



I-085 - COMPORTAMENTO DE FILTROS RÁPIDOS DE CAMADA PROFUNDA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO EM FUNÇÃO DA ALTURA DO MEIO FILTRANTE

Nádia Cristina Pires Brinck⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola Politécnica de São Paulo (Poli/USP). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Poli/USP.

Sergio Brasil Abreu⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola Politécnica de São Paulo (Poli/USP). Analista de Infraestrutura de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (Funasa).

Sidney Seckler Ferreira Filho⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica de São Paulo (Poli/USP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Poli/USP. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Poli/USP. Professor Livre Docente em Hidráulica e Saneamento pela Poli/USP.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Professor Almeida Prado, 271 - Cidade Universitária - São Paulo - SP - CEP: 05508-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3091-5220 - Fax: +55 (11) 3091-5529 - e-mail: nadiabrinck@hotmail.com

RESUMO

A maioria dos mananciais utilizados pelas estações de tratamento de água em grandes centros urbanos encontra-se com problemas de eutrofização, acarretando problemas para a produção de água potável. Sendo a etapa de filtração a barreira final para as impurezas, este estudo avaliou a influência do aumento de leito filtrante de 120 cm para 160 cm, em filtros de areia e antracito, referente à qualidade da água filtrada, em termos de turbidez, contagem de partículas e perda de carga. O sistema de filtração piloto (quatro filtros rápidos por gravidade de camada profunda) foi montado na Estação de Tratamento de Água Rio Grande (ETA Rio Grande), localizada na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e operada pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP). Alimentaram-se dois filtros de antracito (120 cm e 160 cm) e dois filtros de areia (120 cm e 160 cm) com água decantada da ETA Rio Grande a uma taxa de filtração de 500 m³/m²/dia. Ao final dos ensaios, constatou-se que o aumento de leito de 120 cm para 160 cm proporcionou uma melhora na qualidade da água filtrada em termos de turbidez para ambos os filtros, sendo mais significativa para os filtros de antracito.

PALAVRAS-CHAVE: Filtros Rápidos, Camada Profunda, Aumento de Leito, Turbidez, Perda de Carga.

INTRODUÇÃO

Tipicamente, os sistemas de filtração empregados no tratamento de águas de abastecimento podem ser classificados de acordo com o seu posicionamento na concepção da estação de tratamento de água (filtração em linha, filtração direta ou do tipo de ciclo completo), sentido de escoamento (descendente e ascendente), materiais filtrantes (areia, antracito, carvão ativado granular), arranjo do material filtrante (camada simples, dupla camada e, eventualmente, tripla camada), taxa de filtração (filtração lenta e rápida) e controle hidráulico.

Tradicionalmente, até a década de 50, os filtros empregados no tratamento de águas de abastecimento eram constituídos unicamente de areia como material filtrante e limitados a taxas de filtração de, no máximo, 120 m³/m²/dia. No entanto, a partir do uso incidental do CAG como meio filtrante e adsorvedor para controle de gosto e odor em águas de abastecimento, observou-se uma significativa melhora da qualidade da água filtrada, associada a uma também diminuição da evolução da perda de carga, o que possibilitou o emprego do antracito como material filtrante.

A utilização do antracito como material filtrante, combinado com a areia, permitiu que fossem concebidos os chamados filtros de dupla camada areia-antracito que, quando submetidos a condições ótimas de pré-tratamento, possibilitaram a sua operação com taxas de filtração de 240 m³/m²/dia a 360 m³/m²/dia. No final da década de 60 e início da década de 70, alguns pesquisadores passaram a considerar a utilização de filtros



rápidos por gravidade operando com taxas de filtração variando de 480 m³/m²/dia a 600 m³/m²/dia, empregando tanto a areia como o antracito como material filtrante.

Em face das elevadas taxas de filtração empregadas e, conseqüentemente aumento da perda de carga, a granulometria do material filtrante teve de ser alterada para maiores valores de diâmetro efetivo e, com o objetivo de compensar e eventual perda de eficiência na captura de partículas coloidais, a sua altura passou dos tradicionais 0,6 e 0,8 metros para os filtros de dupla camada para 1,2 a 1,5 metros para os filtros rápidos de camada profunda.

A grande vantagem da utilização de filtros do tipo rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento tem sido a diminuição das áreas de filtração requeridas, o que possibilita uma grande economia na construção e operação de novas ETA's. O exemplo mais significativo do emprego de filtros rápidos de camada profunda no Brasil foram as unidades projetadas e atualmente em operação na Estação de Tratamento de Água Taiaçupeba, pertencente à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e localizada na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com vazão de 15 m³/s.

