

Comparação entre a filtração realizada em papel de filtro e em instalação-piloto de filtração direta ascendente

Luiz Di Bernardo (1)

Quando se pretende estudar a potencialidade do emprego da filtração direta descendente como um processo de tratamento de águas de abastecimento, têm sido conduzidos estudos em laboratório utilizando-se aparelho de Jar-Test para promover a mistura rápida e algumas vezes a floculação, filtrando-se em seguida, em papel de filtro, a água coagulada ou floculada. Com base em trabalho desenvolvido por Wagner e Hudson, verifica-se que, para a filtração direta descendente, essa técnica de laboratório simplificada fornece resultados compatíveis com aqueles obtidos em instalações-piloto e protótipos.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a potencialidade do emprego da filtração direta ascendente, a partir da determinação, em aparelho de Jar-Test e filtração em papel de filtro, das dosagens mais apropriadas de produtos químicos. Assim, foram efetuados diversos ensaios de mistura rápida e filtração em papel de filtro para água bruta proveniente de um manancial de superfície e, uma vez selecionadas algumas dosagens julgadas convenientes, foi investigado, em uma instalação-piloto de filtração direta ascendente, se os resultados obtidos resultavam compatíveis.

Com base no trabalho experimental realizado, concluiu-se que é possível investigar, em laboratório, a possibilidade do emprego da filtração direta ascendente, a partir da mistura rápida em aparelho de Jar-Test e filtração em papel de filtro, o que simplifica, substancialmente, o estabelecimento de uma estratégia de seleção de processos de tratamento de águas de abastecimento.

1 Introdução

A tecnologia do tratamento de águas de abastecimento tem sido submetida a inúmeras alterações nos últimos anos, visando, principalmente, a melhorar a qualidade da água produzida, simplificar a operação e a manutenção das instalações e reduzir o custo com produtos químicos. Dentre os diversos

processos de tratamento, a filtração direta descendente tem merecido atenção especial dos pesquisadores, pois além de se produzir um efluente de qualidade satisfatória, há uma redução considerável de custo de implantação e de consumo dos produtos químicos quando comparado com uma estação completa de tratamento, onde se tem as operações de coagulação, floculação, sedimentação e filtração em unidades independentes (9, 12).

As pequenas dosagens de produtos químicos utilizados no processo de filtração direta descendente estão relacionadas com o mecanismo de coagulação envolvido. Enquanto, para a obtenção da floculação e sedimentação apropriadas de águas que apresentam turbidez e cor relativamente baixas, o mecanismo principal de desestabilização é o de varredura (1, 2), para a filtração direta descendente, é necessária somente a desestabilização das partículas coloidais, por adsorção, com redução substancial de produtos químicos (1, 2, 11).

Quando a água bruta apresenta turbidez e/ou cor relativamente elevadas, a duração das carreiras de filtração resultam menores, o que pode inviabilizar a aplicação da filtração direta descendente (3, 4, 11), pois as dosagens de produtos químicos superam determinados valores e causam um aumento considerável da taxa de crescimento da perda de carga com o tempo de filtração. Wagner e Hudson (11) questionam a aplicação da filtração direta descendente quando a dosagem de coagulante supera a 15 mg/l, sugerindo dosagens, em geral, inferiores a 7 mg/l e utilização de pequenas dosagens de polímeros. Resultados semelhantes foram obtidos por Di Bernardo (4) quando a água bruta apresenta cor relativamente elevada quando comparada com a turbidez, utilizando sulfato de alumínio como coagulante primário e amido de batata como auxiliar para taxas de filtração compreendidas entre 120 e 360 m³/m²/dia.

Além das vantagens mencionadas da filtração direta descendente, a ascendente tem outras adicionais resultantes do fato de o escoamento ser feito no mesmo sentido da redução da granulometria da camada suporte e da

areia. Ocorre uma floculação intensa na camada suporte com retenção elevada de matéria suspensa conforme verificado por Di Bernardo e colaboradores (5), fato esse que propiciou a realização de estudos recentes (6, 7) com a utilização de amido de batata como auxiliar e operação com descargas de fundo efetuadas durante o período de funcionamento. Esse método de operação permitiu que fossem obtidas carreiras de filtração de duas a sete vezes mais longas quando comparado com o método em que tais descargas não foram efetuadas.

