

Tratamento de águas de abastecimento de cor elevada

Eng. Luiz Di Bernardo(*)

1. INTRODUÇÃO

A utilização de água de mananciais superficiais para fins de abastecimento de cidades requer, normalmente, um tratamento físico-químico para promover a desestabilização das partículas suspensas. Dependendo das características da água bruta, principalmente a turbidez e a cor, pode-se produzir um efluente de qualidade satisfatória mediante a utilização de sistemas simplificados, como a filtração ascendente, filtração direta ou dupla filtração. Apesar dessas técnicas de tratamento terem sido intensivamente investigadas durante a década de setenta, a qualidade da água bruta é um fator que, normalmente, limita o emprego de tais métodos. Além disso, a fixação de alguns parâmetros, como a taxa de filtração e a granulometria dos materiais filtrantes, deve ser precedida de uma pesquisa em instalações piloto (1, 2, 3, 4). É comum, portanto, a existência de instalações de tratamento completas, onde são realizadas as operações de coagulação, floculação, sedimentação e filtração em unidades independentes, construídas há mais de uma década, ou de construção recente quando não foi possível dispor de informações que pudessem assegurar o emprego de uma daquelas técnicas com sucesso.

A água bruta, captada em lagos naturais ou resultantes da construção de barragens para acumulação ou para elevação de nível, apresenta, normalmente, turbidez relativamente baixa durante um certo período do ano. Coincidentemente, a cor, em muitos casos, é elevada, o que dificulta as operações de floculação e sedimentação e sobrecarrega as unidades de filtração. Além destes efeitos negativos, o consumo de produtos químicos pode, muitas ve-

zes, igualar ou até superar aquele referente a uma água bruta com turbidez relativamente elevada. Nestas condições, a filtração ascendente ou a filtração direta, poderia resultar mais adequada, não só pela possível economia de produtos químicos, como também, pela facilidade de operação; porém, durante o período de chuvas, a qualidade da água bruta poderia fazer com que tais sistemas produzissem efluentes de qualidade insatisfatória. Há que se considerar, também, o caso de mananciais que, por ocasião de sua escolha, apresentavam água com certas características e que, devido à crescente poluição dos mesmos, não poderiam ser utilizados com segurança quando se tem a filtração direta ou a filtração ascendente.

Seria desejável, portanto, que as estações completas de tratamento de águas superficiais, com características que sofrem variações substanciais, fossem construídas de modo a permitir uma certa flexibilidade de operação, tornando possível a filtração direta quando a turbidez fosse inferior a um certo valor.

O objetivo principal deste trabalho é o de investigar, em uma instalação piloto, a eficiência da filtração direta de águas superficiais de cor elevada e turbidez relativamente baixa, utilizando-se da água coagulada da ETA da cidade de Araraquara (SP - Brasil). Será estudada a filtração direta com água bruta coagulada com sulfato de alumínio e quando se emprega um polímero natural como auxiliar de filtração.

Além destes estudos, serão realizados ensaios de floculação em aparelho de "JAR-TEST" modificado, variando-se a cor e turbidez da água bruta e utilizando-se sulfato de alumínio e um polímero natural como auxiliar de floculação. Neste caso, serão utilizadas amostras das águas brutas de Araraquara e São José do Rio Preto (Brasil).

Finalmente, apresentam-se algumas

características sobre a origem da cor nas águas superficiais, os mecanismos da coagulação de águas coloridas e os efeitos da presença de substâncias húmicas durante a cloração.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A COAGULAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS DE COR ELEVADA E TURBIDEZ BAIXA

Em geral, a cor das águas superficiais é resultante da presença de matéria orgânica natural, como os ácidos húmicos e fúlvicos. Os ácidos húmicos apresentam peso molecular elevado, podem agregar naturalmente e formar partículas coloidais com peso molecular aparente muito mais elevado. Os ácidos húmicos são formados de compostos que contêm, principalmente, grupos carboxila e fenólico. Os ácidos fúlvicos apresentam estrutura molecular semelhante à dos ácidos húmicos, porém, têm peso molecular inferior. Devido à presença dos grupos carboxila e fenólico, as substâncias húmicas têm capacidade elevada de troca de cátions e podem concentrar ou ligar íons metálicos.

