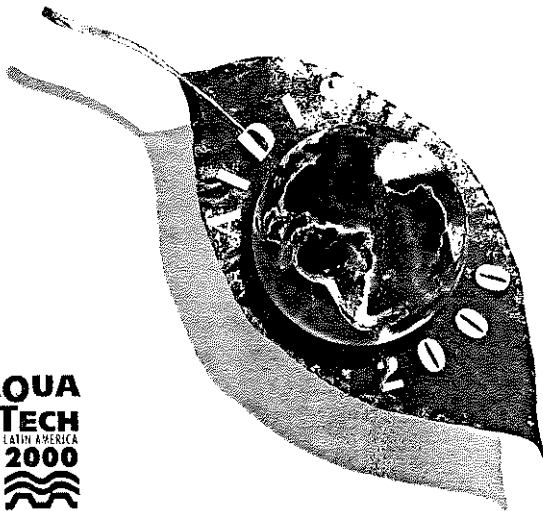


PORTO ALEGRE - RIO GRANDE DO SUL - BRASIL
3 AL 8 DICIEMBRE 2000

XXVII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

Las Américas y la Acción por el
Medio Ambiente en el Milenio



TRABAJOS TECNICOS

- Tema I** - Alcantarillado Sanitario (Aguas Negras o Servidas)/Tratamiento de Efluentes Domésticos e Industriales/Reuso
- Tema II** - Suministro/Tratamiento del Agua
- Tema III** - Residuos Sólidos
- Tema IV** - Materiales/Equipos/Instrumentación
- Tema V** - Calidad, Conservación y Gerenciamiento de Recursos Hídricos
- Tema VI** - Educación, Gestión, Manejo y Control Ambiental
- Tema VII** - Salud Pública/Control de Vectores
- Tema VIII** - Recursos Humanos/Enseñanza y Adiestramiento
- Tema IX** - Planificación/Legislación/Administración y Gerenciamiento del Sector
- Tema X** - Irrigación/Drenaje Urbano/Control de la Erosión
- Tema XI** - Otros

Apoyo Institucional



ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE
ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE



SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

GOVERNO
FEDERAL



CNPq

Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico



FINEP



GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL
Estado da Participação Popular



METROPLAN



se a

fepam **10** anos



PUCRS

**II-026 - USO DA FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE EM PEDREGULHO COMO PRÉ-TRATAMENTO À FILTRAÇÃO RÁPIDA DESCENDENTE****Luiz Di Bernardo⁽¹⁾**

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Cláudia Regina Megda

Engenheira Civil e Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

FOTOGRAFIA
NÃO
DISPONÍVEL**Endereço⁽¹⁾:** Av. Trabalhador São - Carlsense, 400 - São Carlos - SP - CEP: 13566-590 - Brasil - Tel: (16) 273-9528 - e-mail: bernardo@sc.usp.br**RESUMO**

Tem sido observado na prática, em algumas instalações de dupla filtração, que a filtração ascendente em areia grossa, como pré-tratamento à filtração rápida descendente-FDA, tem sido a responsável principal pela retenção de impurezas, indicando a necessidade do estudo das características do seu material granular, visando compatibilizar a qualidade da água bruta com a taxa de filtração adotada nessa unidade. A solução para esses casos pode ser o aumento da taxa de filtração ou a troca do material granular por outro de maior granulometria, objeto do presente trabalho. Para estudar o desempenho da filtração direta ascendente em pedregulho, como pré-tratamento à filtração rápida descendente, foi montada uma instalação piloto, utilizando água proveniente de manancial de superfície como afluente e sulfato de alumínio como coagulante primário. As taxas de filtração estudadas foram de 12, 36, 60, 90 e 115 m/d no filtro ascendente e de 250 m/d no filtro descendente. Concluiu-se, principalmente, que: i) houve pouca variação na dosagem de coagulante, para tratar água de manancial superficial com turbidez entre 6 e 71 uT; ii) a filtração ascendente em pedregulho-FAP demonstrou capacidade de absorver picos de turbidez; iii) pequenas variações de turbidez no efluente foram frequentemente acompanhadas de variações significativas no número de partículas ou distribuição de tamanhos; iv) a eficiência global do sistema com relação à remoção de partículas entre 1 e 40 µm foi praticamente a mesma, independente das taxas empregadas no filtro ascendente; v) a eficiência de remoção de ferro e manganês total aumentou com a concentração desses elementos no afluente, não apresentando variações significativas em função da taxa de filtração; vi) as taxas empregadas no filtro ascendente em pedregulho e no filtro descendente de areia não influenciaram a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, coliformes totais e fecais; vii) a duração da carreira de filtração, tanto no FAP quanto no FDA, foi influenciada pela taxa de filtração empregada no FAP.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração Direta Ascendente, Filtração Direta Ascendente em Pedregulho, Dupla Filtração, Filtração Rápida Descendente.**INTRODUÇÃO**

Tem sido observado na prática, em algumas instalações de dupla filtração, que a filtração ascendente em areia grossa, como pré-tratamento à filtração rápida descendente, tem sido a responsável principal pela retenção de impurezas, indicando a necessidade do estudo das características do seu material granular, visando compatibilizar a qualidade da água bruta com a taxa de filtração adotada nessa unidade.

Com o desenvolvimento cada vez maior de alternativas de pré- tratamento, diversos trabalhos experimentais têm sido desenvolvidos considerando a filtração em pedregulho de água coagulada como uma opção tecnológica de grande potencialidade para reduzir o teor de sólidos suspensos da água bruta, atenuando picos de sólidos e de turbidez, compatibilizando as características do efluente àquelas normalmente desejáveis para a filtração rápida descendente. Contribuições importantes sobre a filtração de água coagulada em camada de pedregulho, resultaram dos trabalhos realizados por Tanveer (1995), Tanveer et al. (1996a) e Tanver et al. (1996b), Wegelin et al.(1996) e Cruz V. et al. (1998).