Embora existam vantagens significativas na adoção de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento, ainda persistem algumas dúvidas no tocante a seleção do material filtrante (areia ou antracito), bem como na definição de sua altura.

Portanto, em face das dúvidas ainda existentes no tocante ao emprego de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento, este trabalho teve por finalidade principal avaliar a potencialidade da sua utilização no tratamento de águas proveniente de mananciais com elevado estado de eutrofização e estudar a sua concepção no tocante a seleção do material filtrante e valores de altura ótimos com vistas a otimização da qualidade da água filtrada e evolução de perda de carga.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho foi estudada a influência do aumento do leito – de 1,2 para 1,6 m – no comportamento de filtros de areia e antracito. Dessa forma, pretendia-se avaliar o comportamento dos filtros no tocante à evolução da perda de carga e à melhora, ou não, da qualidade do efluente.

A Tabela 1 ilustra as quatro diferentes concepções de filtros utilizados nos ensaios de filtração.

Tabela 1: Concepções de filtros utilizados nos ensaios de filtração.

Filtro	Material filtrante	Altura cm	Coefficiente de uniformidade	Diâmetro efetivo mm
F1	Antracito	120	1,30	1,30
F2	Areia	120	1,30	1,30
F3	Antracito	160	1,30	1,30
F4	Areia	160	1,30	1,30

O aparato experimental foi composto por 4 filtros por gravidade, de alta taxa do tipo camada profunda e fluxo descendente em escala piloto operados em paralelo, conforme mostra a Figura 1. Esses filtros foram instalados na Estação de Tratamento de água do Rio Grande (ETA – Rio Grande), que capta água do braço Rio Grande, integrante do Reservatório Billings, conhecido por seu alto grau de eutrofização.



Figura 1: Detalhe dos 4 filtros de alta taxa e fluxo descendente em escala piloto operados em paralelo.

Os filtros piloto possuem 5 m de altura, diâmetro externo de 156 mm e interno de 150 mm. O material utilizado na construção dos filtros foi PVC na parte superior e acrílico na inferior, de modo a permitir a visualização da camada suporte e da expansão do leito durante a lavagem dos filtros. Na interseção entre esses dois materiais foi colocada uma flange móvel de acrílico, com aproximadamente 70 cm, facilitando o preenchimento dos filtros.

Os estudos foram conduzidos em escala piloto e tiveram como principal objetivo avaliar o comportamento dos filtros com relação à remoção de turbidez, partículas e evolução de perda de carga. Optou-se pela utilização de uma taxa de filtração, de $500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$, pois esse é considerado um valor típico de alta taxa.

Inicialmente ligava-se a bomba de recalque de água decantada para o tanque pulmão localizado na casa de química. Verificava-se o extravasamento da caixa, significando que a mesma já está cheia. Os filtros, antes de entrarem em operação, precisavam estar lavados e com o nível d'água sempre acima do material filtrante. Verificava-se se os registros de saída de água de lavagem estavam fechados e se algum deles estivesse aberto era efetuado seu fechamento.

A seguir, eram abertos os registros dos piezômetros e fazia-se a verificação se as cotas dos mesmos se igualavam para a condição estática (vazão de alimentação igual a zero). Do mesmo modo, era verificado eventual acúmulo de ar das mangueiras dos piezômetros. Uma vez abertos os registros dos piezômetros e verificado seus níveis, eram abertos os registros de alimentação de água decantada individualmente para cada filtro e, do mesmo modo, também o registro de saída de água filtrada. Esperava-se a estabilização do nível d'água em cada filtro que acontecia após, aproximadamente, 10 minutos.

Uma vez tendo-se estabilizado o nível d'água nos filtros, zerava-se o cronômetro e iniciava-se uma nova carreira de filtração. Imediatamente após o início, efetuava-se a primeira coleta de amostras de água filtrada. Durante a primeira hora, as coletas de amostra de água filtrada eram efetuadas de 15 em 15 minutos. Do mesmo modo, efetuava-se a primeira leitura do nível d'água em todos os piezômetros dos filtros F1 a F4. A partir daí essas passavam a ser efetuadas de quatro em quatro horas.

A seguir, verificava-se a vazão de alimentação. Esta devia estar situada entre mais ou menos 5% do valor nominal citado de 6,1 L/min, ou seja, entre 5,8 e 6,4 L/min. Caso fora deste intervalo, efetuava-se seu ajuste pelo rotâmetro e reverificava-se sua vazão por medição volumetricamente. A vazão dos filtros era verificada a



cada quatro horas, aproximadamente, a fim de se assegurar que a vazão de alimentação estivesse garantindo a taxa de filtração desejada.

