

# Filtração direta ascendente

LUIZ DI BERNARDO

Professor no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos — USP

PAULO HIROSHI YATSUGAFU

Estudante de Pós-Graduação na EESC-USP

**E**stes são estudos sobre a influência da taxa de filtração, no NMP de coliformes totais do afluente e do número de descargas de fundo intermediárias na qualidade do efluente de sistemas de filtração direta ascendente, com base em trabalho experimental realizado em estação-piloto.

Nos últimos dez anos, a filtração direta ascendente tem sido objeto de diversas pesquisas na Escola de Engenharia de São Carlos — USP, realizadas para cada vez mais aprimorar essa tecnologia. Através do conhecimento profundo da influência das variáveis envolvidas, como características das camadas de areia e suporte, taxa de filtração, qualidade física e bacteriológica da água bruta, do método de operação (com e sem descargas de fundo intermediárias), dosagens e tipos de produtos químicos, etc., no desempenho dos filtros, é possível otimizar o projeto e a operação de sistemas de filtração direta ascendente. Como a realização de descargas de fundo intermediárias conduz à obtenção de carreiras de filtração bem mais longas quando comparadas com instalações em que esse método de operação não é empregado, foi recomendado nas referências 6 e 7 que se estudasse com mais detalhes a execução das descargas para diferentes taxas de filtração, enfatizando-se a qualidade bacteriológica do efluente produzido.

Assim sendo, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de investigar a influência da taxa de filtração e do NMP de coliformes totais do afluente, principalmente quando são realizadas descargas de fundo intermediárias, no desempenho de sistemas de filtração direta ascendente. Adicionalmente, procurou-se estudar, também, a eficiência da cloração, em função da dosagem de cloro livre e tempo de contato, de uma amostra de água filtrada coletada após uma descarga de fundo intermediária.

## RESUMO

Como grande parte das impurezas presentes no afluente a um sistema de filtração direta ascendente é retida na camada suporte, a realização de descargas de fundo durante o funcionamento das unidades filtrantes tem conduzido à obtenção de carreiras de filtração mais longas. Entretanto, a qualidade do efluente, por ocasião das descargas, pode resultar insatisfatória, principalmente no que diz respeito aos aspectos bacteriológicos.

Com o objetivo de verificar a influência da taxa de filtração e do NMP de coliformes totais no desempenho de sistemas de filtração direta ascendente, foi montada uma instalação piloto, com dois filtros operados em paralelo, recebendo, como afluente, água coagulada na Estação de Tratamento de Água

de São Carlos (ETASC). As descargas de fundo foram realizadas em somente um dos filtros. Como a qualidade bacteriológica da água bruta é relativamente boa, com NMP de coliformes totais variando geralmente entre 100 e 1.000 coli/100ml, o estudo com índices mais elevados foi efetuado com adição de esgoto sanitário no afluente, atingindo-se até 24.000 coli/100ml. As taxas de filtração estudadas foram de 160, 200, 240 e 280m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia. Adicionalmente, um ensaio de filtração foi repetido, com coleta do efluente durante um certo tempo, após a realização de uma descarga de fundo. Com essa amostra foram executados ensaios de cloração, visando verificar a influência do tempo de contato e dosagem de cloro na eficiência da desinfecção.

Com base no trabalho experimental realizado concluiu-se que: (i) são atenuados os picos de turbidez produzidos após as descargas de fundo, quando as mesmas são executadas mais próximas umas das outras, independentemente da taxa de filtração; (ii) quanto maior o número de descargas de fundo intermediárias, mais longa resultou a duração da carreira de filtração; (iii) quando são realizadas as descargas de fundo intermediárias, é produzido um efluente com qualidade bacteriológica inferior, porém, é acentuada somente no final da carreira de filtração; (iv) a deterioração da qualidade do efluente produzido após as descargas de fundo não é muito influenciada pelo valor da taxa de filtração (entre 160 e 180m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia); (v) o tempo de contato do cloro com água filtrada, com turbidez variando entre 0,5 e 7,4 UT (média de 1,8 UT), não deve ser inferior a 30 minutos para dosagem de cloro igual a 2mg/l nem inferior a 60 minutos para uma dosagem de cloro de 1mg/l; (vi) para dosagens de cloro superiores a 4mg/l, o tempo de contato do cloro com a água mencionada na conclusão (v) pode ser da ordem de 10 minutos.

## INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

### Descrição da Instalação Piloto

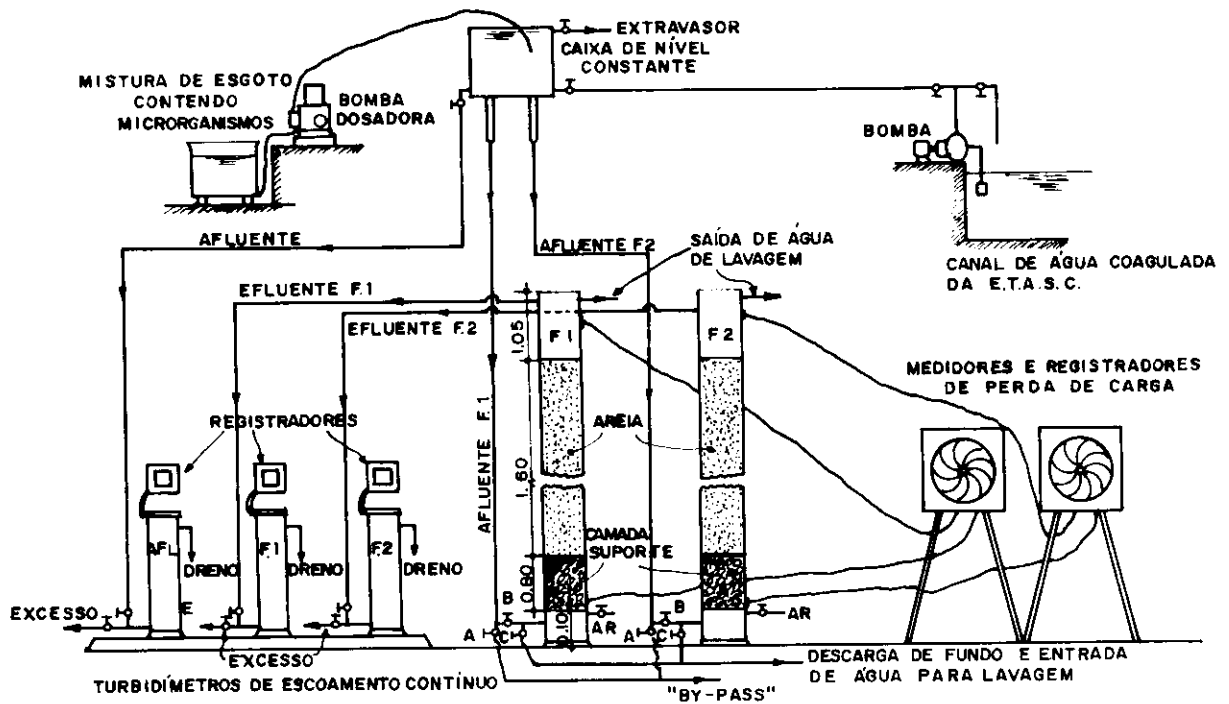
A descrição a seguir deve ser acompanhada de consulta à Figura 1. A água coagulada na Estação de Tratamento de Água de São Carlos (ETASC), que é do tipo convencional, era bombeada para uma caixa com uma vazão superior àquela utilizada nos filtros. Através de extravasor, com retorno de parte da água coagulada bombeada, o nível na caixa permanecia constante. Nessa caixa era introduzida a mistura de esgoto previamente decantado, de modo a resultar um valor do NMP de coliformes totais dentro de uma certa faixa.

Através de duas canalizações flexíveis e independentes, a água coagulada era sifonada e descarregada livremente em duas canalizações também independentes, que conduziam os afluentes aos filtros. Uma terceira canalização partindo da caixa de nível constante veiculava a água coagulada a um turbidímetro de escoamento contínuo para medição e registro de turbidez.

A entrada aos filtros era feita na parte inferior, sob uma placa provida de orifícios, sobre a qual se encontrava disposta a camada de pedregulho, suporte da camada de areia. Duas tomadas de pressão, uma localizada imediatamente acima da placa perfurada e outra, próxima à saída de água filtrada, eram conectadas, por meio de mangueiras plásticas, a um equipamento de medição e registro de pressão do tipo diferencial de modo que continuamente era realizada a medida e registro de perda de carga em carta tipo circular.