1137800
140401SYSNO 1137800
PROD 002396
ACERVO EESC



Tanveer (1995), Tanveer et al. (1996a) e Tanveer et al. (1996b) estudaram a filtração com escoamento horizontal em uma unidade contendo dois compartimentos, o primeiro com pedregulho de tamanho médio de 20 mm, e o segundo, com pedregulho de tamanho médio igual a 8 mm. O afluente foi preparado com água de torneira e caulinita, de modo que a turbidez resultasse entre 160 e 500 uT, sendo sulfato de alumínio usado como coagulante.

As principais conclusões do estudo experimental daqueles autores foram as seguintes: i) para taxas de filtração compreendidas entre 72 e 168 m/d, foi obtido efluente com turbidez continuamente menor ou igual a 2 uT; ii) o primeiro compartimento atuou como um sedimentador, removendo aglomerados maiores, enquanto no segundo, predominou o efeito da filtração com ação de profundidade, tendo ocorrido a remoção de partículas de menor tamanho; iii) a duração da carreira de filtração foi função da turbidez do afluente e da taxa de filtração, e variou de algumas horas até 20 dias. Os autores, em função dos dados obtidos, procuraram modelar o funcionamento desse tipo de unidade com respeito à remoção das partículas, e estudaram a influência de diversos aspectos operacionais no desempenho da unidade, tais como mecanismo de coagulação, características da mistura rápida, qualidade do afluente, limpeza do meio granular, etc.

Wegelin et al. (1996) realizaram estudos em uma instalação de Filtração em Múltiplas Etapas localizada na Bolívia, alterando o funcionamento do pré-filtro de escoamento horizontal para filtração ascendente em pedregulho e coagulando a água bruta, de modo a adequar a qualidade do afluente aos filtros lentos. Mesmo com valores elevados de turbidez da água bruta, os autores obtiveram consistentemente efluente com turbidez menor ou igual a 5 uT, comprovando a aplicabilidade da filtração direta ascendente em pedregulho.

Cruz V. et al. (1998) estudaram a filtração direta ascendente em pedregulho do efluente de uma unidade de pré-filtração dinâmica. Para uma perda de carga máxima de 0,4 m no meio granular, devido a retenção de impurezas, tratando afluente com turbidez por volta de 200 uT, foi produzido efluente com turbidez menor que 5 uT e carreiras de filtração com duração de 74 h para taxa de filtração de 268 m/d, 144 h para taxa de filtração de 144 m/d e, depois de 168 h, a perda de carga no meio granular era somente de 0,18 m para a taxa de filtração de 72 m/d.

Com base nesses trabalhos e em função dos resultados de diversas investigações experimentais sobre a filtração direta ascendente, Di Bernardo (1998) recomenda o estudo do uso da dupla filtração quando a água a ser tratada apresenta valores de turbidez, cor verdadeira e concentração algal inferiores a, respectivamente, 200 uT, 200 uC e 10^6 ind/L, Di Bernardo (1998).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar o desempenho de uma instalação de dupla filtração, sendo a filtração direta ascendente em pedregulho usada como pré-tratamento à filtração rápida descendente em areia.

MATERIAIS E MÉTODOS

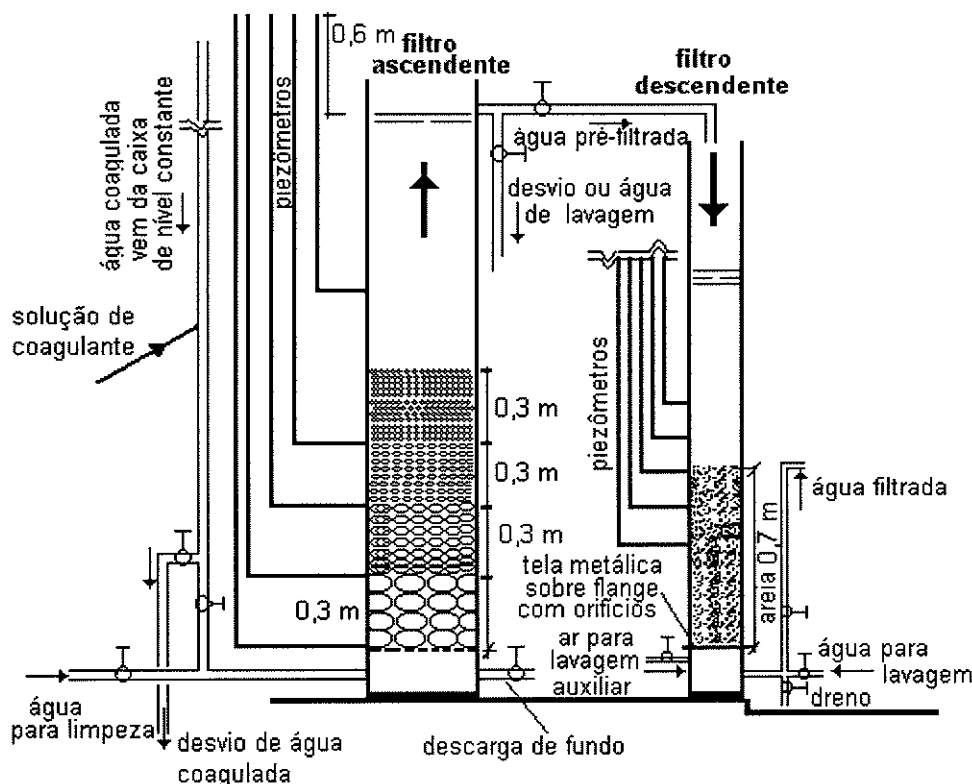
Na figura 1 é apresentado um esquema da instalação piloto utilizada. O filtro ascendente (FAP) foi construído em chapa metálica e possuía diâmetro interno de 0,8 m; o filtro descendente (FDA) tinha diâmetro externo de 100 mm e foi construído em acrílico transparente.