O encerramento da carreira de filtração era determinado caso ocorresse alguma das condições abaixo:

- Turbidez da água filtrada maior ou igual a 0,5 UNT em três medidas consecutivas;
- Carreira de filtração com máximo de 40 horas; e/ou
- Perda de carga superior ao limite estabelecido pelo sistema, nesse caso quando o nível d'água alcançava 5 m, de maneira que não houvesse extravasamento nos filtros.

Considerando que parte dos filtros estava preenchido com a camada suporte e o material filtrante, a perda de carga inicial no sistema é de aproximadamente 0,5 m, que equivale à um nível d'água na altura de 2,5 m, para os filtros com altura de material filtrante igual a 120 cm e de 3 m para os filtros com 160 cm. Dessa forma, para alcançar o topo do filtro – que conforme dito anteriormente tem cerca de 5 m – a perda de carga no sistema durante os ensaios deve ser de cerca de mais 2,5 m, totalizando 3 m, para altura de 120 cm e aproximadamente mais 2 m, totalizando 2,5 m, para altura de 160 cm. No decorrer dos resultados será possível observar esses valores como limites ao sistema.

Uma vez encerrada a carreira de um filtro, eram fechados os registros dos piezômetros e o registro de entrada de água decantada de alimentação deste. Em seguida procedia-se sua lavagem de acordo com os procedimentos descritos a seguir.

Deixava-se o nível d'água baixar na coluna de filtração até um ponto visível no acrílico. Uma vez atingido um determinado nível requerido, fechava-se a saída de água filtrada. A seguir, abria-se o registro de alimentação de ar do filtro a ser lavado. Efetuava-se a aplicação de ar por 4 minutos a uma taxa de aproximadamente 22 L/minuto.

Era feita a abertura do registro de saída de água de lavagem e aplicada água em contracorrente de modo a permitir uma expansão do material em aproximadamente 30%. Para tanto, procedia-se a abertura da válvula de aplicação de água de forma lenta e gradual de forma a evitar a separação do leito filtrante. Essa aplicação de água era efetuada por, pelo menos, 10 minutos.

A seguir, abriam-se os registros dos piezômetros e verificava-se se suas cotas se igualam para a condição estática citada anteriormente. Do mesmo modo, verificava-se se não havia o acúmulo de ar das mangueiras dos piezômetros. Para uma nova carreira de filtração adotavam-se os mesmos passos e procedimentos descritos anteriormente, de maneira que os quatro filtros iniciassem sempre ao mesmo tempo.

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os valores de qualidade do afluente – medidos na forma de turbidez da água bruta e da água decantada – e do efluente – medidos na forma de turbidez da água filtrada – produzido pelos filtros piloto F1, F2, F3 e F4 para uma carreira típica de filtração.

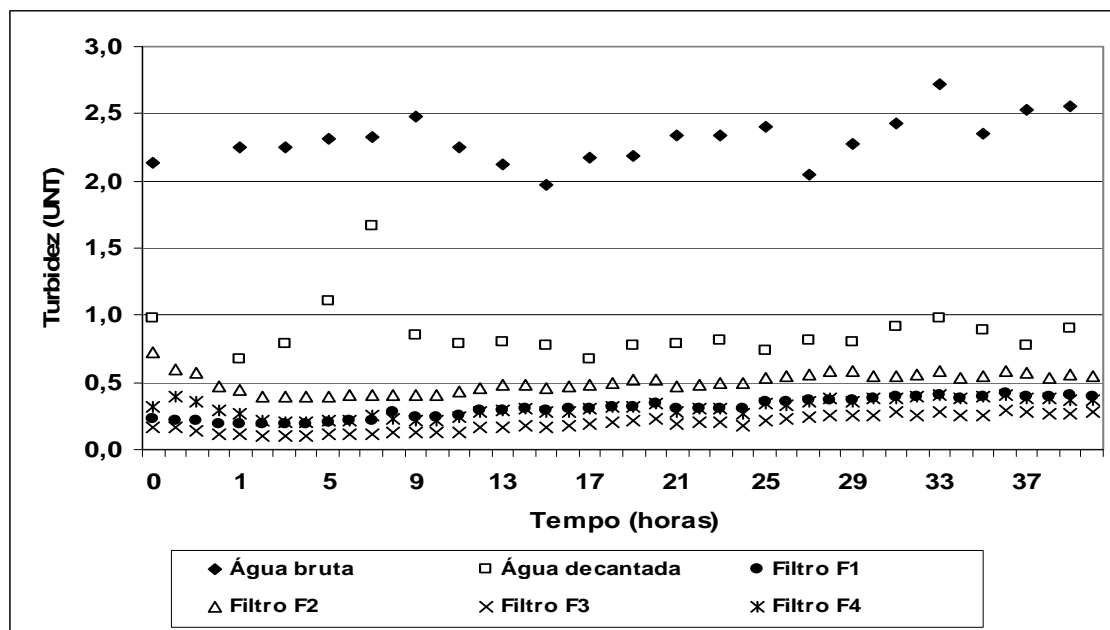


Figura 2: Qualidade da água bruta, decantada e filtrada dos filtros piloto F1 (antracito-120 cm), F2 (areia-120 cm), F3 (antracito-160 cm) e F4 (areia-160 cm).

