

Influência da altura de queda de água entre as unidades de pré-tratamento e os filtros de uma ETA na duração da carreira e filtração e na qualidade do efluente

Prof. Luiz Di Bernardo
Eng. Marcos de Luma Freire

RESUMO

Apesar da superioridade da filtração com taxa declinante variável sobre a filtração com taxa constante, principalmente quando se empregam dispositivos automáticos de controle, uma questão que tem sido normalmente levantada diz respeito à variação de nível de água nos filtros com taxa declinante variável ou nos filtros com distribuição equitativa de vazões.

Devido às variações de nível que ocorrem nesses dois métodos de operação, há um desnível entre as unidades de pré-tratamento e os filtros, provocando uma queda de água, à qual, poderão estar associados gradientes de velocidade elevados, suficientes para romper flocos não sedimentados.

Como essa questão tem provocado dúvidas pela possível redução da eficiência dos filtros, com diminuição da duração da carreira de filtração ou produção da água filtrada de qualidade inferior, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a influência da queda de água na eficiência da filtração, utilizando-se de uma instalação piloto montada na galeria dos filtros da ETA de São Carlos.

Com base na investigação experimental realizada, concluiu-se que a queda de água é benéfica, pois, em relação aos filtros que operam com nível constante, os filtros com nível variável apresentaram carreiras de filtração mais longas e água filtrada de melhor qualidade quando operados com taxas de filtração compreendidas entre 200 e 500 m³/m²/dia.

Os autores agradecem à Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio concedido para a realização deste trabalho (processo n.º 80/1018-5).

1. INTRODUÇÃO

A filtração tem sido intensivamente estudada nos últimos anos com o fim não só de possibilitar a produção de maior quantidade de água filtrada, como também de melhorar a qualidade do efluente.

Introduzidos no início do século XX, após o trabalho pioneiro realizado por Fuller em Louisville (Kentuch,

Estados Unidos), os filtros rápidos pouco mudaram até meados deste século e, geralmente, possuíam meio filtrante de areia suportada por uma camada de pedregulho e eram operados com taxa constante (120 m³/m²/dia) mediante o emprego de dispositivos automáticos de controle de vazão ou vazão e nível.

Os estudos realizados por Aultman (1) e Baylis (2) na década de 50 reportaram sobre os efeitos negativos dos controladores na qualidade da água filtrada. Posteriormente, Cleasby e colaboradores (3) e Robeck e Kreissl (8) apresentaram resultados de pesquisa que relacionaram as variações da taxa de filtração, devidas aos controladores, com a deterioração momentânea de qualidade da água filtrada. Por volta de 1970, Cleasby (4, 5) apresentou dois métodos de operação de filtros sem a necessidade do uso de controladores; (i) distribuição equitativa de vazões e filtração com taxa constante; (ii) filtração com taxa declinante variável.

Apesar da superioridade da filtração com taxa declinante variável sobre a filtração com taxa constante conforme mostrado recentemente por Di Bernardo e Cleasby (6), uma questão que normalmente é levantada, diz respeito à variação de nível de água nos filtros quando se tem a filtração com taxa declinante variável ou a filtração com taxa constante e

distribuição equitativa de vazões. Devido às variações de nível, que ocorrem nesses dois métodos de operação, há um desnível entre as unidades de pré-tratamento e os filtros, provocando uma queda de água, à qual, poderão estar associados gradientes de velocidade elevados, suficientes para romper os flocos não sedimentados.

Como essa questão tem provocado dúvidas pela possível redução da eficiência dos filtros, com diminuição da carreira de filtração ou produção de água filtrada de qualidade inferior, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a influência da queda de água na eficiência da filtração.

2. FILTRAÇÃO COM TAXA CONSTANTE

A filtração com taxa constante pode ser realizada com ou sem o emprego de dispositivos de controle e depende, fundamentalmente, de como a carga hidráulica disponível é aplicada em relação à resistência total do filtro.

2.1. Carga hidráulica disponível constante e resistência total do filtro constante

A figura 1 apresenta um esquema típico de um filtro equipado com o controlador de vazão e nível.

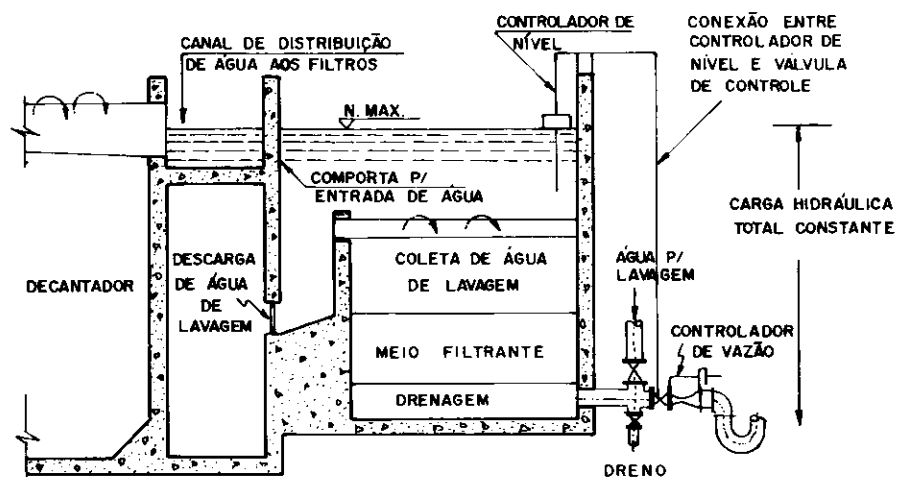


Figura 1 — Filtro com taxa e nível constante.

O nível de água sofre pequenas variações nos filtros rápidos de gravidade, podendo-se considerar constante a carga hidráulica disponível. No início da carreira de filtração, o meio filtrante encontra-se limpo e, como a carga hidráulica disponível total é aplicada desde o início da filtração, faz-se necessária a introdução de uma perda de carga complementar para que a taxa de filtração permaneça constante, conforme mostra a figura 2.

