

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE MISTURA RÁPIDA, FLOCULAÇÃO E DECANTAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA EMPREGANDO O SULFATO DE ALUMÍNIO E O PAC

EVALUATION OF WATER TREATMENT: THE INFLUENCE OF RAPID MIX, FLOCCULATION AND DECANTATION PARAMETERS WITH APPLYING ALUMINIUM SULFATE AND PAC

Marcelo De Julio¹, Diego Augusto Fioravante², Fabiano Icker Oroski³

¹Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Especialista em Gestão da Produção pela UFSCar. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Professor Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: dejulio@ita.br

²Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). E-mail: diego_fioravante@hotmail.com

³Químico pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Especialista em Gestão Empresarial e Financeira pela Faculdade Iguazu. Coordenador Industrial da Unidade Regional Ponta Grossa da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). E-mail: fabiano@sanepar.com.br

Recebido para publicação em 10/09/2007

Aceito para publicação em 04/06/2008

RESUMO

A NBR 12216 (1992) admite que, na ausência de dados obtidos em laboratório ou em instalação piloto, os parâmetros de mistura rápida, floculação, decantação ou flotação sejam adotados. O presente trabalho demonstra ser esta uma prática perigosa, que pode comprometer ou dificultar a operação da estação de tratamento de água (ETA), podendo levar a sérios prejuízos na qualidade da água tratada, além de poder acarretar em maiores custos operacionais. Para se conseguir a atenção dos responsáveis pela operação de sistemas de saneamento, a questão do custo é primordial. Assim, caso seja indevidamente especificado um equipamento de floculação mecanizado (de maior rotação), isto iria conduzir não somente a um maior custo de implantação, mas, principalmente, em um maior custo de operação e manutenção. Um outro exemplo que pode ser citado é que a adoção dos parâmetros mencionados pode levar a uma significativa queda na qualidade da água clarificada por flotação ou decantação. Com isto, a água afluenta aos filtros apresentaria uma maior concentração de impurezas, o que acarretaria em uma diminuição das carreiras de filtração e, conseqüentemente, em um maior consumo de água de lavagem dos filtros e maior geração de resí-

duos líquidos. Portanto, neste trabalho, avaliou-se a influência dos parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação no tratamento da água bruta afluyente à ETA do município de Ponta Grossa/PR, empregando-se Sulfato de Alumínio e PAC (cloreto de polialumínio) como agentes coagulantes. Verificou-se que os referidos parâmetros não devem ser adotados, pois exerceram grande influência na eficiência de remoção de turbidez.

Palavras-Chave: Sulfato de Alumínio. PAC. Mistura Rápida. Floculação. Decantação.

ABSTRACT

Brazilian regulations, NBR 12216 (1992), allows in the absence of laboratory and pilot plant data, the adoption of parameters of rapid mix, flocculation, decantation or dissolved air flotation. This work demonstrates that this is a dangerous practice, which can compromise or complicate the water treatment plant operation, and can seriously lower the quality of treated water, and lead to greater production costs. Water production cost is crucial to those responsible for water supply, thus any mechanically intensive flocculation equipment deemed unbeneficial would reduce overall costs. Another example is the adoption of parameters that can lead to a significant drop in the water quality when clarified by dissolved air flotation or decantation. In these cases, the filter affluent water would present a bigger impurity concentration, and cause a decrease in the filter run time; this then yields filter backwash water and a bigger generation of liquid waste. Therefore, this work evaluated the influence of rapid mix, flocculation and decantation parameters on the treatment of the raw water affluent to the water treatment plant in Ponta Grossa, Parana, Brazil. This was done using as coagulant agents aluminium sulfate and PAC. It also observed that the mentioned parameters should not be adopted as they exert a considerable influence on turbidity removal efficiency.

Keywords: Aluminum Sulfate. PAC. Rapid Mix. Flocculation. Decantation.