A média dos valores de turbidez foi de $2,31 \pm 0,18$ UNT para água bruta e $0,87 \pm 0,21$ UNT para água decantada. Pode-se ver que há uma diferença na qualidade do efluente produzido, tanto entre os filtros piloto F1 e F3, com também entre F2 e F4. A média dos valores de turbidez foi de $0,31 \pm 0,08$ UNT para o filtro F1 e $0,19 \pm 0,06$ UNT para F3, enquanto para os filtros F2 e F4 foi de $0,50 \pm 0,07$ e $0,32 \pm 0,06$ UNT, respectivamente. Pode-se ver que, tanto para antracito como para areia, os filtros com leito mais extenso tiveram uma melhora na qualidade do efluente. O valor da turbidez da água filtrada nos filtros com leito de 1,2 m foi em torno de 1,6 vezes maior que nos filtros com leito de 1,6 m. Essa é uma diferença considerável quando se refere a remoção de turbidez.

A Figura 3 apresenta os valores de evolução de perda de carga produzidos pelos filtros piloto F1, F2, F3 e F4 para a mesma carreira de filtração.

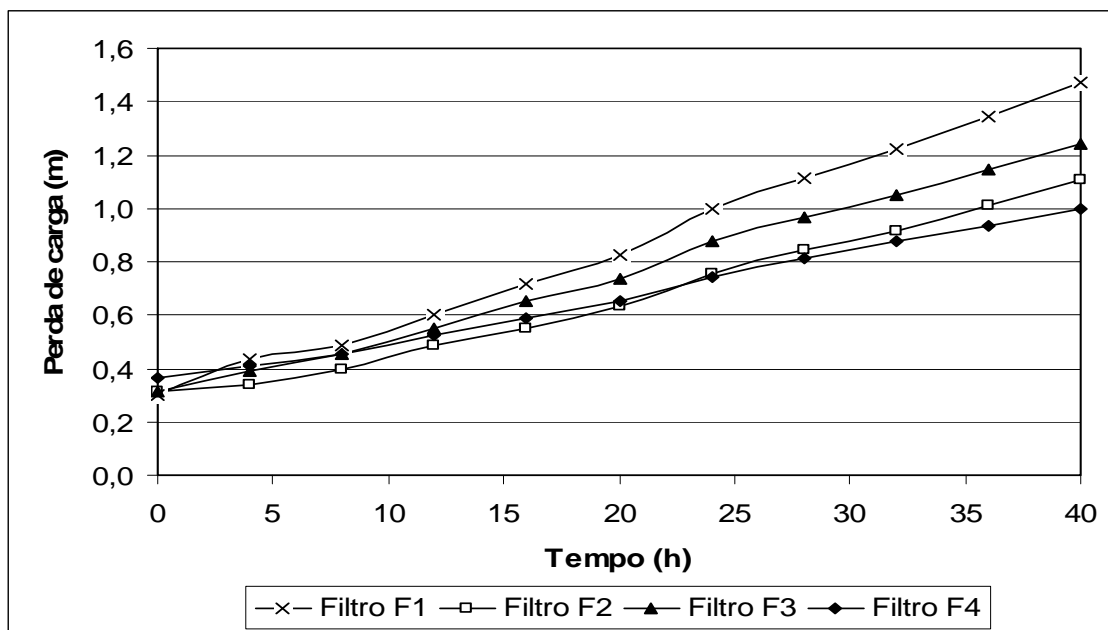


Figura 3: Evolução de perda de carga dos filtros piloto F1, F2, F3 e F4.

Com relação à perda de carga, pode-se observar uma pequena diferença entre os filtros de areia estudados. A perda de carga distribuída ao longo do filtro foi bem próxima, 1,11 e 1,00 m, para F2 e F4, respectivamente, e o tempo de duração das carreiras foi muito alto, com 40 horas – tempo limite estabelecido para o sistema – para ambos os filtros.

Já para os filtros de antracito também não houve grande diferença no que se refere à perda de carga distribuída ao longo do filtro. Ambos os filtros tiveram duração da carreira de 40 horas, com perda de carga de 1,48 e 1,24 m, para F1 e F3, respectivamente.

A Figura 4 apresenta os valores de contagem de partículas para a mesma carreira de filtração.