Os filtros foram executados com segmentos de tubos de acrílico transparente, com 91mm de diâmetro interno, montados através de flanges com anéis de borracha. Na parte inferior, além da canalização de entrada de água coagulada, dispunha-

**FIGURA 1**  
**Esquema da instalação geral**



se de uma canalização de latão de 6,4mm de diâmetro, provida de orifícios, destinada a distribuir o ar para lavagem auxiliar.

Uma parcela do efluente de cada filtro era encaminhada para um turbidímetro de escoamento contínuo, provido de indicador e registrador de turbidez. Através de um arranjo da canalização de entrada a cada filtro, era possível desviar o afluente e ao mesmo tempo executar uma descarga de fundo intermediária ou final. A descarga era realizada desviando-se o afluente e abrindo-se a válvula da canalização de entrada no filtro, até que o nível de água no seu interior baixasse até permanecer 20cm acima do topo da camada de areia. Após o encerramento de um ensaio, procedia-se sempre à descarga de fundo antes da realização da lavagem propriamente dita, que era efetuada inicialmente com insuflação de ar por um período da ordem de 5 minutos e em seguida, com água em sentido ascensional, com velocidade da ordem de 1m/min, de modo a resultar uma expansão na camada de areia igual a aproximadamente 20%.

### **Características da Camada Suporte e da Areia**

Com base nos trabalhos das referências 6 e 7, foram adotadas as características apresentadas no Quadro 1.

### **Metodologia dos Ensaios de Filtração**

#### **Programação dos Ensaios de Filtração**

A instalação piloto (incluindo-se camada suporte e meio filtrante) foi anteriormente utilizada por Di Bernardo e Patteriani (6), que efetuaram ensaios preliminares, para diferentes taxas de filtração, com o fim de verificar a igualdade de comportamento dos dois filtros, pois as descargas de fundo intermediárias eram executadas, alternadamente, num deles somente, com o outro servindo para comparar os benefícios com relação à duração da carreira de filtração.

Conforme recomendado na referência 6, o número de descargas de fundo intermediárias não devia ser previamente fixado em função da evolução da perda de carga e, sim, serem executadas mais próximas umas das outras, procurando-se evitar a penetração excessiva de impurezas na camada de areia, pois nessa condição, após a realização de uma descarga de fundo,

**QUADRO 1**  
**Características da camada suporte de areia**

Discriminação	Valor	Camada Suporte	
		Espessura (cm)	Granulometria (mm)
Espessura (m)	1,6	10	31,7 - 25,4
Tamanho dos grãos (mm)	0,59 - 2,00	10	25,4 - 15,9
D <sub>10%</sub> (passa) (mm)	0,88	10	15,9 - 9,6
D <sub>90%</sub> (passa) (mm)	1,32	20	9,6 - 4,8
Coefficiente de Desuniformidade	1,5	30	4,8 - 2,4
		Total: 80	

poderiam ocorrer picos excessivos de turbidez com prejuízo à qualidade bacteriológica do efluente. Assim sendo, as descargas de fundo intermediárias não foram executadas a partir de um certo padrão de variação de perda de carga e sim com base nos resultados da referência 6, que, para uma taxa de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia, recomendou um número mínimo de 6 descargas.

Como se desejava investigar, também, a influência do NMP de coliformes totais presentes no afluente no desempenho dos filtros, notadamente após a execução das descargas de fundo intermediárias, foi utilizado esgoto predominantemente doméstico, coletado diariamente no mesmo poço de visita da rede da cidade de São Carlos, que apresentava um NMP de coliformes totais da ordem de 10<sup>7</sup> coli/100 ml. Após ser coada em tecido para a remoção de sólidos grosseiros, promovia-se uma diluição da amostra de esgoto em um tanque, de onde, através de bomba dosadora, a suspensão era bombeada para a caixa de nível constante.

O Quadro 2 apresenta as características dos ensaios realizados.

Para cada ensaio foram medidos e registrados continuamente valores de perda de carga total nos filtros, turbidez do afluente e efluentes dos filtros. Outros parâmetros como pH e cor aparente eram medidos em diferentes intervalos de tempo, conforme a taxa de filtração; porém, sempre em intervalos de tempo inferiores a 6 horas. Os exames bacteriológicos, para a determinação do NMP de coliformes totais e do número de colônias de bactérias do afluente e efluentes dos filtros, foram

**QUADRO 2**  
**Características dos ensaios de filtração**

Ensaio	Taxa de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Coliformes Totais no Afluente
01	160	Presentes na água bruta fluente à ETASC, geralmente entre 100 e 1200 coli/100 ml
02	200	
03	240	
04	280	
05	160	Com adição de esgoto sanitário, resultando entre 1000 e 10000 coli/100ml
06	200	
07	240	
08	280	
09	160	Com adição de esgoto sanitário, resultando entre 5000 e 15000 coli/100ml
10	200	
11	240	
12	280	

efetuados em amostras coletadas no início da carreira de filtração, antes e logo após a realização de descargas de fundo intermediárias. Foi utilizada a técnica de fermentação em tubos múltiplos para a determinação do NMP de coliformes totais e placas de Petri para contagem do número de colônias de bactérias.

A condição de término de um ensaio de filtração era ditada por uma das seguintes condições:

- ocorrência de perda de carga total (camada suporte mais camada de areia) igual a 2,4m;
- crescimento contínuo da turbidez até atingir a turbidez limite de 3 UT.

Convém ressaltar que a ocorrência de picos de turbidez, instantâneos, acima de 3 UT, decorrentes da realização das descargas de fundo intermediárias, não acarretavam o término da carreira de filtração, pois a turbidez do efluente superior a 3 UT pode ocorrer por períodos de tempo relativamente pequenos, não caracterizando o transpasse, conforme descrito em b).

### ENSAIOS DE DESINFECÇÃO

Conforme já mencionados, os resultados obtidos por Di Bernardo e colaboradores (6,7) mostraram que, quando se utiliza água coagulada em uma estação convencional como afluente a uma instalação de filtração direta ascendente, a realização de descargas de fundo provoca, muitas vezes, uma elevação substancial da turbidez e do NMP de coliformes totais no efluente.

Com o objetivo de estudar a cloração de água filtrada nessas situações específicas, foi programada a repetição de um ensaio de filtração, com taxa de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia e coleta de um volume adequado de água filtrada após a realização de uma descarga de fundo próxima do final da carreira de filtração. Com essa amostra e utilizando-se de hipoclorito de sódio, foi programada a investigação da influência do tempo de contato e da dosagem de cloro livre sobre a remoção do NMP de coliformes totais. Foi utilizado um equipamento de Jar Test, com gradiente de velocidade, de ordem de 500 s<sup>-1</sup> para agitação, após a introdução da solução de hipoclorito de sódio. Após o decorrer de um certo tempo de contato, era coletada uma amostra do jarro e usado tiosulfato de sódio para decloração antes da inoculação nos tubos.

Foi previsto um estudo com dosagem de cloro livre variando entre 0,5 e 10,0 mg/l e tempos de contato entre 5 e 120 minutos.

### RESULTADOS

O Quadro 3 apresenta um resumo dos dados de turbidez e cor aparente da água coagulada na ETASC e durações das carreiras de filtração em função da taxa de filtração e número de descargas de fundo intermediárias realizadas em cada ensaio.

O Quadro 4 apresenta um resumo dos dados de turbidez e cor aparente dos efluentes dos filtros em função da taxa de filtração e número de descargas de fundo intermediárias realizadas em cada ensaio.

O Quadro 5 apresenta um resumo dos dados de NMP de coliformes totais por 100ml e do número de colônias por ml do afluente e efluentes dos filtros em função da taxa de filtração e número de descargas intermediárias realizadas em cada ensaio.

As Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 (no fim deste trabalho) apresentam, para cada ensaio, os dados de turbidez do afluente e efluentes dos filtros e da variação da perda de carga em função do tempo de funcionamento. São apresentadas, também, indicações dos momentos em que foram efetuadas as descargas de fundo intermediárias e os valores do NMP de coliformes totais e colônias de bactérias do afluente e efluentes dos filtros de amostras coletadas durante a carreira de filtração.

O Quadro 6 apresenta as características da amostra do efluente do filtro F<sub>2</sub> (ensaio n.º 13), coletada após a realização da última descarga de fundo intermediária, durante um certo período de tempo após ser reiniciada a operação do filtro.

O Quadro 7 apresenta os resultados do NMP de coliformes totais por 100 ml em função da dosagem de cloro e do tempo de contato para a amostra cujas características foram apresentadas no Quadro 6.

### DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Conforme constatado por Di Bernardo e Mendes (5), as dosagens de coagulante utilizadas na ETASC não são apropriadas para a coagulação em sistemas de filtração direta ascendente facilitam a ocorrência prematura do transpasse final e causam um aumento considerável da turbidez do efluente do filtro quando são executadas as descargas de fundo intermediárias. Esses resultados podem ser observados ao se analisarem as Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14. Entretanto, a realização de descargas de fundo, para qualquer uma das taxas de filtração estudadas, retardam ou até mesmo evitam a ocorrência do transpasse.

Apesar de não ter sido utilizada a dosagem de coagulante apropriada à filtração direta, os resultados obtidos no presente trabalho não foram prejudicados, pois o objetivo foi o de estudar a filtração direta ascendente com vistas às influências que a taxa de filtração e o NMP de coliformes totais exercem na eficiência de remoção de matéria suspensa e microrganismos, notadamente quando eram executadas as descargas de fundo intermediárias. Essa situação, resultante do uso de uma dosagem de coagulante bem maior que aquela realmente necessária à filtração direta ascendente, reproduz a condição mais desfavorável que poderá ocorrer na prática, pois, quando é usada a dosagem correta, não ocorre o transpasse final quando não são realizadas as descargas de fundo intermediárias (5). É bem possível que, ao se usar a dosagem correta de coagulante, a realização de descargas de fundo intermediárias não irá causar aumentos consideráveis de turbidez após o reinício de funcionamento do filtro.

Conforme recomendado na referência 6, realmente foram conseguidos resultados melhores com a realização de um número maior de descargas de fundo intermediárias e mais próximas, com redução dos picos de turbidez e microrganismos. Nas referências 6 e 7 são apresentados dados que mostram picos de turbidez da ordem de 70 UT após a realização de uma descarga de fundo e reinício de funcionamento do filtro, quando a turbidez do efluente, antes da execução da descarga de fundo, era inferior a 5 UT. Segundo essas referências, os benefícios, em termos de qualidade, poderiam ser maiores se as descargas de fundo fossem realizadas mais próximas uma das outras e em número maior que seis, retardando, dessa forma, a penetração de impurezas em toda a camada de areia. Para todas as taxas de filtração estudadas, o maior pico de turbidez observado foi de

### QUADRO 3

Resumo dos valores de turbidez e cor aparente da água coagulada e dosagem de sulfato de alumínio na ETASC para todos os ensaios realizados

Nº do Ensaio	Taxa de Filtração (m³/m².dia)	Nº de Descargas de Fundo Intermediárias		Água Coagulada						Dosagem de Sulfato de Alumínio (mg/l)			Perda de Carga no Final da Carreira de Filtração (m)		Duração da Carreira de Filtração (h)		Aumento Relativo na Duração da Carreira de Filtração devido às Descargas
				Turbidez (UT)			Cor Aparente (un)			mín.	média (*)	máx.	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	
				mín.	média (*)	máx.	mín.	média (*)	máx.								
01	160	10	-	12	14,8	25	40	50,8	70	11,0	14,7	19,0	1,52	0,96	91	16	5,7
02	200	-	8	10	11,3	13	30	41,0	50	10,5	12,4	20,0	1,65	1,60	25	68	2,7
03	240	6	-	10	11,2	14	20	23,8	30	10,8	11,3	12,5	1,68	1,58	42	14	3,0
04	280	-	9	9	10,6	12	20	22,1	30	10,3	11,2	11,8	1,80	1,78	13	40	3,1
05	160	-	8	9	12,1	17	25	52,0	120	10,3	14,4	28,0	2,06	1,70	39	87	2,2
06	200	6	-	13	15,2	17	25	40,6	50	11,5	12,1	16,3	1,42	1,44	57	18	3,2
07	240	-	12	9	12,7	18	25	38,7	80	10,0	13,7	18,9	1,60	2,40	15	77	5,1
08	280	16	-	10	11,6	16	20	26,7	40	10,5	11,6	14,2	2,15	1,80	67	15	4,5
09	160	13	-	7	12,0	23	25	42,8	60	10,0	11,4	15,0	2,40	1,24	137	24	5,7
10	200	-	11	9	11,8	18	20	27,0	40	10,0	11,2	13,4	1,62	2,40	24	94	3,9
11	240	6	-	16	19,3	30	50	55,0	75	12,9	14,6	16,0	1,35	1,68	39	19	2,1
12	280	-	12	9	12,2	18	30	39,0	70	10,3	12,3	25,0	2,28	2,40	18	51	2,8
13	240	-	7	11	13,4	16	20	24,0	25	10,5	13,1	14,5	2,07	2,20	23	45	1,95

(\*) média aritmética

### QUADRO 4

Resumo dos dados de turbidez e cor aparente dos efluentes dos filtros em função da taxa de filtração e número de descargas de fundo intermediárias para todos os ensaios realizados

Nº do Ensaio	Taxa de Filtração (m³/m².dia)	Nº de Descargas de Fundo Intermediárias		Turbidez dos Efluentes dos Filtros (UT)						Cor Aparente dos Efluentes dos Filtros (un.)			
				F <sub>1</sub>			F <sub>2</sub>			F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>	
				F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	mín.	média (*)	máx.	mín.	média (*)	máx.	mín.	máx.
01	160	10	-	0,10	0,22	5,0	0,12	0,36	2,0	< 2,5	5,0	< 2,5	2,5
02	200	-	8	0,05	0,28	4,5	0,05	0,27	4,5	< 2,5	5,0	< 2,5	5,0
03	240	6	-	0,07	0,24	5,0	0,10	0,29	5,0	< 2,5	5,0	< 2,5	5,0
04	280	-	9	0,10	0,36	3,0	0,11	0,51	3,4	< 2,5	5,0	< 2,5	2,5
05	160	-	8	0,09	0,32	3,0	0,08	0,19	5,4	< 2,5	2,5	2,5	5,0
06	200	6	-	0,12	0,50	4,5	0,13	0,44	3,0	< 2,5	5,0	< 2,5	2,5
07	240	-	12	0,09	0,47	3,0	0,09	0,46	5,5	< 2,5	2,5	2,5	5,0
08	280	16	-	0,08	0,27	8,0	0,08	0,28	1,2	< 2,5	5,0	< 2,5	2,5
09	160	13	-	0,07	0,20	5,0	0,07	0,40	2,4	< 2,5	5,0	< 2,5	2,5
10	200	-	11	0,08	0,40	3,0	0,06	0,36	4,6	< 2,5	2,5	< 2,5	5,0
11	240	6	-	0,09	0,34	5,0	0,09	0,40	3,0	< 2,5	5,0	< 2,5	2,5
12	280	-	12	0,09	0,26	5,5	0,10	0,41	2,4	< 2,5	2,5	< 2,5	5,0
13	240	-	7	0,06	0,54	3,0	0,07	0,33	10,6	< 2,5	2,5	2,5	5,0

(\*) média aritmética

**DAE**

**QUADRO 5**

**Resumo dos dados de coliformes fecais totais e do número de colônias do afluente e dos efluentes dos filtros em função da taxa de filtração e número de descargas de fundo intermediárias para todos os ensaios realizados**

Número do Ensaio	Taxa de Filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Número de Descargas de Fundo Intermediárias		NMP de Coliformes Totais por 100 ml						Número de Colônias de Bactérias por ml					
				Afluente		Efluentes				Afluente		Efluentes			
						F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>				F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>	
				F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
01	160	10	-	91	1600	0	93	9,1	9,1	32	288	3	50	7	10
02	200	-	8	91	930	3	9,1	3	43	42	155	1	11	1	70
03	240	6	-	91	930	3	91	3	43	63	148	2	51	6	12
04	280	-	9	140	930	3	9,1	3,6	43	29	430	4	12	3	42
05	160	-	8	930	11000	9,1	120	0	150	80	460	3	420	4	110
06	200	6	-	910	11000	28	1100	150	240	220	550	18	138	74	230
07	240	-	12	750	12900	3,6	28	9,1	460	70	400	6	51	6	310
08	280	16	-	930	11000	9,1	460	0	75	140	470	3	165	9	37
09	160	13	-	4600	16000	7,3	460	23	93	850	3400	18	290	23	158
10	200	-	11	5300	12000	9,1	460	23	1100	400	2310	89	206	37	430
11	240	6	-	4600	9500	28	460	23	150	190	4200	26	220	20	114
12	280	-	12	4600	24000	23	460	23	460	1200	3800	13	360	49	400
13 (*)	240	-	7	9500	11000	-	-	-	280	5100	-	-	-	-	226

(\*) coleta de amostra efetuada somente após a realização da última descarga de fundo intermediária

10,6 UT, bem inferior àqueles reportados nas referências 6 e 7. Outro aspecto que reflete a melhoria conseguida diz respeito ao tempo necessário para que o filtro volte a produzir um efluente de qualidade satisfatória após a realização de uma descarga de fundo intermediária que, segundo a referência 6, variava entre 20 e 30 minutos. No presente trabalho, esse tempo, principalmente nos primeiros dois terços da duração da carreira de filtração, praticamente não existiu. Entretanto, no final da carreira de filtração, já se observava a ocorrência de picos de turbidez mais elevados (da ordem de 5 UT), resultando um tempo da ordem de 5 minutos para que a turbidez voltasse a valores próximos àqueles que possuía o efluente antes da realização da descarga de fundo intermediária.