1 Introdução

Segundo a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, o valor máximo permissível de turbidez na água tratada em qualquer ponto da rede de distribuição é de 5,0 NTU e, na água filtrada, de 1,0 NTU, sendo recomendado o índice menor que 0,5 NTU.

A turbidez é uma característica da água devido à presença de partículas sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, organismos microscópicos e algas. Esses materiais podem ter origem no solo (quando não há mata ciliar), na mineração (como a retirada de areia ou a ex-

ploração de argila), nas indústrias ou no esgoto doméstico, lançados no manancial sem tratamento. Esses materiais podem se apresentar em uma ampla faixa de tamanhos. A remoção ou diminuição dessa característica visa à eficiência da cloração como medida de desinfecção da água; porém, para valores idênticos de turbidez, pode haver diferença no número e tamanho das partículas, sendo que para uma maior eficiência na etapa de desinfecção é melhor que as partículas sejam menores (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Em uma ETA que emprega a tecnologia de tratamento em ciclo completo, a queda na eficiência dos processos e operações de mistura rápida, floculação e decantação resultariam na saturação

dos filtros, ocasionando um maior número de lavagens, podendo levar ao aumento da turbidez e piora na desinfecção da água distribuída. Além disto, pode haver problemas de abastecimento de água, pois o consumo excessivo de água tratada nas lavagens diminui a capacidade de armazenamento, bem como acarreta aumentos de custo em função da diminuição da produção efetiva.

Portanto, os parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação/flotação influenciam marcadamente a eficiência global de remoção das impurezas contidas na água bruta e, por isto, não devem ser adotados, mas sim fixados a partir de estudos de tratabilidade em laboratório ou em instalação piloto.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência dos parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação no tratamento da água bruta afluenta à Estação de Tratamento de Água Pitangui, que abastece o município de Ponta Grossa/PR, empregando-se o Sulfato de Alumínio e o PAC como agentes coagulantes.

2 Material e métodos

Os ensaios experimentais foram realizados no equipamento Jarrest (Nova Ética), que consiste numa unidade em escala de laboratório que trabalha em batelada, no qual são realizados os processos e operações de mistura rápida, floculação, decantação e filtração, sendo a metodologia para a execução dos ensaios descrita em Di Bernardo et al. (2002). A água utilizada nos ensaios foi proveniente do Rio Pitangui, coletada nas dependências da ETA da SANEPAR, no município de Ponta Grossa/PR, antes da calha Parshall e antes da adição de qualquer produto químico. A água coletada foi armazenada em uma caixa de água com tampa numa dependência fechada e ventilada da estação, não sendo exposta ao sol e em temperatura ambiente.

Para a leitura da turbidez e do pH foram utilizados, respectivamente, os equipamentos 2100 Turbidimeter (Hach) e pHmetro modelo APA-200 (Meter). Todas as leituras de pH foram realizadas com agitação, para isso foi utilizado o equipamento Agitador Magnético Mini (Quimis).

Todos os ensaios foram realizados com a temperatura da água de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, sendo a água coletada esfriada ou aquecida, por meio de uma garrafa *pet* com água tratada fervida ou congelada, sem o contato das duas águas, para a preservação das características da água coletada.

A água de estudo foi caracterizada nos laboratórios da SANEPAR de acordo com o *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*.

Primeiramente foram realizados ensaios para a construção dos diagramas de coagulação para seleção da dosagem de coagulante versus pH de coagulação. Para se variar o pH de coagulação foi empregado agente alcalinizante (hidróxido de sódio 0,1 N) ou acidificante (ácido clorídrico 0,1 N). Os coagulantes empregados foram o sulfato de alumínio (líquido, mesmo empregado na ETA da SANEPAR em Ponta Grossa/PR) e o cloreto de polialumínio (PAC, líquido, mesmo empregado pela ETA da SANEPAR no município Imbituva/PR).

Os parâmetros da mistura rápida, floculação e decantação, empregados para a construção dos diagramas de coagulação, foram fixados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros físicos adotados para a construção dos diagramas de coagulação.