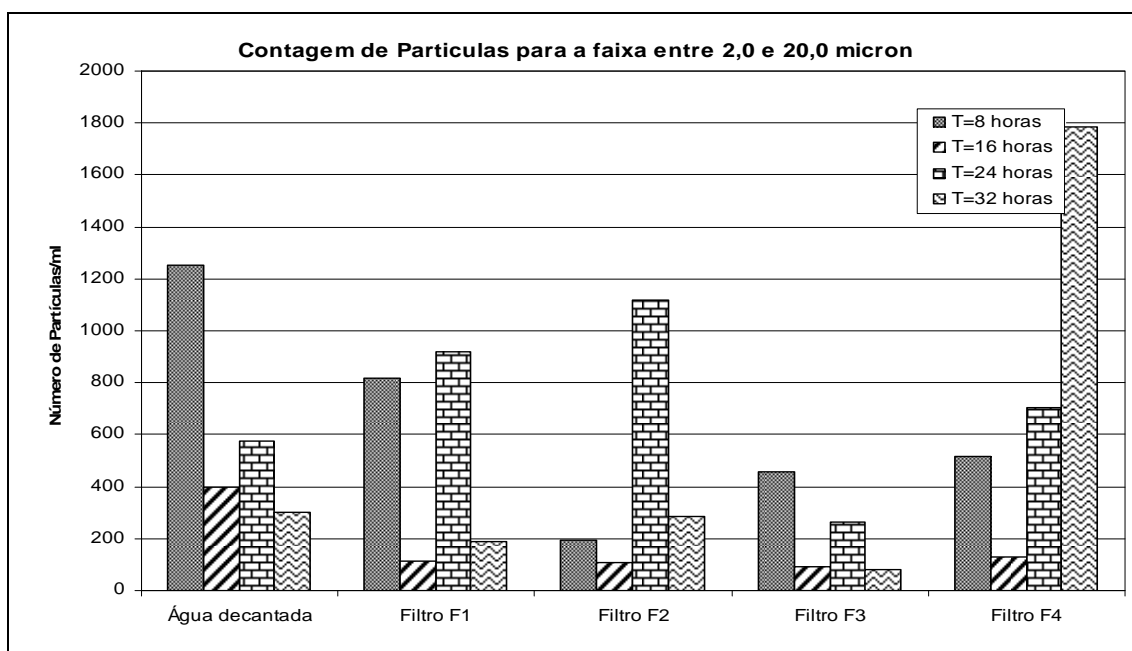


Figura 4: Contagem de partículas para água decantada e filtros piloto F1, F2, F3 e F4.



Os valores de contagem de partículas para a água filtrada apresentaram-se elevados em relação aos valores obtidos para a água decantada. Deste modo, levantou-se a suspeita de que a ETA Rio Grande estivesse trabalhando em condições de coagulação críticas ou subcríticas, isto é, operando com uma dosagem de coagulante em condições inferiores às normais e não proporcionando a devida coagulação das partículas. Assim, um grande número de partículas presentes na água decantada que não se apresentavam desestabilizadas quimicamente, não apresentariam condições de serem removidas no processo de filtração.

Devido à grande variação dos valores de contagem de partículas para a água decantada ao longo dos quinze ensaios experimentais, este tipo de ensaio se mostra muito sensível na avaliação da qualidade da água, podendo ser utilizado apenas como um indicativo dos sistemas de filtração. Assim, o parâmetro turbidez se mostra mais adequado e deve ser usado como Padrão de Potabilidade.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 mostram, respectivamente, a evolução da perda de carga pela altura do leito para os filtros F1, F2, F3 e F4.

