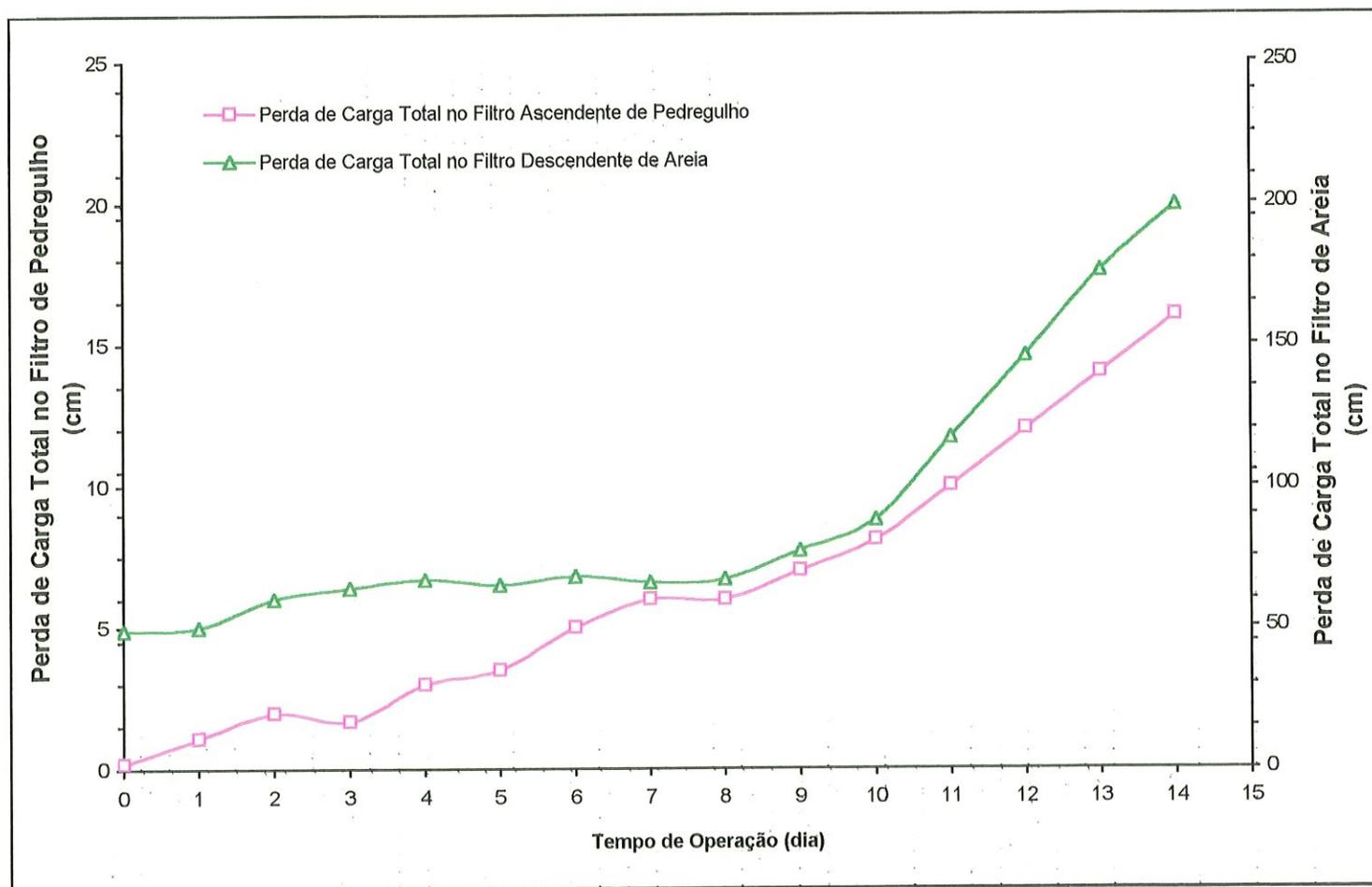


FIGURA D.1 - VARIACÃO DA PERDA DE CARGA TOTAL NOS FILTROS DURANTE A CARREIRA DE FILTRAÇÃO ENSAIO 01 - INSTALAÇÃO PILOTO CONSTITUÍDA DE FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO (TAXA = 12 m³/m² . dia) E FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA (TAXA = 250 m³/m² . dia)

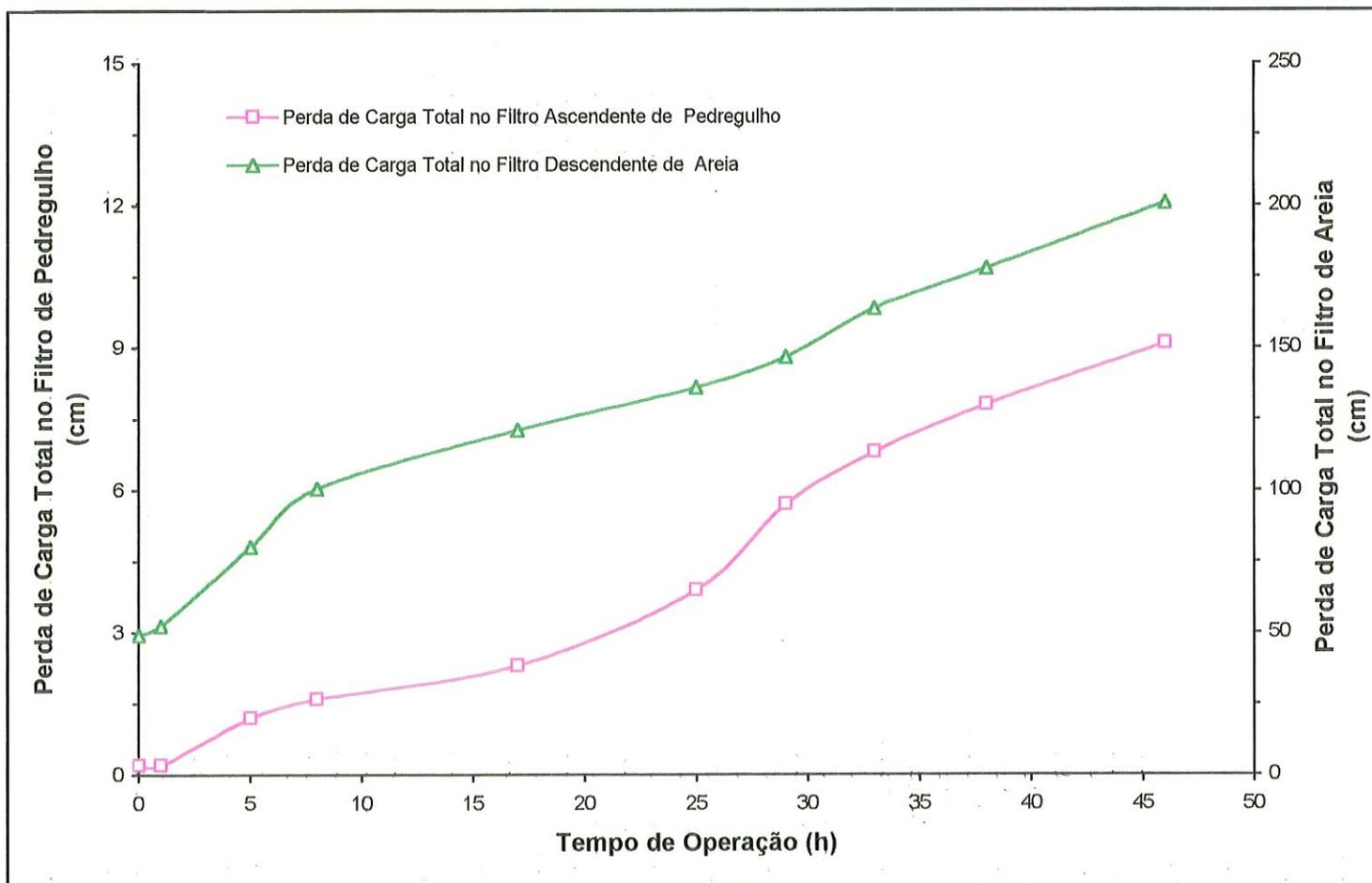


FIGURA D.2 - VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA TOTAL NOS FILTROS DURANTE A CARREIRA DE FILTRAÇÃO
 ENSAIO 02 - INSTALAÇÃO PILOTO CONSTITUÍDA DE FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO
 (TAXA = 36 m³/m² . dia) E FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA (TAXA = 250 m³/m² . dia)

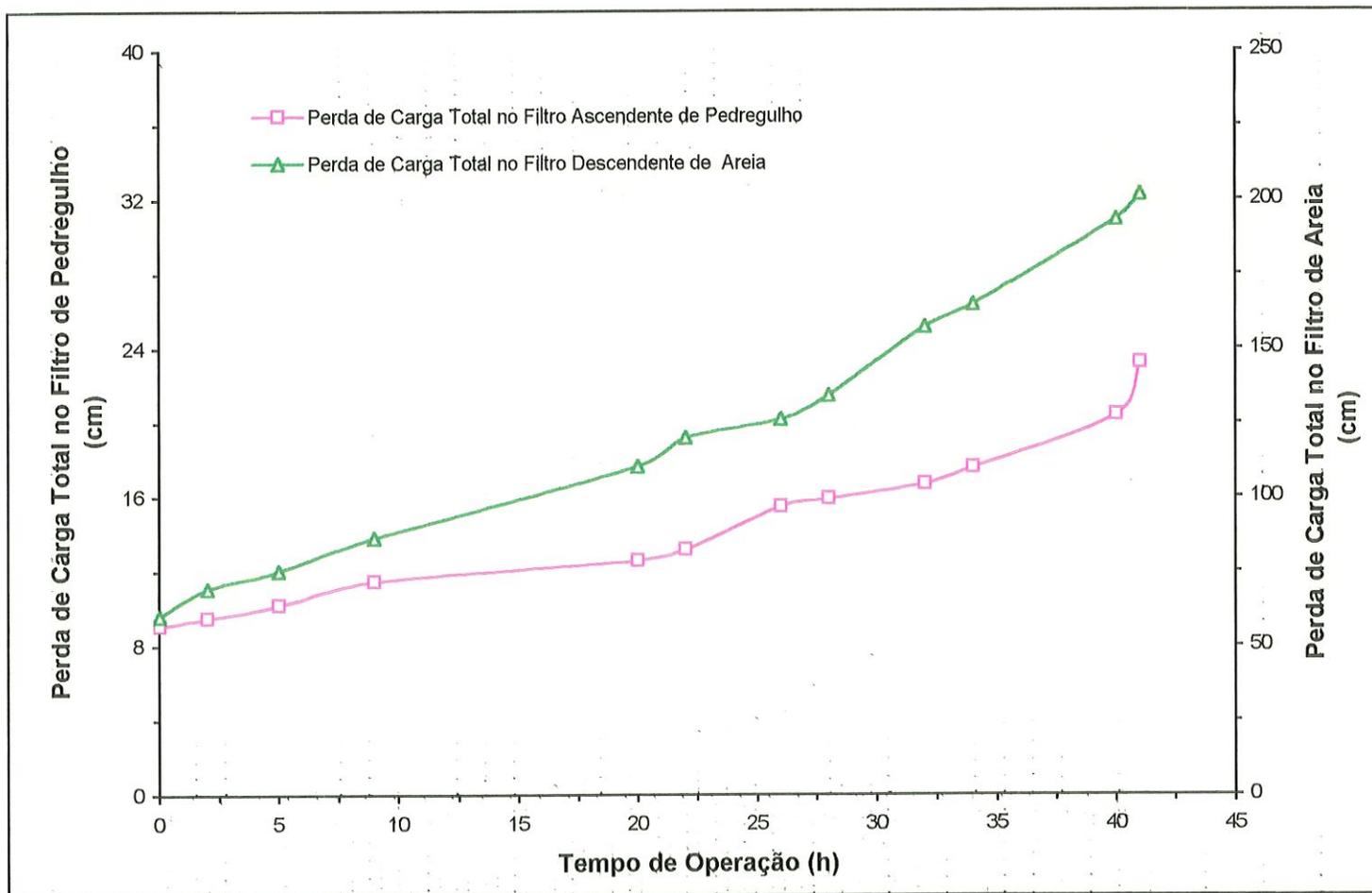


FIGURA D.3 - VARIACÃO DA PERDA DE CARGA TOTAL NOS FILTROS DURANTE A CARREIRA DE FILTRAÇÃO
 ENSAIO 03 - INSTALAÇÃO PILOTO CONSTITUÍDA DE FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO
 (TAXA = 60 m³/m² . dia) E FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA (TAXA = 250 m³/m² . dia)

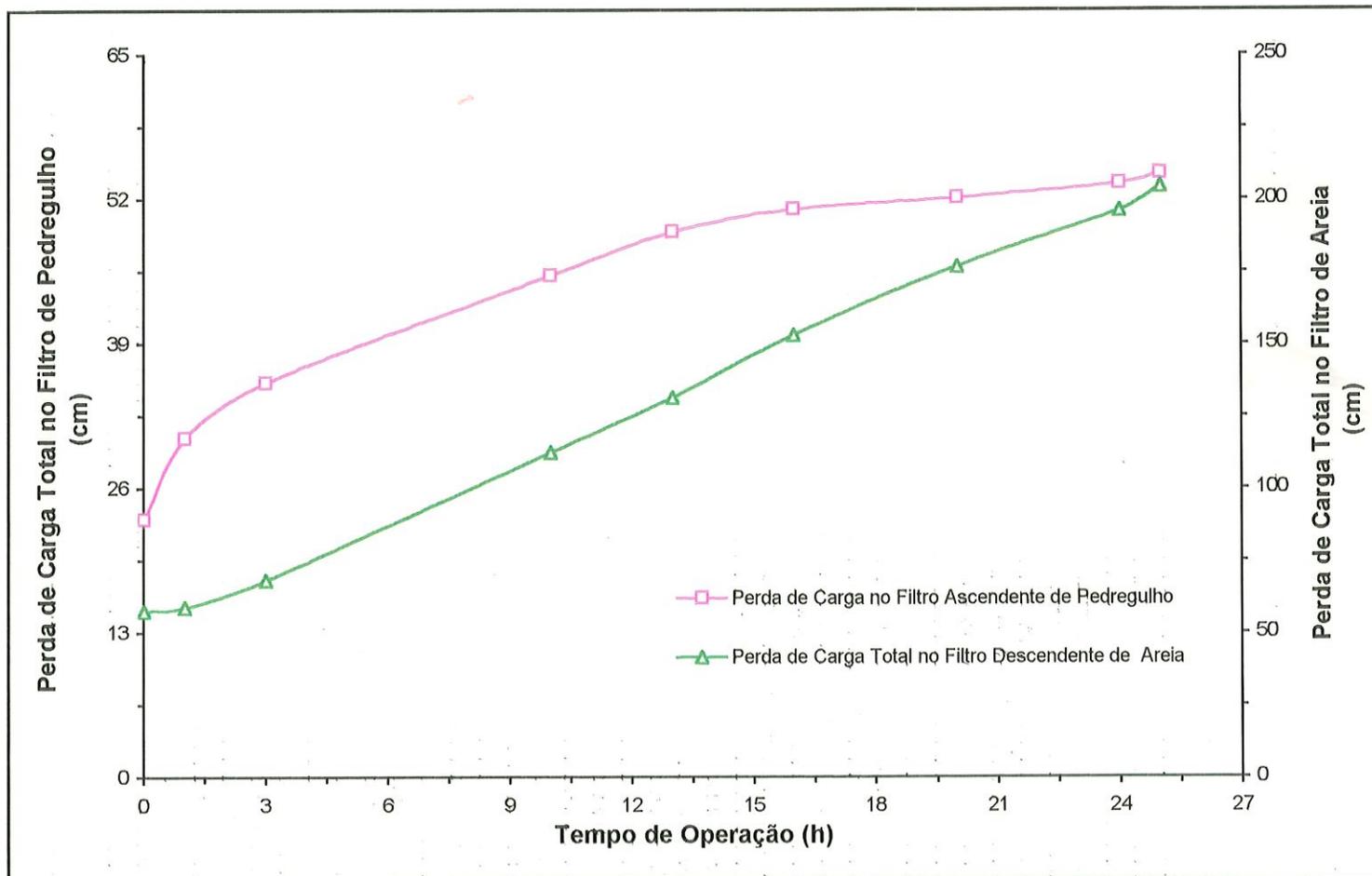


FIGURA D.4 - VARIACÃO DA PERDA DE CARGA TOTAL NOS FILTROS DURANTE A CARREIRA DE FILTRAÇÃO
 ENSAIO 04 - INSTALAÇÃO PILOTO CONSTITUÍDA DE FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO
 (TAXA = 90 m³/m². dia) E FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA (TAXA = 250 m³/m². dia)