Conforme observado nas referências 6 e 7, a ocorrência de picos de turbidez era acompanhada de picos de coliformes totais. No presente trabalho, os picos de microrganismos, medidos em termos do NMP de coliformes totais por 100ml foram bem menores que aqueles encontrados por esses dois autores, independentemente da taxa de filtração e do valor do NMP de coliformes totais do afluente. Porém, de um modo geral, quanto maior o NMP de coliformes totais no afluente, mais elevados foram os picos desses microrganismos após a realização das descargas de fundo intermediárias.

A taxa de filtração (entre 160 e 280 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia) parece não exercer influência significativa na qualidade física e bacteriológica do efluente produzido, independentemente do método de operação (com ou sem descargas de fundo intermediárias). Como era de se esperar, as carreiras de filtração mais curtas foram obtidas com as taxas mais elevadas.

Considerando que os efeitos das descargas de fundo intermediárias não são tão prejudiciais à qualidade do efluente, conforme havia sido anteriormente verificado em outros trabalhos, esse método de operação conduz a uma economia consi-

derável de água para lavagem, pois as carreiras de filtração chegam a ser cinco vezes mais longas que nos filtros em que não são efetuadas as descargas. Mesmo considerando o volume de água desperdiçado nas descargas, o volume total de água consumido na instalação é bem menor que aquele utilizado para lavagem quando não são executadas as descargas, conforme já constatado na referência 6.

Comparando-se os dados do Quadro 1, observa-se que, em geral, quanto maior o número de descargas de fundo intermediárias, mais longas resultaram as carreiras de filtração quando são efetuadas as descargas de fundo, independentemente da taxa de filtração.

A amostra destinada à realização dos ensaios de cloração apresentou turbidez inicial e final iguais a, respectivamente, 7,4 e 0,3 UT, resultando uma turbidez média de 1,8 UT e um NMP de coliformes totais por 100ml igual a 280, o que é representativo nas instalações em escala real. Os dados do Quadro 7 mostram dois aspectos interessantes, que são: i) quanto maior o tempo de contato, maior a eficiência da cloração para dosagens superiores a 0,5 mg/l, porém, a cloração é mais segura para dosagens de, pelo menos, 1 mg/l de cloro livre; (ii) para dosagens mais elevadas, o tempo de contato pode ser menor, porém, de pelo menos 30 minutos para dosagens comumente usadas na prática, como 2 mg/l.

Com base na investigação experimental realizada, concluiu-se que:

a) o método de operação com a realização de descargas de fundo intermediárias conduz à obtenção de carreiras de filtração mais longas quando comparado com o método em que não são promovidas tais descargas;

b) em geral, quanto mais freqüentes e mais próximas umas das outras forem executadas as descargas de fundo intermediárias, melhor é a qualidade do efluente produzido, pois os picos

**QUADRO 6**  
**Características do afluente e efluente do filtro-ensaio de cloração**

Discriminação	Característica					
	pH	Temperatura (°C)	NMP de Coliformes Totais (coli/100 ml)	Nº de Colônias de Bactérias por ml	Turbidez (UT)	Cor Aparente (un.)
Água Coagulada	6,7	22	11000	5100	11-16	20-25
Água Filtrada	6,7	22	280	226	1,8	2,5

**QUADRO 7**  
**Ensaio de cloração para água filtrada**

Doseagem de Cloro (mg/l)	Características da Água Após o Tempo de Contato	Tempo de Contato (min.)				
		5	10	30	60	120
0,5	pH	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
	NMP de Coliformes Totais (Coli/100 ml)	210	60	36	30	30
	Número de Colônias / ml	105	7	7	1	0
1,0	pH	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
	NMP de Coliformes Totais (Coli/100 ml)	110	36	30	0	0
	Número de Colônias / ml	8	5	0	0	0
2,0	pH	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
	NMP de Coliformes Totais (Coli/100 ml)	36	20	0	0	0
	Número de Colônias / ml	6	5	0	0	0
4,0	pH	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
	NMP de Coliformes Totais (Coli/100 ml)	5	0	0	0	0
	Número de Colônias / ml	4	2	0	0	0
7,0	pH	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
	NMP de Coliformes Totais (Coli/100 ml)	0	0	0	0	0
	Número de Colônias / ml	5	0	0	0	0
10,0	pH	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	NMP de Coliformes Totais (Coli/100 ml)	0	0	0	0	0
	Número de Colônias / ml	0	0	0	0	0

de turbidez e coliformes totais são atenuados, e mais longas são as carreiras de filtração, independentemente da taxa de filtração;

c) quando são realizadas as descargas de fundo intermediárias, a deterioração da qualidade do efluente torna-se significativa somente no final da carreira de filtração;

d) para uma amostra do efluente coletada após a execução de uma descarga de fundo, no final da carreira de filtração, com características conforme mostra o Quadro 6, a dosagem de cloro livre não deve ser inferior a 2mg/l para um tempo de contato de, pelo menos, 30 minutos; para tempos de contato, da ordem de 10 minutos, a dosagem de cloro livre, que é efetiva, deve ser de pelo menos 4 mg/l.

Considerando os resultados obtidos, são feitas algumas recomendações importantes, como:

a) estudar uma forma mais adequada para executar as descargas de fundo intermediárias;

b) utilizar uma dosagem de coagulante realmente necessária para realizar a filtração direta ascendente e verificar a qualidade bacteriológica e física do efluente produzido quando são efetuadas as descargas de fundo intermediárias.

## BIBLIOGRAFIA

1 — AWWA, ADHA, WPCF *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 13<sup>rd</sup> Ed., N.Y., 1971.

2 — Christóvão, D.A., *Bacteriologia da Água — Seu Exame e Controle Bacteriológico*, separata do Livro: *Operação e Manutenção de Estações de Tratamento de Água*, FSPUSP, 1965.

3 — Di Bernardo, L., et al., *Estudo das Influências das Características Hidráulicas e da Camada de Areia na filtração Ascendente*, Revista DAE, São Paulo (131):94-102, dez. 1982.

4 — Di Bernardo, L. & Razaboni, J.D., *Influência da Realização de Descargas de Fundo durante a Carreira de filtração no Comportamento de Sistemas de Filtração Direta Ascendente*, Revista DAE, São Paulo, 44(139):340-345, dez. 1984.

5 — Di Bernardo, L. & Mendes, C.G.N. *Coagulação e Filtração Direta Ascendente*, Revista DAE, vol. 46(145), jun., 1986.

6 — Di Bernardo, L. & Patterniani, J.E.S., *Influência de Descargas de Fundo durante o Funcionamento de Instalações de Filtração Direta Ascendente*, Revista DAE, vol. 46(146), set., 1986.

7 — Di Bernardo, L. & Teixeira, B.A.N., *Influência das Características da Camada Suporte e da Areia ao Processo da Filtração Direta Ascendente*, XX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Guatemala, 16 a 21/11/1986.

8 — Geldreich, E.E. *The Necessity of Controlling Bacterial Populations in Potable Water: Community Water Supply*, J. AWWA, vol. 64(9), sept. 1972.

9 — Haney, B.J. & Steimle, S.E. *Potable Water Supply by Means of Upflow Filtration (L'Eau Claire Process)*, J. AWWA, vol. 66(2), p. 117-123. feb. 1974.

Os autores deste trabalho desejam expressar seus agradecimentos à Fapesp-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio à pesquisa (processo n.º 83/2003-0), ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos e à Escola de Engenharia de São Paulo — USP.