Parâmetro	Valor
Tempo de mistura rápida (T_{mr})	10 s
Gradiente médio de mistura rápida (G_{mr})	600 s^{-1}
Tempo de floculação (T_f)	20 min
Gradiente médio de floculação (G_f)	20 s^{-1}
Velocidades de sedimentação (V_s)	$V_{s1} = 3,0 \text{ cm/min}$ $V_{s2} = 1,5 \text{ cm/min}$ $V_{s3} = 0,5 \text{ cm/min}$

Foram construídos diagramas de coagulação para as três velocidades de sedimentação, apresentadas na Tabela 1, e para os dois coagulantes em estudo (dados não apresentados). De posse dos diagramas de coagulação, selecionou-se um ponto

no diagrama do sulfato de alumínio e outro ponto para o diagrama do PAC. Após isso, foram realizados vários ensaios para a escolha da dosagem de polímero sintético catiônico em emulsão (Magnafloc LT225, Gross 25, 10 KGS, polyacrylamide) e, então, realizaram-se ensaios para a escolha da dosagem de Carvão Ativado em Pó (CAP, Brascarbo, tipo K-800 Umectado). O polímero foi dosado logo após ter decorrido metade do tempo da floculação e o CAP, 15 min antes da adição do coagulante, em uma rotação de 100 rpm ($G = 125 \text{ s}^{-1}$).

De posse do ponto selecionado nos diagramas de coagulação e das dosagens de CAP e polímero, foi estudada a influência do tempo e do gradiente de velocidade médio de mistura rápida, conforme metodologia proposta por Amirtharajah e Mills (1982) e complementada por Brito (1998). Para tanto, foi realizada uma bateria de ensaios na qual se procurou adequar o tempo de mistura rápida (T_{mr}), bem como o gradiente de velocidade médio de mistura rápida (G_{mr}). Os parâmetros estudados foram:

- Tempos de Mistura Rápida, $T_{mr} = 5, 10, 20, 30, 45 \text{ e } 90 \text{ s}$;
- Gradiente de Velocidade Médio, $G_{mr} = 200, 400, 600 \text{ s}^{-1}$.

Os demais parâmetros foram fixados de acordo com a Tabela 1.

De posse do ponto selecionado nos diagramas de coagulação e dos parâmetros de mistura rápida escolhidos, foi estudada a influência do tempo e do gradiente de velocidade médio de floculação, conforme metodologia proposta por Mendes (1989). Para tanto, foi realizada uma bateria de ensaios na qual procurou-se adequar o tempo de floculação (T_f), bem como o gradiente de velocidade médio de floculação (G_f). Os parâmetros estudados foram:

- Tempos de Floculação, $T_f = 5, 10, 15, 20, 25 \text{ e } 30 \text{ min}$;
- Gradiente de Velocidade Médio, $G_f = 20, 25, 30, 40 \text{ e } 50 \text{ s}^{-1}$.

Os demais parâmetros foram fixados de acordo com a Tabela 1.

E finalmente, de posse do ponto selecionado nos diagramas de coagulação e dos parâmetros de mistura rápida e floculação escolhidos anterior-

mente, foi estudada a influência da velocidade de sedimentação, conforme metodologia proposta por Brito (1998). Para tanto, realizou-se um ensaio no qual se coletou a água decantada para diferentes velocidades de sedimentação (V_s). As velocidades estudadas foram: 7,0; 5,0; 3,5; 2,5; 1,5; 0,5 cm/min.

3 Resultados e discussão

Durante a realização dos ensaios, a água de estudo apresentou as seguintes características: pH = $7,41 \pm 0,1$; cor = $146 \pm 43 \text{ uH}$; turbidez = $11,9 \pm 0,5 \text{ NTU}$. A temperatura da água foi mantida em $20 \pm 1^\circ\text{C}$ em todos os ensaios. A água de estudo também foi caracterizada logo após sua coleta pelos laboratórios da SANEPAR em Curitiba, sendo obtidos: 0,241 mg/L de alumínio, 80 mg/L de sólidos totais dissolvidos, 903 Cels/mL de Aphanizomenon-sp, 106.148 Cels/mL de Cylindrospermopsis-sp, 1.782 Cels/mL de Oscillatoriales, dando um total de 108.833 Cels/mL de Cianobacterias-sp.