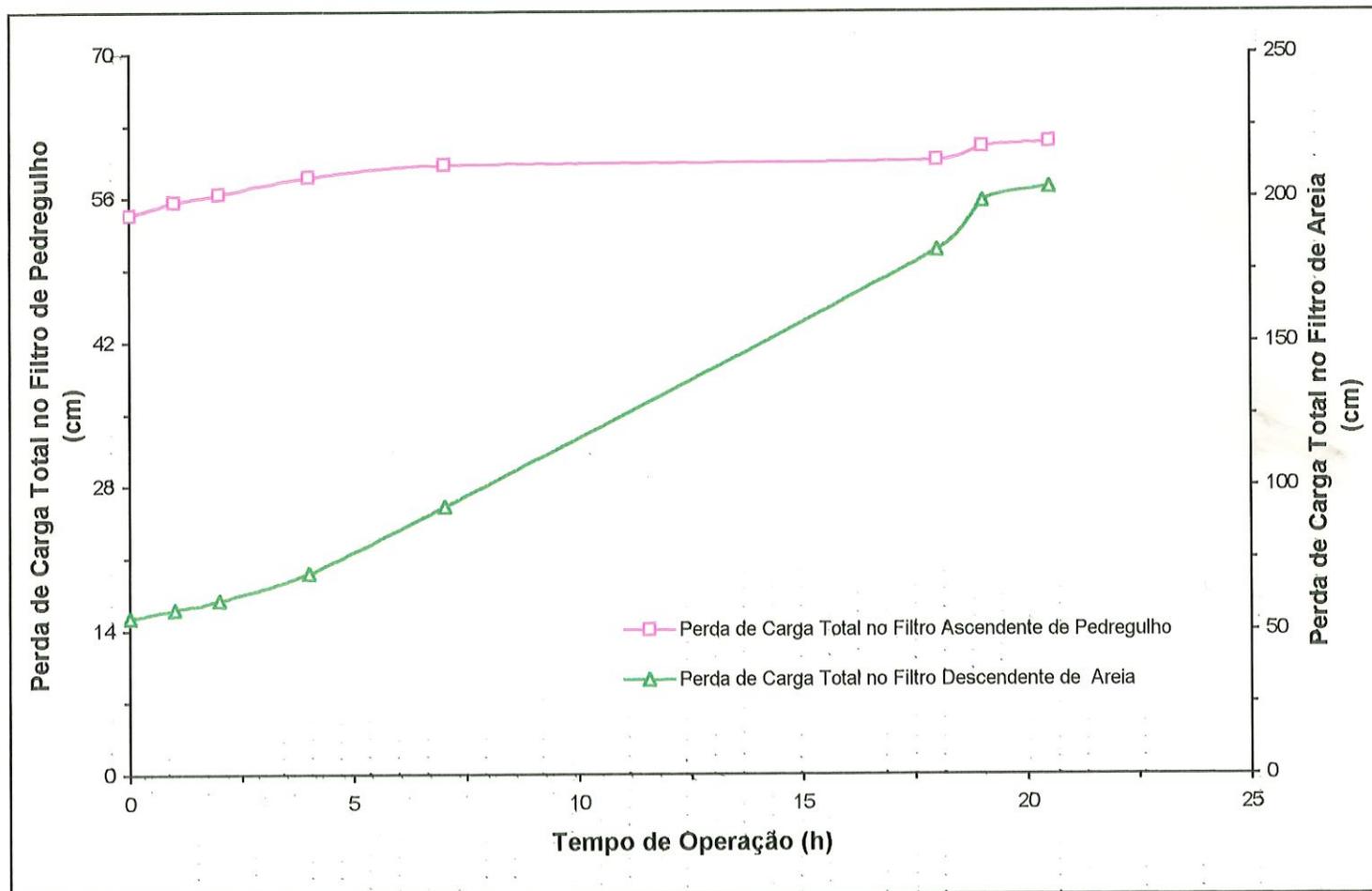


FIGURA D.5 - VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA TOTAL NOS FILTROS DURANTE A CARREIRA DE FILTRAÇÃO
 ENSAIO 05 - INSTALAÇÃO PILOTO CONSTITUÍDA DE FILTRO ASCENDENTE DE PEDREGULHO
 (TAXA = 115 m³/m² . dia) E FILTRO RÁPIDO DESCENDENTE DE AREIA (TAXA = 250 m³/m² . dia)

ANEXO E

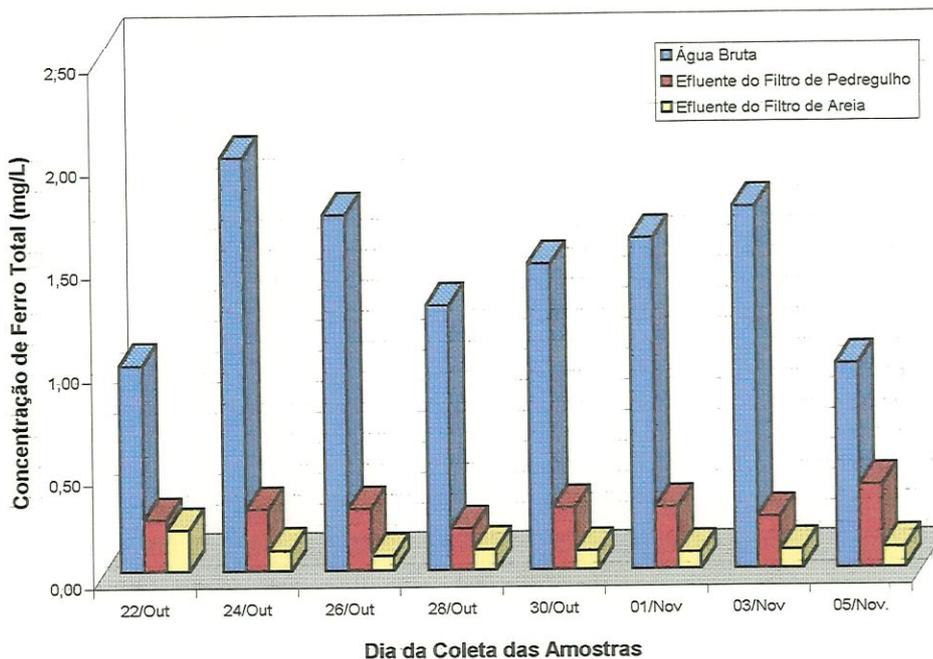


FIGURA E.1 - Variação da concentração de ferro total, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m². dia

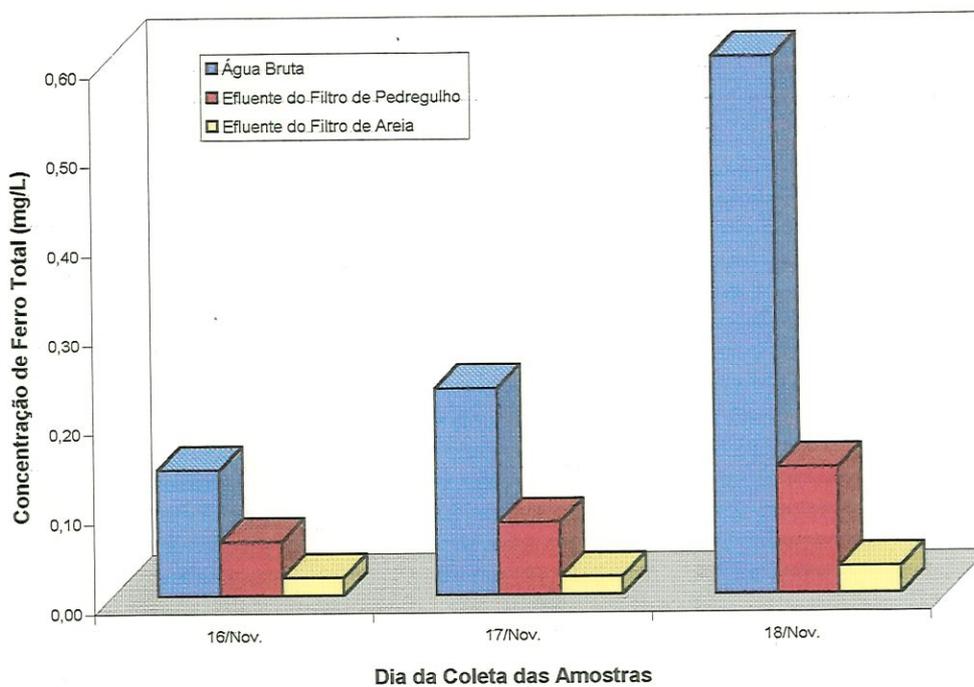


FIGURA E.2 - Variação da concentração de ferro total, durante o ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m². dia

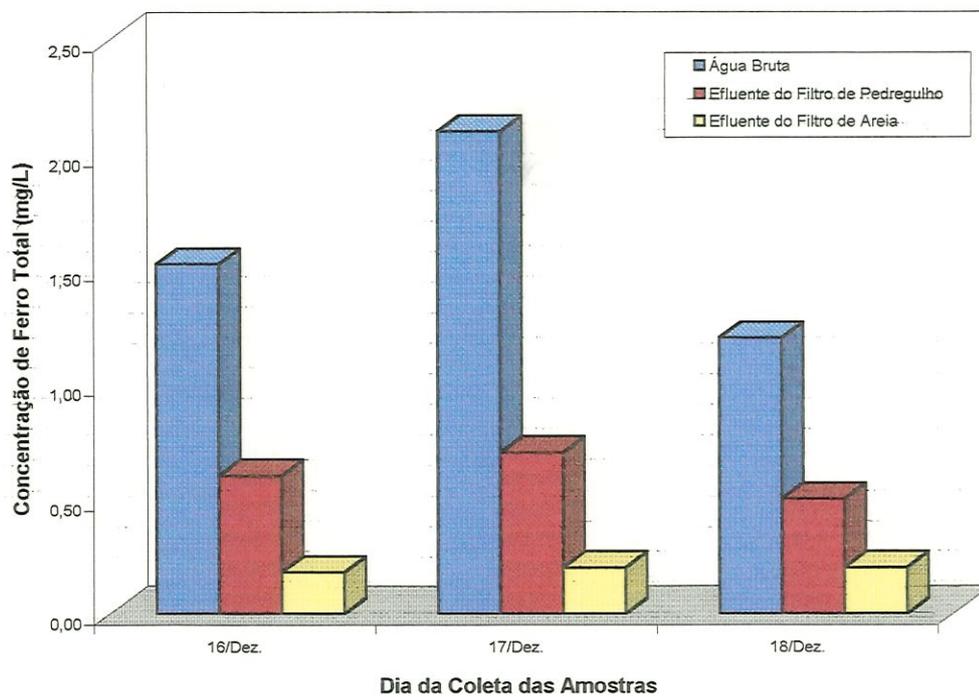


FIGURA E.3 - Variação da concentração de ferro total, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m². dia

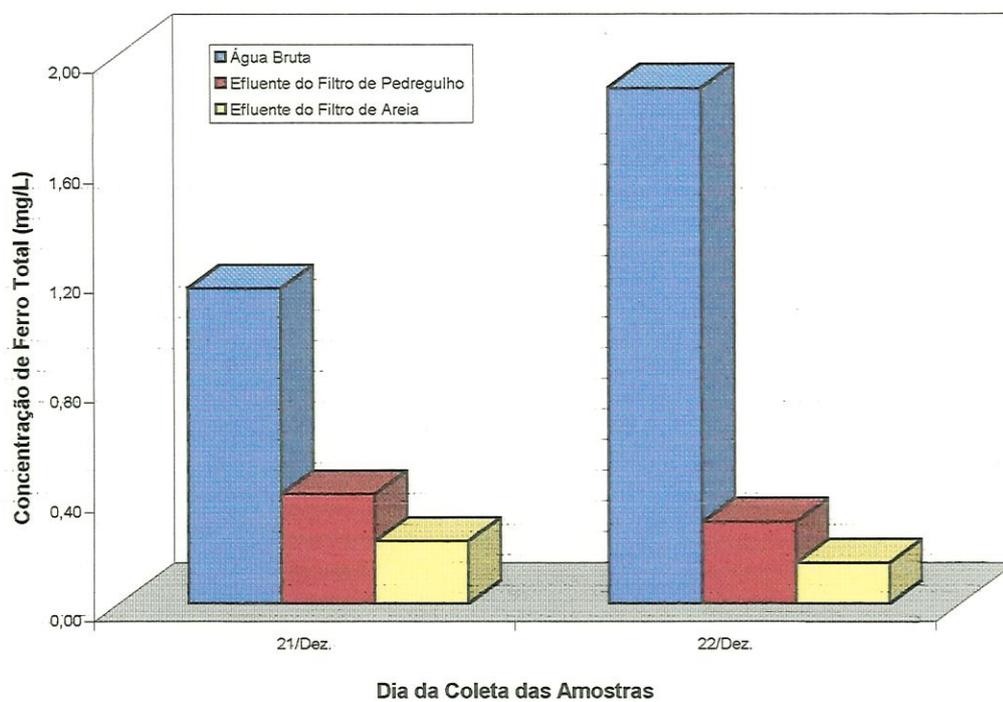


FIGURA E.4 - Variação da concentração de ferro total, durante o ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m². dia