Muitos trabalhos de pesquisas têm sido realizados para estudar os mecanismos da coagulação de água de cor orgânica elevada. Dentre os principais, destacam-se os estudos realizados por Black e colaboradores (5, 6), Hall e Packham (7), Narkis e Rebhum (8), Darmarajah (9) e Rook (10). As principais conclusões destes trabalhos são: (i) a coagulação de águas de cor elevada com sais de alumínio e ferro fornece resultados satisfatórios; (ii) o sulfato de alumínio é mais efetivo na remoção da cor para valores de pH em torno de 5,0, enquanto que, com o sulfato férrico, os resultados são melhores para valores de pH da ordem de 4,0; (iii) o pH é um dos principais parâmetros para que se obtenha uma coagulação eficiente; (iv) o emprego de polímeros catiônicos melhora consideravelmente a

(*) Professor Livre Docente do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos — USP.

remoção da cor; (v) quando a alcalinidade é elevada, o emprego de polímeros aniônicos ou sílica ativada, após a adição de sulfato de alumínio, aumenta consideravelmente a velocidade de sedimentação dos flocos formados; (vi) é possível haver a formação de compostos halometanos quando a cloração da água filtrada for feita com dosagens inferiores àquela referente ao "Break Point". Estes compostos (triclorometano, tribromometano, dicloro-bromometano e cloro-dibromometano), que são potencialmente carcinogênicos, são decorrentes da presença de substâncias húmicas na água filtrada; (vii) como a desinfecção através do uso de cloro é usualmente empregada nas instalações de tratamento de água para fins de abastecimento, a coagulação de águas coloridas deve ser realizada eficientemente para evitar a presença de substâncias orgânicas na água filtrada; (viii) o emprego de polímeros não iônicos como auxiliares na filtração direta aumenta a eficiência de remoção de cor; (ix) o emprego de sulfato de alumínio ou de um polímero não iônico como único coagulante na filtração direta não produz resultados satisfatórios para taxas de filtração da ordem de 300 m³/m²/dia.

A maior parte das águas superficiais apresenta a argila como a causa da turbidez e substâncias húmicas como as causadoras da cor. Quando a turbidez é elevada em relação à cor, o mecanismo principal da coagulação é o de adsorção de monômeros e polímeros de alumínio pelas partículas coloidais. Os compostos orgânicos neste caso são também adsorvidos pelas partículas coloidais, ocorrendo uma remoção conjunta da turbidez e da cor (fig. 1).

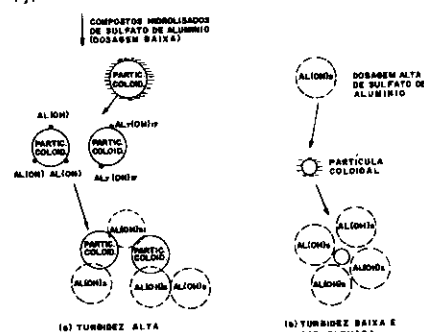
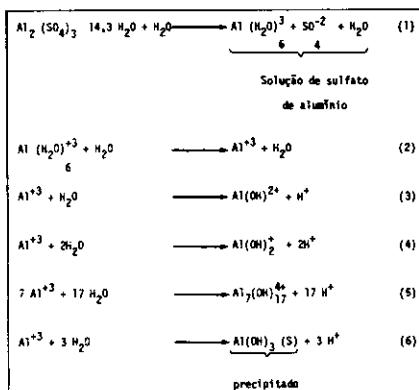


Figura 1 — Esquema geral da coagulação de águas superficiais (11)

No caso de águas que apresentam turbidez baixa em relação à cor (excesso de substâncias húmicas), tem-se um recobrimento das partículas de argila por compostos orgânicos e ácidos húmicos e fúlvicos livres em solução. Inicialmente, os polímeros resultantes da hidrólise do coagulante reagem com os compostos orgânicos solúveis e formam partículas que precipitam. Em seguida, os polímeros adicionais reagem com a turbidez e com os compostos orgânicos coloidais, havendo, portanto, a necessidade de dosagens maiores de produtos químicos comparadas com

aquelas referentes às águas que apresentam cor baixa (fig. 1).