Nos dois pontos selecionados nos diagramas de coagulação (um para o sulfato de alumínio e outro para o PAC), a dosagem de agente alcalinizante ou acidificante foi nula. Estes pontos apresentaram dosagens de sulfato de alumínio de 70 mg/L (produto comercial, correspondendo a uma dosagem de Al^{+3} de 2,83 mg/L) que resultou num pH de coagulação igual a 6,19 e de PAC de 35 mg/L (produto comercial, correspondendo a uma dosagem de Al^{+3} de 2,09 mg/L), que resultou num pH de coagulação igual a 6,80.

A dosagem de polímero para os dois coagulantes foi de 0,6 mg/L; já para o CAP, as dosagens selecionadas foram de 20 mg/L e 15 mg/L, para os ensaios realizados com o sulfato de alumínio e o PAC, respectivamente.

Nos ensaios para avaliação da influência dos parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação, o pH de coagulação para o sulfato de alumínio ficou entre 6,54 e 6,83, pouco superior ao pH de coagulação obtido para a construção dos diagramas de coagulação, devido ao pH da água bruta ter se modificado com o tempo de armazenamento. Com o PAC, para os mesmos ensaios, o

pH de coagulação ficou entre 7,22 e 7,45, pouco superior ao pH de coagulação obtido para a construção dos diagramas de coagulação, devido ao mesmo motivo citado anteriormente.

Analisando-se as Figuras 1, 2 e 3, observa-se claramente que o sulfato de alumínio requereu baixos gradientes de velocidade e baixos

tempos de mistura rápida para a água em estudo. Para o gradiente de velocidade médio de mistura rápida de 600 s^{-1} , a turbidez foi mais alta. Para os gradientes mais baixos, 400 s^{-1} e 200 s^{-1} , a turbidez foi mais baixa, estando bem próxima para estes dois gradientes de velocidade.

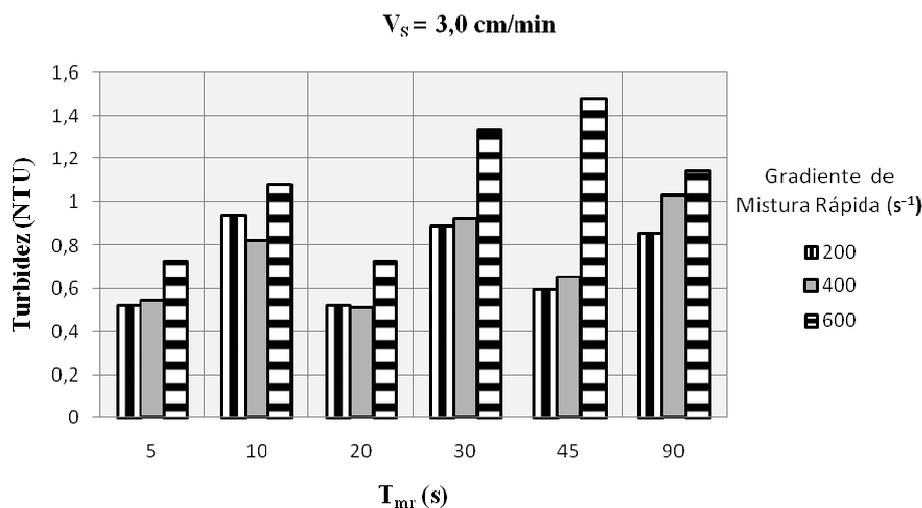


Figura 1 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Mistura Rápida para o Sulfato de Alumínio e $V_s = 3\text{ cm/min}$.