A água bruta era extraída da Adutora do Espraiado (um dos mananciais que abastecem a ETA de São Carlos) e bombeada para um reservatório de 16 m³ de capacidade. Deste, era bombeada para uma caixa de nível constante, provida de extravasor, da qual a água bruta era conduzida para o filtro ascendente por meio de uma tubulação de 38 mm de diâmetro.

O 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. O preparo da solução de coagulante era feita a partir da diluição da solução comercial de Sulfato de Alumínio Líquido, cujas especificações técnicas, fornecidas pelo fabricante eram as seguintes: $Al_2O_3 = 8$ a 9% (em massa); insolúveis = traços; pH (10%) a 20° C = 2,9 a 3,2; viscosidade = 26 centipoise; massa específica = 1,31 a 1,32 g/cm³. A solução de coagulante era introduzida na tubulação de afluente ao filtro ascendente, sendo recalçada por uma bomba dosadora.



Figura 1: Esquema da Instalação Piloto.



Antes do início de cada carreira, eram realizados ensaios em filtro de laboratório, para determinar a dosagem de solução de coagulante necessária e o respectivo pH de coagulação, até obter-se água filtrada com turbidez menor que 1 uT. O filtro de laboratório era constituído por um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro e altura de 25 cm, fixado a um suporte. O meio filtrante era formado por uma camada de areia com espessura total de 15 cm, composto por grãos com tamanho variando de 0,59 a 0,84 mm.

O filtro de escoamento ascendente possuía quatro subcamadas, cada uma com 0,3 m de espessura e material granular com as seguintes características: subcam 1 (31,0 a 19,0 mm); subcam 2 (15,9 a 9,6 mm); subcam 3 (9,6 a 4,8 mm); subcam 4 (4,8 a 2,4 mm). A camada de areia do filtro descendente tinha espessura de 0,7 m, e grãos com tamanho variando entre 1,41 e 0,42 mm, com $D_{10} \cong 0,54$ mm e $D_{60} \cong 0,85$ mm ($CD = 1,57$).

O encerramento de um ensaio era ditado por uma das seguintes condições: perda de carga de 0,4 m na camada de pedregulho do filtro ascendente; perda de carga de 2,0 m na camada de areia no filtro descendente. A limpeza do filtro ascendente era realizada introduzindo água de abastecimento na parte superior e realizando de três a cinco descargas de fundo. A areia do filtro descendente era lavada inicialmente insuflando ar durante 3 min (taxa de aplicação da ordem de 15 L/sm^2), seguida da introdução de água de abastecimento na parte inferior do filtro para produzir expansão de 30 a 40 % na areia.

Os seguintes parâmetros foram monitorados e equipamentos usados: turbidez (turbidímetro de bancada da Hach, mod. 2100 N), cor aparente (espectrofotômetro da Hach, DR-4000), cor verdadeira (espectrofotômetro da Hach, DR-4000), pH (potenciômetro Orion), perda de carga, temperatura, número de partículas e distribuição de tamanhos (contador de partículas da Hiak Royco), alcalinidade, carbono orgânico total (COT analyser da Shimadzu), coliformes totais e fecais (Colilert), vazão e ferro e manganês.



Para a medição e registro de turbidez, foram utilizados três turbidímetros de escoamento contínuo (mod. 1720 C da Hach) e registradores contínuos (Rustrack) em papel especial. A media de perda de carga foi efetuada em piezômetros instalados ao longo dos meios granulares do filtro ascendente e do descendente. Na Tabela 1 é mostrada a programação dos ensaios realizados e taxas de filtração empregadas nas unidades filtrantes. A frequência de coleta de amostras para medição das características das águas é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1: Programação dos Ensaios e Taxas de Filtração.

ENSAIO DE FILTRAÇÃO	UNIDADE DE FILTRAÇÃO	TAXA DE FILTRAÇÃO (m3/m2 . dia)
01	FAP(*)	12
	FDA(**)	250
02	FAP	36
	FDA	250
03	FAP	60
	FDA	250
04	FAP	90
	FDA	250
05	FAP	115
	FDA	250

(*) FPA : Filtro Ascendente de Pedregulho

(**) FDA : Filtro Descendente de Areia

Tabela 2: Frequência de Amostragem do Afluente e Efluentes das Unidades.

CARACTERÍSTICA	FREQÜÊNCIA
Turbidez	cada 4 h (*)
Cor aparente	cada 4 h
Cor verdadeira	1 vez por dia
pH	1 vez por dia
Temperatura	cada 3 h
Número de partículas e distribuição de tamanhos	1 vez por dia
Ferro e manganês total	1 vez por dia
Alcalinidade	1 vez por dia
Carbono orgânico total	1 vez por dia
Coliformes total e fecal	1 vez por dia
Leitura piezométrica	cada 3 h

(*) para comparar com os valores medidos em equipamentos contínuos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 é apresentado um resumo dos ensaios realizados, destacando-se a duração dos ensaios realizados e, nas Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8, têm-se as faixas de variação dos parâmetros monitorados correspondentes a cada ensaio. Resultados típicos de turbidez afluente e efluentes das unidades são apresentados nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6. Nessas figuras, os valores diários ou horários de turbidez são representativos daqueles dias ou horas considerados no gráfico de medição contínua. Nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11 são mostradas as variações das perdas de carga nos FAP e FAD durante os ensaios realizados.