Para ilustrar melhor o mecanismo da coagulação de águas de cor elevada, apresentam-se, a seguir, as reações de hidrólise do sulfato de alumínio.



Enquanto que as reações de 3 a 5 são extremamente rápidas (tempo inferior a 1 segundo), a reação 6 necessita de um tempo compreendido entre 1 e 7 segundos para se completar. A figura 1 apresenta um esquema geral da coagulação de águas superficiais: no caso (a), a turbidez é alta em relação à cor; no caso (b), a cor é elevada em relação à turbidez. (11)

Enquanto que no caso (a) da figura 1 ocorre uma desestabilização por adsorção e exige um tempo de mistura do coagulante com a água bruta inferior a 1 segundo; no caso (b), a coagulação é mais lenta e resulta de um "aprisionamento" das partículas coloidais nos precipitados de hidróxido de alumínio.

3. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

A parte experimental deste trabalho, referente aos ensaios de floculação, foi realizada com amostras de água bruta das estações de tratamento de Araraquara e São José do Rio Preto (SP-Brasil). Durante, aproximadamente oito meses, ambas as águas brutas apresentam turbidez inferior a 50 UT e cor aparente superior a 100 unidades. A filtração direta foi pesquisada em uma instalação piloto, montada nas dependências da ETA de Araraquara (SP-Brasil).

3.1. Ensaios de Floculação

3.1.1. Características das Águas Brutas

Para ambas as águas brutas, os ensaios de floculação foram realizados durante a época em que a turbidez era baixa. Como era desejável efetuar um estudo abrangente, foram preparadas amostras com turbidez mais elevada, com material coletado junto aos locais de captação de água bruta.

O QUADRO I apresenta as principais características das águas brutas utilizadas nos ensaios de floculação, realizados em aparelho de "JAR-TEST" modificado.

QUADRO I

AMOSTRA	TURBIDEZ (UT)	COR (UN.)	pH	TEMPERATURA (°C)	LOCAL
1	25	145	6,2	21	Araraquara
2	30	170	6,8	21	Araraquara
3	35	185	6,8	18	Araraquara
4	40	190	6,9	22	Araraquara
5	50	190	6,8	21	Araraquara
6	65	240	6,6	18	Araraquara
7	80	195	6,9	23	Araraquara
8	100	505	7,0	18	Araraquara
9	135	430	6,8	21	Araraquara
10	200	500	6,8	21	Araraquara
11	11	70	7,1	20	S.J. do Rio Preto
12	27	130	7,1	21	S.J. do Rio Preto
13	75	480	6,9	20	S.J. do Rio Preto
14	150	640	6,9	21	S.J. do Rio Preto

Com o fim de não prolongar excessivamente o tempo de execução do trabalho experimental, alguns parâmetros foram fixados previamente, como se mostra a seguir.

3.1.2. Mistura Rápida

O QUADRO II apresenta as características da mistura rápida.

QUADRO II

LOCAL	TEMPO DE MISTURA (s)	G (s ⁻¹)	OBSERVAÇÃO
Araraquara	3	1000	amostras com turbidez superior a 100 UT
	10	1000	amostras com turbidez inferior a 100 UT
S.J. do Rio Preto	4	1000	amostras com turbidez superior a 100 UT
	10	1000	amostras com turbidez inferior a 100 UT

3.1.3. Floculação

O QUADRO III apresenta as características da floculação.