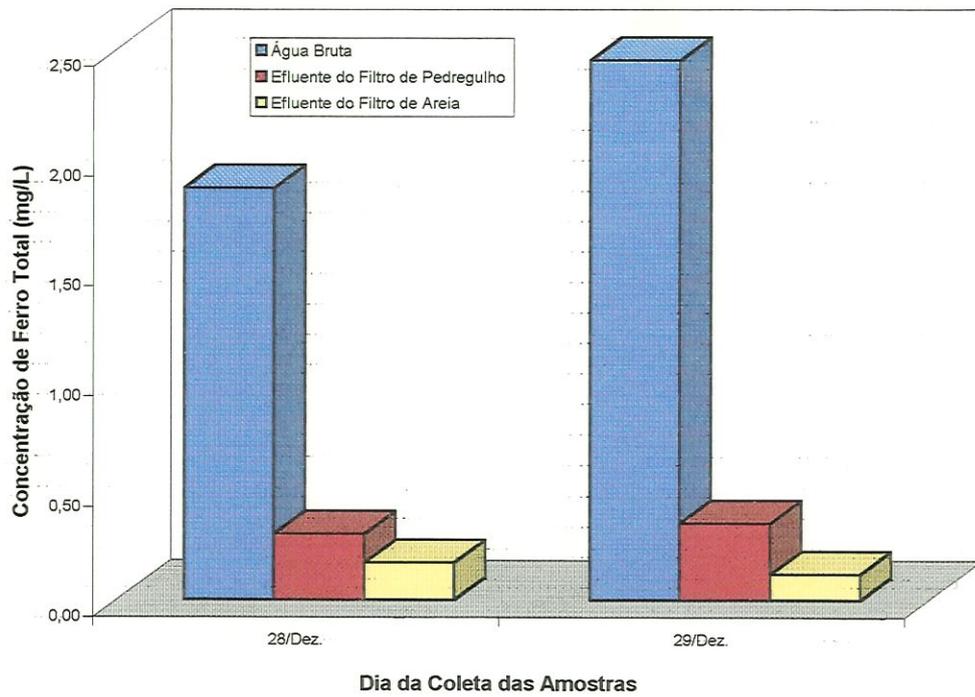


FIGURA E.5 - Variação da concentração de ferro total, durante o ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m². dia

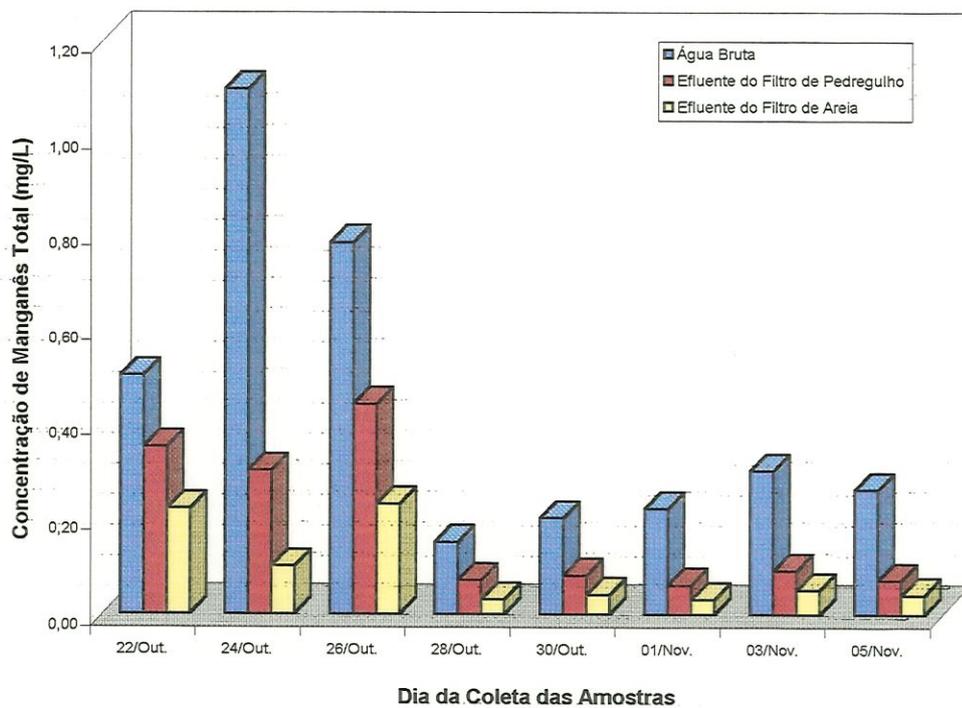


FIGURA E.6 - Variação da concentração de manganês total, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m². dia

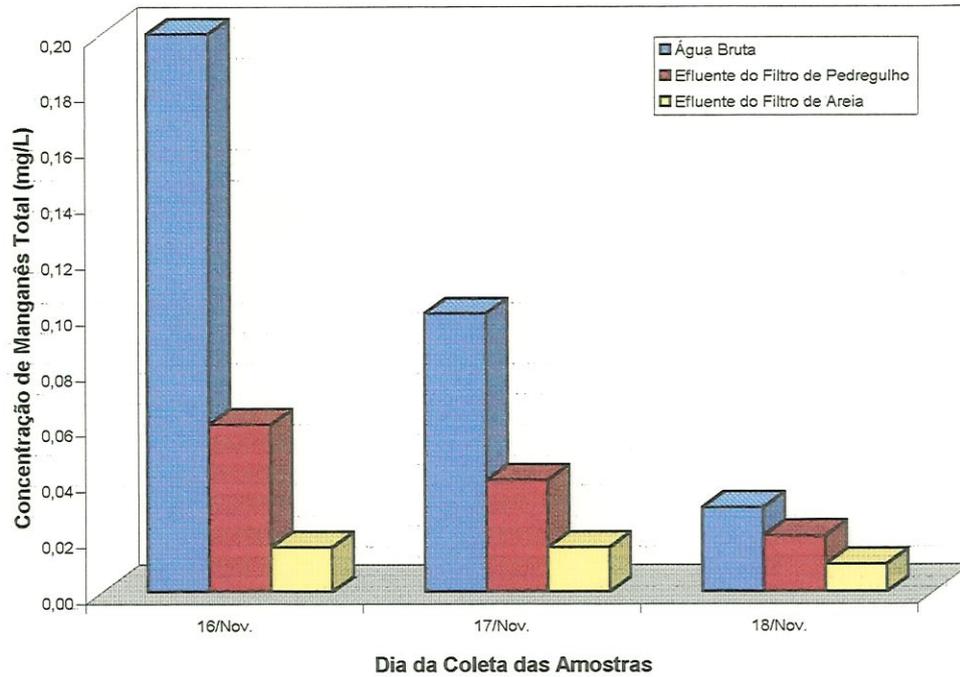


FIGURA E.7 - Variação da concentração de manganês total, durante o ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia

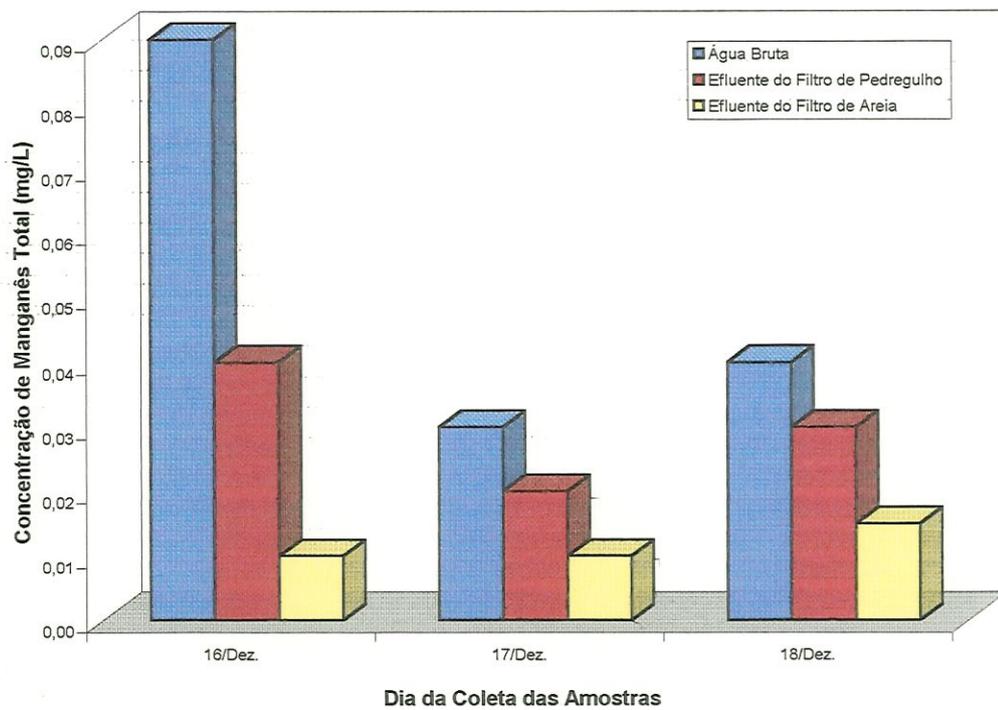


FIGURA E.8 - Variação da concentração de manganês total, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m² . dia

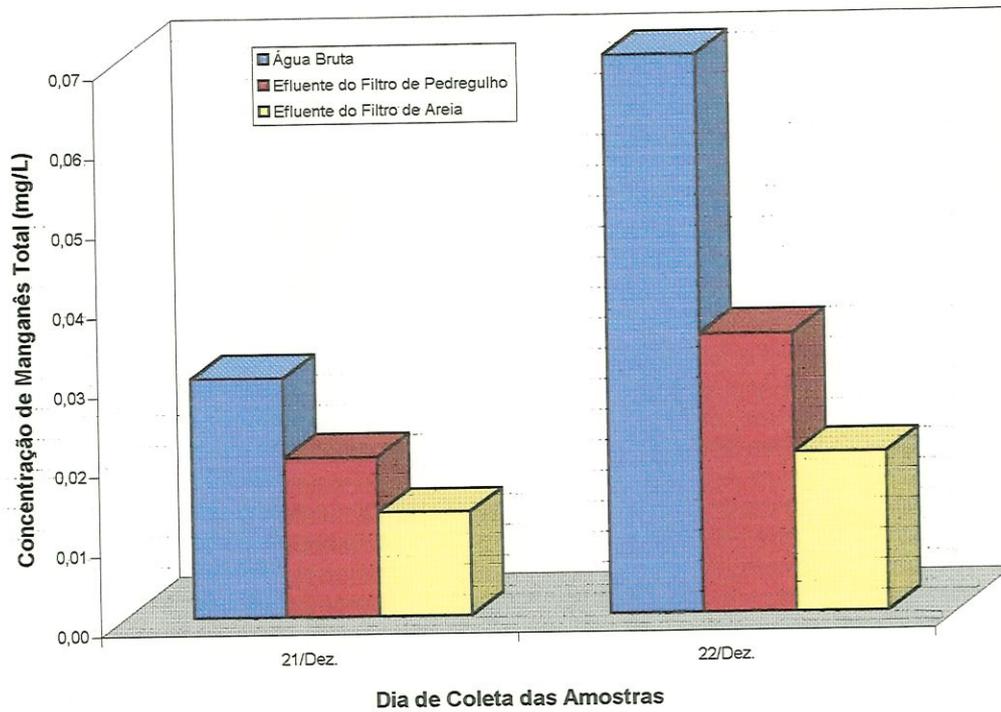


FIGURA E.9 - Variação da concentração de manganês total, durante o ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m² . dia

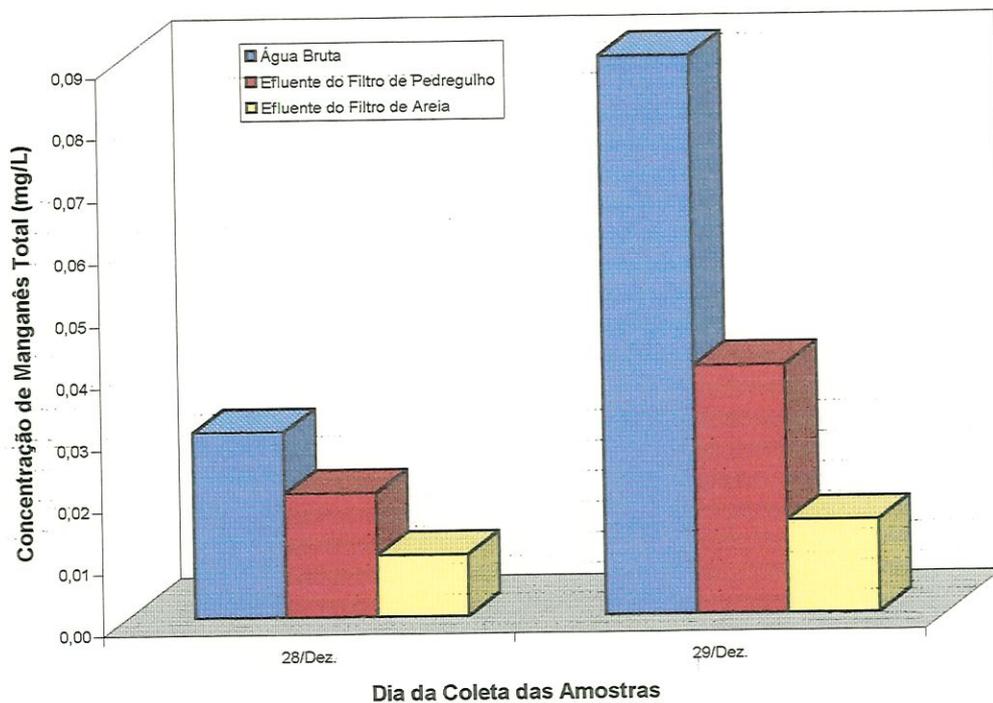


FIGURA E.10 - Variação da concentração de manganês total, durante o ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m² . dia

ANEXO F

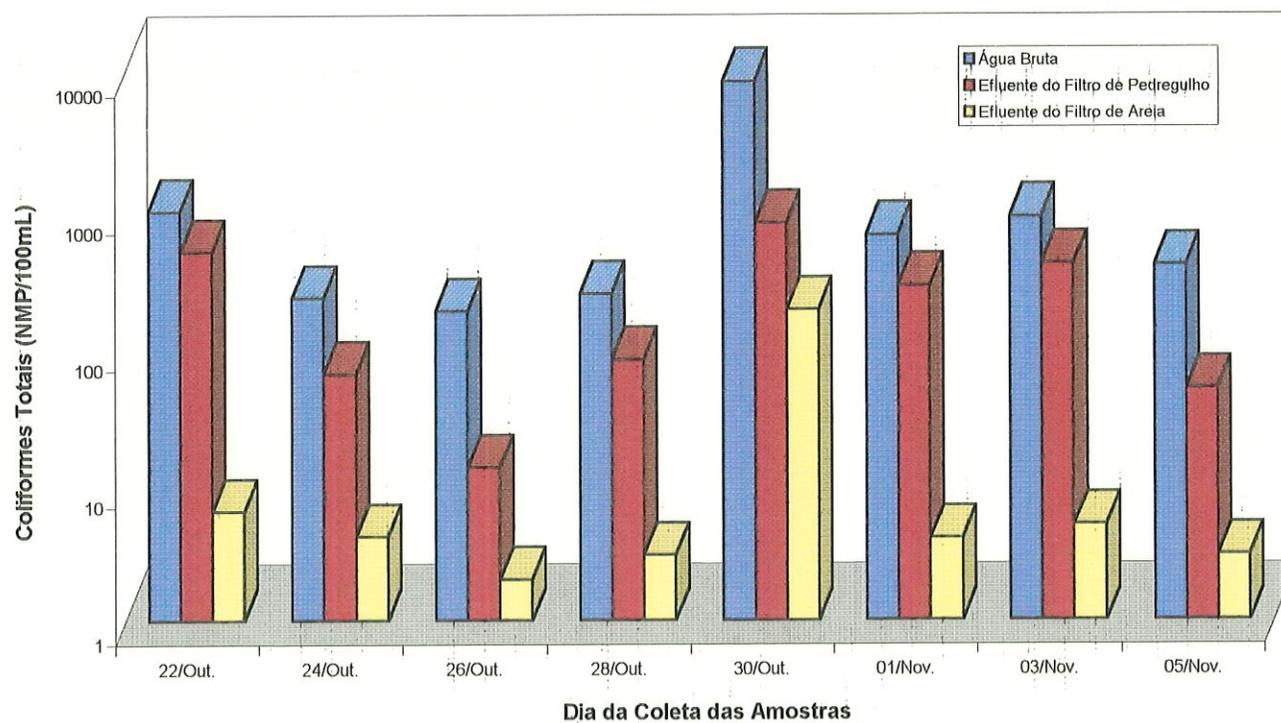


FIGURA F.1 - Variação do número mais provável de coliformes totais, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m². dia no Filtro Ascendente de Pedregulho e de 250 m³/m². dia no Filtro Rápido Descendente de Areia