Com o decorrer do tempo, aumenta a perda de carga no meio filtrante devida à retenção de partículas e conseqüentemente, diminui a perda de carga no controlador. A partir do momento que a válvula do equipamento de controle estiver completamente aberta, a carreira de filtração deverá ser encerrada, pois qualquer aumento de perda de carga no meio filtrante não será mais compensado pelo controlador.

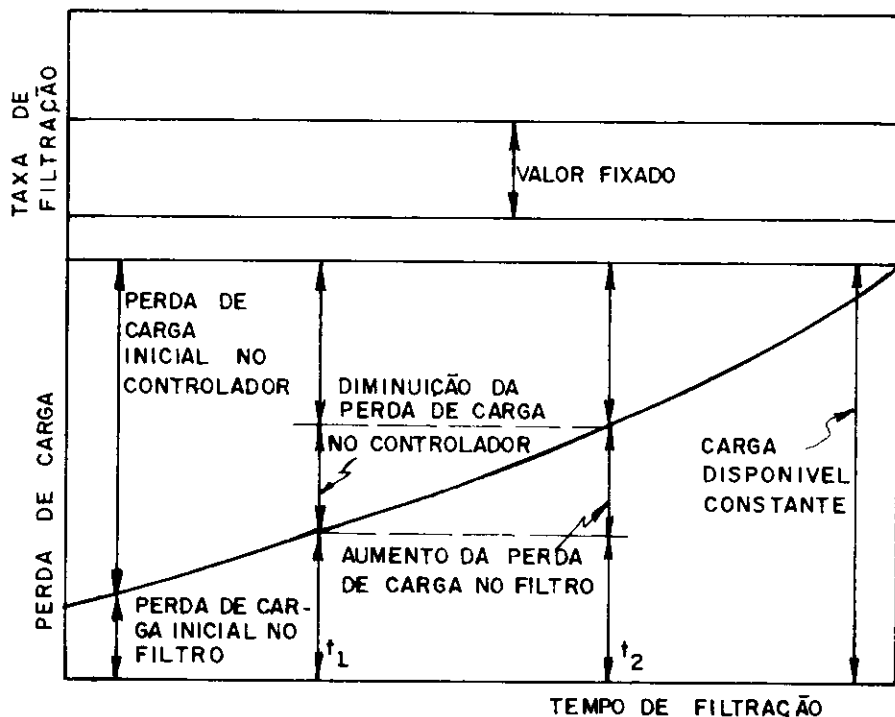


Figura 2 — Variação de perda de carga em função do tempo para a taxa de filtração constante e nível de água constante.

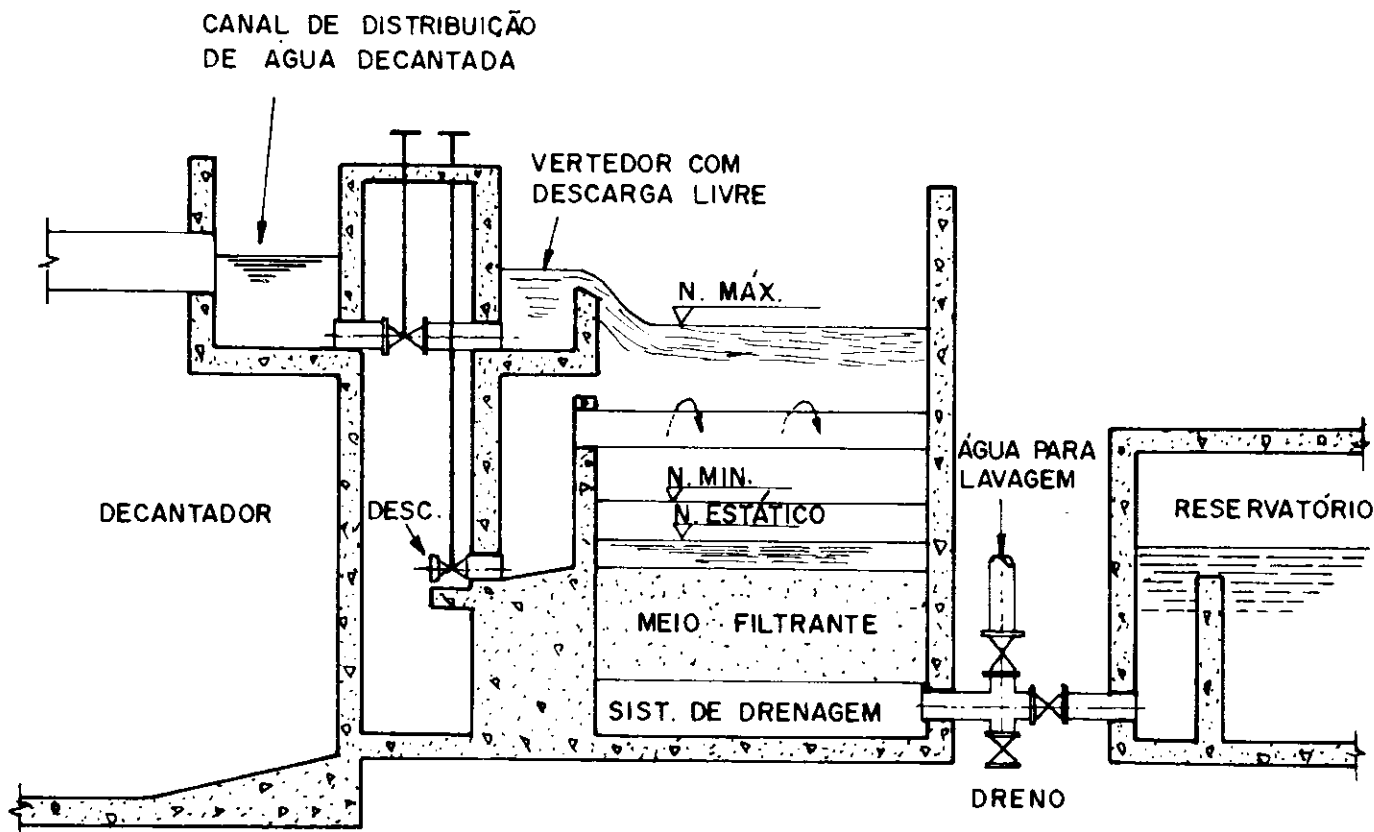


Figura 3 — Arranjo típico de entrada e saída dos filtros de taxa constante com distribuição equitativa de vazão.