QUADRO III

LOCAL	MÉDIA DE TURBIDEZ INICIAL (UT)	CÁMERA/TEMPERATURAS							
		Primeira		Segunda		Terceira		Quarta	
		G (s ⁻¹)	t (min)	G (s ⁻¹)	t (min)	G (s ⁻¹)	t (min)	G (s ⁻¹)	t (min)
Araraquara	4	70	8	25	8	40	8	25	8
	3	75	12	50	12	25	12	-	-

3.1.4. Desenvolvimento dos Ensaios

Para todas as amostras de água bruta apresentadas no QUADRO I, foram determinadas as dosagens ótimas de sulfato de alumínio e cal. Foram selecionadas algumas destas amostras, reduziram-se aquelas dosagens consideradas ótimas e variou-se a dosagem de amido de batata, entre 0,05 e 0,40 mg/l. Determinou-se a velocidade de sedimentação em função da turbidez remanescente para algumas das amostras apresentadas no QUADRO I.

3.1.5. Resultados

O QUADRO IV apresenta, de forma resumida, os resultados obtidos referentes aos ensaios de floculação. As figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam curvas típicas resultantes de ensaios de floculação.

QUADRO IV

AMOSTRA	DOSAGEM (mg/l)			SORBENDANTE		
	SULFATO DE ALUMÍNIO	CAL	AMIDO DE BATATA	TURBIDEZ (UT)	COR (CM)	PC
1	15,0	8,0	—	0,25	5	6,0
2	20,0	10,0	—	0,25	0	6,9
3	15,0	6,0	—	1,20	0	7,0
4	11,0	4,5	0,05	0,80	0	6,9
5	10,0	5,0	—	3,00	10	6,5
6	20,0	10,0	—	1,5	5	6,7
7	15,0	8,0	—	1,00	0	6,9
8	11,0	5,5	0,20	2,50	5	6,9
9	20,0	12,5	—	1,00	5	7,1
10	18,0	10,0	—	0,80	0	7,0
11	15,0	7,0	0,10	0,70	0	7,0
12	35,0	20,0	—	3,00	5	7,1
13	50,0	30,0	—	0,50	0	6,1
14	30,0	25,0	—	10,00	40	7,3
15	30,0	15,0	—	3,50	30	7,3
16	60,0	30,0	—	8,00	40	6,7
17	35,0	18,0	0,30	3,00	15	6,7
18	60,0	20,0	—	5,00	5	6,6
19	35,0	12,0	0,05	5,00	10	6,6
20	70,0	30,0	—	3,00	25	7,1
21	48,0	18,0	0,20	1,00	5	7,1

gada com detalhes por Campos (12) para diferentes tipos de água bruta, porém, sem estudar as características da coagulação-floculação e sedimentação de uma mesma água bruta para diferentes valores de cor e turbidez, como é o caso dos estudos realizados com as águas brutas de Araquara e São José do Rio Preto (SP-Brasil), para as quais a cor é muito elevada em relação à turbidez.

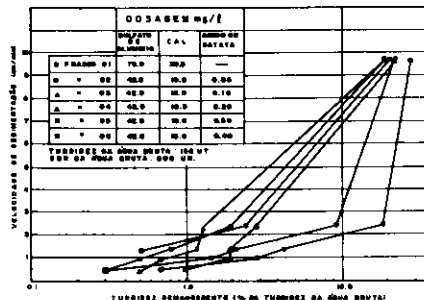


Figura 5 — Velocidade de sedimentação em função da turbidez remanescente — amostra 14

De maneira análoga as conclusões obtidas por Campos (12), os resultados obtidos neste trabalho mostram que, de um modo geral, o amido de batata utilizado como auxiliar de floculação não só conduz a custos menores por metro cúbico de água coagulada, como também, melhora a qualidade da água sedimentada em frascos, tanto no que se refere à cor como à turbidez (ver QUADRO IV). Além disso, para uma mesma turbidez remanescente, a velocidade de sedimentação dos flocos é normalmente maior quando se emprega o amido de batata (ver figuras 2, 3, 4 e 5).