O Ensaio 1 teve duração de 14 dias, quando a perda de carga no FDA atingiu cerca de 2 m, enquanto a perda de carga no FAP ainda era da ordem de 0,16 m (ver Figura 7). De acordo com a Tabela 4 e Figura 2, os valores de turbidez do afluente, efluente do FAP e efluente do FDA variaram de aproximadamente 10 a 46 uT, 0,28 a 3,33 uT e 0,18 a 0,68 uT, respectivamente. Em geral, os valores mais elevados dos efluentes dos filtros, ascendente e descendente, ocorreram no início do ensaio ou quando era incorreta a dosagem de coagulante. Outras características da água também tiveram seus valores diminuídos de forma que o efluente do FDA se apresentasse com qualidade compatível com a desejada para a desinfecção final.



O Ensaio 2 teve duração de 46 horas, quando a perda de carga no FDA atingiu cerca de 2 m, enquanto a perda de carga no FAP ainda era da ordem de 0,09 m (ver Figura 8). De acordo com a Tabela 5 e Figura 3, os valores de turbidez do afluente, efluente do FAP e efluente do FDA variaram de aproximadamente 6 a 12 uT, 0,73 a 4,3 uT e 0,21 a 0,71 uT, respectivamente. Em geral, os valores mais elevados dos efluentes dos filtros, ascendente e descendente, ocorreram no início do ensaio ou quando era incorreta a dosagem de coagulante. Outras características da água também tiveram seus valores diminuídos de forma que o efluente do FDA se apresentasse com qualidade compatível com a desejada para a desinfecção final.

O Ensaio 3 teve duração de 41 horas, quando a perda de carga no FDA atingiu cerca de 2 m, momento em que a perda de carga no FAP era da ordem de 0,28 m (ver Figura 9). Nota-se na Tabela 6 e Figura 4, que os valores de turbidez do afluente, efluente do FAP e efluente do FDA variaram de aproximadamente 41 a 71 uT, 2,76 a 4,27 uT e 0,21 a 0,85 uT, respectivamente. Em geral, os valores mais elevados dos efluentes dos filtros, ascendente e descendente, ocorreram no início do ensaio ou quando era incorreta a dosagem de coagulante. Outras características da água também tiveram seus valores diminuídos de forma que o efluente do FDA se apresentasse com qualidade compatível com a desejada para a desinfecção final.

O Ensaio 4 teve duração de 26 horas, quando a perda de carga no FDA atingiu cerca de 2 m, momento em que a perda de carga no FAP era da ordem de 0,60 m (ver Figura 10). Nota-se na Tabela 7 e Figura 5, que os valores de turbidez do afluente, efluente do FAP e efluente do FDA variaram de aproximadamente 24,3 a 29,2 uT, 2,94 a 5,23 uT e 0,31 a 0,42 uT, respectivamente. Em geral, os valores mais elevados dos efluentes dos filtros, ascendente e descendente, ocorreram no início do ensaio ou quando era incorreta a dosagem de coagulante. Outras características da água também tiveram seus valores diminuídos de forma que o efluente do FDA se apresentasse com qualidade compatível com a desejada para a desinfecção final, com exceção da cor aparente e da cor verdadeira.

O Ensaio 5 teve duração de 21 horas, quando a perda de carga no FDA atingiu cerca de 2 m, momento em que a perda de carga no FAP era da ordem de 0,63 m (ver Figura 11). Nota-se na Tabela 8 e Figura 6, que os valores de turbidez do afluente, efluente do FAP e efluente do FDA variaram de aproximadamente 17 a 37 uT, 3,49 a 5,12 uT e 0,3 a 0,4 uT, respectivamente. Em geral, os valores mais elevados dos efluentes dos filtros, ascendente e descendente, ocorreram no início do ensaio ou quando era incorreta a dosagem de coagulante. Outras características da água também tiveram seus valores diminuídos de forma que o efluente do FDA se apresentasse com qualidade compatível com a desejada para a desinfecção final, com exceção da cor aparente e da cor verdadeira. O teor de carbono orgânico total também resultou relativamente alto, pois geralmente deseja-se este parâmetro na água filtrada com valor menor que 2 mg/L.

Comparando-se os resultados dos cinco ensaios, observou-se que, quanto maior a taxa de filtração no FAP e maior a turbidez da água bruta, mais elevada resultava a turbidez do efluente do FPA, contribuindo para a redução na duração da carreira de filtração do FDA.

Tabela 3: Duração dos Ensaio Realizados.

ENSAIO DE FILTRAÇÃO	DATA DE INICIO	DATA DE TÉRMINO	UNIDADE DE FILTRAÇÃO	TAXA (m3/ m2 .dia)	DURAÇÃO DA CARREIRA
01	22/10/98	05/11/98	FAP FDA	12 250	14 d
02	16/11/98	18/11/98	FAP FDA	36 250	46 h
03	16/12/98	18/12/98	FAP FDA	60 250	41 h
04	21/12/98	22/12/98	FAP FDA	90 250	26 h
05	28/12/98	29/12/98	FAP FDA	115 250	21 h