Mais recentemente, Mendes (10) investigou a filtração direta operando em paralelo e concomitantemente, dois filtros-piloto idênticos, recebendo um deles a água coagulada na Etasc-Estação de Tratamento de Água de São Carlos (SP, Brasil) e o outro água bruta com reduções de 25,5 e 75% de dosagens de coagulante em relação às utilizadas na Etasc. Mendes (10) concluiu, que, com dosagens variando entre 25 e 50% daquelas empregadas para promover a coagulação, floculação e sedimentação na Etasc, é possível utilizar a filtração direta ascendente produzindo um efluente de melhor qualidade e carreiras de filtração mais longas, para taxas de filtração compreendidas entre 120 e 240 m³/m²/dia.

A seleção de um determinado processo de tratamento, principalmente com relação à filtração direta descendente ou ascendente, deve ser baseada em investigações experimentais, realizadas em instalações-piloto ou protótipos, para que sejam realmente determinados parâmetros de projeto. No entretanto, é possível investigar a potencialidade empregando-se o processo da filtração direta descendente com base no procedimento recomendado por Wagner e Hudson (11), que é realizar a mistura rápida em aparelho de Jar-Test e, em seguida, filtrar a água coagulada em papel de filtro (Whatman 40). Além da economia de tempo, essa metodologia fornece resultados excelentes conforme constataram Wagner e Hudson (11) ao compararem os resultados de turbidez de amostras filtradas em papel de filtro, instalação-piloto e protótipo.

(1) Professor livre-docente da Escola de Engenharia de São Carlos — USP.

Seria desejável, também, que fosse investigada a possibilidade do emprego dessa metodologia, isto é, da filtração em papel de filtro, comparando-se os resultados obtidos com os resultantes da operação de uma instalação de filtração direta ascendente, para as mesmas dosagens de produtos químicos.

2 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é estudar a possibilidade da utilização da filtração direta ascendente de um manancial de superfície represado, para fins de abastecimento da cidade de Descalvado (SP, Brasil). Com tal objetivo, será investigada a filtração em papel de filtro (Whatman 40) e, em seguida, verificar se as dosagens de produtos químicos, obtidos na primeira fase, produzem resultados compatíveis quando se opera uma instalação-piloto de filtração direta ascendente.

3 Materiais e métodos

3.1 Considerações sobre a qualidade da água bruta e processo de tratamento

Com base nos dados de registro de turbidez da água bruta represada (Descalvado, SP, Brasil), a turbidez é, 99% do ano, inferior a 10 UT, com alguns picos de 15 a 20 UT e, em 70% do ano, inferior a 5 UT. Como em 99% do tempo, a cor aparente é inferior a 20 unidades e o NMP de coliformes totais por 100 ml inferior a 500 organismos, a filtração direta, descendente ou ascendente, é, sem dúvida, o método mais indicado para o caso em questão.

Como a cidade de Descalvado caracteriza-se por possuir usinas de mineração, com fácil possibilidade da obtenção de areia e pedregulho a um custo relativamente pequeno e, levando-se em conta os resultados excelentes obtidos em pesquisas realizadas por Di Bernardo e colaboradores (5, 6, 7 e 10) sobre a filtração direta ascendente, optou-se por esse processo de tratamento.

3.2 Metodologia

3.2.1 Coleta de água bruta e características principais

Foram coletados 500 l de água bruta represada na cidade de Descalvado, cujas características principais são apresentadas no quadro 1.

3.2.2 Planejamento do trabalho experimental

O trabalho experimental foi programado para ser realizado em três fases: Fase I, correspondente à filtração de água coagulada em papel de filtro; Fase II, referente à repetição dos ensaios da Fase I que apresentaram efluentes de menor turbidez para a realização dos exames para determinação do NMP de coliformes totais; Fase III, relativa à realização de ensaios de filtração direta ascendente em instalação-piloto, utilizando-se das dosagens de produtos químicos determinados na Fase I e utilizadas na Fase II.