**DAE**

VOL 48 - N.º 152 - JUL/SET 88

FIGURA 2

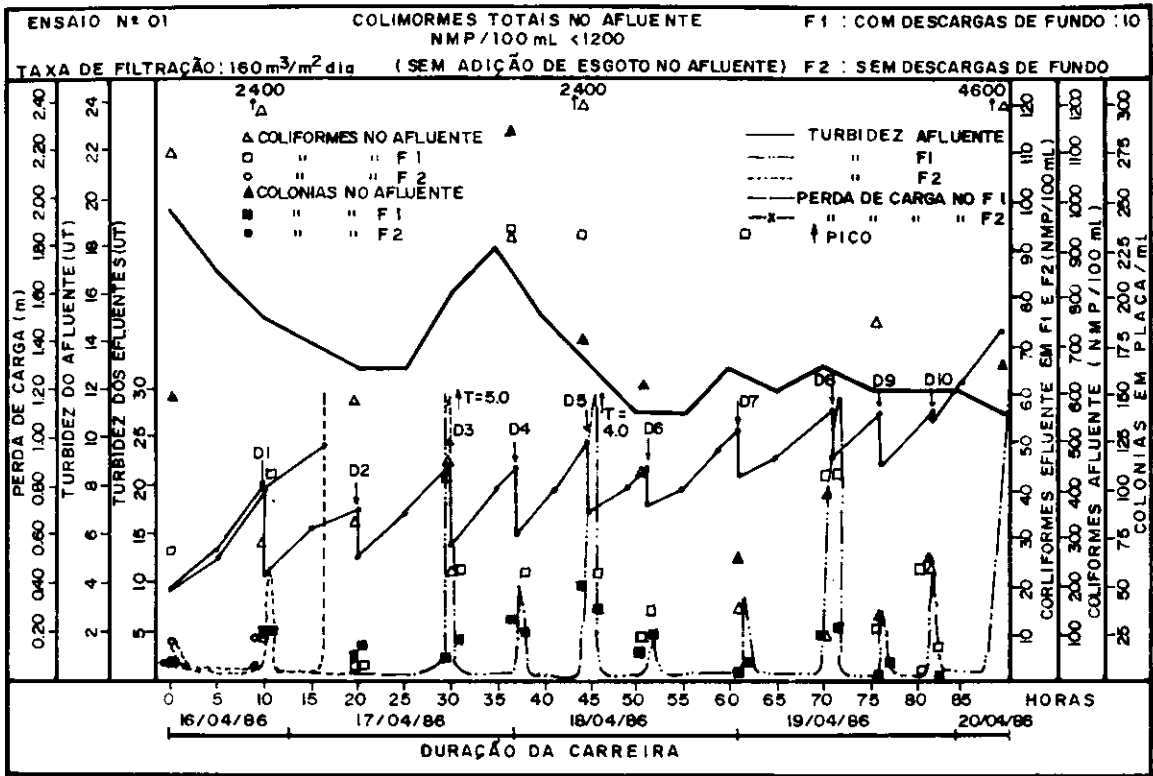


FIGURA 3

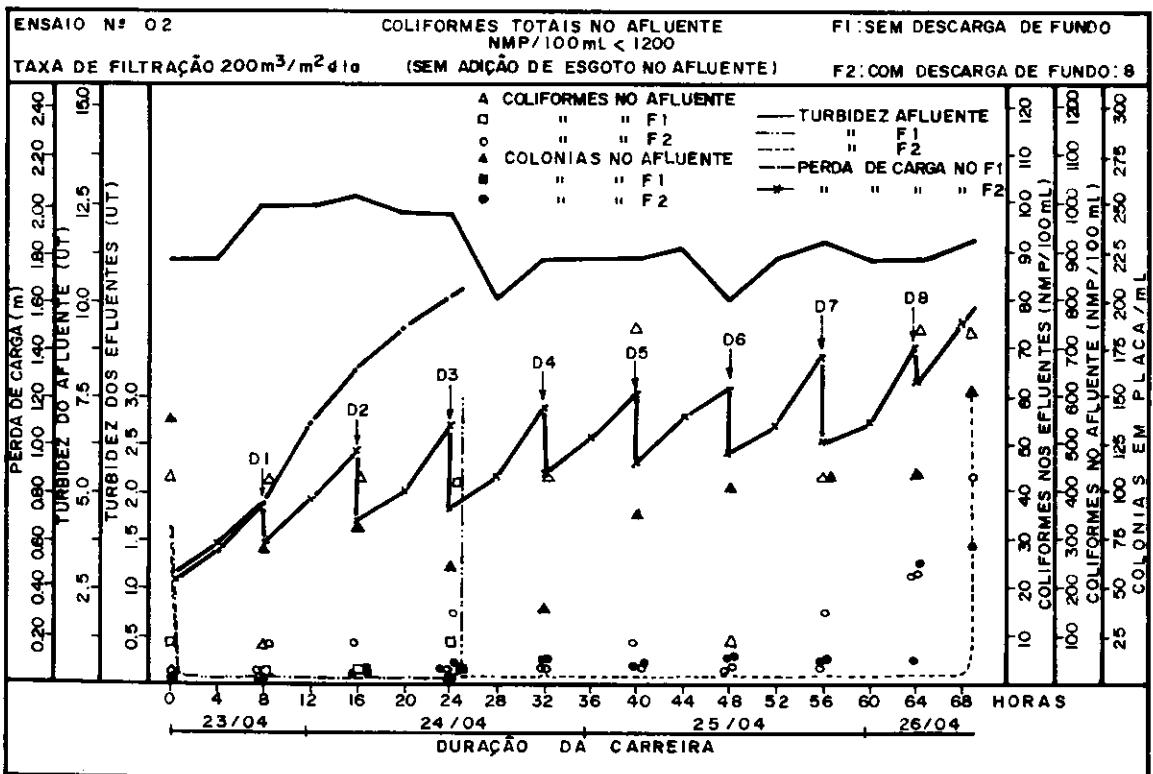


FIGURA 4

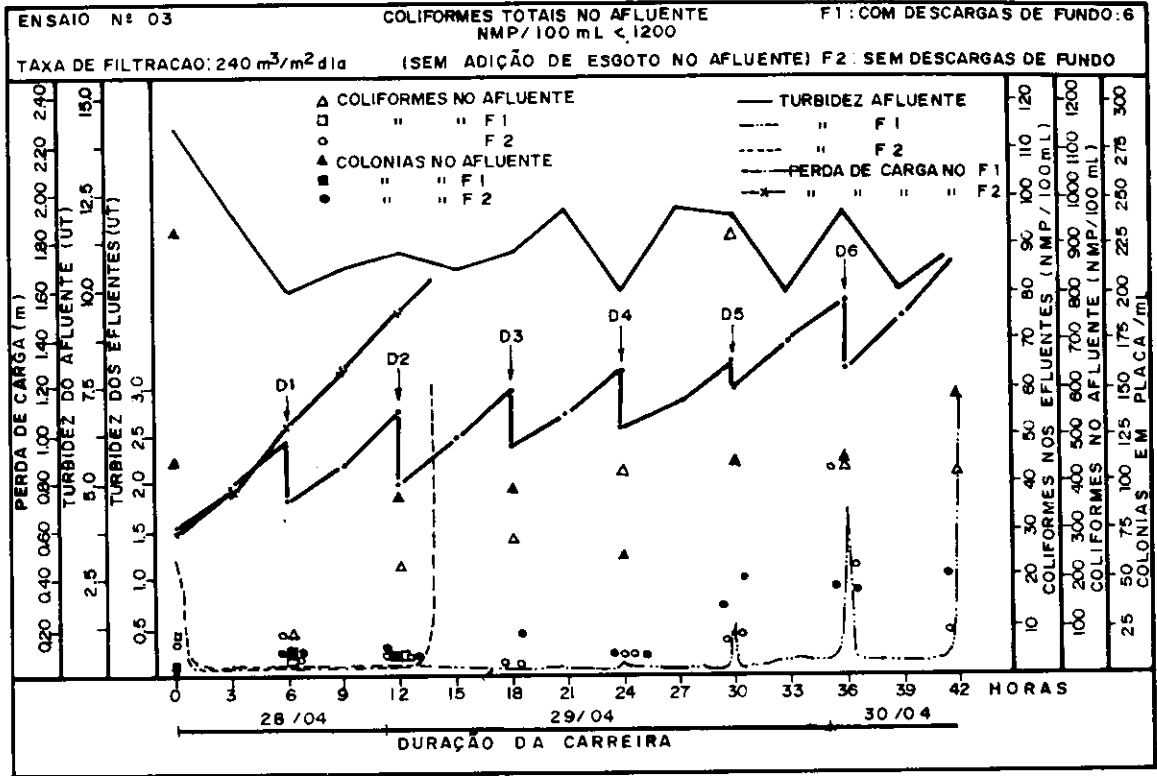