2.2. Carga hidráulica disponível variável e resistência total do filtro variável

Dependendo do arranjo de entrada e saída dos filtros, a taxa de filtração poderá ser constante ou não. Será discutido neste trabalho somente o

caso em que a taxa de filtração resulta constante.

Admitindo-se constante a vazão total afluente e assumindo-se que as entradas aos filtros sejam tais que se tenha uma distribuição equitativa da vazão total afluente e permitindo-se que o nível de água no interior de

cada filtro varie independentemente dos demais, a taxa de filtração resultará constante se o aumento da resistência do filtro for compensado pelo aumento de carga hidráulica. Em cada filtro, o nível variará desde um mínimo, quando o meio filtrante encontra-se limpo, até um máximo, quando

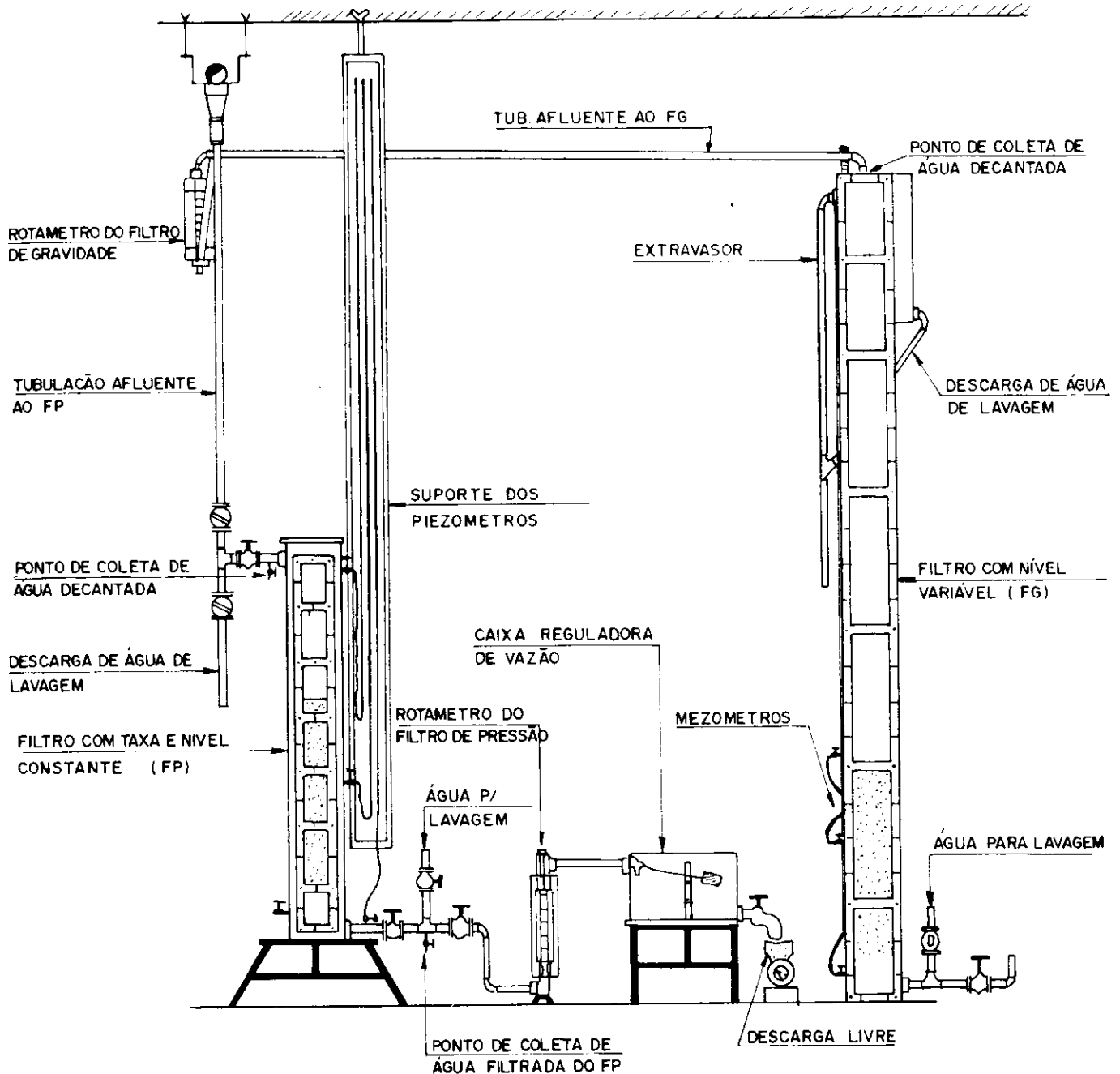


Figura 4 — Esquema geral da instalação-piloto

o filtro deverá ser lavado.

Para evitar que o nível mínimo de água no interior do filtro se localize abaixo do topo da camada filtrante no início de operação, Cleasby (4, 5) sugeriu o emprego de um vertedor com soleira localizada em cota superior à do topo da camada filtrante conforme mostra a figura 3.

Em relação ao sistema com controlador, a distribuição equitativa possui diversas vantagens (4, 5): (i) considerando constante a vazão total afluyente, a taxa de filtração é mantida constante sem o emprego de equipamentos; (ii) a vazão total afluyente é distribuída igualmente entre todos os filtros da bateria por meio de dispositivos simples, como vertedores; (iii)

quando um filtro é retirado de operação para lavagem, a vazão correspondente ao mesmo é distribuída igualmente aos demais da bateria, de modo que o nível de água no interior de cada filtro aumenta gradualmente até que haja carga hidráulica suficiente para filtrar a nova vazão e, conseqüentemente, tem-se um aumento gradual da taxa de filtração; (iv) quando o filtro recém-lavado é colocado em operação, o nível de água decresce gradualmente nos demais, acarretando diminuição gradual da taxa de filtração; (v) a perda de carga em qualquer filtro é visual, dispensando-se o uso de dispositivos para efetuar tais medidas; (vi) a localização da crista do vertedor de saída

na mesma cota do topo da camada filtrante elimina a possibilidade de ocorrência de pressão inferior à atmosférica no interior do meio filtrante.