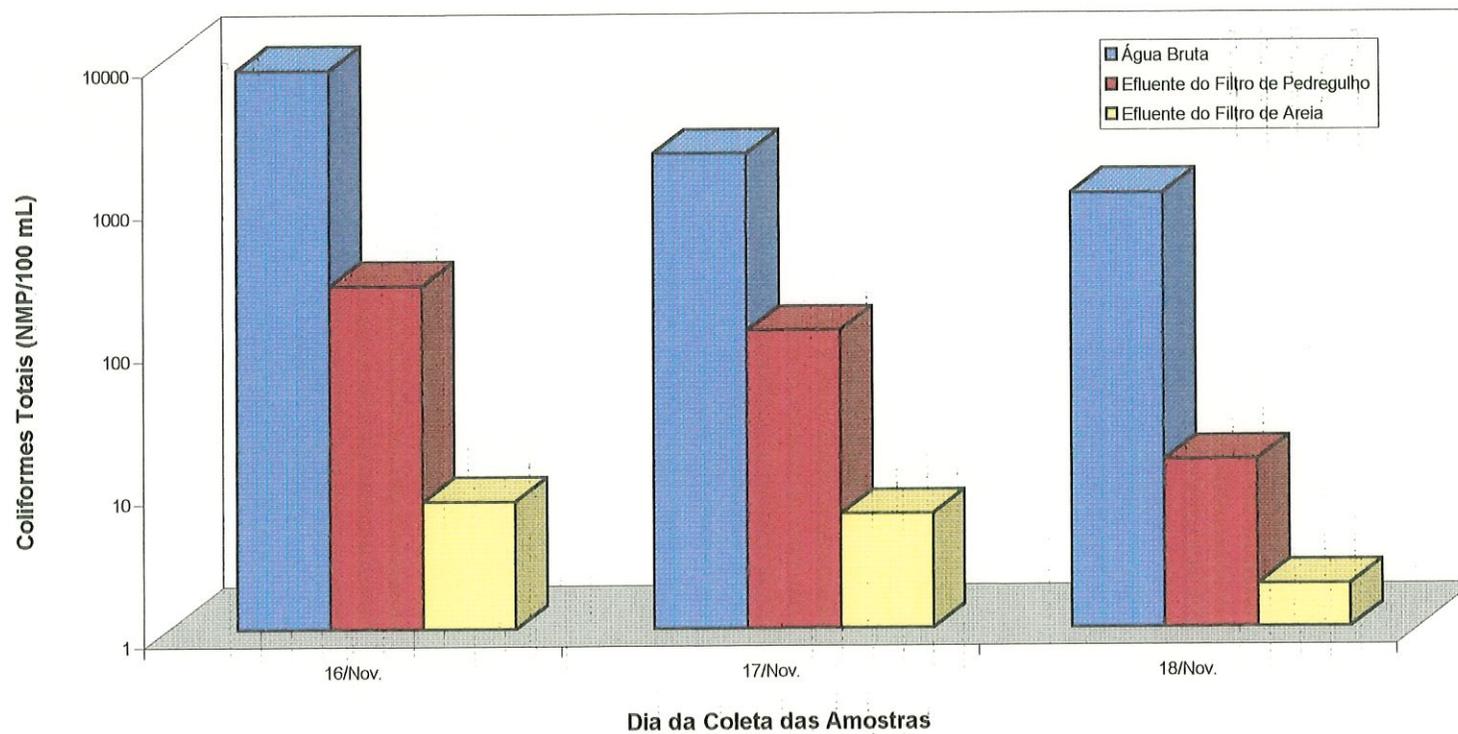


FIGURA F.2 - Variação do número mais provável de coliformes totais, durante o ensaio 02; com taxa de filtração de 36 m³/m². dia no Filtro Ascendente de Pedregulho e de 250 m³/m². dia no Filtro Rápido Descendente de Areia

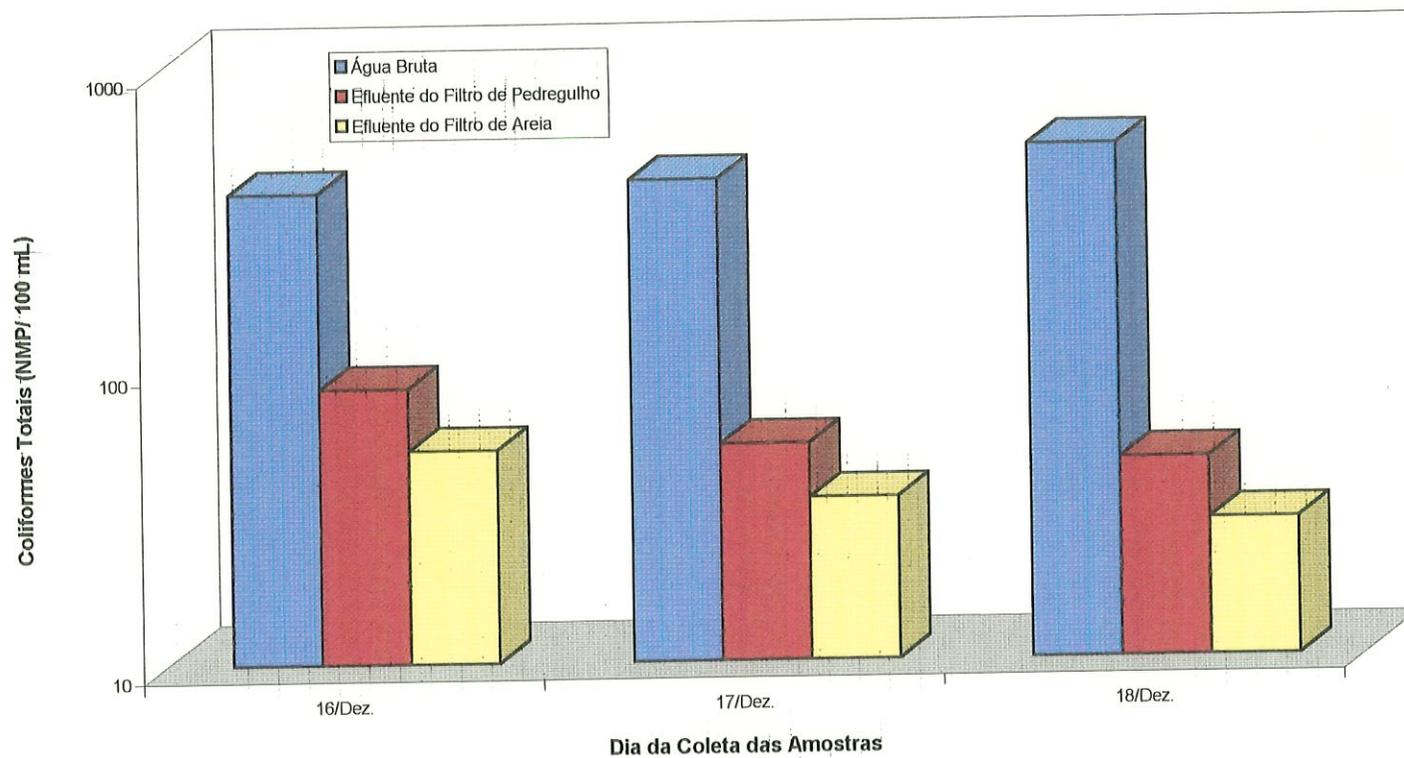


FIGURA F.3 - Variação do número mais provável de coliformes totais, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m². dia no Filtro Ascendente de Pedregulho e de 250 m³/m². dia no Filtro Rápido Descendente de Areia

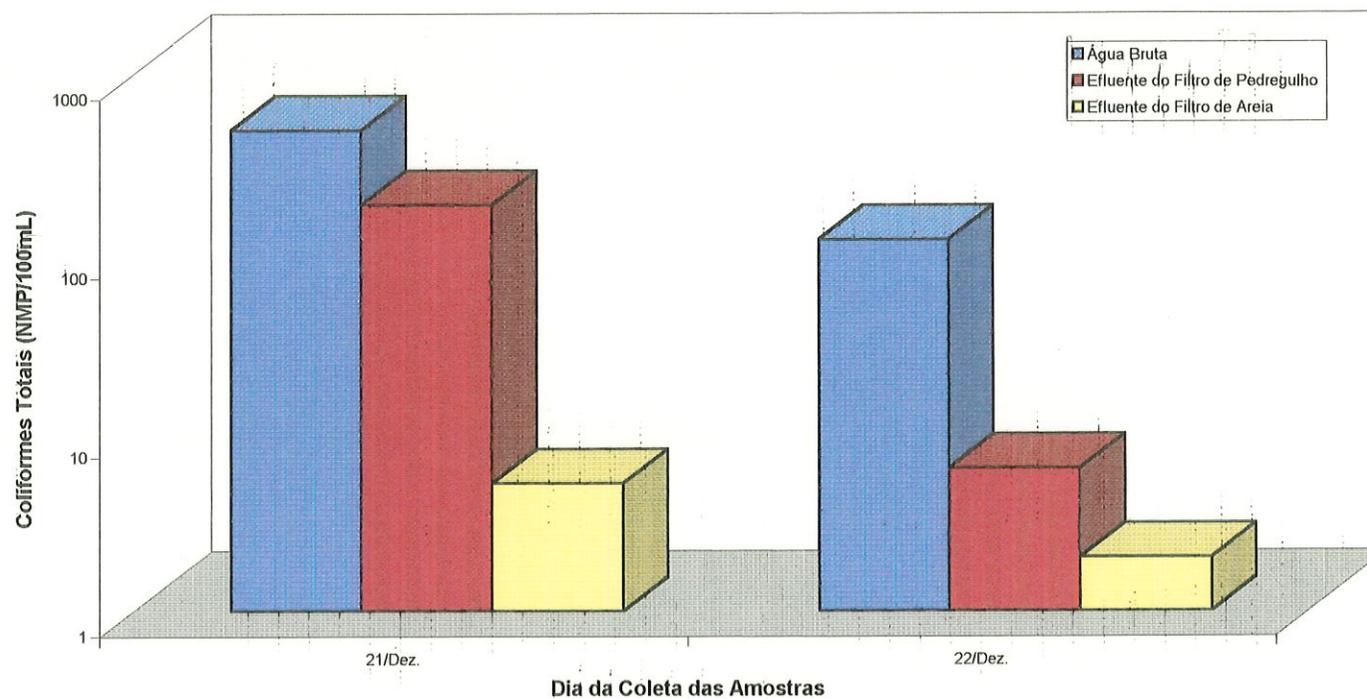


FIGURA F.4 - Variação do número mais provável de coliformes totais, durante o ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m². dia no Filtro Ascendente de Pedregulho e de 250 m³/m². dia no Filtro Rápido Descendente de Areia

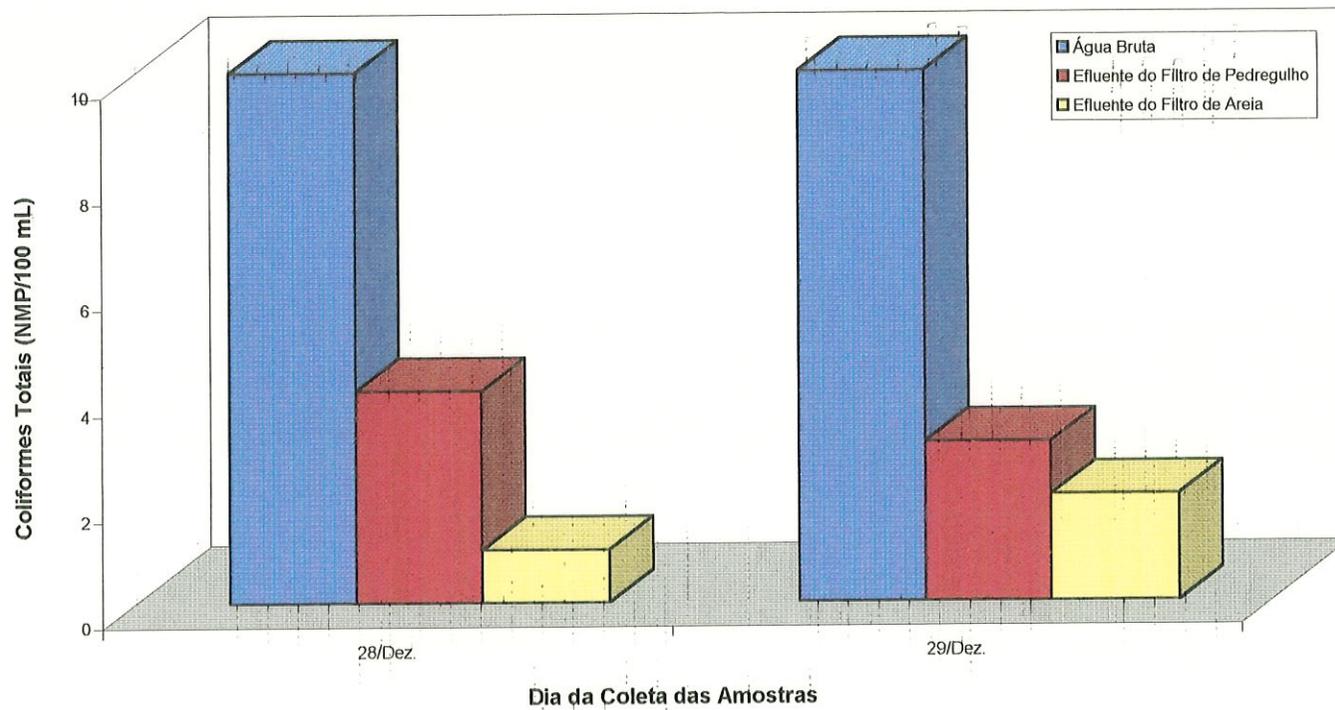


FIGURA F.5 - Variação do número mais provável de coliformes totais, durante o ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m². dia no Filtro Ascendente de Pedregulho e de 250 m³/m². dia no Filtro Rápido Descendente de Areia