FIGURA 5

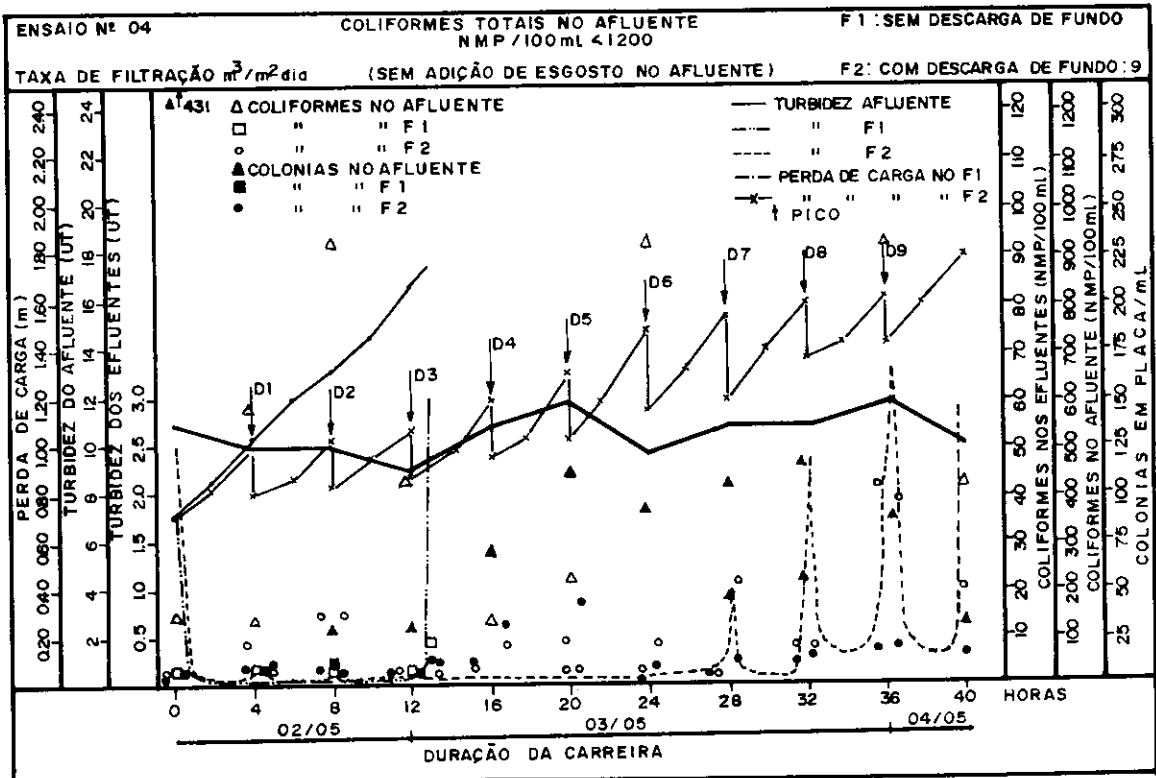




FIGURA 6

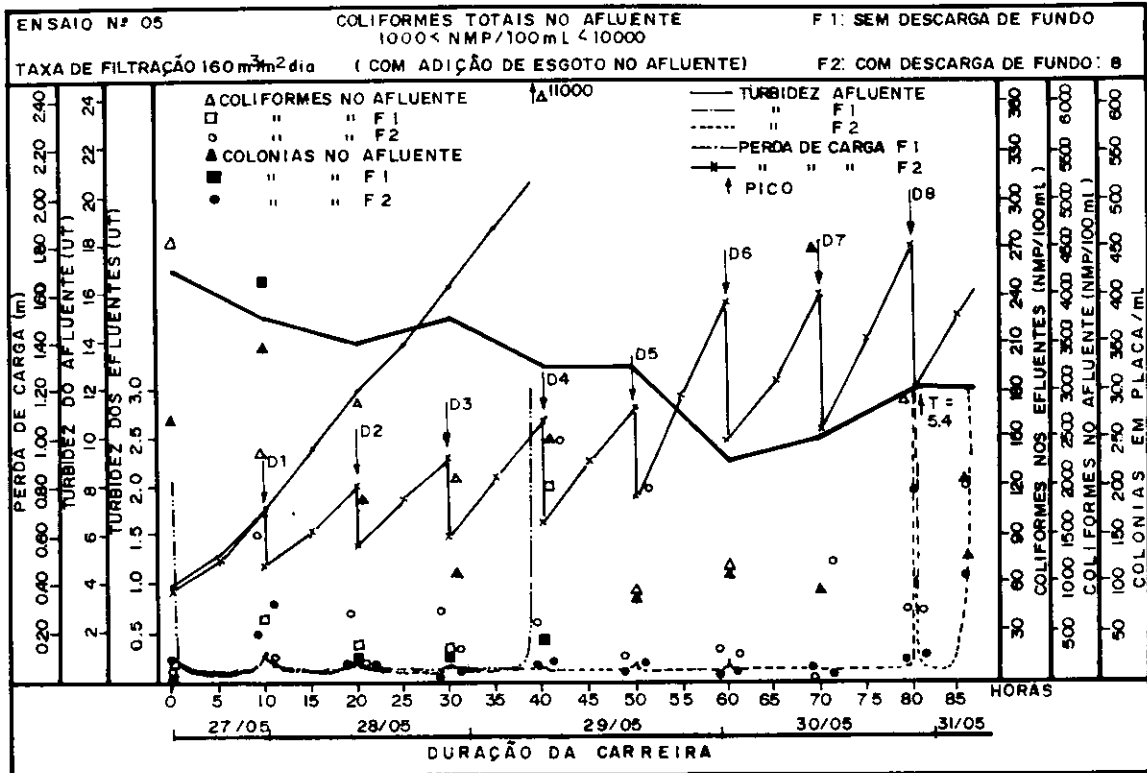


FIGURA 7

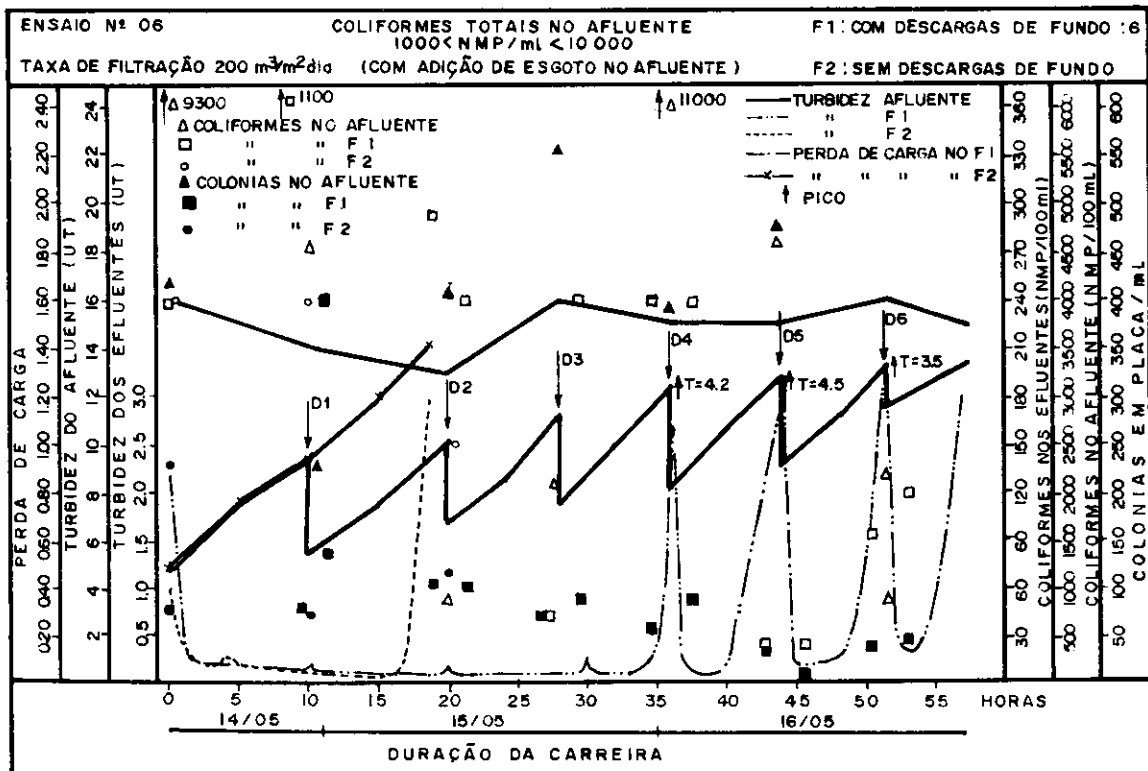


FIGURA 8