(*) FAP: Filtro Ascendente de Pedregulho

(**) FDA: Filtro Descendente de Arcia

**Tabela 4: Resumo dos Resultados Obtidos no Ensaio 1 ($T_r=12$ m/d no FAP; $T_r=250$ m/d no FDA).**

CARACTERÍSTICA	ÁGUA BRUTA	EFLUENTE DO FAP	EFLUENTE DO FDA
Turbidez (uT)	10,1 a 46,1	0,28 a 3,33	0,18 a 0,68
Cor aparente (uH)	92 a 297	2 a 16	2 a 12
Cor verdadeira (uH)	20 a 141	2 a 8	2 a 4
pH	6,60 a 8,00	6,49 a 7,40	6,43 a 7,20
Ferro total (mg Fe/L)	0,99 a 2,00	0,2 a 0,4	0,07 a 0,2
Manganês total (mg Mn/L)	0,02 a 0,11	0,01 a 0,04	0,01 a 0,03
Coliformes totais (NMP/100 mL)	181 a 8 604	13,1 a 798	2 a 185
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	<1 a 86	<1 a 10	<1 a 2
Carbono orgânico total (mg/L)	1,03 a 10,33	1,01 a 7,41	1,01 a 3,51

Tabela 5: Resumo dos Resultados Obtidos no Ensaio 2 ($T_r=36$ m/d no FAP; $T_r=250$ m/d no FDA).

CARACTERÍSTICA	ÁGUA BRUTA	EFLUENTE DO FAP	EFLUENTE DO FDA
Turbidez (uT)	6,8 a 11,8	0,73 a 4,30	0,21 a 0,71
Cor aparente (uH)	75 a 130	10 a 35	4 a 30
Cor verdadeira (uH)	18 a 24	2 a 9	2
pH	7,15 a 7,55	7,02 a 8,32	6,81 a 7,26
Ferro total (mg Fe/L)	0,14 a 0,60	0,06 a 0,14	0,02 a 0,03
Manganês total (mg Mn/L)	0,05 a 0,20	0,03 a 0,06	0,02 a 0,03
Coliformes totais (NMP/100 mL)	1 095 a 8 164	14,8 a 253	2 a 7,8
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	11 a 45	<1 a 2	<1 a 1
Carbono orgânico total (mg/L)	1,89 a 7,71	2,38 a 3,52	0,67 a 2,24

Tabela 6: Resumo dos Resultados Obtidos no Ensaio 3 ($T_r=60$ m/d no FAP; $T_r=250$ m/d no FDA).

CARACTERÍSTICA	ÁGUA BRUTA	EFLUENTE DO FAP	EFLUENTE DO FDA
Turbidez (uT)	41,3 a 71,0	2,76 a 4,27	0,21 a 0,85
Cor aparente (uH)	307 a 425	8 a 17	4 a 12
Cor verdadeira (uH)	31 a 106	2 a 5	2 a 4
pH	6,81 a 7,16	6,44 a 6,92	6,47 a 6,87
Ferro total (mg Fe/L)	1,2 a 2,1	0,5 a 0,7	0,18 a 0,20
Manganês total (mg Mn/L)	0,03 a 0,09	0,02 a 0,04	0,01 a 0,02
Coliformes totais (NMP/100 mL)	378,4 a 521,6	46,2 a 83,6	28,8 a 51,7
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	9,8 a 55,6	2,3 a 6,3	<1 a 3
Carbono orgânico total (mg/L)	4,19 a 11,44	2,17 a 3,24	0,55 a 12,11

Tabela 7: Resumo dos Resultados Obtidos no Ensaio 4 ($T_r=90$ m/d no FAP; $T_r=250$ m/d no FDA).

CARACTERÍSTICA	ÁGUA BRUTA	EFLUENTE DO FAP	EFLUENTE DO FDA
Turbidez (uT)	24,3 a 29,2	2,94 a 5,23	0,31 a 0,42
Cor aparente (uH)	151 a 253	16 a 33	9 a 18
Cor verdadeira (uH)	25 a 74	6 a 18	5 a 9
pH	6,69 a 7,33	6,51 a 6,73	6,49 a 6,64
Ferro total (mg Fe/L)	1,15 a 1,88	0,03 a 0,40	0,15 a 0,23
Manganês total (mg Mn/L)	0,03 a 0,07	0,02 a 0,04	0,01 a 0,02
Coliformes totais (NMP/100 mL)	118,7 a 488,4	6,3 a 186	2 a 5,2
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	1 a 30,1	<1 a 5	<1 a 1,5
Carbono orgânico total (mg/L)	1,96 a 7,68	0,58 a 4,06	1,09 a 3,74



Tabela 8: Resumo dos Resultados Obtidos no Ensaio 5 ($T_f=115\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAP; $T_f=250\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).

CARACTERÍSTICA	ÁGUA BRUTA	EFLUENTE DO FAP	EFLUENTE DO FDA
Turbidez (uT)	17,1 a 36,8	3,49 a 5,12	0,3 a 0,4
Cor aparente (uH)	136 a 220	36 a 64	9 a 14
Cor verdadeira (uH)	61 a 98	11 a 20	6 a 10
pH	6,51 a 6,87	6,36 a 6,45	6,30 a 6,43
Ferro total (mg Fe/L)	1,87 a 2,45	0,3 a 0,4	0,12 a 0,17
Manganês total (mg Mn/L)	0,03 a 0,09	0,02 a 0,04	0,01 a 0,02
Coliformes totais (NMP/100 mL)	13,6 a 24,2	3 a 4	1 a 2
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	7 a 8	2 a 2,5	<1 a 1,3
Carbono orgânico total (mg/L)	3,92 a 4,16	3,05 a 3,67	2,93 a 4,38

Figura 2: Turbidez do Afluente, Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho e Efluente do Filtro Descendente de Areia ($T_f=12\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAP e $PF=250\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).