A única desvantagem referente aos filtros com distribuição equitativa de vazão é a altura adicional da caixa do filtro para proporcionar descarga livre do vertedor de entrada.

3. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

3.1. Descrição geral da instalação-piloto

A instalação-piloto consiste de dois filtros de chapa metálica, tendo visor de acrílico em uma das faces. O meio

filtrante utilizado era constituído de areia e antracito.

A água afluente aos dois filtros era proveniente de um dos decantadores da ETA de São Carlos. A figura 4 mostra um esquema geral da instalação-piloto.

No filtro com carga hidráulica disponível e resistência total constante, adotou-se controle de jusante, com a instalação de um rotâmetro na canalização de efluente e de uma caixa de nível constante, provida de bóia e com descarga livre. Pelas características de controle, tal filtro funcionava sob pressão e por este motivo, o mesmo será denominado de FP.

No filtro com carga hidráulica disponível e resistência variáveis, o controle de taxa de filtração foi feito por meio de um rotâmetro, instalado na canalização de afluente, proporcionando uma queda de água no interior do filtro. Pelas características de controle, tal filtro foi denominado de filtro de gravidade ou FG.

Cada filtro possuía uma derivação na canalização de afluente com o fim de permitir o desvio da água afluente antes do início de cada ensaio, para assegurar que ambos os filtros recebessem a mesma razão. Ambos os filtros foram dotados de piezômetros para medida e leitura de perda de carga parcial e total.

3.2. Características dos filtros

O filtro FP, construído em chapa metálica de 3 mm de espessura, tinha seção quadrada de 20 cm x 20 cm e altura total de 1,45 m. Diferenciava do FG por não contar com queda de água do afluente, de funcionar sob pressão e de dispor de regulador de vazão.

No filtro FG, a carga hidráulica disponível era variável, com nível dinâmico mínimo de 0,2 m e máximo de

2,2 m sobre o topo do meio filtrante. Tal filtro, também construído em chapa metálica, possuía uma altura total de 3 m.

Para cada taxa de filtração, a canalização de efluente era posicionada para proporcionar aquela altura de 0,2 m sobre o topo do meio filtrante.

O meio filtrante em ambos os filtros era idêntico e constituído de areia e antracito com as características apresentadas no Quadro 1.

Em ambos os filtros, o sistema de drenagem consistia de uma tela de aço inoxidável com malha de abertura igual a 0,35 mm, disposta sobre uma chapa perfurada com orifícios de 3 mm de diâmetro. Sob a placa perfurada, os filtros possuíam um fundo falso de 20 cm de altura, de onde partia a canalização de efluente e onde era inserido o ar para lavagem auxiliar.

3.3. Metodologia dos ensaios de filtração

Os ensaios de filtração foram efetuados para diferentes alturas iniciais de queda de água no FG e diferentes taxas de filtração. Para cada ensaio foram coletadas amostras dos efluentes dos filtros para medidas de turbidez e, ao mesmo tempo, lidos os valores de perda de carga nos piezômetros.

Os estudos foram realizados para as seguintes taxas de filtração: 200, 300, 400 e 500 m³/m²/dia. Para cada taxa de filtração, as alturas iniciais de queda de água eram 0,5, 1, 1,5 e 2 m, acarretando cargas hidráulicas disponíveis para retenção de impurezas de 0,2, 0,7, 1,2 e 1,7 m, respectivamente.

Ambos os filtros eram operados em paralelo, até que a carga hidráulica disponível fosse completamente utilizada, o que ditava o final de operação de cada filtro.

Após a realização da primeira série de 16 ensaios, programou-se uma segunda série para simular lavagens dos filtros e verificar os efeitos ocorridos na qualidade dos efluentes e na evolução das curvas de perda de carga. Como se dispunha de somente uma unidade para cada tipo de controle, criaram-se, artificialmente, as condições de lavagem que iriam ocorrer em protótipos, simulando-se, mediante acréscimos de vazões, lavagens em unidades pertencentes a baterias compostas de quatro e seis filtros. Esses ensaios foram realizados para a taxa de filtração de 300 m³/m²/dia e altura inicial de queda de 2 m. Para essas condições, as carreiras de filtração na primeira série de ensaios foram de 24h30 e 20 h para o FG e FP, respectivamente.

O Quadro 2 apresenta a programação das simulações efetuadas.

Em ambos os filtros, as taxas de filtração, resultantes das simulações, eram de 400 ou 360 m³/m²/dia e mantidas durante 15 minutos. A operação de abertura da válvula localizada na canalização de efluente do FP durava 10 segundos, simulando-se, dessa forma, o que normalmente ocorre com os dispositivos automáticos de controle existentes na prática. Durante as simulações das lavagens, foram coletadas amostras dos efluentes dos filtros em intervalos de tempo de 1 minuto.

3.4. Resultados

O Quadro 3 apresenta um resumo dos resultados de todos os ensaios realizados, ressaltando-se os valores mínimo, médio e máximo da turbidez do afluente e efluentes dos filtros e duração das respectivas carreiras de filtração.