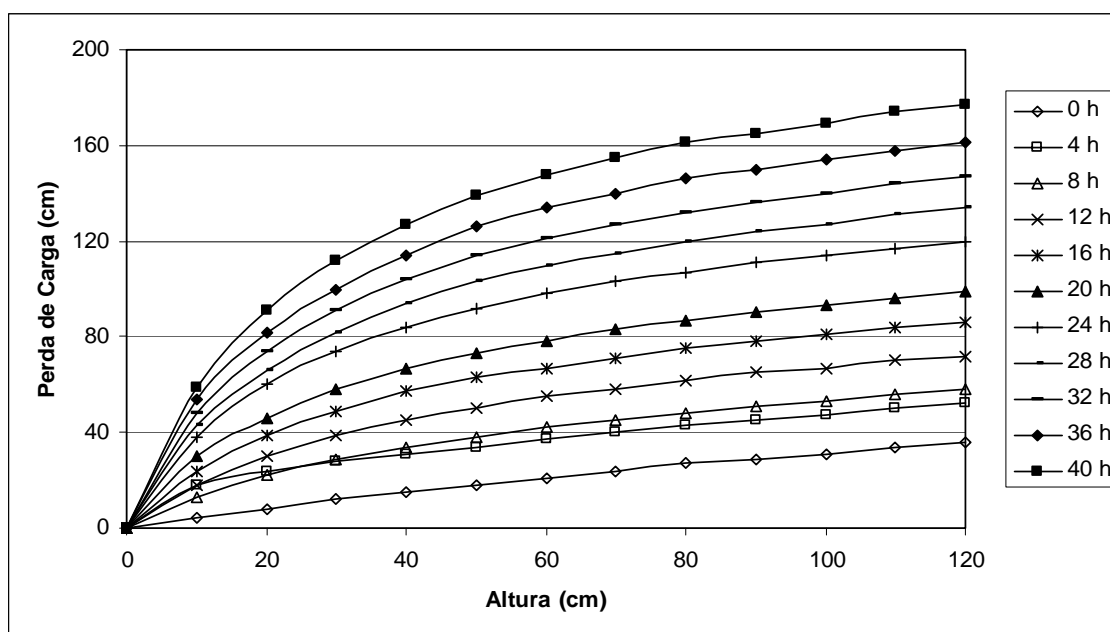


Figura 5: Evolução da perda de carga pela altura do leito (cm) para o filtro F1.

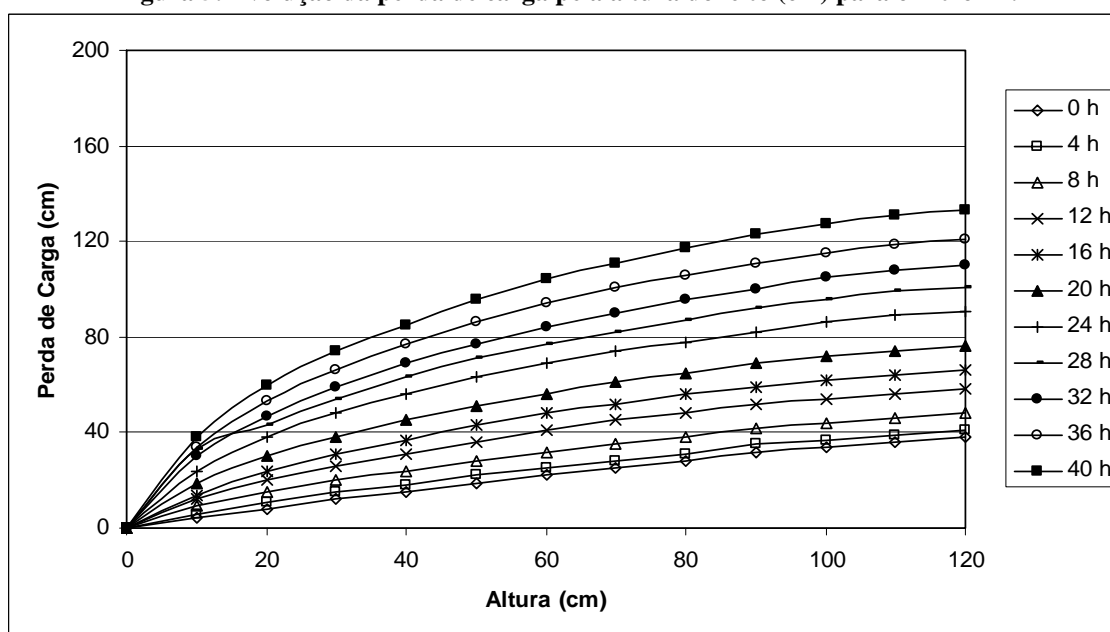


Figura 6: Evolução da perda de carga pela altura do leito (cm) para o filtro F2.