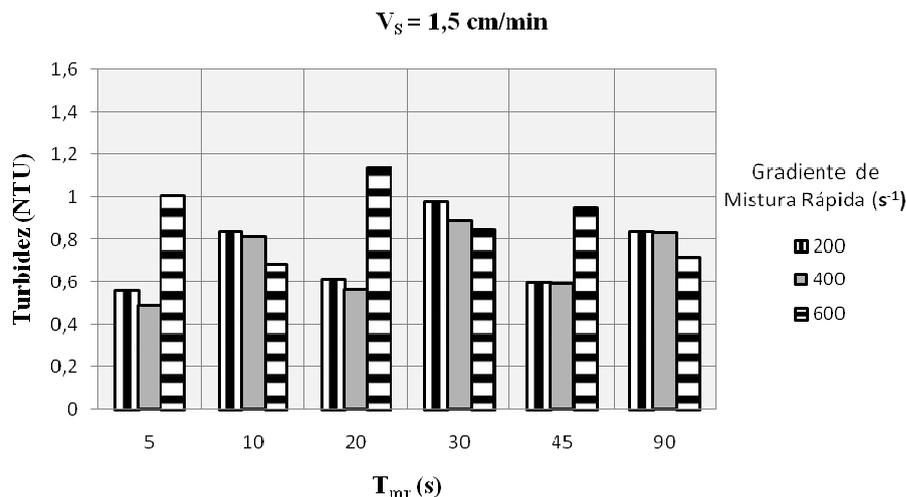


Figura 2 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Mistura Rápida para o Sulfato de Alumínio e $V_s = 1,5\text{ cm/min}$.

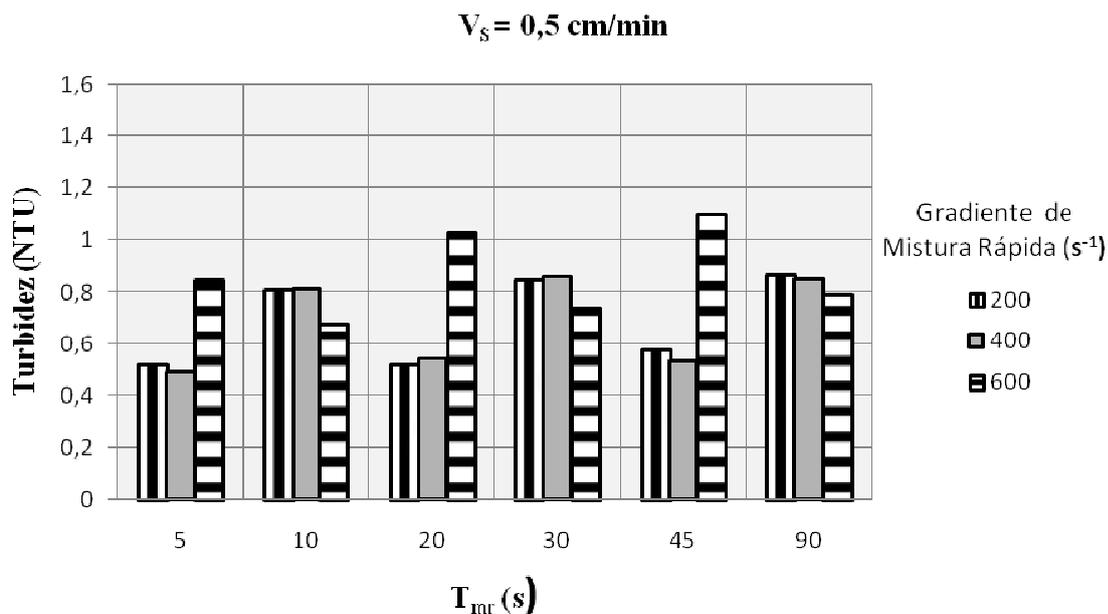


Figura 3 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Mistura Rápida para o Sulfato de Alumínio e $V_s = 0,5 \text{ cm/min}$.