O Quadro 4 apresenta as perdas de carga parcial e total no início de

Quadro 1 — Características dos materiais filtrantes

CARACTERÍSTICA	AREIA	ANTRACITO
Tamanho do menor grão (mm)	0,42	0,59
Tamanho do maior grão (mm)	1,00	1,68
Tamanho efetivo (mm)	0,50	0,95
Coefficiente de desuniformidade	1,20	1,26
Peso específico (g/cm ³)	2,65	1,59

Quadro 2 — Programação das simulações das lavagens

Número Hipotético de Filtros	Intervalo de Tempo Entre Simulações		Número de Simulações	Acréscimo da Taxa de Filtração (%)
	FG	FP		
	4 filtros	6h:05mm		
6 filtros	4h:00mm	3h:20mm	5	20,00

Quadro 3 — Resumo dos ensaios realizados

ENSAIO Nº	TAXA DE FILTRAÇÃO 3, 2 m ³ /m ² dia	ALTURA INICIAL DE QUEDA D'ÁGUA (m)	TURB. AFLUENTE (U.T.)			TURBIDEZ EFLUENTE (U.T.)						CARREIRA DE FILTRAÇÃO (HORA)		OBSERVAÇÃO
			MÍN.	MÉD.	MAX.	F. DE PRESSÃO			F. DE GRAVIDADE			F P	FG	
						MIN.	MÉD.	MAX.	MIN.	MED.	MAX.			
01	200	2,00	2,00	2,84	4,00	0,15	0,25	0,46	0,08	0,13	0,22	36:30	41:30	
02	"	1,50	1,80	2,62	4,20	0,15	0,22	0,50	0,10	0,14	0,30	33:00	36:00	
03	"	1,00	2,30	3,08	3,60	0,34	0,40	0,50	0,10	0,15	0,30	21:30	23:00	
04	"	0,50	2,80	3,73	4,50	0,15	0,39	0,81	0,11	0,20	0,58	05:30	06:00	
05	300	2,00	2,50	3,94	7,30	0,18	0,28	0,60	0,12	0,34	0,82	20:00	24:30	
06	"	1,50	2,00	3,20	4,50	0,18	0,28	0,40	0,15	0,21	0,65	16:45	17:30	
07	"	1,00	2,20	3,28	8,30	0,16	0,20	0,31	0,14	0,16	0,20	12:15	13:15	
08	"	0,50	2,00	2,19	2,60	0,17	0,20	0,45	0,13	0,16	0,20	03:30	03:25	
09	400	2,00	1,60	2,44	3,30	0,15	0,36	1,50	0,12	0,34	1,20	18:30	19:00	
10	"	1,50	1,90	2,18	2,80	0,12	0,16	0,37	0,10	0,26	0,80	12:00	14:45	
11	"	1,00	1,50	2,12	3,00	0,10	0,13	0,20	0,09	0,12	0,18	09:00	09:25	
12	"	0,50	1,70	1,90	2,20	0,08	0,14	0,20	0,08	0,10	0,18	02:45	03:00	
13	500	2,00	1,50	1,92	2,40	0,14	0,31	0,68	0,10	0,36	0,78	15:00	16:30	
14	"	1,50	1,70	1,99	2,60	0,12	0,21	0,40	0,10	0,29	0,60	11:30	13:30	
15	"	1,00	0,90	1,85	3,00	0,11	0,19	0,52	0,11	0,17	0,51	07:45	08:00	
16	"	0,50	2,30	2,62	3,10	0,23	0,29	0,38	0,20	0,26	0,40	00:40	01:10	
17	300/400	2,00	1,70	2,30	3,50	0,15	0,30	0,65	0,14	0,23	0,57	22:30	23:00	SIMULAÇÃO LAVAGEM - 4 FILTROS
18	300/360	2,00	2,50	3,30	4,00	0,13	0,40	1,50	0,13	0,40	1,80	19:28	20:80	SIMULAÇÃO LAVAGEM - 6 FILTROS

operação, em função da taxa de filtração e altura inicial de queda de água.

As figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, a turbidez do afluente e efluentes dos filtros e das perdas de carga parciais e totais em função do tempo de operação para a taxa de filtração de 300 m³/m²/dia e altura inicial de queda de 2 m. Essas figuras mostram um comportamento típico, verificado, principalmente, para as taxas de 200 e 300 m³/m²/dia.

As figuras 7 e 8 mostram os resultados correspondentes às simulações de lavagem.

3.5. Discussão, conclusão e recomendações

Trabalhando com pequenos filtros-piloto em laboratório, Te Kippe e Ham (10) verificaram que com e sem a queda livre de água do afluente, os resultados não se alteraram, mesmo quando o afluente continha flocos grandes. Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que para todas as taxas de filtração e diferentes alturas iniciais de queda de água o filtro FG apresentou resultados superiores ao filtro FP, tanto na qualidade da água filtrada como na duração da carreira de filtração. Esse fato torna-se bastante evidente para as

taxas de filtração de 200 e 300 m³/m²/dia, conforme mostra o Quadro 3. Para as taxas de filtração de 500 e 400 m³/m²/dia, as diferenças na qualidade da água filtrada e duração da carreira de filtração não são tão substanciais como para as duas taxas menores.

A medida da perda de carga parcial, feita a 20 cm abaixo do topo da camada filtrante, tinha a finalidade básica de verificar se a queda de água sobre a superfície da lâmina líquida exerceria alguma influência negativa no desempenho do filtro. Para as taxas de filtração de 200 e 300 m³/m²/dia, verificou-se um depó-

Quadro 4 — Resumo das perdas de carga no início da operação dos dois filtros

TAXA $m^3/m^2 \times dia$	ALTURA DE QUEDA	FILTRO DE PRESSÃO			FILTRO DE GRAVIDADE		
		INICIO DA CARREIRA FILTRAÇÃO		PERDA NOSIST. DRENANTE	PERDA TOTAL LIQ. NO LEITO FILTRANTE	PERDA TOTAL LIQ. NO LEITO FILTRANTE	PERDA PARCIAL NO LEITO
		PERDA TOTAL	PERDA PARCIAL				
200	2.00	0.365	0.067	0.017	0.348	0.363	0.066
"	1.50	0.361	0.072	0.017	0.344	0.350	0.082
"	1.00	0.358	0.068	0.017	0.341	0.348	0.080
"	0.50	0.382	0.070	0.017	0.363	0.341	0.078
300	2.00	0.603	0.118	0.033	0.570	0.567	0.120
"	1.50	0.593	0.118	0.033	0.560	0.560	0.123
"	1.00	0.591	0.117	0.033	0.558	0.573	0.125
"	0.50	0.589	0.098	0.033	0.556	0.562	0.114
400	2.00	0.826	0.140	0.056	0.770	0.787	0.163
"	1.50	0.823	0.162	0.056	0.767	0.782	0.168
"	1.00	0.844	0.169	0.056	0.788	0.788	0.163
"	0.50	0.837	0.152	0.056	0.781	0.780	0.155
500	2.00	1.041	0.185	0.089	0.952	0.909	0.221
"	1.50	1.060	0.204	0.089	0.971	0.996	0.228
"	1.00	1.012	0.200	0.089	0.923	0.897	0.181
"	0.50	0.965	0.158	0.089	0.876	0.897	0.176