Os resultados apresentados no QUADRO IV, mostram também, que de um modo geral, as amostras de água bruta, de um mesmo manancial, com turbidez baixa em relação à cor, necessitam de dosagens maiores de produtos químicos. Esta constatação era de se esperar com base no exposto no item 2.

É interessante observar também que a coagulação de amostras de água bruta com características semelhantes, porém, provenientes de mananciais diferentes, ocorre satisfatoriamente para dosagens substancialmente diferentes de produtos químicos (ver QUADROS I e IV). Esta verificação tem importância fundamental, principalmente, com relação a projetos, pois mostra que a extrapolação de dados pode, em muitos casos, comprometer seriamente o funcionamento de uma estação de tratamento de água.

3.2. Filtração Direta

3.2.1. Características Gerais da Instalação Piloto

O afluente à instalação piloto, cujo esquema é apresentado na figura 6, era bombeado do canal de acesso às câmaras de floculação da ETA de Araquara. A coagulação da água bruta era realizada com base nos resultados

apresentados no QUADRO IV. Durante a investigação experimental, a turbidez média da água coagulada era inferior a 100 UT e a cor, compreendida entre 120 e 600 unidades.

Basicamente, a instalação piloto era constituída por: bomba centrífuga, dosador de solução de amido de batata, filtro de seção quadrada de 20 cm de lado, meio filtrante constituído de antracito e areia, controlador de vazão, rotâmetro, manômetro diferencial de mercúrio e compressor para lavagem auxiliar com ar (ver figura 6).

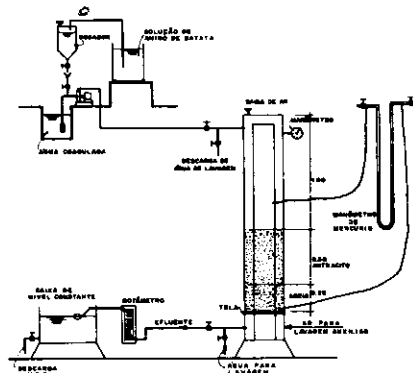


Figura 6 — Esquema geral da instalação piloto de filtração direta

3.2.2. Metodologia dos Ensaios

A investigação experimental foi realizada com sete taxas de filtração (120, 150, 180, 210, 240, 270 e 300 m³/m²/dia) quando foi utilizada a água coagulada da ETA como afluente ao filtro. Para as taxas de 180 e 300 m³/m²/dia, os ensaios foram realizados com água coagulada da ETA e utilizando-se do amido de batata como auxiliar, com dosagens de 0,05, 0,10, 0,20 e 0,40 mg/l.

O controle da dosagem da solução de amido de batata foi feito por medidas volumétricas, utilizando-se de proveta. O controle da taxa de filtração era feito mediante leituras no rotâmetro e ajustes na válvula da canalização de saída da caixa de nível constante.

O encerramento de um ensaio de floculação era ditado por uma das duas seguintes condições: (1) turbidez máxima do efluente igual a 5 UT; (2) perda de carga máxima de 2,4 metros no meio filtrante. Durante o decorrer dos ensaios, foram coletadas amostras do afluente e efluente e lidas as perdas de carga em intervalos de tempo regulares (em geral, entre 1 e 2 horas). Normalmente, foram realizados, pelo menos, três ensaios para cada condição preestabelecida.

3.2.3. Resultados

O QUADRO V apresenta, de forma resumida, os resultados obtidos em função das características do afluente. As figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, curvas típicas obtidas durante a realização dos ensaios de filtração direta com e sem a utilização de amido de batata.