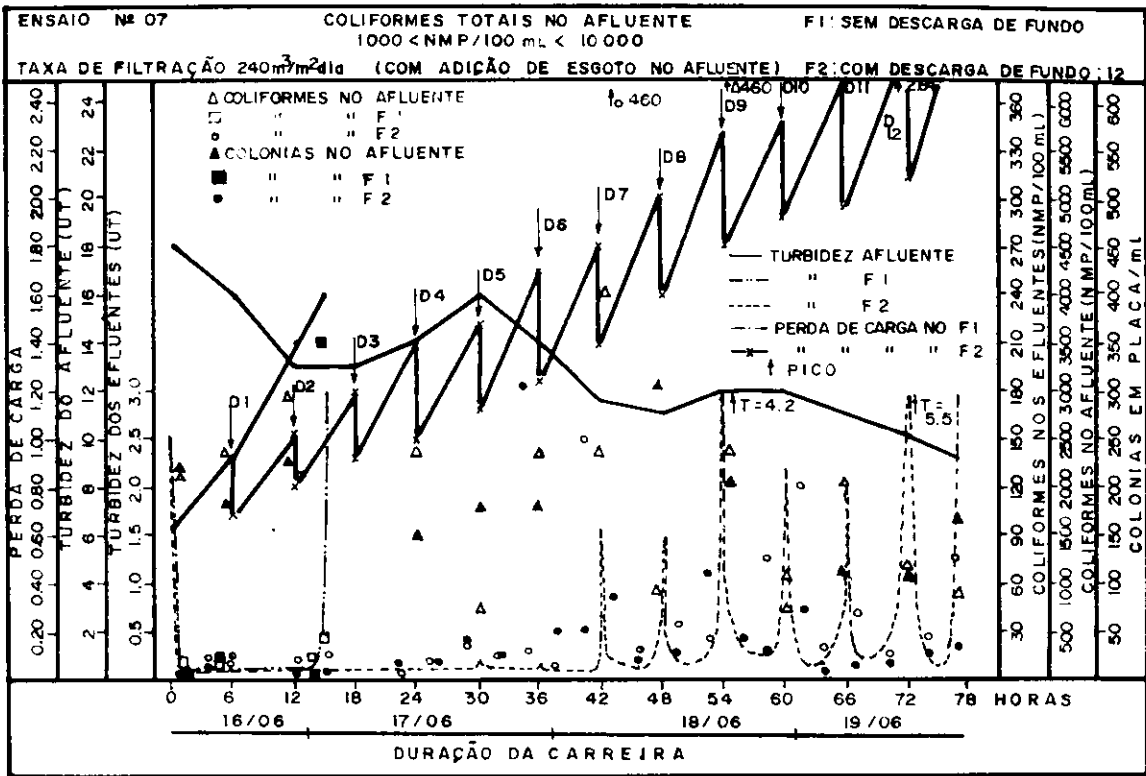


FIGURA 9

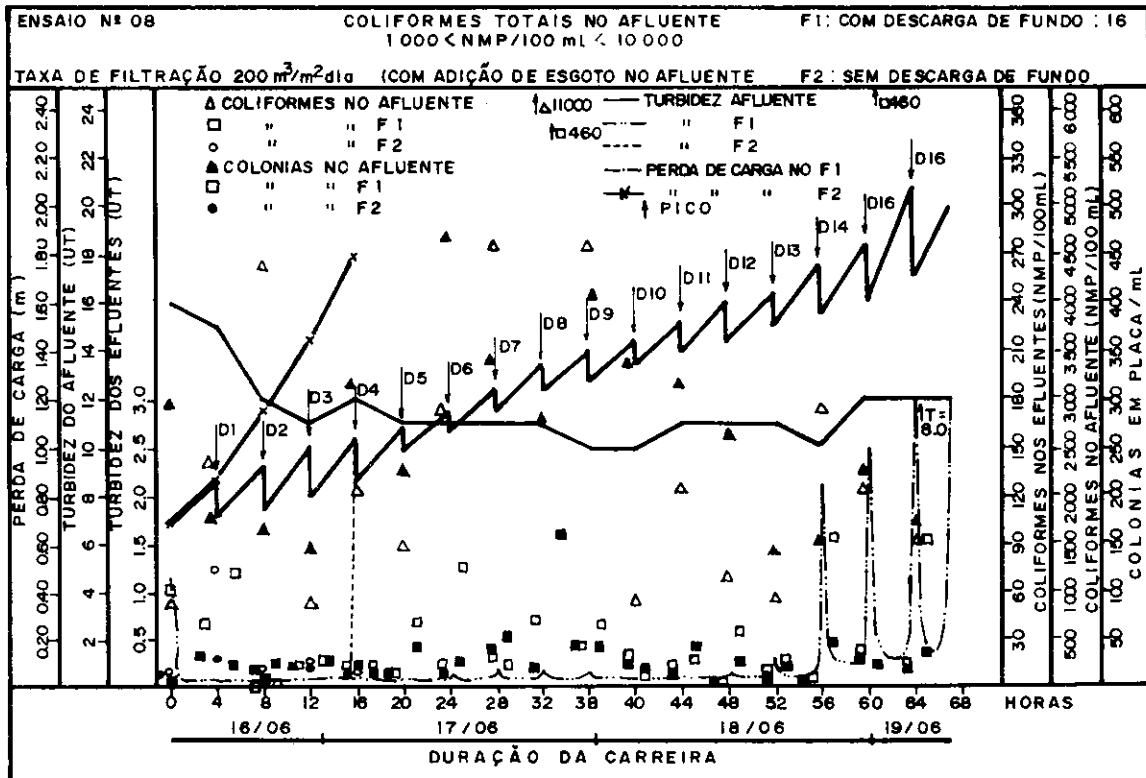


FIGURA 10

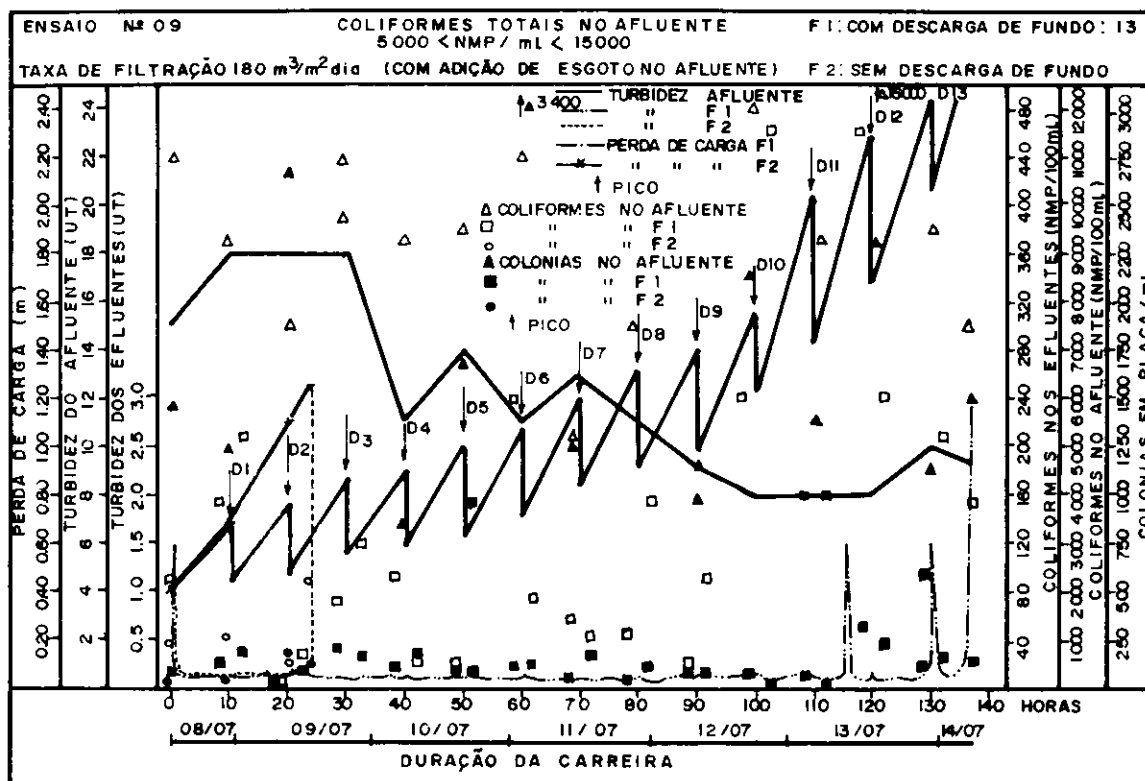
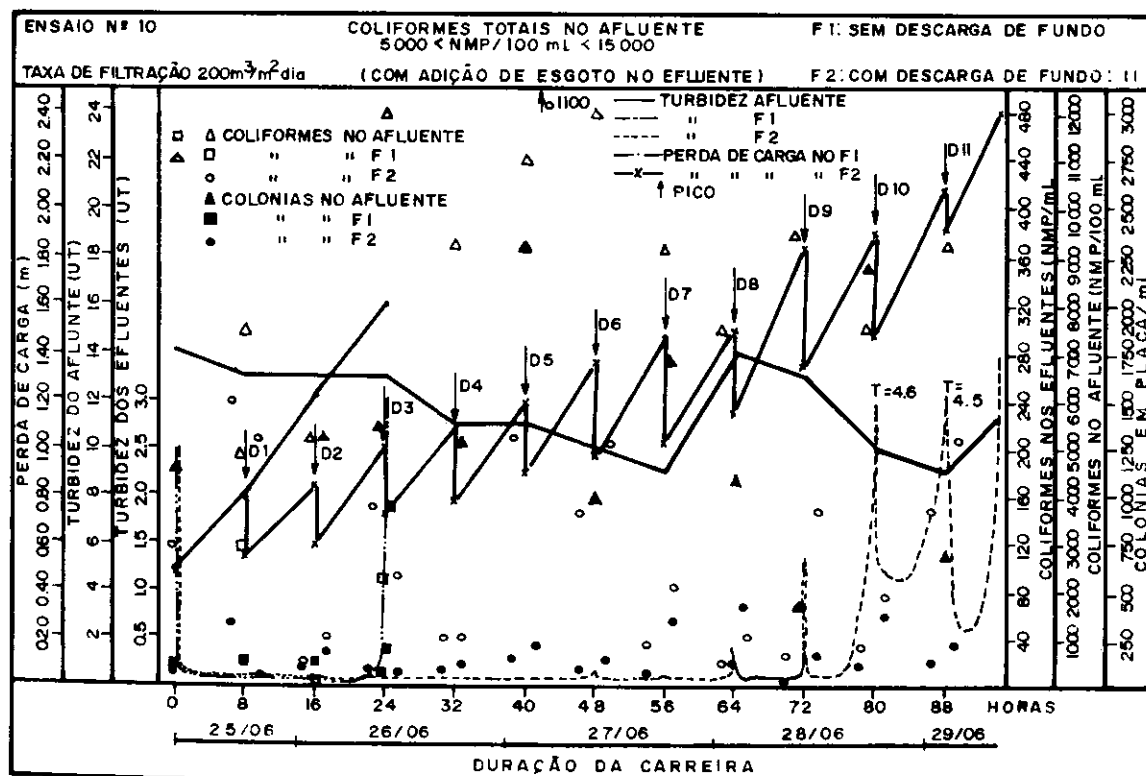