ANEXO G



Quadro G.1 - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 12 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m². dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 01.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
22/Out.	2	7223,6	42,82	2007,5	45,92	72,21	61,4	36,16	96,94
	4	6741,3	39,96	1455,6	33,29	78,41	60,9	35,87	95,82
	8	1873,1	11,10	379,3	8,68	79,75	16,7	9,84	95,60
	12	571,7	3,39	249,8	5,71	56,31	10,1	5,95	95,96
	18	374,2	2,22	241,1	5,51	35,57	9,3	5,48	96,14
	24	58,3	0,35	22,1	0,51	62,09	6,3	3,71	71,49
	36	19,9	0,12	10,5	0,24	47,32	3,3	1,94	68,57
	48	9,5	0,06	6,1	0,14	35,79	1,8	1,06	70,49
	Total	16871,6	100,00	4372	100,00	74,09	169,8	100,00	96,12
23/Out.	2	7045,1	45,28	1924,1	50,51	72,69	56,9	41,44	97,04
	4	6168,7	39,65	1317,1	34,57	78,65	52,2	38,02	96,04
	8	1606,6	10,33	283,5	7,44	82,35	11,4	8,30	95,98
	12	399,6	2,57	129,8	3,41	67,52	6,3	4,59	95,15
	18	268,1	1,72	125,3	3,29	53,26	5,5	4,01	95,61
	24	46,8	0,30	16,3	0,43	65,17	2,9	2,11	82,21
	36	15,0	0,10	8,3	0,22	44,67	1,5	1,09	81,93
	48	7,6	0,05	5,0	0,13	34,21	0,6	0,44	88,00
	Total	15557,5	100,00	3809,4	100,00	75,51	137,3	100,00	96,40
24/Out.	2	3786,6	41,70	365,0	57,62	90,36	66,5	45,27	81,78
	4	3529,7	38,87	187,9	29,66	94,68	50,3	34,24	73,23
	8	1009,7	11,12	48,6	7,67	95,19	14,1	9,60	70,99
	12	352,9	3,89	16,3	2,57	95,38	7,7	5,24	52,76
	18	304,6	3,35	10,9	1,72	96,42	6,2	4,22	43,12
	24	80,0	0,88	2,5	0,39	96,88	1,4	0,95	44,00
	36	12,0	0,13	1,2	0,19	90,00	0,7	0,48	41,67
	48	4,9	0,05	1,1	0,17	77,69	0,5	0,34	54,55
	Total	9080,4	100,00	633,5	100,00	93,02	146,9	100,00	76,81

Quadro G.1-(continuação) - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 12 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m². dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 01.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
25/Out.	2	3815,2	41,89	1712,1	48,98	55,12	252,9	58,88	85,23
	4	3607,9	39,62	1286,4	36,80	64,34	129,9	30,24	89,90
	8	1025,8	11,26	345,6	9,89	66,31	26,3	6,12	92,39
	12	364,7	4,00	92,1	2,63	74,75	9,1	2,12	90,12
	18	242,7	2,67	46,5	1,33	80,84	7,0	1,63	84,95
	24	44,0	0,48	9,0	0,26	79,55	2,5	0,58	72,22
	36	3,7	0,04	2,5	0,07	31,62	1,2	0,28	52,57
	48	2,9	0,03	1,6	0,04	46,55	0,6	0,14	61,29
	Total	9106,9	100,00	3495,8	100,00	61,61	429,5	100,00	87,71
26/Out.	2	3225,7	46,16	553,7	36,56	82,83	59,8	44,30	89,20
	4	2649,5	37,92	525,3	34,69	80,17	45,6	33,78	91,32
	8	621,3	8,89	219,1	14,47	64,74	12,3	9,11	94,39
	12	196,2	2,81	98,1	6,48	50,00	6,7	4,96	93,17
	18	184,6	2,64	85,9	5,67	53,47	5,4	4,00	93,71
	24	78,4	1,12	24,0	1,58	69,39	2,2	1,63	90,83
	36	21,6	0,31	5,7	0,38	73,61	1,9	1,41	66,67
	48	10,6	0,15	2,5	0,17	76,42	1,1	0,81	56,00
	Total	6987,9	100,00	1514,3	100,00	78,33	135,0	100,00	91,08
27/Out.	2	4805,5	33,18	3161,2	38,34	34,22	98,7	54,41	96,88
	4	4732,5	32,68	2551,1	30,94	46,09	52,8	29,11	97,93
	8	2557,1	17,66	1474,7	17,89	42,33	11,7	6,45	99,21
	12	1016,2	7,02	542,8	6,58	46,59	7,9	4,36	98,54
	18	952,3	6,58	389,5	4,72	59,10	5,7	3,14	98,54
	24	331,1	2,29	100,7	1,22	69,59	2,0	1,10	98,01
	36	62,1	0,43	18,3	0,22	70,53	1,6	0,88	91,26
	48	25,6	0,18	6,5	0,08	74,61	1,0	0,55	84,62
	Total	14482,4	100,00	8244,8	100,00	43,07	181,4	100,00	97,80

Quadro G.1-(continuação) - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 12 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m². dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 01.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
28/Out.	2	3545,5	38,49	1745,8	34,47	50,76	111,5	55,67	93,61
	4	2763,6	30,00	1504,1	29,70	45,57	57,8	28,86	96,16
	8	1003,4	10,89	545,3	10,77	45,65	14,5	7,24	97,34
	12	786,4	8,54	482,1	9,52	38,70	5,9	2,95	98,78
	18	654,8	7,11	476,2	9,40	27,28	5,7	2,85	98,80
	24	324,5	3,52	201,7	3,98	37,84	2,1	1,05	98,96
	36	84,0	0,91	65,3	1,29	22,26	1,9	0,95	97,09
	48	49,0	0,53	43,5	0,86	11,22	0,9	0,45	97,93
	Total	9211,2	100,00	5064,0	100,00	45,02	200,3	100,00	96,04
29/Out.	2	7163,1	39,87	490,7	50,10	93,15	410,6	53,58	16,32
	4	5558,2	30,93	326,4	33,32	94,13	252,6	32,96	22,61
	8	2721,2	15,14	81,7	8,34	97,00	53,4	6,97	34,64
	12	1040,4	5,79	34,0	3,47	96,73	21,9	2,86	35,59
	18	984,2	5,48	32,3	3,30	96,72	18,6	2,43	42,41
	24	361,7	2,01	8,8	0,90	97,57	5,3	0,69	39,77
	36	90,8	0,51	3,3	0,34	96,37	2,1	0,27	36,36
	48	48,4	0,27	2,3	0,23	95,25	1,9	0,25	17,39
	Total	17968,0	100,00	979,5	100,00	94,55	766,4	100,00	21,76
30/Out.	2	4450,0	37,28	365,9	67,82	91,78	128,7	58,53	64,83
	4	4227,1	35,42	128,6	23,84	96,96	59,6	27,10	53,65
	8	1600,3	13,41	19,1	3,54	98,81	11,7	5,32	38,74
	12	701,7	5,88	10,3	1,91	98,53	8,2	3,73	20,39
	18	644,4	5,40	10,1	1,87	98,43	7,7	3,50	23,76
	24	228,7	1,92	3,5	0,65	98,47	2,7	1,23	22,86
	36	51,1	0,43	1,3	0,24	97,46	0,8	0,36	38,46
	48	32,1	0,27	0,7	0,13	98,44	0,5	0,23	28,57
	Total	11935,4	100,00	539,5	100,00	95,48	219,9	100,00	59,24

Quadro G.1-(continuação) - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 12 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 01.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
31/Out.	2	4022,0	41,74	309,7	43,80	92,30	45,8	39,92	85,21
	4	3455,1	35,86	289,3	40,91	91,63	43,6	38,00	84,93
	8	1106,1	11,48	72,7	10,28	93,43	13,5	11,77	81,43
	12	485,7	5,04	20,4	2,89	95,80	5,6	4,88	72,55
	18	394,4	4,09	11,5	1,63	97,08	4,3	3,75	62,61
	24	123,4	1,28	2,1	0,30	98,30	0,9	0,78	57,14
	36	29,0	0,30	0,8	0,11	97,24	0,6	0,52	25,00
	48	19,1	0,20	0,6	0,08	96,86	0,4	0,38	26,67
	Total	9634,8	100,00	707,1	100,00	92,66	114,7	100,00	83,77
01/Nov.	2	3726,1	36,57	152,3	47,08	95,91	91,6	45,59	39,86
	4	3669,9	36,02	91,9	28,41	97,50	55,3	27,53	39,83
	8	1454,7	14,28	33,2	10,26	97,72	24,7	12,29	25,60
	12	620,5	6,09	16,7	5,16	98,15	11,5	5,72	31,14
	18	517,8	5,08	15,3	4,73	97,64	12,2	6,07	20,26
	24	152,1	1,49	7,3	2,26	98,36	2,5	1,24	65,75
	36	33,5	0,33	4,6	1,42	94,63	1,8	0,90	60,87
	48	14,9	0,15	2,2	0,68	91,28	1,3	0,65	40,91
	Total	10189,5	100,00	323,5	100,00	96,83	200,9	100,00	37,90
02/Nov.	2	4767,3	38,13	98,9	45,37	97,93	67,8	41,07	31,45
	4	4095,7	32,76	76,1	34,91	98,14	61,0	36,95	19,84
	8	2055,9	16,44	21,7	9,95	98,94	18,8	11,39	13,36
	12	827,7	6,62	9,7	4,45	99,03	8,0	4,85	17,53
	18	575,3	4,60	8,2	3,76	98,75	7,2	4,36	12,20
	24	140,3	1,12	2,1	0,96	98,50	1,3	0,79	38,10
	36	26,5	0,21	0,8	0,37	97,36	0,7	0,42	12,50
	48	13,8	0,11	0,5	0,23	96,38	0,3	0,18	40,00
	Total	12502,5	100,00	218,0	100,00	98,26	165,1	100,00	24,27

Quadro G.1-(continuação) - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 12 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 01.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
03/Nov.	2	4037,3	36,47	110,6	42,41	97,26	90,4	47,06	18,26
	4	3749,4	33,87	95,5	36,62	97,45	61,7	32,12	35,39
	8	1732,3	15,65	24,1	9,24	98,61	21,6	11,24	10,37
	12	779,3	7,04	12,5	4,79	98,40	8,3	4,32	33,60
	18	603,9	5,46	10,0	3,83	98,34	5,7	2,97	43,00
	24	135,1	1,22	3,4	1,30	97,48	2,3	1,20	32,35
	36	20,4	0,18	3,1	1,19	84,80	1,7	0,88	45,16
	48	11,0	0,10	1,6	0,61	85,45	0,4	0,21	75,00
	Total	11068,7	100,00	260,8	100,00	97,64	192,1	100,00	26,34
04/Nov.	2	3635,5	36,83	119,5	46,05	96,71	98,9	49,13	17,24
	4	3375,5	34,19	98,4	37,92	97,08	71,3	35,42	27,54
	8	1529,1	15,49	25,3	9,75	98,35	18,1	8,99	28,46
	12	674,1	6,83	7,7	2,97	98,86	6,0	2,98	22,08
	18	518,3	5,25	6,4	2,47	98,77	5,6	2,78	12,50
	24	118,3	1,20	1,5	0,58	98,73	1,0	0,50	33,33
	36	14,2	0,14	0,5	0,19	96,48	0,3	0,15	40,00
	48	7,3	0,07	0,2	0,08	97,26	0,1	0,05	50,00
	Total	9872,3	100,00	259,5	100,00	97,37	201,3	100,00	22,43
05/Nov.	2	3126,9	34,99	396,0	54,16	87,34	93,2	41,22	76,46
	4	2862,7	32,03	248,3	33,96	91,33	78,3	34,63	68,47
	8	1493,9	16,72	45,6	6,24	96,95	27,5	12,16	39,69
	12	679,7	7,61	17,3	2,37	97,45	13,2	5,84	23,70
	18	574,1	6,42	15,7	2,15	97,27	8,4	3,72	46,50
	24	156,1	1,75	3,0	0,41	98,08	2,5	1,11	16,67
	36	29,4	0,33	2,8	0,38	90,48	1,7	0,75	39,29
	48	14,6	0,16	2,4	0,33	83,56	1,3	0,57	45,83
	Total	8937,4	100,00	731,1	100,00	91,82	226,1	100,00	69,07

Quadro G.2 - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 36 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 02.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
16/Nov.	2	3469,8	51,03	608,8	64,62	82,45	489,4	69,50	19,61
	4	2519,7	37,06	243,9	25,89	90,32	145,1	20,60	40,51
	8	538,5	7,92	42,9	4,55	92,03	33,0	4,69	23,08
	12	139,1	2,05	18,3	1,94	86,84	13,5	1,92	26,23
	18	96,3	1,42	16,1	1,71	83,28	13,8	1,96	14,29
	24	23,4	0,34	5,4	0,57	76,92	4,4	0,62	18,52
	36	7,3	0,07	4,9	0,77	32,88	3,8	0,54	22,45
	48	5,0	0,07	1,8	0,19	64,00	1,2	0,17	33,33
	Total	6799,1	100,00	942,1	100,00	86,14	704,2	100,00	25,25
17/Nov.	2	4541,3	40,85	218,1	46,02	96,67	151,3	91,22	30,63
	4	4128,9	37,14	73,8	22,45	98,21	60,3	25,22	18,29
	8	1545,1	13,90	15,1	3,53	99,25	11,6	4,85	23,18
	12	499,8	4,50	8,1	2,46	98,38	5,1	2,13	37,04
	18	326,1	2,93	7,4	2,25	97,73	5,9	2,47	20,27
	24	63,5	0,57	2,4	0,61	96,85	2,0	0,84	16,67
	36	9,3	0,08	1,3	0,40	86,02	1,1	0,46	15,38
	48	4,3	0,04	2,6	0,79	39,53	1,8	0,75	30,77
	Total	11118,3	100,00	328,8	100,00	97,04	239,1	100,00	27,28
18/Nov.	2	7945,9	46,56	112,3	66,14	98,59	43,2	52,81	61,53
	4	4661,3	27,31	30,4	12,78	99,53	21,7	26,53	28,62
	8	2433,2	14,26	8,4	4,95	99,65	7,0	8,56	16,67
	12	1008,3	5,91	5,1	3,00	99,49	3,6	4,40	29,41
	18	896,6	5,25	6,1	3,59	99,32	2,9	3,55	52,46
	24	104,1	0,61	4,5	2,65	95,68	1,3	1,59	71,11
	36	14,2	0,08	1,1	0,65	92,25	0,9	1,10	18,18
	48	3,1	0,02	1,9	1,12	38,71	1,2	1,47	36,84
	Total	17066,7	100,00	169,8	100,00	99,01	81,8	100,00	51,83