3.2.2.1 Fase I

Para a realização da Fase I foram utilizadas as seguintes instalações e equipamentos: aparelho de "Jar-test" modificado; funis de porcelana perfurados; papel de filtro (Whatman 40); frascos volumétricos para suporte dos funis e coleta de água filtrada em papel de filtro; potenciômetro analógico (Micronal, Modelo B-371); turbidímetro analógico (Micronal, Modelo B-250), comparador para determinação de cor (Hellige).

A seguinte metodologia foi empregada nessa fase: (i) variar o pH da água bruta mediante a adição de cal; (ii) para cada valor de pH, realizar a coagulação utilizando-se de três dosagens distintas de sulfato de alumínio; (iii) medir o pH após a coagulação; (iv) realizar a mistura rápida durante 3 minutos, com $G = 500 \text{ s}^{-1}$; (v) continuar a agitação durante 3 minutos adicionais com $G = 150 \text{ s}^{-1}$; (vi) colocar em cada um dos três funis contendo o papel de filtro, 150 ml de água coagulada.

3.2.2.2 Fase II

As instalações e equipamentos usados na Fase II foram os mesmos da Fase I. Os dez ensaios que forneceram os melhores resultados na Fase I foram repetidos, com o objetivo de verificar a consistência dos dados e realização de exames bacteriológicos.

3.2.2.3 Fase III

A instalação-piloto utilizada para a realização do trabalho experimental da Fase III consiste, basicamente, de: (i) tanque de água bruta preparada com o pH desejado, somente com adição de cal; (ii) bomba; (iii) câmara de mistura rápida com tempo médio de detenção igual a 3 minutos e montadas no aparelho de "Jar-Test" modificado; (iv) dosador de "solução" de sulfato de alumínio; (v) filtro-piloto de fluxo ascendente com leito de areia de 20 cm de espessura e areia com grãos de tamanho compreendidos entre 0,59 e 1,68 mm. Maiores detalhes da instalação-piloto são apresentados na referência (8).

Antes do início da filtração, a água coagulada era desviada, até que fosse obtido o pH de coagulação correspondente aos ensaios de filtração em papel de filtro da Fase I. Somente após o pH no interior da câmara de mistura rápida ser exatamente igual ao correspondente da Fase I é que era iniciado o ensaio de filtração, com taxa constante de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

As amostras de água filtrada eram coletadas nos seguintes tempos, após o início da filtração: 10, 15, 20 e 30 minutos. Após o término de um ensaio, o filtro era lavado com água de torneira.

Quadro 1

PARÂMETRO	VALOR	PARÂMETRO	VALOR
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	21	Condutividade (mho/cm)	$1,59 \times 10^{-5}$
pH	6,5	Alcalinidade Total ($\text{mg}/\text{l CaCO}_3$)	4,0
Cor Aparente (un.)	$2,5 < C.A. < 5$	Sólidos Totais (mg/l)	-
Turbidez (UT)	2,5	Sólidos Totais Fixos (mg/l)	46,0
Cloretos (mg/l)	3,8	Sólidos Totais Voláteis (mg/l)	36,0
Sulfatos (mg/l)	5,0	Dureza Total ($\text{mg}/\text{l CaCO}_3$)	-
Nitrogênio Amoniacal ($\text{mg}/\text{l N}$)	0,07	Sólidos Sedimentáveis (mg/l)	-
Nitrogênio Nitrato ($\text{mg}/\text{l N}$)	0,40	NMP de Coliformes Totais (cel/100 ml)	109
Nitrogênio Nitrito ($\text{mg}/\text{l N}$)	0,01	Fluor (mg/l)	0,04
Ferro Total ($\text{mg}/\text{l Fe}$)	0,10		