Analisando-se as Figuras 4, 5 e 6, observa-se que, para o PAC, o comportamento foi semelhante, ou seja, também requereu baixos gradientes de velocidade e baixos tempos de mistura rápida para a água em estudo. Também se verifica que o aumento de turbidez para o gradiente de velocidade

de 600 s^{-1} , em comparação aos de 400 s^{-1} e 200 s^{-1} , foi menor do que o verificado para o sulfato de alumínio. Ainda assim, os gradientes de 400 s^{-1} e 200 s^{-1} conduziram a melhores resultados.

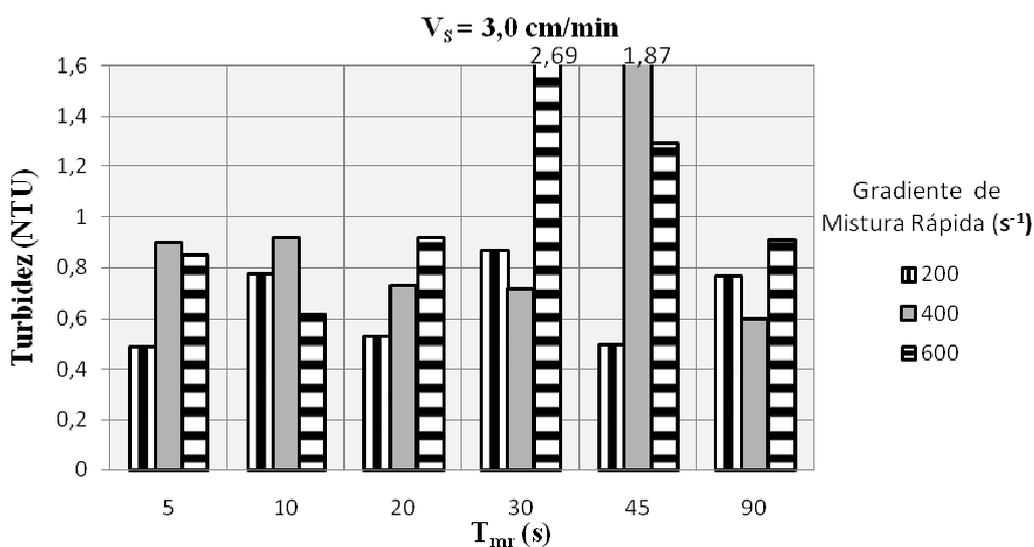


Figura 4 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Mistura Rápida para o PAC e $V_s = 3 \text{ cm/min}$.

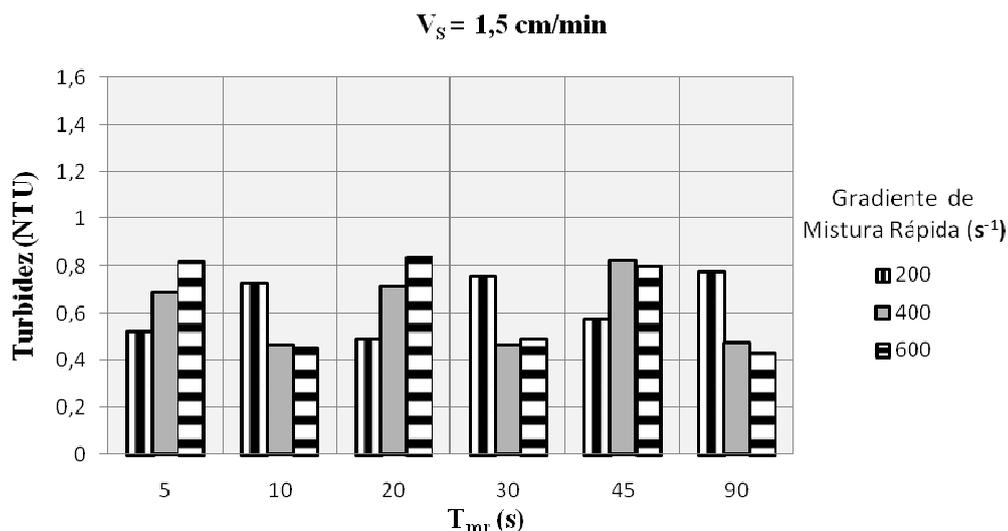


Figura 5 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Mistura Rápida para o PAC e $V_s = 1,5 \text{ cm/min. s}^{-1}$)