Quadro G.3 - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 60 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m². dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 03.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
16/Dez.	2	4100,6	31,02	423,6	43,14	89,67	189,0	41,53	55,38
	4	3007,1	22,74	341,9	34,82	88,63	145,2	31,91	57,53
	8	2326,7	17,60	132,8	13,52	94,29	71,8	15,78	45,93
	12	1459,6	11,04	46,6	4,75	96,81	26,0	5,71	44,21
	18	1170,5	8,85	23,9	2,43	97,96	15,8	3,47	33,89
	24	711,2	5,38	5,3	0,54	99,25	3,2	0,70	39,62
	36	242,9	1,84	2,6	0,26	98,93	1,7	0,37	34,62
	48	202,7	1,53	5,2	0,53	97,43	2,4	0,53	53,85
	Total	13221,3	100,00	981,9	100,00	92,57	455,1	100,00	53,65
17/Dez.	2	6004,3	34,04	587,9	57,99	90,21	355,6	58,47	51,20
	4	4112,8	23,32	269,9	26,62	93,44	161,4	26,54	49,70
	8	2400,9	13,61	79,5	7,84	96,69	36,8	6,05	53,71
	12	2556,9	14,49	24,9	2,46	99,03	19,9	3,27	20,08
	18	1187,6	6,73	19,6	1,93	98,35	15	2,47	23,47
	24	803,0	4,55	15,5	1,53	98,07	9,7	1,59	37,42
	36	291,3	1,65	8,4	0,83	97,12	4,6	0,76	45,24
	48	283,1	1,60	8,1	0,80	97,14	5,2	0,85	35,80
	Total	17639,9	100,00	1013,8	100,00	94,25	608,2	100,00	40,01
18/Dez.	2	5012,7	33,12	323,7	50,65	93,54	151,3	48,42	53,26
	4	3650,3	24,12	154,1	24,11	95,78	76,4	24,45	50,42
	8	1500,8	9,92	65,4	10,23	95,64	25,4	8,13	61,16
	12	2001,7	13,23	23,7	3,71	98,82	13,6	4,35	42,62
	18	1557,4	10,29	26,9	4,21	98,27	13,2	4,22	50,93
	24	846,1	5,59	12,6	1,97	98,51	10,3	3,30	18,25
	36	248,5	1,64	9,2	1,44	96,30	7,8	2,50	15,22
	48	317,7	2,10	23,5	3,68	92,60	14,5	4,64	38,30
	Total	15135,2	100,00	639,1	100,00	95,78	312,5	100,00	51,10

Quadro G.4 - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 90 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 04.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
21/Dez.	2	4972,3	33,49	3070,1	56,86	38,26	491,4	45,73	83,99
	4	4553,5	30,67	1525,6	28,25	66,50	372,1	34,63	75,61
	8	2196,3	14,79	340,6	6,31	84,49	114,4	10,65	66,41
	12	1333,9	8,98	326,0	6,04	75,56	56,6	5,27	82,64
	18	1163,7	7,84	76,4	1,41	93,43	29,7	2,76	61,13
	24	436,8	2,94	33,7	0,62	92,28	4,3	0,40	87,24
	36	108,1	0,73	14,0	0,26	87,05	2,1	0,20	85,00
	48	82,9	0,56	13,2	0,24	84,08	3,9	0,36	70,45
	Total	14847,5	100,00	5399,6	100,00	63,63	1074,5	100,00	80,10
22/Dez.	2	1911,0	32,64	351,7	24,79	81,60	156,0	32,62	55,64
	4	1316,1	22,48	282,1	19,89	78,57	123	25,72	56,40
	8	1002,3	17,12	247,2	17,43	75,34	77,0	16,10	68,85
	12	617,0	10,54	222,1	15,66	64,00	51,4	10,75	76,86
	18	494,8	8,45	155,1	10,93	68,65	38,7	8,09	75,05
	24	327,3	5,59	105,0	7,40	67,92	24,5	5,12	76,67
	36	106,9	1,83	30,4	2,14	71,56	3,4	0,71	88,82
	48	79,1	1,35	25,0	1,76	68,39	4,3	0,90	82,80
	Total	5854,5	100,00	1418,6	100,00	75,77	478,3	100,00	66,28

Quadro G.5 - Valores de tamanho e distribuição de tamanho de partículas por mL, frações da água bruta, dos efluentes do Filtro Ascendente de Pedregulho (Taxa de Filtração = 115 m³/m². dia) e do Filtro Rápido Descendente de Areia (Taxa de Filtração = 250 m³/m² . dia) e porcentagens de remoção durante o ensaio 05.

Data	Tamanho (um)	Água Bruta		Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho			Efluente do Filtro Descendente de Areia		
		Número	%	Número	(%)	Remoção (%)	Número	(%)	Remoção (%)
28/Dez.	2	2977,4	35,34	1536,5	36,97	48,39	108,5	50,61	92,94
	4	2326,4	27,61	1001,3	24,09	56,96	72,4	33,77	92,77
	8	1640,7	19,48	816,5	19,65	50,23	14,9	6,95	98,18
	12	680,8	8,08	334,3	8,04	50,90	8,1	3,78	97,58
	18	543,8	6,46	328,3	7,90	39,63	4,9	2,29	98,51
	24	164,5	1,95	104,7	2,51	36,35	2,6	1,21	97,52
	36	54,0	0,64	24,1	0,59	55,37	2,1	0,98	91,29
	48	36,7	0,44	10,3	0,25	71,93	0,9	0,42	91,26
	Total	8424,3	100,00	4156,0	100,00	50,67	214,4	100,00	94,84
29/Dez.	2	5464,7	31,62	506,7	26,00	90,73	220,0	53,08	56,58
	4	3800,9	21,99	347,1	17,81	90,87	158,0	38,12	54,48
	8	3555,7	20,58	392,3	20,13	88,97	14,5	3,50	96,30
	12	1978,0	11,45	305,1	15,65	84,58	7,3	1,76	97,61
	18	1839,9	11,23	243,6	12,50	86,76	5,7	1,38	97,66
	24	477,1	2,76	114,6	5,87	75,98	4,9	1,18	95,72
	36	49,5	0,29	25,7	1,32	48,08	2,7	0,65	89,49
	48	20,0	0,08	11,3	0,72	43,50	1,4	0,34	87,61
	Total	17185,8	100,00	1946,4	100,00	88,67	414,5	100,00	78,70

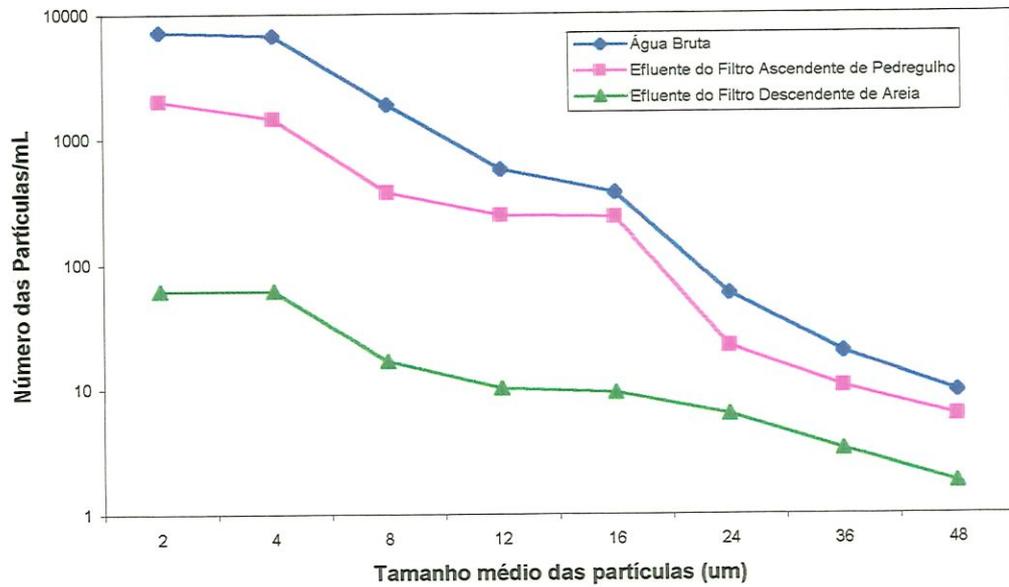


FIGURA G.1 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 22/10/98, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia.

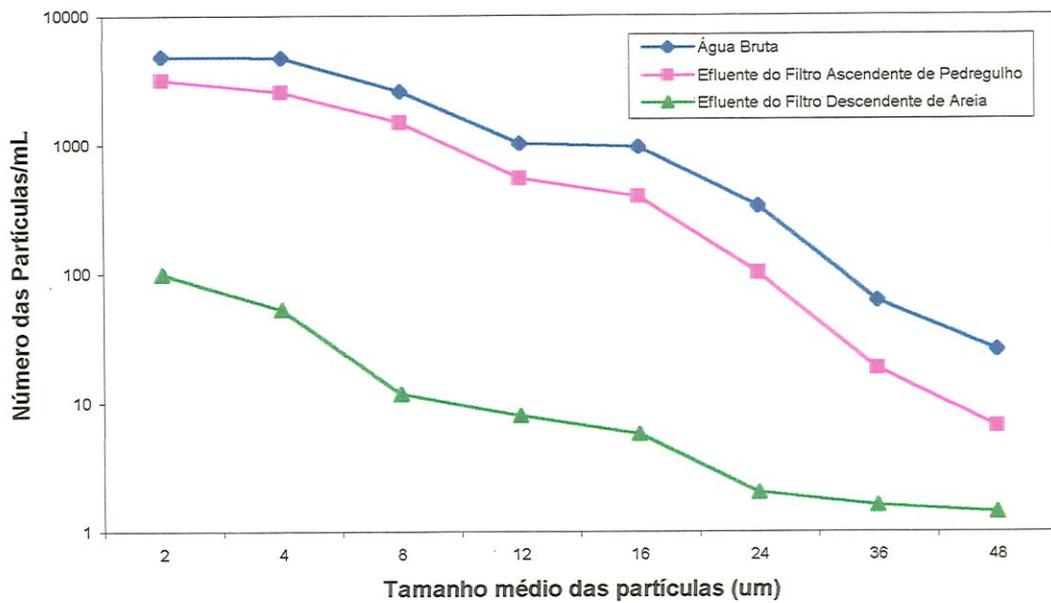


FIGURA G.2 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 27/10/98, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia.

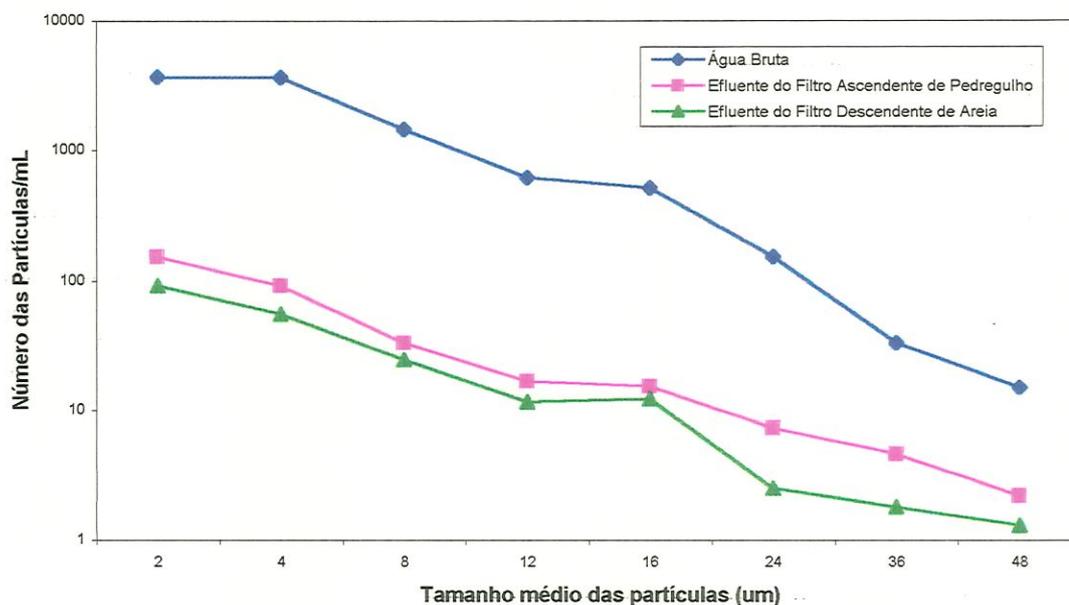


FIGURA G.3 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 01/11/98, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia.

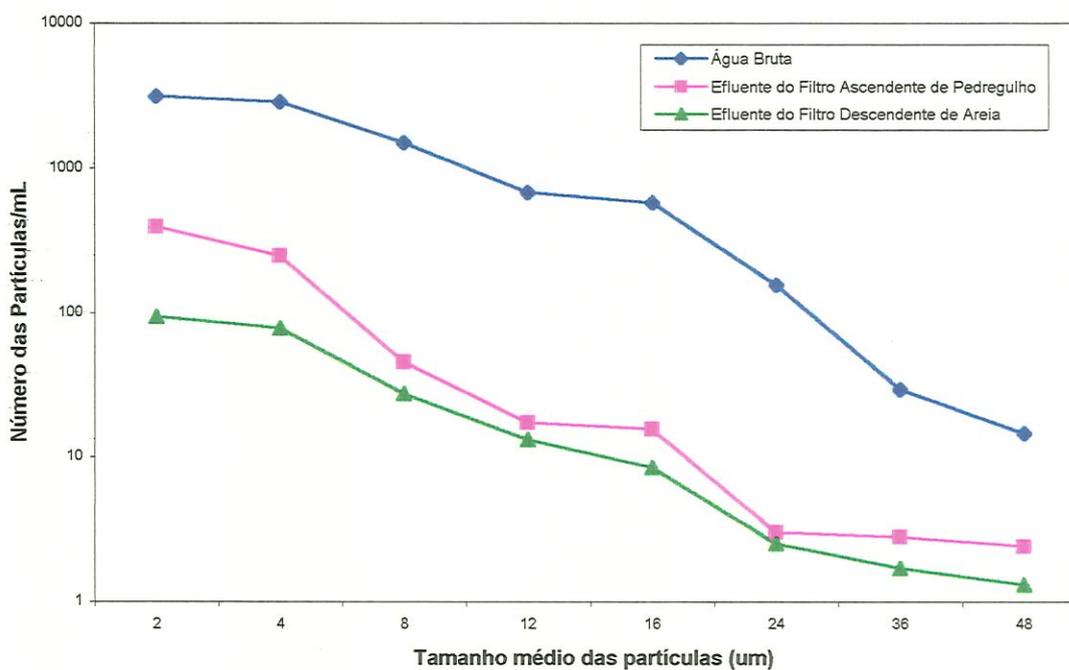


FIGURA G.4 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 05/11/98, durante o ensaio 01, com taxa de filtração de 12 m³/m² . dia.