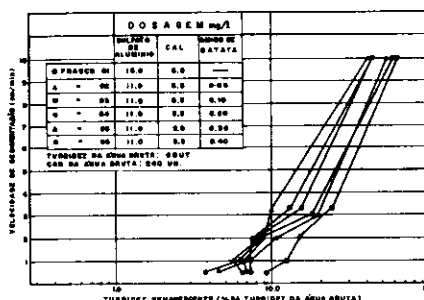


Figura 2 — Velocidade de sedimentação em função da turbidez remanescente — amostra 6

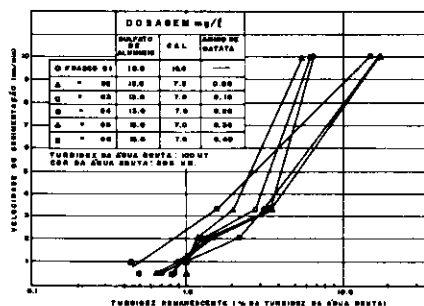


Figura 3 — Velocidade de sedimentação em função da turbidez remanescente — amostra 8

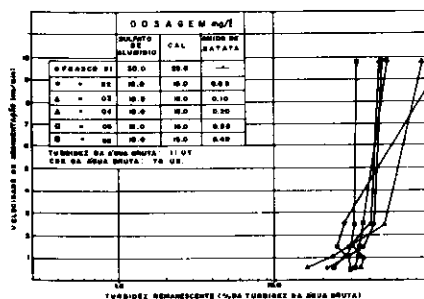


Figura 4 — Velocidade de sedimentação em função da turbidez remanescente — amostra 10

3.1.6. Discussão

A utilização do amido da batata como auxiliar de floculação foi investi-

3.2.4. Discussão

Os dados constantes do QUADRO V mostram que, em quase todos os ensaios realizados, a cor foi completamente removida e a turbidez reduzida a valores inferiores ao máximo de 5 UT.

Em geral, quando se aplicou o amido de batata, o efluente do filtro não sofreu variações sensíveis, ao contrário do caso em que se utilizou somente da água coagulada como efluente, em que a qualidade da água filtrada variava consideravelmente devido a variações da qualidade da água bruta ou das dosagens de cal e sulfato de alumínio. Esta verificação é muito importante quando se considera um protótipo, pois as consequências da falta de ajustes das dosagens de cal e sulfato de alumínio, por ocasião de varia-

ções da qualidade da água bruta, podem ser reduzidas quando o amido de batata é empregado.

Apesar da qualidade da água filtrada ser melhor quando o amido de batata foi utilizado, as carreiras de filtração resultaram menores quando comparadas com os ensaios em que não se utilizou aquele polímero natural. Verificou-se também que, de um modo geral, a duração da carreira de filtração diminuiu à medida que aumentava a dosagem de amido de batata.

Em comparação com os resultados obtidos com a floculação e sedimentação em aparelho de "JAR-TEST" a filtração direta produz um efluente de qualidade aceitável e principalmente com relação à cor, que normalmente resultou igual a zero. Apesar de não ter sido investigado, é possível que com dosagens menores de produtos químicos, a filtração direta ainda produza água de qualidade satisfatória, pois não há a necessidade da formação de flocos densos ou de precipitados de compostos de alumínio que sedimentem adequadamente. No caso da filtração direta, basta que as partículas sejam desestabilizadas para que sejam retidas nos interstícios granulares. Por outro lado, a existência de partículas previamente retidas no meio filtrante, o fenômeno conhecido como adsorção mútua, é provavelmente um dos principais mecanismos responsáveis pelo sucesso da filtração direta.