FIGURA 11



DAE

FIGURA 12

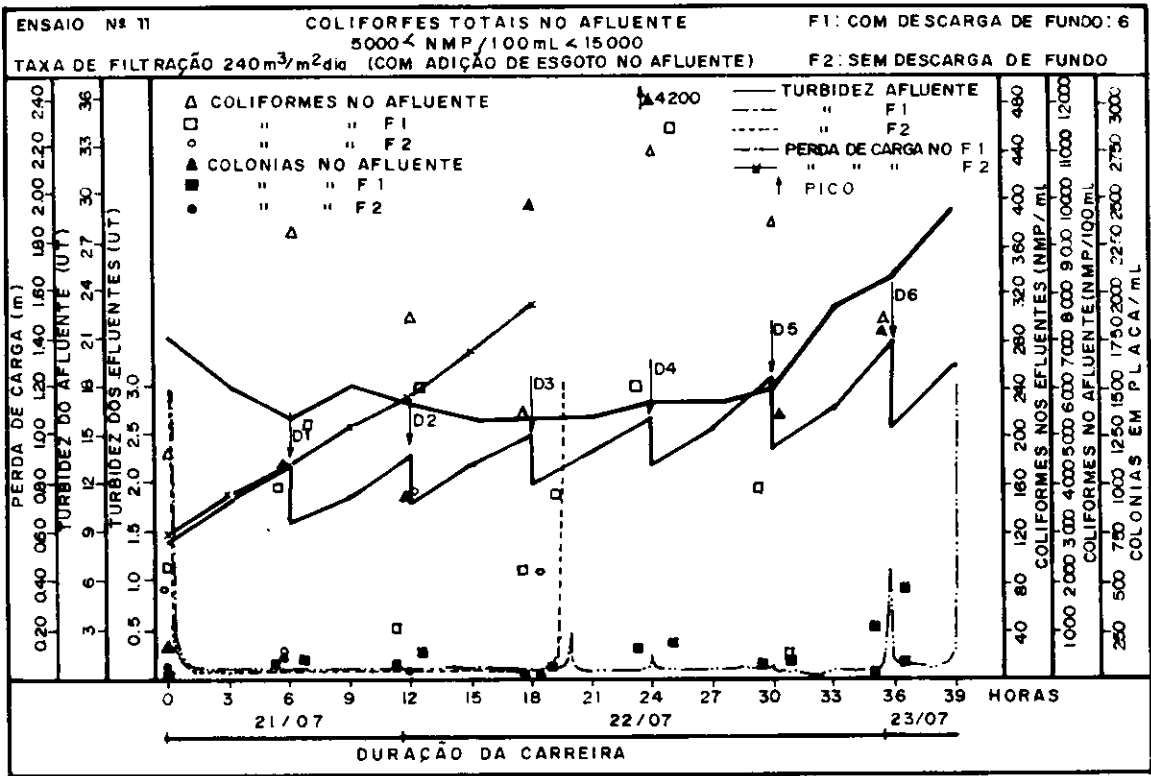
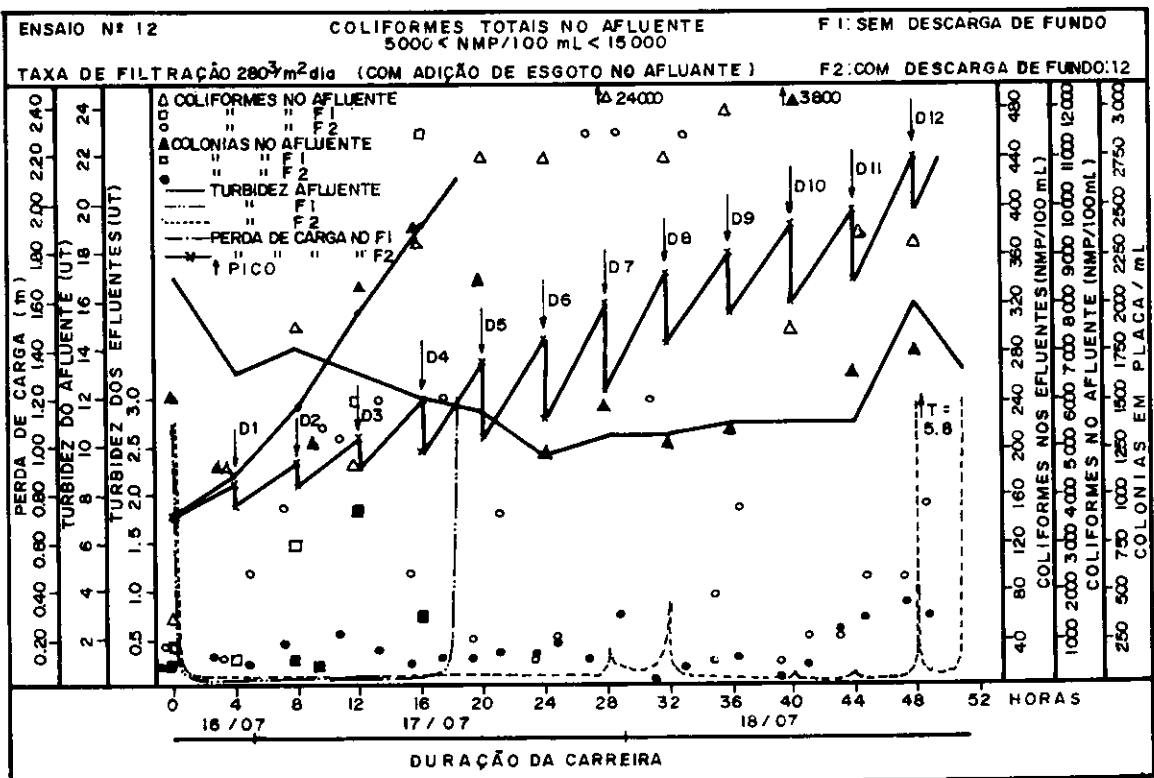


FIGURA 13



DAE

FIGURA 14