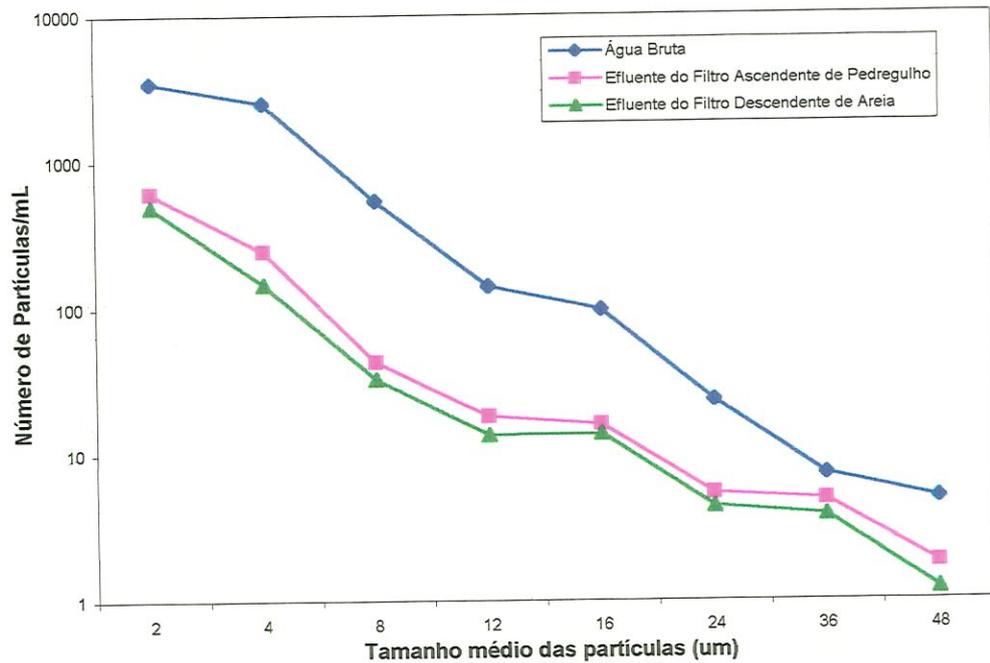


FIGURA G.5 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 16/11/98, durante o ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia.

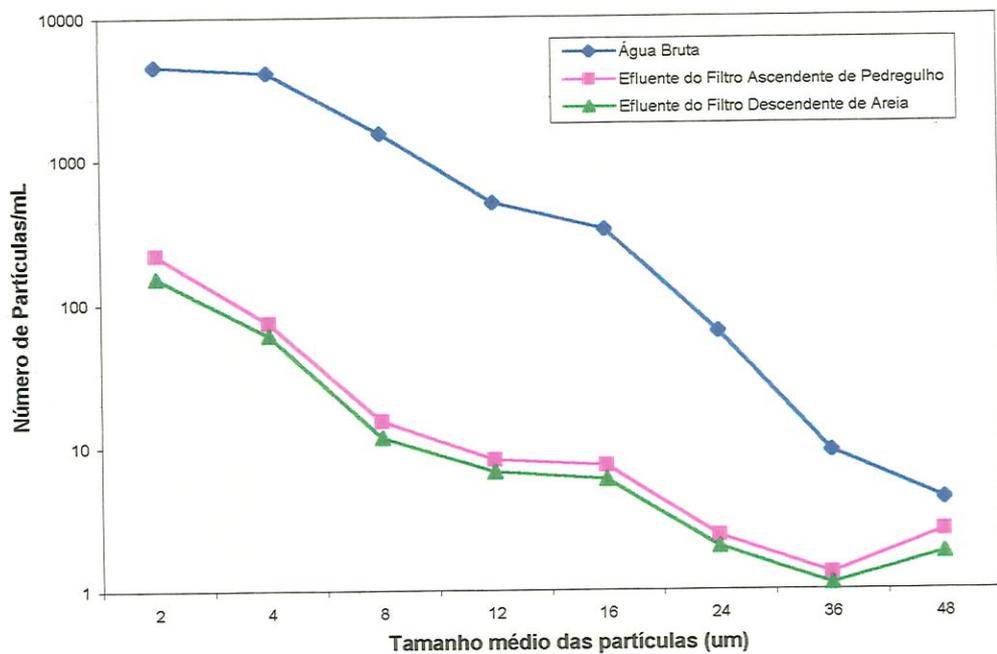


FIGURA G.6 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 17/11/98, durante o ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia.

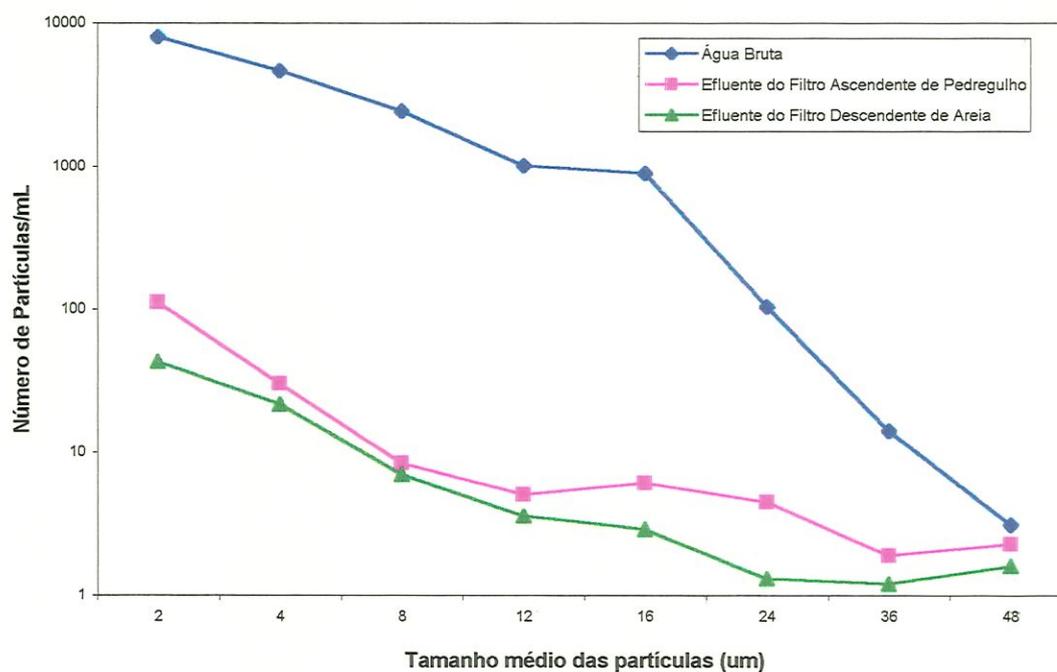


FIGURA G.7 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 18/11/98, durante o ensaio 02, com taxa de filtração de 36 m³/m² . dia.

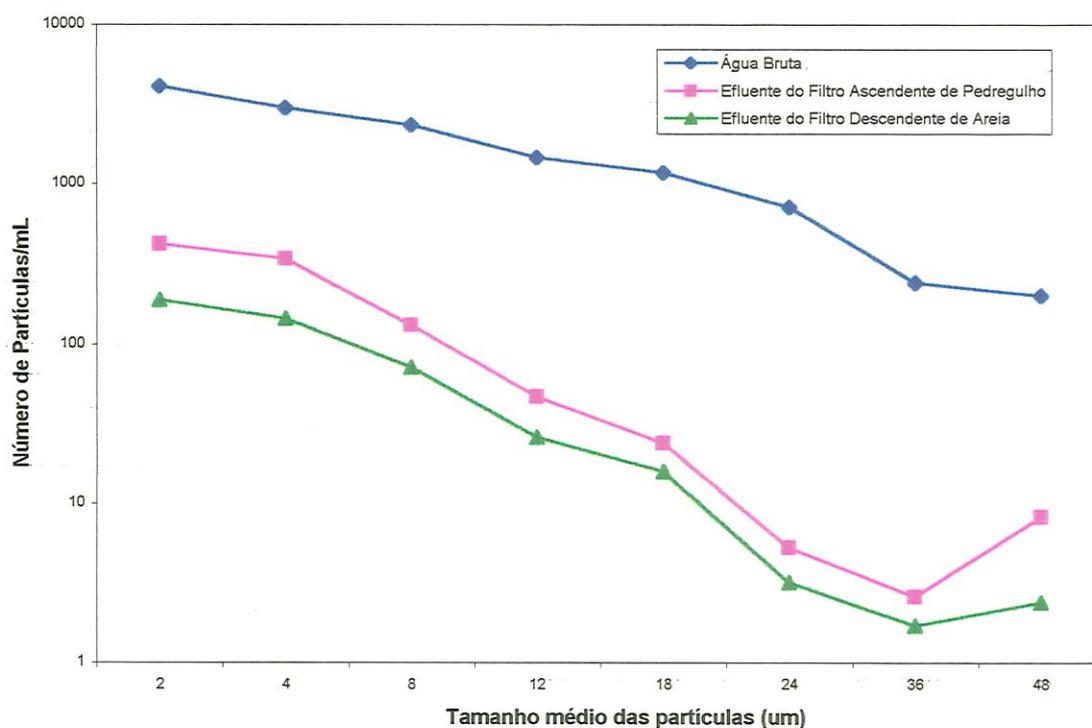


FIGURA G.8 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 16/12/98, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m³/m² . dia.

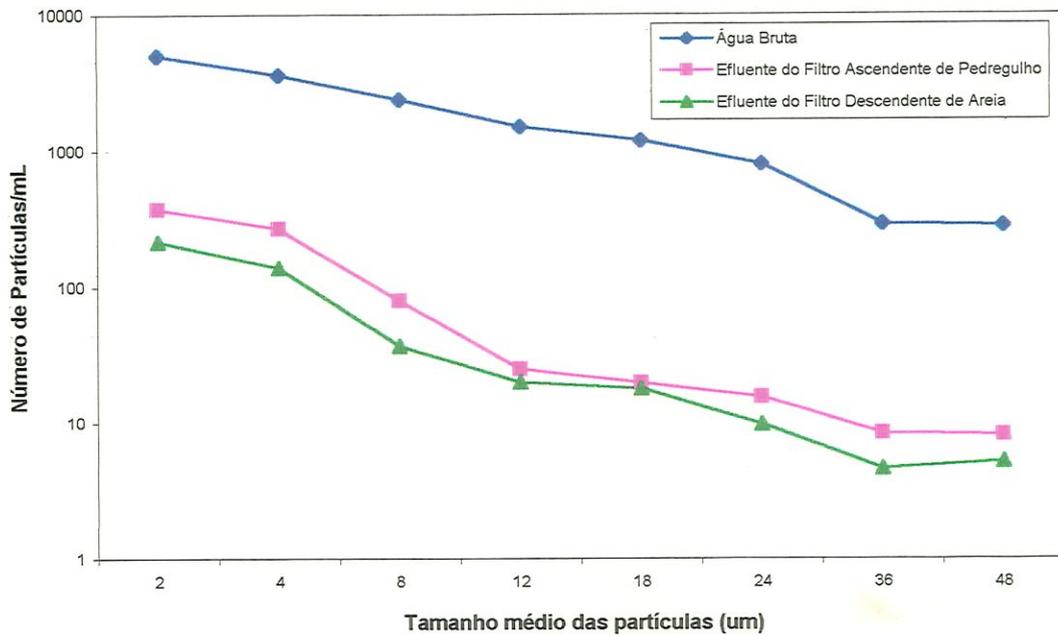


FIGURA G.9 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 17/12/98, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m3/m2 . dia.

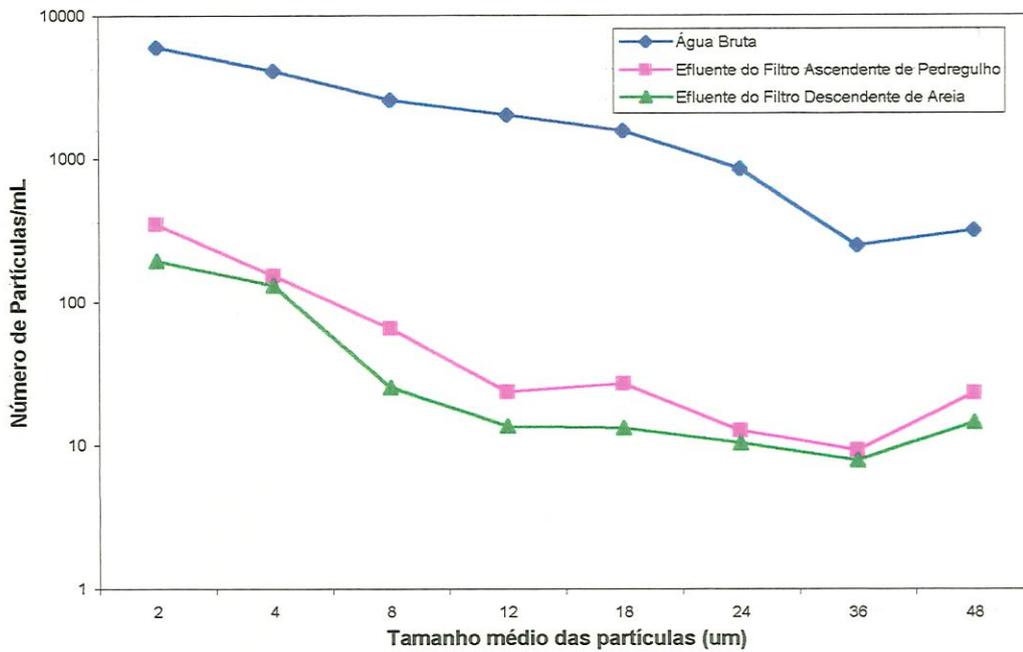


FIGURA G.10 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 18/12/98, durante o ensaio 03, com taxa de filtração de 60 m3/m2 . dia.

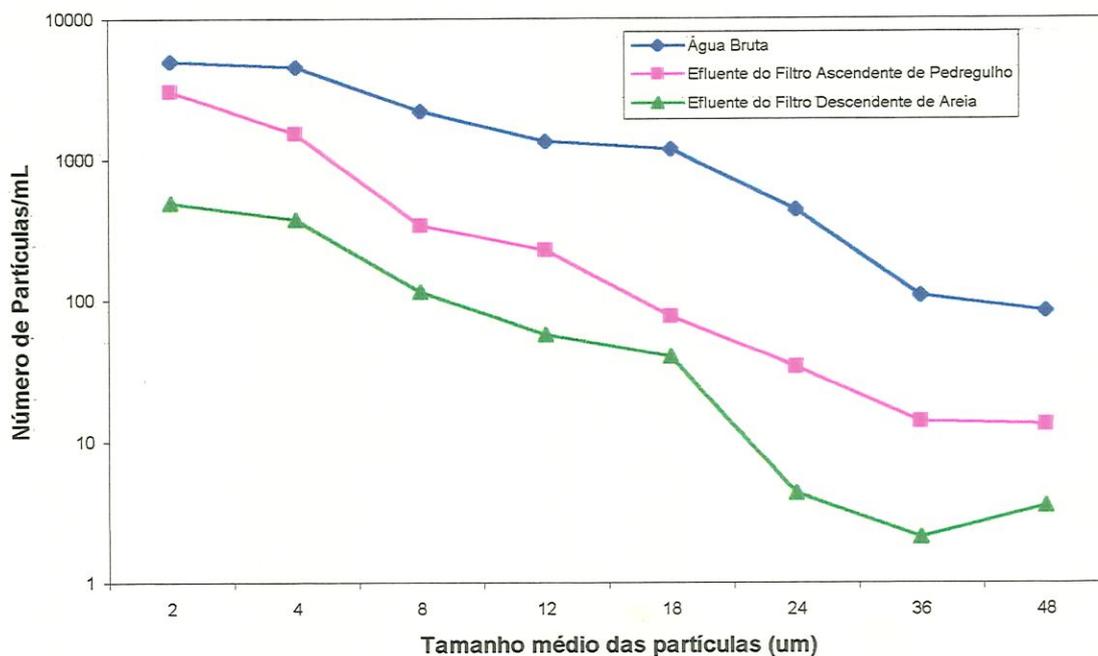


FIGURA G.11 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 21/12/98, durante o ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m² . dia.