Quadro 2 — Resultados da Fase I

AMOSTRA	CAL		SULFATO DE ALUMÍNIO						TURBIDEZ (UT)			COR (un.) APARENTE		
			DOSAGEM (mg/l)			pH								
	DOSAGEM (mg/l)	pH	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	0	6,5	2	4	6	6,1	5,9	5,7	0,60	0,72	0,57	<2,5	<2,5	<2,5
2	0	6,5	3	5	7	6,0	5,8	5,6	0,25	1,60	1,50	<2,5	<2,5	<2,5
3	2	6,6	3	4	5	6,4	6,3	6,2	0,22	0,60	0,45	<2,5	<2,5	<2,5
4	3	6,7	4	5	6	6,5	6,4	6,3	0,20	0,25	1,80	<2,5	<2,5	<2,5
5	4	8,0	4	6	7	6,6	6,3	6,2	0,35	1,40	1,30	<2,5	<2,5	<2,5
6	5	7,0	5	7	8	6,7	6,4	6,3	0,12	1,40	0,35	<2,5	<2,5	<2,5
7	6	7,4	6	8	9	7,0	6,9	6,7	0,15	0,85	1,50	<2,5	<2,5	<2,5
8	8	8,0	6	9	10	7,2	6,8	6,7	0,62	0,45	0,15	<2,5	<2,5	<2,5
9	9	8,2	6	10	12	7,4	7,2	6,9	0,20	0,80	0,57	<2,5	<2,5	<2,5
10	10	8,8	7	12	15	7,4	7,1	6,7	0,45	0,32	2,40	<2,5	<2,5	<2,5

Quadro 3 — Resultados da Fase II

AMOSTRA	TURBIDEZ (UT)	NMP COLIFORME TOTAL (nº/100 ml)
2 A	0,20	zero
3 A	0,27	3,6
4 A	0,35	zero
4 B	0,35	zero
6 A	0,12	zero
7 A	0,15	zero
8 C	0,17	zero
9 A	0,17	zero
10 B	0,10	zero

de coagulação. Por exemplo, para as amostras 1 e 2, sem adição de cal e somente com dosagem de sulfato de alumínio, compreendida entre 2 e 7 mg/l, o melhor resultado foi obtido com pH igual a 6, correspondente à dosagem de 3 mg/l. Observa-se que com o aumento da dosagem de 3 para 5 mg/l, a turbidez da água filtrada em papel de filtro aumenta consideravelmente (de 0,25 para 1,6 UT). Resultados semelhantes a esses foram obtidos por Mendes (10) em instalação-piloto de filtração direta ascendente.

Os dados do quadro 2 mostram também que é possível obter-se água filtrada de melhor qualidade em papel de filtro quando se empregam pequenas dosagens de cal, aumentando o pH de coagulação, que em relação à amostra 2 (pH = 6) passou para valores entre 6,7 e 7 (amostras 6 e 7). No entanto, caso essa fosse a opção, haveria que se levar em conta os custos adicionais com a utilização de cal.

Não obstante o método de determinação da cor ser subjetivo, convém ressaltar que, para algumas amostras filtradas em papel de filtro, a cor era muito próxima de zero, apesar de, no quadro 2, ser indicado um valor inferior a 2,5 un. É o caso das amostras 2 A, 3 A, 4 A, 4 B, 6 A, 7 A, 8 C, 9 A e 10 B.

Os resultados da Fase II, constantes do quadro 3, mostram que há consistência com os dados do quadro 2, quando se compara a turbidez da água filtrada em papel de filtro.

4 Resultados

Os quadros 2, 3 e 4 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos na Fase I, Fase II e Fase III.

5 Discussão, conclusões e recomendações

Os dados apresentados no quadro 2 mostram a grande influência do pH

Quadro 4 — Resultados da Fase III

AMOSTRA CORRESPOND.	TURBIDEZ DO EFLUENTE (UT) APÓS O INÍCIO DO ENSAIO				NMP DE COLIFORME TOTAL APÓS 30 min. DE FILTRAÇÃO (Nº/100 ml)
	10 min	15 min	20 min	30 min	
2 A	0,50	0,30	0,25	0,22	zero
3 A	0,80	0,40	0,30	0,22	zero
4 A	0,55	0,50	0,32	0,27	zero
4 B	0,65	0,55	0,35	0,27	zero
6 A	0,27	0,22	0,22	0,20	zero
7 A	0,45	0,30	0,27	0,25	20
8 C	0,30	0,27	0,25	0,20	zero
9 A	0,75	0,87	0,90	1,10	10
10 B	0,40	0,32	0,30	0,25	zero