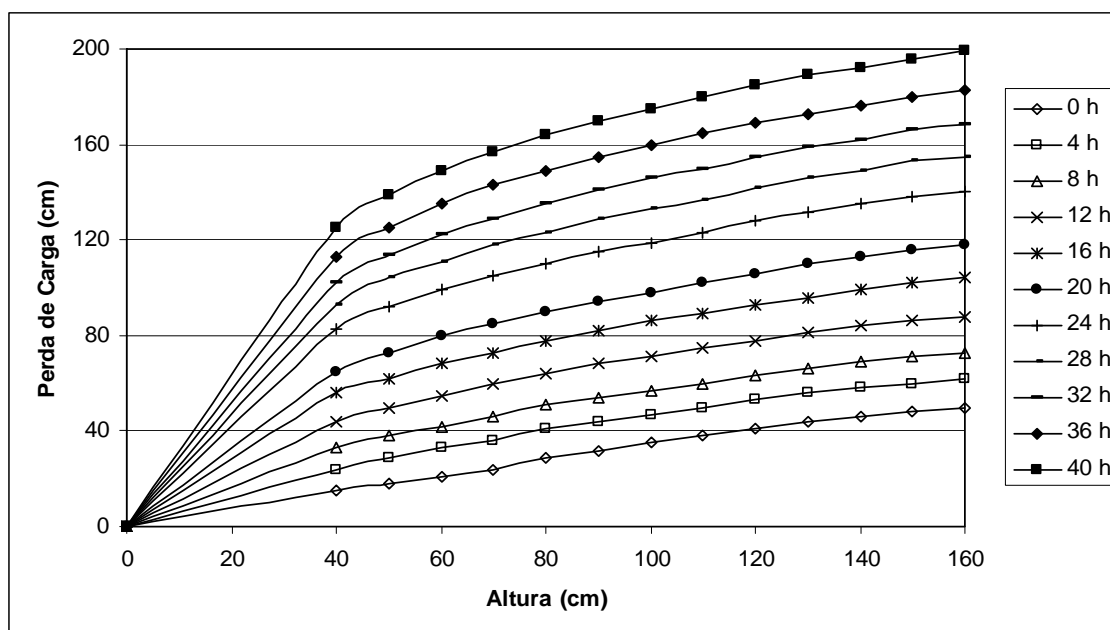


Figura 7: Evolução da perda de carga pela altura do leito (cm) para o filtro F3.

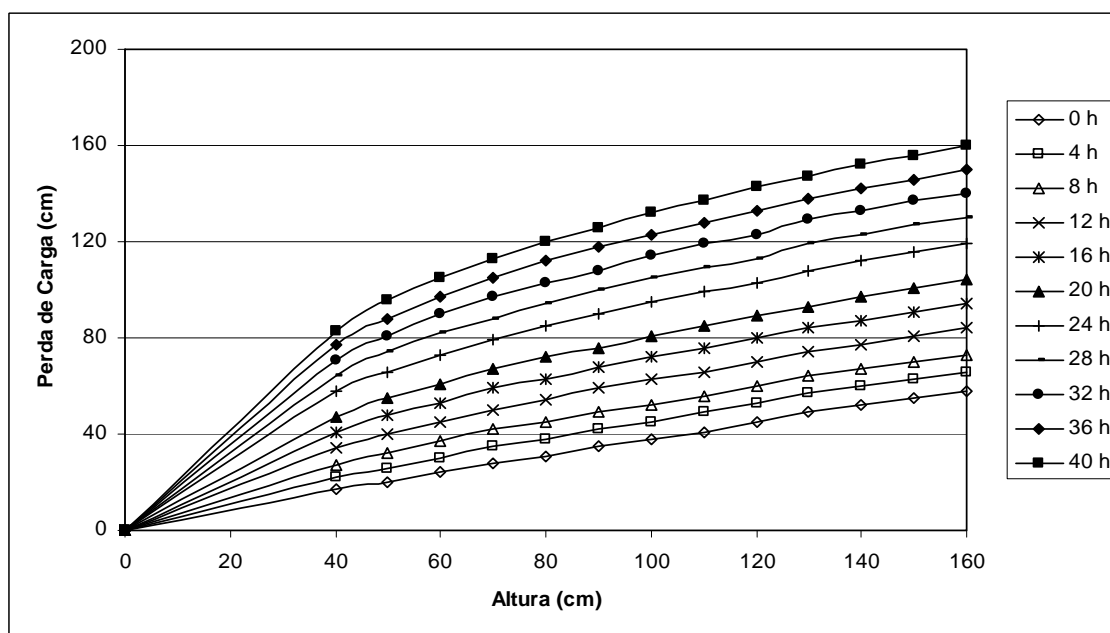


Figura 8: Evolução da perda de carga pela altura do leito (cm) para o filtro F4.

Essas figuras confirmam que os filtros piloto F3 e F4, com 40 cm a mais de leito, apresentaram valor de perda de carga – na sua distribuição ao longo do comprimento do leito – maior quando comparado com os filtros F1, e F2, com leito de 120 cm. Isso se deve à diferença no comprimento do leito, no entanto, o ganho com a qualidade da água filtrada compensa essas carreiras um pouco mais curtas.

A Tabela 2 apresenta um quadro resumo das quinze carreiras de filtração realizadas no tocante a qualidade da água em termos de turbidez. Foram realizados ao todo quinze ensaios de filtração.



Tabela 2: Quadro resumo de valores de turbidez (UNT) média e desvio padrão para ensaios de filtração.