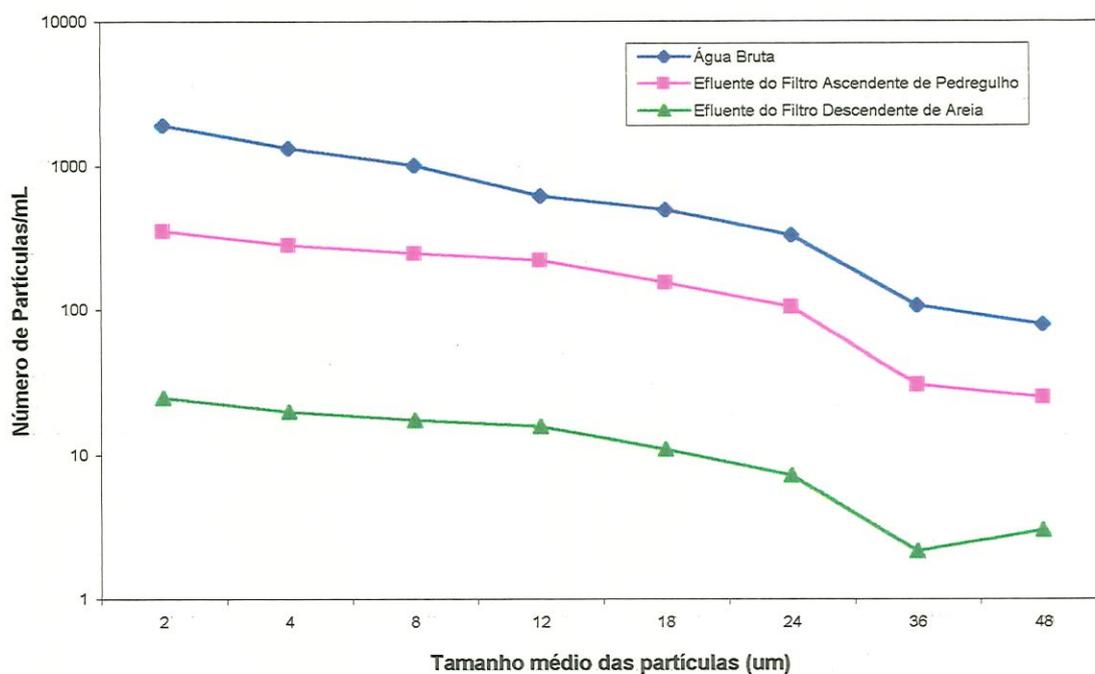


FIGURA G.12 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 22/12/98, durante o ensaio 04, com taxa de filtração de 90 m³/m² . dia.

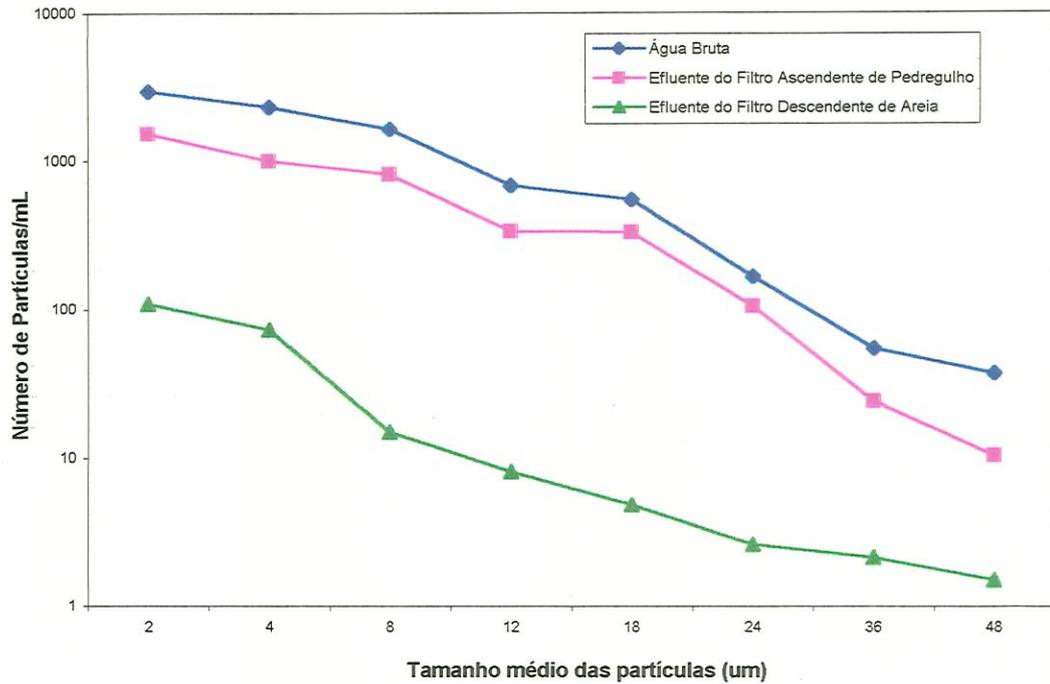


FIGURA G.13 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 28/12/98, durante o ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m² . dia.

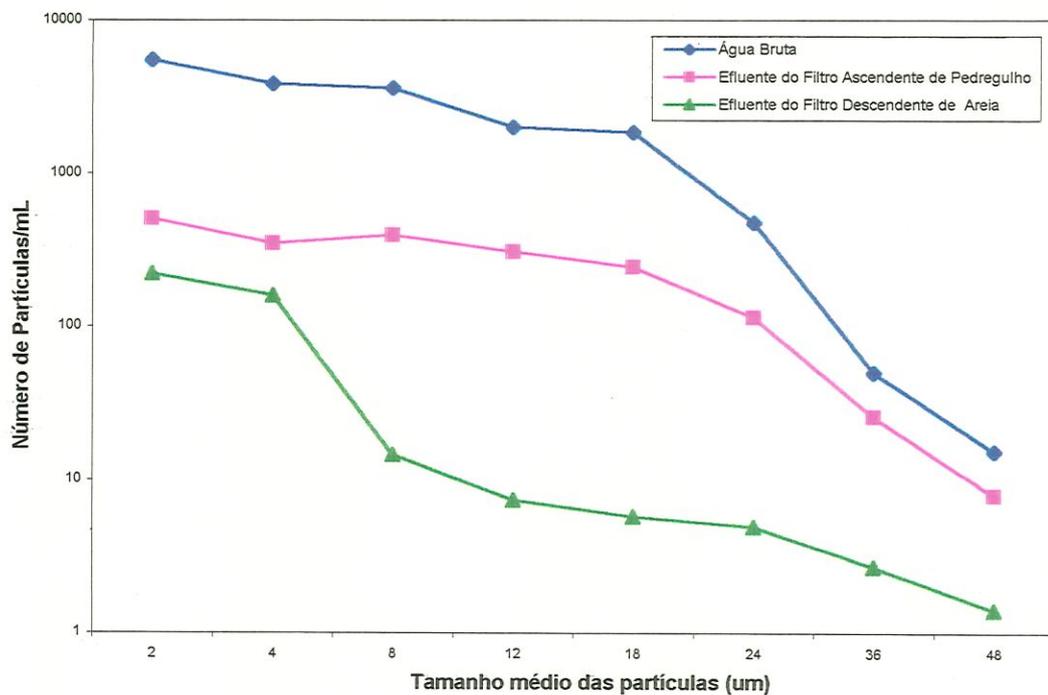


FIGURA G.14 - Valores do número de partículas em função do tamanho de partículas da água bruta e efluentes dos filtros, de amostras coletadas no dia 29/12/98, durante o ensaio 05, com taxa de filtração de 115 m³/m² . dia.

16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHSAN, T. (1995). Process Analysis and Optimization of Direct Horizontal-Flow Roughing Filtration . Ph.D. Thesis, Delft University of Technology/International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering. Rotterdam.

ALAERTS, G.; ASHAN, T.; BUISTEMAN, J. P. (1996). Direct horizontal-flow roughing Filtration. *Journal of Water Supply Research and Technology*, part I, v. 45, n.5, p. 262-271, October; and part II, v. 45, n. 6, p. 281-291, December.

AMIRTHARAJAH, A .; MILLS, K.M. (1982). Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. *Journal of the American Water Works Association*, v.76, n.4, p.210-216, Apr.

BRASIL. Ministério da Saúde. (1990). Portaria 36/GM de 19 de Janeiro de 1990: Normas e Padrões de potabilidade de água destinada ao consumo humano.

BRESAOLA Jr. R.(1990). *Estudos Comparativos de Desenvolvimento de Sistemas Constituídos de Pré-filtro de Pedregulho - Filtro Lento de Areia e de Pré-filtro de Areia - Filtro Lento de Areia para Tratamento de Águas de Abastecimento*. São Carlos, 2 v, 313p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CINARA – IRC (1996). Proyecto integrado de investigación y demostración de metodos de pretratamiento para sistemas de abastecimento de água. Informe final. Cali, Colombia.

CLEASBY, J.L.(1970). Water Filtration through Deep Granular Media Public Works Magazine, june 1970.

CRAUN, G.F.(1988). Surface Water Supolies and Heath. *Journal A. . W.W.A. .* Fev.

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

CRUZ VELEZ, C.H.; DI BERNARDO, L.; BERON, F. (1996). Efecto de la Filtración Gruesa em Múltiplas Etapas (FIGME) en la Coagulación Química para la Potabilización de Agua con Filtración Rápida (FiR) – Conferencia Internacional sobre Mejoramiento de la Calidade del Agua, Cali – Colômbia, 1996.

- CRUZ VELEZ, C.H.; GALVIS, G; VISSCHER, J.T; DI BERNARDO, L.; ALAERTS, G.(1998). Optimización de Sistemas de Potabilización con Filtración Rápida: La Filtración Gruesa Dinámica y la Clarificación con Filtración Gruesa Ascendente, una alternativa factible – Conferencia Internacional Agua y Sostenibilidad, Cali-Colômbia, 1998.
- DI BERNARDO, L.; ROCHA, O. (1990). Remoção de algas em pré-filtro de fluxo ascendente com meio granular de pedregulho e areia grossa. IV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 1990.
- DI BERNARDO, L. (1993a). Tecnologias de Tratamento. In: Métodos e técnicas de tratamento de água, v. I. ABES, Rio de Janeiro.
- DI BERNARDO, L. (1993b). Teoria da filtração rápida e da fluidificação. In: Métodos e técnicas de tratamento de água, v. II. ABES, Rio de Janeiro.
- DI BERNARDO, L. (1993c). Projeto de filtros rápidos por gravidade. In: Métodos e técnicas de tratamento de água, v.II. ABES, Rio de Janeiro.
- DI BERNARDO, L. (1993d). Filtração direta ascendente. In: Métodos e técnicas de tratamento de água, v. II. ABES, Rio de Janeiro.
- DI BERNARDO, L. (1996). Tecnologia de filtração rápida de água quimicamente coagulada – Visão Global, Critérios de Seleção e de Projeto. Conferência Internacional en Mejoramiento de la Calidad del Agua. Cali, Colombia, 1996.
- DI BERNARDO, L. (1997). Filtração em Múltiplas Etapas para Tratamento de Águas de Abastecimento. Seminário Internacional sobre Filtração em Múltiplas Etapas para Tratamento de Águas de Abastecimento- Conceituação. São Carlos-SP.
- EDWARDS, G.; AMIRTHARAJAH, A .(1985). Removing color caused by humic acids. Journal American Water Works Association, v.77, n.3, p.50-57, mar.
- GALVIS, G; LATORRE, J.; OCHOA, A. E.; VISSCHER, J.T.(1996). Comparison of horizontal and upflow roughing filtration. In: Advances in slow sand filtration and alternative biological filtration. John Wiley & Sons. United Kingdom.
- GALVIS, G.; LATORRE, J.; VISSCHER, J.T. (1997). Filtración en Multiplas Etapas. Tecnología innovativa para el Tratamiento de Agua (Versión Preliminar) Cali, Colômbia.
- GELDREICH, E.E.; CRAUN, G.F. (1996). Multiple barriers for protection and tratment of drinking water supplies: A proven method for preventing transmission pf waterborne disease. In: CRAUN, G.F. *Water quality in latin america: Balancing the microbial and chemical risks in drinking water disinfection*. Washington, D.C.

HUDSON Jr., H.E.(1969). Physical Aspects of filtration. Journal of American Water Works Association, p:3-7, jan., 1969.

IDROBO CASTRO, J. A. (1996). Combinación de filtros gruesos con coagulación química en el pretratamiento para filtración rápida. Título de Especialista en el Programa de Postgrado de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de Univalle. Santiago de Cali.

ISAAC, R.L. (1997). *Influência da disposição inicial dos grãos da areia na eficiência da filtração direta ascendente*. Dissertação (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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

LATORRE, J.M.(1994). *Performance Evaluation of Dynamic Roughing Filtration*. M.Sc. Thesis Report-International Institute for Infrastructural Hydraulic and Environmental Engineering. August 1994, Delft, Netherland.

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

O'MELIA, C.; STUMM,W.(1967). Theory of water filtration. Journal American Water Works Association, v.59, n.9, p.1393-1412, nov.

O'MELIA,C.R.(1972). Chapter 2. In: Physicochemical process for water quality control, W.J. Weber, Jr., Ed., Wiley, New York, N.Y., 61-109.

PARDON, M.(1994). Consideraciones, Desarrollo y Evaluación de un sistema de Tratamiento que Implementa la Filtración Gruesa de Flujo Vertical en Gravas. Lima Perú.

PATERNIANI, J.E.S.(1986). *Estudo da influência de descargas de fundo na eficiência da remoção de microrganismos em sistemas de filtração direta ascendente*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

POCASANGRE, A.E.A.(1990) *Pré-filtração em pedregulho e areia grossa de fluxo ascendente e fluxo descendente como pré-tratamento de filtros lentos de areia*. São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RUGNO, O.R.(1988). *Pré-filtração em pedregulho para filtros lentos de areia*. São Carlos. 124 p.(v.1). Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

RUIZ BOJORGE, C.(1996). *Uso de Mantas Sintéticas em Pré-filtros de Pedregulho para Pré-tratamento de Águas de Abastecimento*. São Carlos, Dissertação de Mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

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

VALENZUELA, M.G.R.(1991). *Estudo do desempenho de uma instalação de pré-filtração e filtração lenta com mantas para o pré-tratamento de águas de abastecimento*. 290p.Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

WEGELIN, M.(1996). *Surface water treatment by roughing filters: a design, construction and operation manual*. Duebendorf, EAWAG (Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology). SANDEC Report n.2/96).

WEGELIN, M.; INGALLINELLA, A. M.; STECCA, L.M.(1996). *Filtración Gruesa Ascendente en Manto de Grava – Conferencia Internacional Mejoramiento de La Calidad del Agua, Cali – Colômbia, 1996*.