4. CONCLUSÕES

Com base nos ensaios de floculação realizados em aparelho de "JAR-TEST" modificado e nos de filtração direta com e sem aplicação de amido de batata para o tratamento de águas naturais que normalmente apresentam cor elevada em relação à turbidez, concluiu-se que:

- o emprego do amido de batata como auxiliar de floculação conduz a custos menores com produtos químicos e à produção de água decantada de qualidade superior aos casos em que tal polímero natural não é usado;
- a cor influi significativamente para a fixação das dosagens de produtos químicos quando a turbidez é baixa; a água bruta neste caso, requer dosagens comparáveis com outra que apresenta turbidez cerca de 2 a 4 vezes maior, independentemente da cor (ver amostras 1 e 6);
- águas brutas com características semelhantes, porém, provenientes de mananciais distintos, podem apresentar resultados completamente diferentes com relação às dosagens de produtos químicos, indicando não ser correta a extrapolação de dados de uma para outra estação de tratamento;
- a filtração direta de águas de cor elevada e turbidez baixa é realiza-

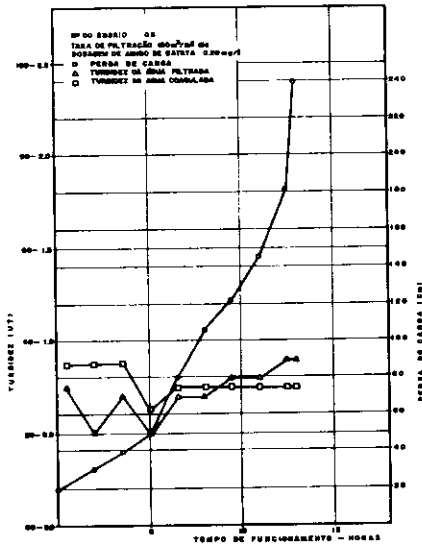


Figura 7 — Turbidez da água bruta, água filtrada e perda de carga no meio filtrante em função do tempo de operação

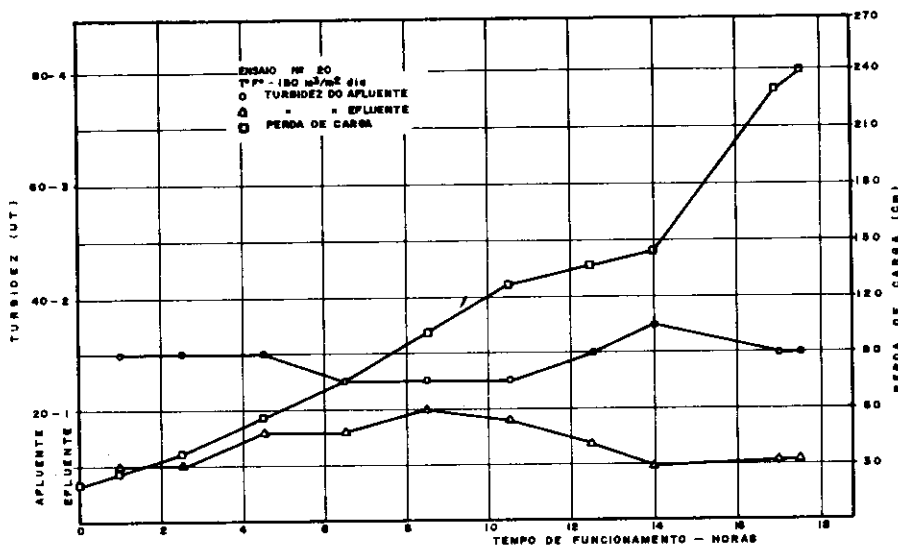


Figura 8 — Turbidez da água bruta, água filtrada e perda de carga no meio filtrante em função do tempo de operação