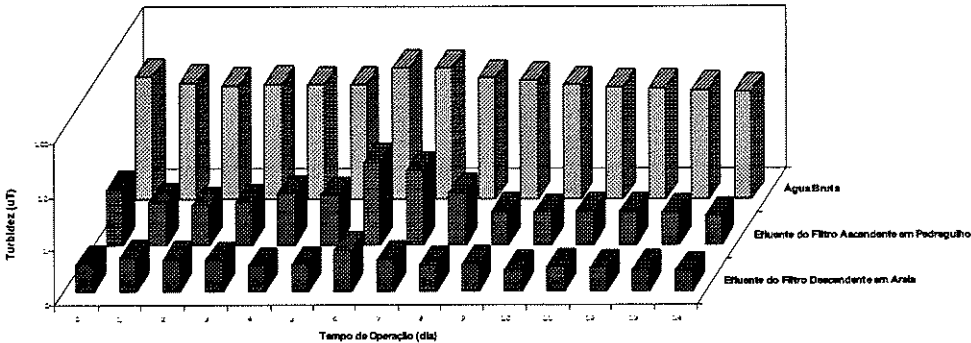


Figura 3: Turbidez do Afluente, Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho e Efluente do Filtro Descendente de Areia ($T_f=36\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAP e $PF=250\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).

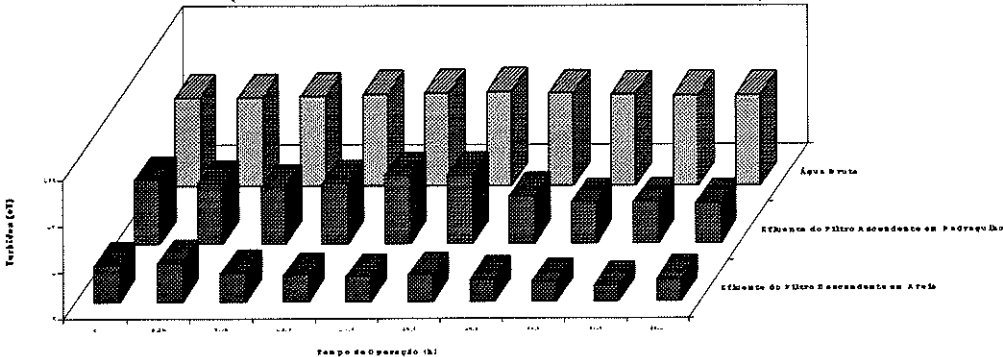


Figura 4: Turbidez do Afluente, Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho e Efluente do Filtro Descendente de Areia ($T_f=60\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAP e $PF=250\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).

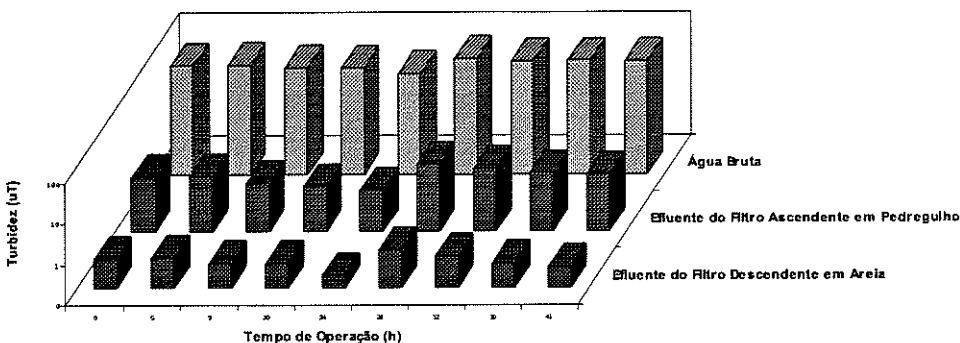




Figura 5. Turbidez do Afluente, Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho e Efluente do Filtro Descendente de Areia ($T_f = 90 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAP e $PF = 250 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).

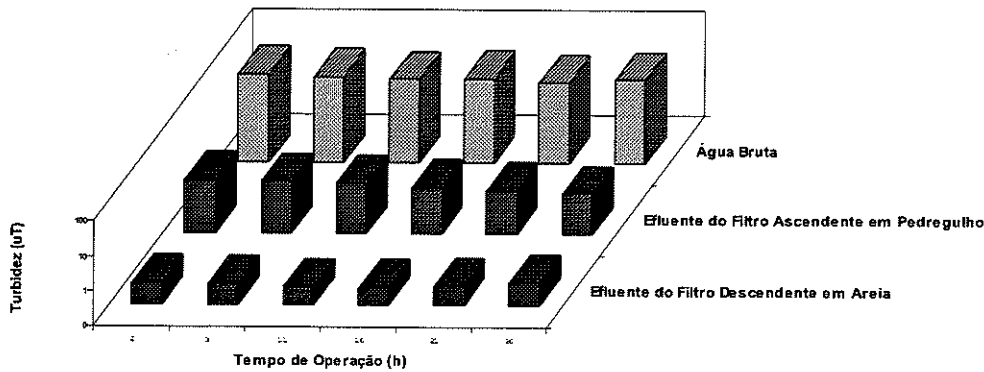


Figura 6. Turbidez do Afluente, Efluente do Filtro Ascendente de Pedregulho e Efluente do Filtro Descendente de Areia ($T_f = 115 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no PFP e $PF = 250 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).