Carreira	Água Bruta	Água Decantada	F1	F2	F3	F4
01	1,82 ± 0,60	0,93 ± 0,16	0,21 ± 0,09	0,23 ± 0,11	0,13 ± 0,02	0,30 ± 0,17
02	1,71 ± 0,38	1,05 ± 0,08	0,25 ± 0,05	0,26 ± 0,04	0,16 ± 0,03	0,26 ± 0,05
03	1,54 ± 0,28	0,87 ± 0,16	0,18 ± 0,06	0,20 ± 0,06	0,13 ± 0,04	0,21 ± 0,14
04	2,56 ± 0,91	1,39 ± 0,32	0,30 ± 0,07	0,96 ± 0,39	0,11 ± 0,05	1,05 ± 0,55
05	2,42 ± 0,24	1,01 ± 0,22	0,20 ± 0,02	0,38 ± 0,28	0,07 ± 0,01	0,36 ± 0,31
06	3,16 ± 0,77	1,08 ± 0,14	0,19 ± 0,04	0,30 ± 0,14	0,08 ± 0,06	0,31 ± 0,19
07	3,46 ± 0,29	1,69 ± 0,28	0,34 ± 0,04	0,50 ± 0,09	0,21 ± 0,03	0,39 ± 0,07
08	2,84 ± 0,54	1,53 ± 0,28	0,39 ± 0,10	0,57 ± 0,13	0,22 ± 0,05	0,54 ± 0,11
09	2,82 ± 0,23	1,48 ± 0,22	0,37 ± 0,07	0,59 ± 0,11	0,22 ± 0,04	0,45 ± 0,07
10	2,69 ± 0,48	1,08 ± 0,22	0,36 ± 0,11	0,54 ± 0,12	0,22 ± 0,07	0,39 ± 0,09
11	2,64 ± 0,22	1,12 ± 0,21	0,38 ± 0,11	0,59 ± 0,09	0,24 ± 0,08	0,40 ± 0,10
12	2,31 ± 0,18	0,87 ± 0,21	0,31 ± 0,08	0,50 ± 0,07	0,19 ± 0,06	0,31 ± 0,06
13	2,42 ± 0,29	1,23 ± 0,50	0,36 ± 0,12	0,56 ± 0,15	0,24 ± 0,10	0,39 ± 0,13
14	2,56 ± 0,08	1,32 ± 0,19	0,41 ± 0,11	0,70 ± 0,11	0,30 ± 0,10	0,50 ± 0,10
15	2,35 ± 0,43	1,29 ± 0,11	0,49 ± 0,14	0,78 ± 0,12	0,31 ± 0,10	0,51 ± 0,12
Média	2,49	1,20	0,32	0,51	0,19	0,42

Analisando-se a Tabela 2, pode-se notar a melhora de qualidade que se obtém aumentando-se a altura dos leitos de 120 cm para 160 cm, sendo esta melhora mais significativa para os filtros de antracito.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais obtidos, pôde-se concluir que:

O aumento de leito de 1,2 para 1,6 m permitiu uma melhora na qualidade da água efluente, medida como turbidez. Essa melhora foi bastante razoável e permitiu valores de turbidez até 40% mais baixos para a nova concepção com leito mais alto, sendo mais significativo para os filtros de antracito;

Era realmente de se esperar que filtros com maior altura do leito filtrante tivessem carreiras mais curtas. Afinal, com 40 cm a mais no leito, a perda de carga começa, no mínimo, com esses mesmos 40 cm mais. No entanto, esses filtros conseguiram se manter com carreiras de filtração bastante longas, muitas vezes chegando às 40 horas, tempo limite estabelecido;

O parâmetro contagem de partículas por se mais sensível a variações, serviu mais como um indicativo de qualidade. Assim sendo, o parâmetro turbidez apresentou mais apropriado.

Dessa forma, pôde-se concluir que a boa melhora na qualidade do efluente obtida com o aumento de leito, não foi seguida por uma grande piora na evolução da perda de carga, o que foi considerado um ótimo resultado no que tange a utilização dessa nova concepção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo 1992.
2. COSTA, E. R. H. Metodologia para o uso combinado de polímeros naturais como auxiliares de coagulação. XVII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. 1993. Anais. Natal RN, 1993.



3. COSTA, E. R. H. Aumento da capacidade de estações de tratamento de água através da seleção de coagulantes e auxiliares de floculação especiais, XVIII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 1995. Anais. Salvador BA, 1995.
4. DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de tratamento de Água - V. I e II. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, 1993.
5. DI BERNARDO, L. Comparação da Eficiência da Coagulação com Sulfato de Alumínio e com Cloreto Férrico - Estudo de Caso - VI SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1994. Anais. Florianópolis, 1994.
6. DI BERNARDO, L, Comunicação pessoal sobre Técnicas de Tratabilidade, 1993/1995.