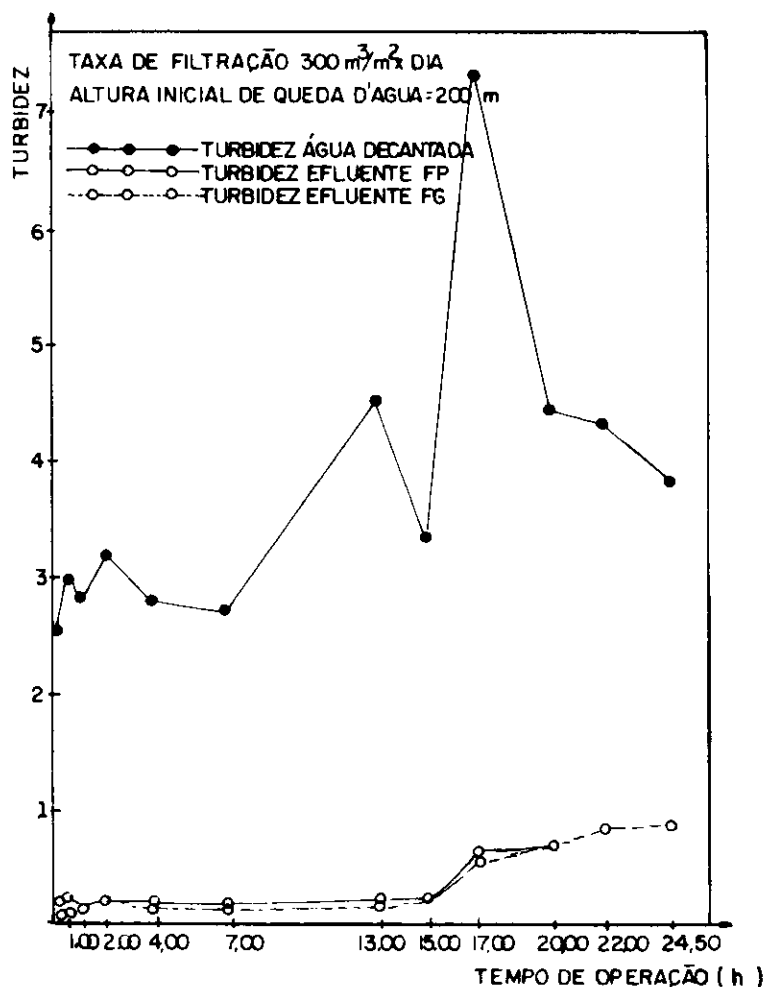


Figura 5 — Turbidez em função do tempo de operação.

sito excessivo de flocos retidos na superfície da camada de antracito do FP, enquanto que, tal situação não ocorreu no FG, mesmo para as menores quedas de água. Normalmente, para as taxas de filtração 200 e 300 $m^3/m^2/dia$, a perda de carga parcial no FP era superior à do FG, devido, provavelmente, ao fato de se ter uma penetração mais profunda das partículas suspensas no meio filtrante do FG.

Devido aos gradientes de velocidade, gerados pela queda de água, é possível que tenha ocorrido o rompimento dos flocos presentes no afluente, propiciando uma penetração mais profunda no meio filtrante. Além desse efeito positivo, verificado principalmente para as taxas de filtração de 200 e 300 $m^3/m^2/dia$, é provável que também ocorra a liberação de compostos de alumínio devido à ruptura dos flocos que poderiam eventualmente auxiliar na desestabilização de partículas primárias, também presentes no afluente. Para as taxas de filtração de 400 e 500 $m^3/m^2/dia$, a penetração das partículas suspensas no meio filtrante resultou praticamente a mesma, pois os esforços cisalhantes, decorrentes dos gradientes de velocidade devidos ao escoamento nos interstícios granulares, devem ter resultado suficientemente elevados para provocarem ruptura e carreamento das partículas para as camadas inferiores do meio filtrante.

TAXA DE FILTRAÇÃO $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ DIA}$
 ALTURA INICIAL DE QUEDA D'ÁGUA $\approx 2,00\text{m}$

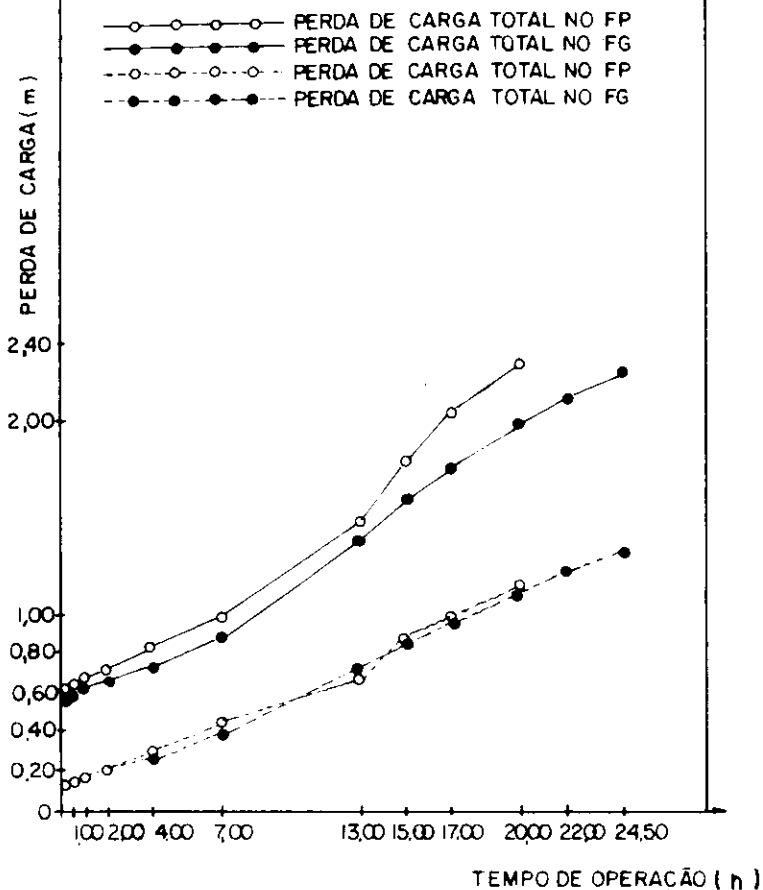


Figura 6 — Perda de carga em função do tempo de operação.