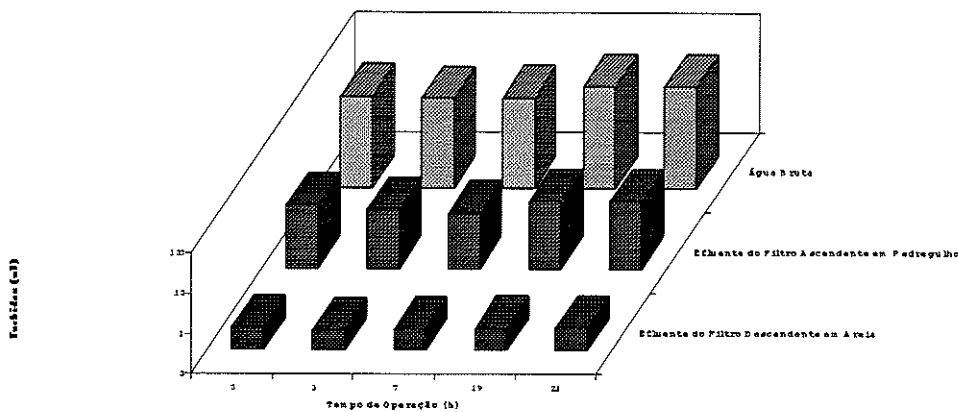


Figura 7: Variação da perda de carga nos filtros ascendente e descendente durante o Ensaio 1 ($T_f = 12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAP e $PF = 250 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).

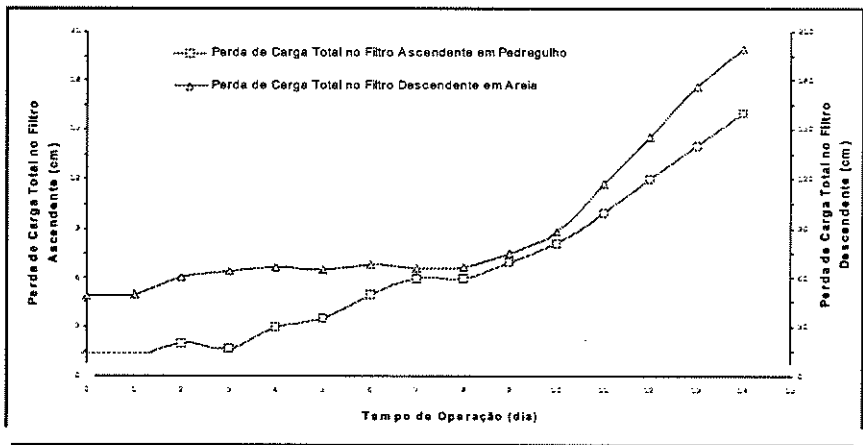




Figura 8: Variação da perda de carga nos filtros ascendente e descendente durante o Ensaio 2 (Tf = 36 m³/m²d no FAP e PF = 250 m³/m²d no FDA).

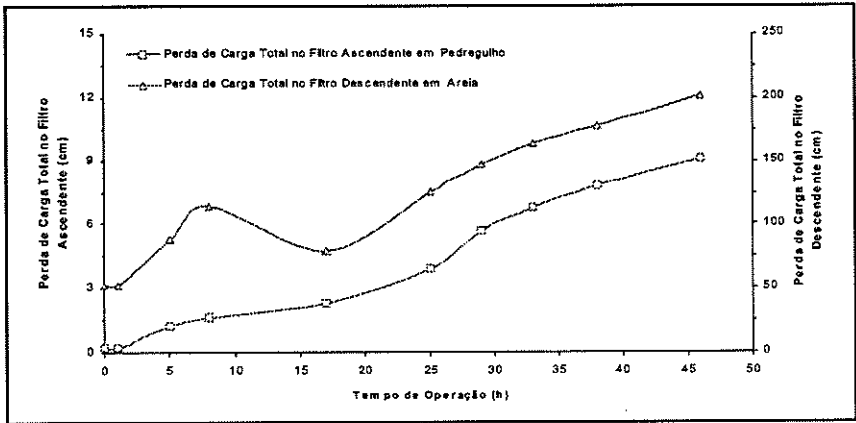


Figura 9: Variação da perda de carga nos filtros ascendente e descendente durante o Ensaio 3 (Tf = 60 m³/m²d no FAP e PF = 250 m³/m²d no FDA).

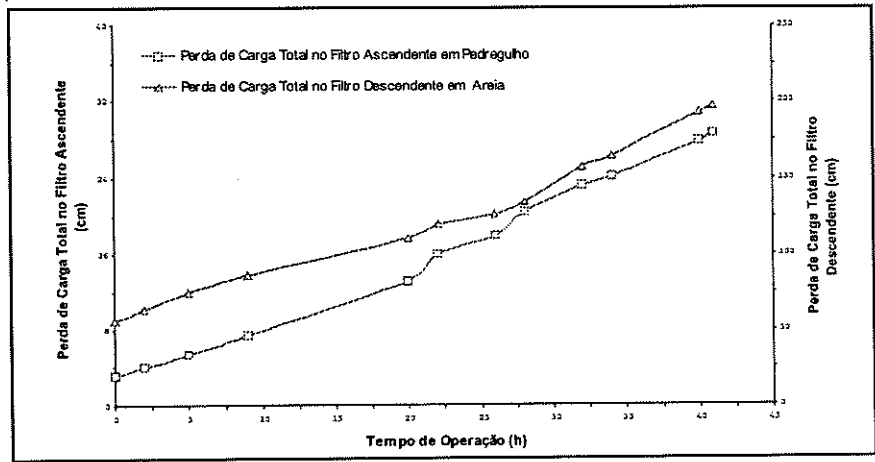


Figura 10: Variação da perda de carga nos filtros ascendente e descendente durante o Ensaio 4 (Tf = 90 m³/m²d no FAP e PF = 250 m³/m²d no FDA).