QUADRO V

TAXA DE FILTRAÇÃO (m³/m².dia)	TURBIDEZ DO AFLUENTE (UT)			TURBIDEZ DO EFLUENTE (UT)			CÓR MÁXIMA (UN)		DOSAGEM DE AMIDO DE BATATA (mg/l)	TEMPO MÉDIO DE OPERAÇÃO (HORAS)
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	AFLUENTE	EFLUENTE		
120	110	35	62,6	3,0	0,10	1,16	300	0	-	25,75
150	200	35	99,8	5,0	0,50	1,33	500	25	-	18,87
180	140	20	39,9	5,0	0,55	0,87	450	10	-	17,75
	40	25	32,0	1,0	0,45	0,75	150	0	0,05	17,00
	40	30	35,0	1,0	0,50	0,65	140	0	0,10	15,00
	35	25	30,0	1,0	0,50	0,70	170	0	0,20	14,00
210	35	30	31,4	1,0	0,50	0,75	140	0	0,40	14,50
	90	35	47,8	3,0	0,35	1,04	265	0	-	14,45
240	120	50	84,0	1,5	0,50	0,92	350	0	-	13,50
270	110	40	69,9	1,0	0,40	0,91	350	0	-	13,25
300	80	35	60,7	2,0	0,50	0,94	280	0	-	11,05
	75	30	37,5	1,0	0,50	0,82	160	0	0,05	12,75
	40	30	37,0	1,0	0,50	0,76	160	0	0,10	11,75
	45	30	36,0	1,2	1,00	1,05	150	0	0,20	12,75
	45	30	38,6	1,5	1,00	1,09	150	0	0,40	11,75

da eficientemente, com produção de efluente de qualidade satisfatória, principalmente com relação à cor, que é muitas vezes reduzida de 350 para zero;

e) a utilização do amido de batata como auxiliar na filtração direta melhora a qualidade da água filtrada, porém as carreiras de filtração resultam mais curtas;

f) a utilização do amido de batata na filtração direta reduz substancialmente os efeitos causados na água filtrada devidos às variações da qualidade da água bruta ou do uso de dosagens impróprias de produtos químicos, como sulfato de alumínio e cal;

g) em geral, quanto maior a turbidez da amostra da água bruta, maior a velocidade de sedimentação dos flocos para uma mesma porcentagem da turbidez da água bruta; este comportamento foi observado para ambas as águas brutas estudadas, o que evidencia as dificul-

dades que normalmente são encontradas nas estações de tratamento quando a turbidez é muito baixa em relação à cor.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — AZEVEDO NETTO, J. M. & DI BERNARDO, L. Instalação Piloto de Superfiltração.
- 2 — DI BERNARDO, L. Estudos sobre a Filtração Direta, Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos — USP, 1977.
- 3 — DI BERNARDO, L. Influência da Taxa de Filtração no XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária. La Paz, Bolívia, dezembro 1980.
- 4 — DI BERNARDO, L. et al. Estudo das Influências das Características Hidráulicas e da Camada Filtrante na Filtração Ascendente. XVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária — Panamá, agosto 1982.
- 5 — BLACK, A. P. & WILLEMS, D. G. Electrophoretic Studies of Coagulation for Removal of Organic Color Journal American Water Works Association, vol. 53, p. 589-604, 1961.
- 6 — BLACK, A. P. et alii. Stoichiometry of the Coagulation of Color — Causing Organic Compounds with Ferric

Sulfate Journal American Water Works Association, vol. 55, p. 1347-1366, 1963.

- 7 — HALL, E. S. & PACKHAM, R. F. Coagulation of Organic Color with Hydrolyzing Coagulants Journal American Water Works Association, vol. 57, p. 1149-1166, 1965.
- 8 — NARKIS, N. & REBHUM, M. The Mechanism of flocculation Processes in the Presence of Humic Substances Journal American Water Works Association, vol. 67, p. 101-108, 1975.
- 9 — DARMARAJAH, A. H. Direct Filtration of Humic Substances with Alum and Polymer M. S. Thesis, Iowa State University, 1979.
- 10 — ROOK, J. J. Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Water — Water Treatment and Examination, vol. 23 (2), p. 223-243, 1974.
- 11 — ARMITARAJAH, A. Design of Rapid Mix Unit. Cap. 8, in: Water Treatment Plan Design. Robert Sanks — Ann Arbor Science Publisher Inc. 1979-2.*
- 12 — CAMPOS, J. R. Emprego do Amido de Batata como Auxiliar de Flocculação de Águas para Abastecimento. Tese de Doutorado — Escola de Engenharia de São Carlos — USP, dezembro de 1980.