A figura 7, correspondente às simulações de lavagens de uma bateria hipotética de quatro filtros, mostra que a qualidade da água filtrada durante as simulações resultou praticamente a mesma. Entretanto, a figura 8, correspondente a uma bateria de seis filtros, evidencia que, enquanto a quantidade de impurezas retidas no meio filtrante não era elevada, os picos de turbidez eram inferiores para o FG (1.ª, 2.ª, 3.ª e 4.ª simulações), porém, nas 5.ª e 6.ª simulações, os picos de turbidez do efluente do filtro FG foram superiores aos do filtro FP, indicando, portanto, que a penetração de partículas no filtro FG foi mais profunda que no filtro FP. Era de se esperar um resultado semelhante ao verificado para as quatro primeiras simulações, pois enquanto a vazão no filtro FP era aumentada quase que instantaneamente, o mesmo não ocorreria no FG, conforme mostram as figuras 7 e 8. É possível que, se a penetração de partículas suspensas do afluente fosse idêntica em ambos os filtros, o filtro FG apresentaria picos de turbidez sempre superiores ao do filtro FP, uma vez que os acréscimos instantâneos de vazão no filtro FP causariam um arrastamento maior de partículas no efluente.

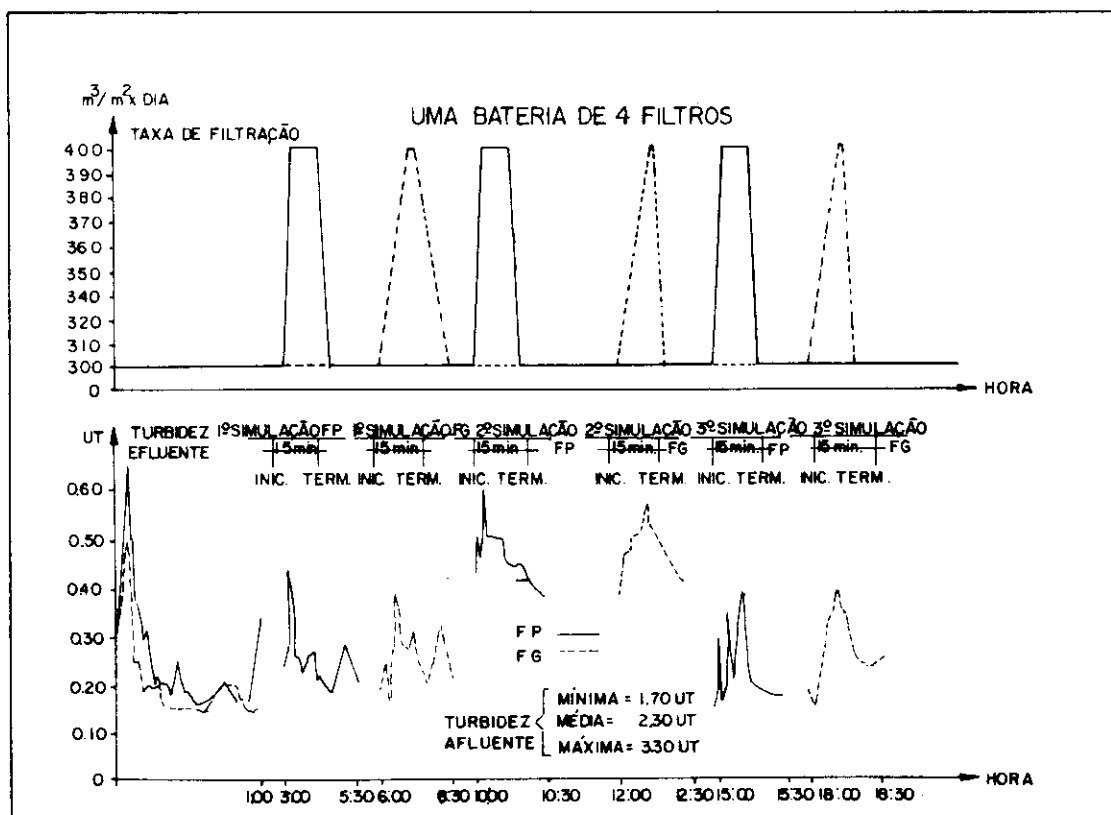


Figura 7 — Simulação de lavagem correspondente à retirada de uma unidade filtrante de uma bateria de quatro filtros