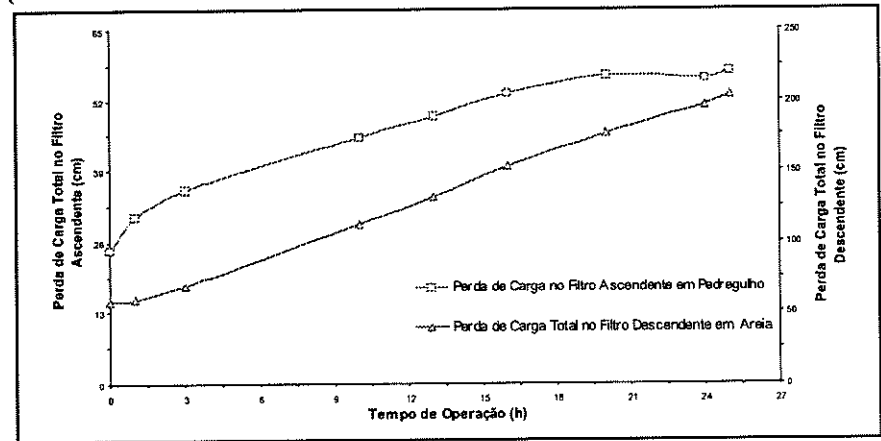
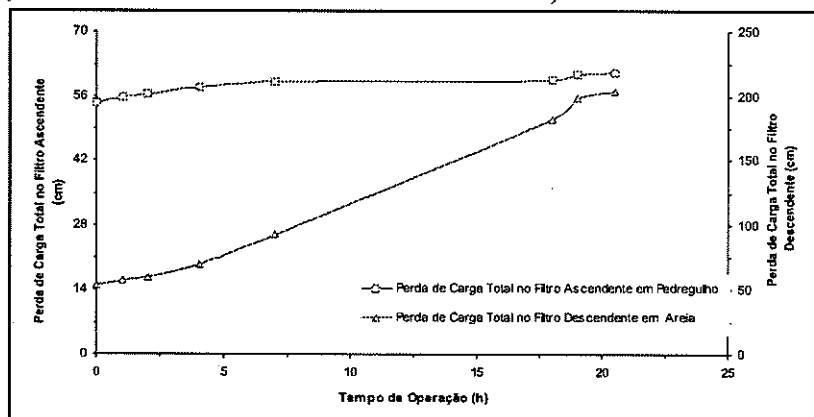




Figura 11: Variação da perda de carga nos filtros ascendente e descendente durante o Ensaio 5 ($Tf = 115 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FAP e $PF = 250 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no FDA).



CONCLUSÕES

Com base no trabalho experimental realizado, concluiu-se que:

- a filtração ascendente em pedregulho-FAP demonstrou capacidade de absorver picos de turbidez;
- pequenas variações de turbidez no efluente foram frequentemente acompanhadas de variações significativas no número de partículas ou distribuição de tamanhos;
- a eficiência global do sistema com relação à remoção de partículas entre 1 e $40 \mu\text{m}$ foi praticamente a mesma, independente das taxas empregadas no filtro ascendente;
- a eficiência de remoção de ferro e manganês total aumentou com a concentração desses elementos no afluente, não apresentando variações significativas em função da taxa de filtração;
- as taxas empregadas no filtro ascendente em pedregulho e no filtro descendente de areia não influenciaram a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, coliformes totais e fecais;
- a duração da carreira de filtração, tanto no FAP quanto no FDA, foi influenciada pela taxa de filtração empregada no FAP;
- a eficiência global da instalação de dupla filtração foi relativamente alta quanto à remoção de turbidez, cor aparente, ferro e coliformes totais - em geral, a turbidez do efluente final foi sempre inferior a 1 uT , a cor aparente menor que 5 uC , o teor de ferro inferior a $0,1 \text{ mg/L}$ e o NMP de coliformes totais sempre menor que $5 \text{ ufc}/100 \text{ mL}$.

Os autores desejam expressar seus agradecimentos à FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos pelo auxílio financeiro para construção da instalação piloto e aquisição de materiais e equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CRUZ VELEZ, C.H., GALVIS C., G., VISSCHER, J. T., DI BERNARDO, L. Optimizacion de sistemas de potabilizacion com filtracion rapida: La filtracion gruesa sdinamica y la clarificacion com filtracion gruesa ascendente, una alternativa factible Conferencia Internacional sobre Mejoramiento de la Calidad del Agua Cali, 30 abril-4 de maio, 1996, Colombia
2. DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. Volumes I e II, ABES. Rio de Janeiro, 1993.
3. DI BERNARDO, L. Alternativas tecnológicas para o tratamento de água para consumo humano Conferencia Internacional - Água y Sostenibilidad Cali, 1 al 3 de maio, Colombia, 1998.
4. MEGDA, C. R. Filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente São Carlos. 167p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.



5. TANVEER, A. Process Analysis and Optmization of direct horizontal-flow roughing filtration Ph.D. Dissertation submitted to Delft University of Technology , 193 p., Nov. 1995, The Netherlands
6. TANVEER, A , ALAERTS, G. J., BUITEMAN, J. P. Direct horizontal-flow roughing filtration - Part I optimisation of process parameters Aqua - JWSRT-IWSA v. 45, n. 5, p:262 - 271, oct., 1996.
7. TANVEER, A., ALAERTS, G. J., BUITEMAN, J. P. Direct horizontal-flow roughing filtration - Part II performance and operational guidance Aqua - JWSRT-IWSA v. 45, n. 6, p: 281 - 291, dec., 1996.
8. WEGELIN, M. Filtracion gruesa ascendente en manto de grava Conferencia International sobre Mejoramiento de la Calidad del Agua Cali, 30 abril-4 de maio, 1996, Colombia