Os dados do quadro 4, correspondentes à Fase III, mostram que, após 30 minutos de filtração, obtêm-se resultados melhores ou iguais no filtro-piloto em relação aos obtidos em papel de filtro, como é o caso das amostras 2 A, 3 A e 10 B enquanto, para as demais, não houve diferença muito significativa na remoção de turbidez e do NMP de coliformes totais por 100 ml, com exceção da amostra 9 A. É até possível que, para as outras amostras, os resultados obtidos no filtro-piloto resultassem melhores se o filtro fosse operado por um período de tempo superior a 30 minutos, porém, o que foi verificado neste trabalho, é que a tecnologia recomendada por Wagner e Hudson (11), para se estudar a potencialidade do emprego da filtração direta ascendente, utilizando-se da filtração em papel de filtro, também pode ser estendida à filtração direta ascendente com sucesso.

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que a filtração direta ascendente, realizada em filtro-piloto de areia com taxa de 180 m³/m²/dia, fornece resultados compatíveis com aqueles obtidos na filtração em papel de filtro (Whatman 40) utilizando-se as mesmas dosagens de produtos químicos. O emprego da tecnologia da filtração em papel de filtro reduz consideravelmente o tempo despendido com estudos e investigações na fase de de-

finição de processos de tratamento, recomendando-se, entretanto, que, após a constatação da possibilidade do emprego da filtração direta ascendente ou descendente, seja também investigada em uma instalação-piloto quando a vazão de projeto da estação de tratamento for relativamente grande. Ademais, seria recomendável, também, a investigação em instalação-piloto, a utilização de polímeros como auxiliares de filtração.

6 Referências bibliográficas

- 1 — Armirtharajah, A. — Design of Rapid Mix Units. In: Water Treatment Plant Design Chap. 8, p: 131-147, Ann Arbor Science Publishers Inc., Mich, 1979.
- 2 — Armirtharajah, A. & Milis, K. M. — Rapid-mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation JAWWA, p: 210-216, Vol. 74, n.º 4, April 1982.
- 3 — Di Bernardo, L. — Estudos sobre a Filtração Direta, Tese de Doutorado, Biblioteca da Escola de Engenharia de São Carlos — USP, Nov. 1977.
- 4 — Di Bernardo, L. — Tratamento de Águas de Abastecimento de Cor Elevada. Revista DAE, Ano XLIII, n.º 133, Junho 1983.
- 5 — Di Bernardo, L. et alii — Estudo das Influências das Características Hidráulicas e da Camada de Areia na Filtração Ascendente, Revista DAE, Ano XLII, n.º 131, dezembro 1982.
- 6 — 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. XIX Congresso Interamericano da AIDIS, Santiago — Chile, 11 — 16 novembro 1984.
- 7 — Di Bernardo, L. & Razaboni, J. D. — Estudo das Influências do Emprego de Amido de Batata como Auxiliar na Filtração Direta Ascendente. XIX Congresso Interamericano da AIDIS, Santiago, Chile, 11 — 16 novembro 1984.
- 8 — Di Bernardo, L. et alii — Contribuição ao Estudo da Filtração Direta. IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, MG, 3 — 8 de julho de 1977.
- 9 — Logsdon, G. S. et alii — Direct Filtration Treatment Plants: Costs and Capabilities JAWWA, p: 134-147, Vol. 72, n.º 3, March 1980.
- 10 — Mendes, C. G. N. — Determinação das Dosagens Ótimas de Produtos Químicos na Filtração Direta Ascendente. Dissertação de Mestrado em fase final de redação, sob orientação do prof. Luiz Di Bernardo, 1984.
- 11 — Wagner, E. G. & Hudson Jr., H. E. — Low-Dosage High-rate Direct Filtration JAWWA, p: 256-261, Vol. 74, n.º 5, May 1982.
- 12 — Westerhopf, G. P. et alii — Plant-scale Comparison of Direct Filtration Versus Conventional Treatment of a Lake Erie Water. JAWWA, p: 148-155, Vol. 72, n.º 3, March 1980.