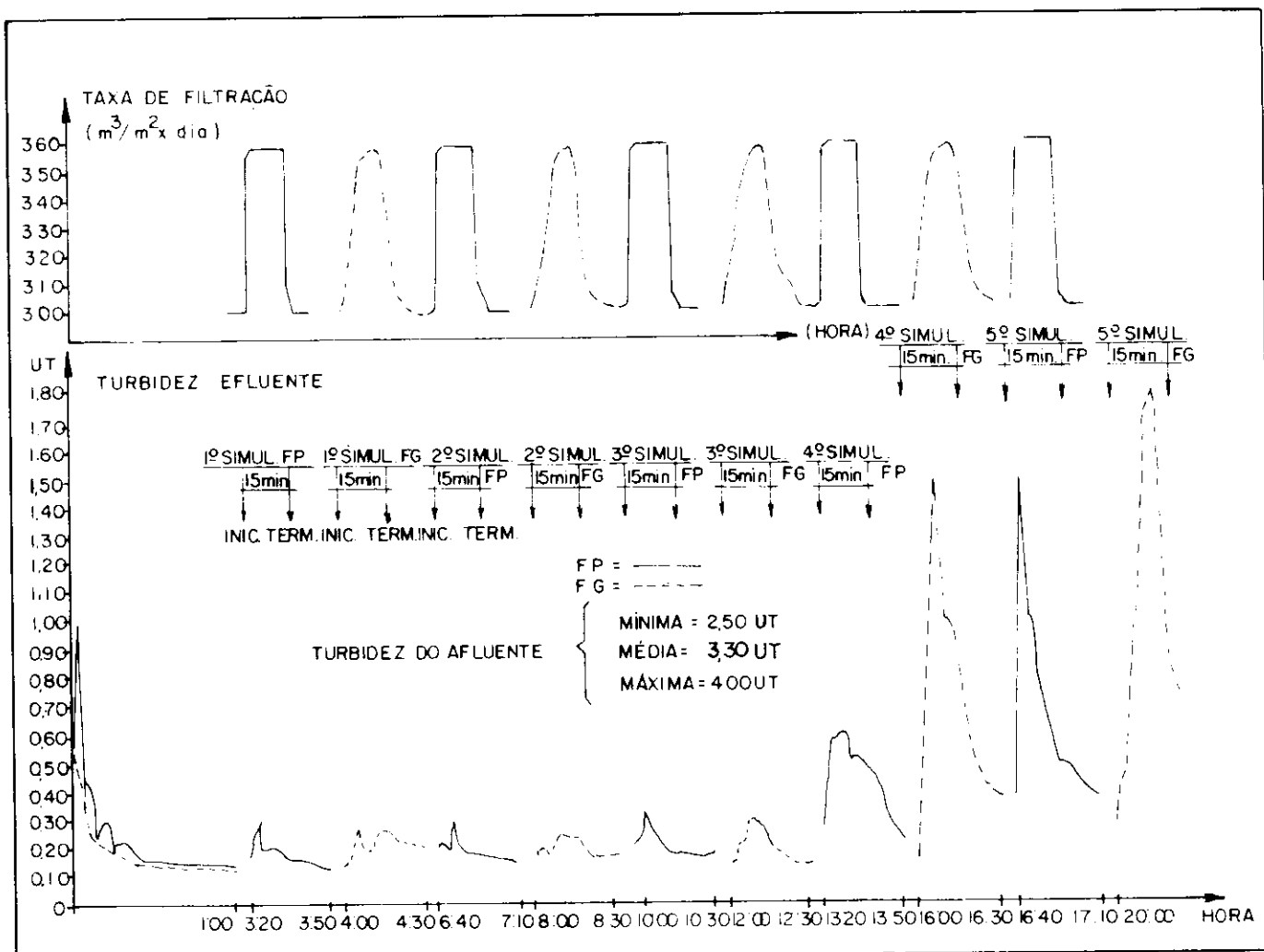


Figura 8 — Simulação de lavagem correspondente à retirada de uma unidade filtrante de uma bateria de seis filtros.

Com base no trabalho realizado, pode-se concluir que:

a) o filtro operado com carga hidráulica disponível e resistência total variáveis (FG) apresenta resultados superiores aos do filtro operado com carga hidráulica total disponível e resistência total constantes (FP), com carreiras de filtração mais longas e efluente de melhor qualidade, principalmente para as taxas de filtração de 200 e 300 m³/m²/dia;

b) a retenção de impurezas no início da camada filtrante é mais acentuada no FP, enquanto que a penetração de impurezas é mais profunda no FG, principalmente para as taxas de filtração de 200 e 300 m³/m²/dia;

c) a altura inicial de queda de água no filtro FG praticamente não interfere no desempenho do filtro, pois para uma mesma taxa de filtração, as perdas de carga parcial e total são idênticas e a qualidade do afluente não sofre alteração;

d) durante as primeiras horas de operação, as simulações de lavagem produziram efeitos negativos conside-

ráveis na qualidade do afluente do filtro FP. Entretanto, como a penetração de impurezas é mais profunda no filtro FG, as simulações, realizadas após um certo período de funcionamento, proporcionaram um efeito negativo mais acentuado no filtro FG, quando comparado com o filtro FP.

Com base no trabalho realizado, e se for realmente necessária a realização da filtração com taxa constante, recomenda-se o emprego do sistema de distribuição equitativa de vazões em lugar dos filtros que utilizam equipamentos automáticos de controle de vazão e/ou nível.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AULTMAN, W.W. — Valve Operating Devices and Rate-of-flow Controllers Journal AWWA, Nov 1959.
2. BAYLIS, J.R. — Suges in the Water Through Filters Pure Water, vol. 10 (5), May 1958.
3. CLEASBY, J.L. et al. — Effect of Filtration Rate Changes on Quality Journal AWWA, Vol. 55 (77), July 1963.
4. CLEASBY, J.L. — Filter Rate Control Without Rate Controllers Journal — AWWA, vol. 61 (4), Apr 1969.
5. CLEASBY, J.L. — New Ideas in Filter Control Systems Symposium on Modern Water Treatment Methods Pan American Health Organization, Asuncion, Paraguay, 1972.
6. DI BERNARDO, L. & CLEASBY, J.L. — Declining — Rate versus Constant — Rate Filtration Journal EED, Proceedings ASCE, Dec 1980.
7. HUDSON, H.E. Jr. — Filter Design — Declining Rate Filtration Journal AWWA, vol. 51 (11), Nov 1959.
8. ROBECK, G. & KREISSL, J.F. — Multi-Media Filtration: Principles and Pilot Experiments Transactions of the Seventeenth Annual Conference on Sanitary Engineering-University of Kansas, Lawrence.
9. TE KIPPE, R. J. & HAM, R. R. — Coagulation Lesting: A Comparison of Techniques — Part I, Journal AWWA, vol. 62 (9), Sept 1970.
10. TE KIPPE, R. J. & HAM, R. K. — Coagulation Lesting: A Comparison of Techniques — Part II, Journal AWWA, vol. 62 (10), Oct 1970.
11. TUEPKER, J.L. — Filter Performance Under Varying Operating Conditions Proceedings of Conference on Water Filtration University of Missouri at Rolla, 1965.