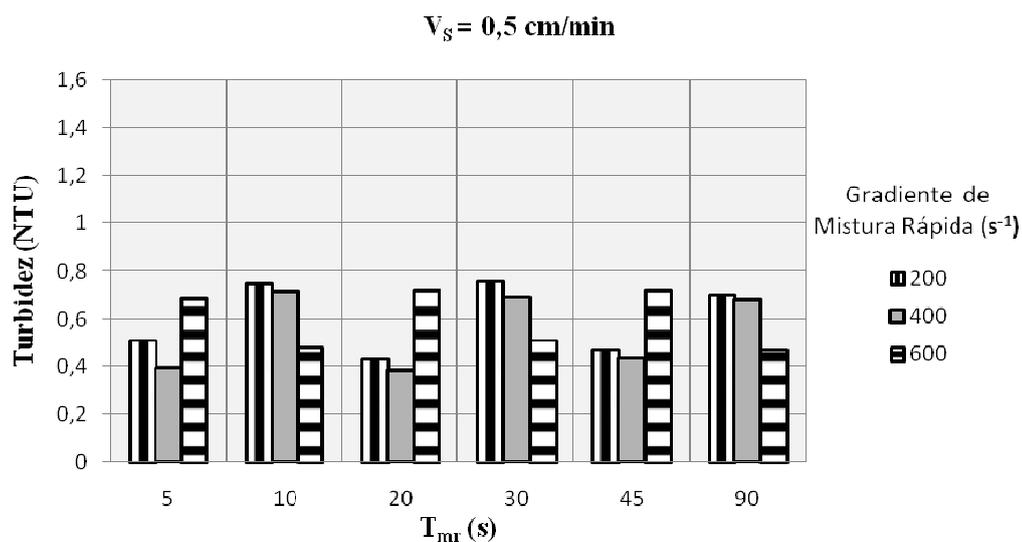


Figura 6 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Mistura Rápida para o PAC e $V_s = 0,5 \text{ cm/min}$.

Analisando-se as Figuras 1, 2 e 3, selecionou-se o tempo e o gradiente de velocidade médio de mistura rápida para o coagulante sulfato de alumínio, sendo estes parâmetros, respectivamente, cinco segundos e 400 s^{-1} . Estes foram os parâmetros de mistura rápida empregados para se avaliar a

influência do tempo e do gradiente de velocidade médio de floculação.

Analisando-se as Figuras 4, 5 e 6, selecionou-se o tempo e o gradiente de velocidade médio de mistura rápida para o coagulante PAC, sendo estes parâmetros, respectivamente, cinco segun-

dos e 200 s^{-1} . Assim, estes foram os parâmetros de mistura rápida empregados para se avaliar a influência do tempo e do gradiente de velocidade médio de floculação.

Outros pontos nos gráficos apresentaram resultados semelhantes ou ligeiramente melhores, porém maiores tempos e gradientes de velocidade implicam em um aumento de custo para um resultado de mesma ordem de grandeza.

Analisando-se as Figuras 7 e 8, pode-se verificar que, para o sulfato de alumínio, os me-

lhores resultados para a água em estudo encontraram-se a partir de quinze minutos de floculação, com gradientes mais altos e mais baixos (dentro dos estudados), dependendo do tempo de floculação. Também foi possível constatar que o tempo de cinco minutos foi insuficiente, pois apresentou os piores resultados e nos ensaios constatou-se (visualmente) que os flocos estavam em processo de formação, já que apresentavam tamanho redu-

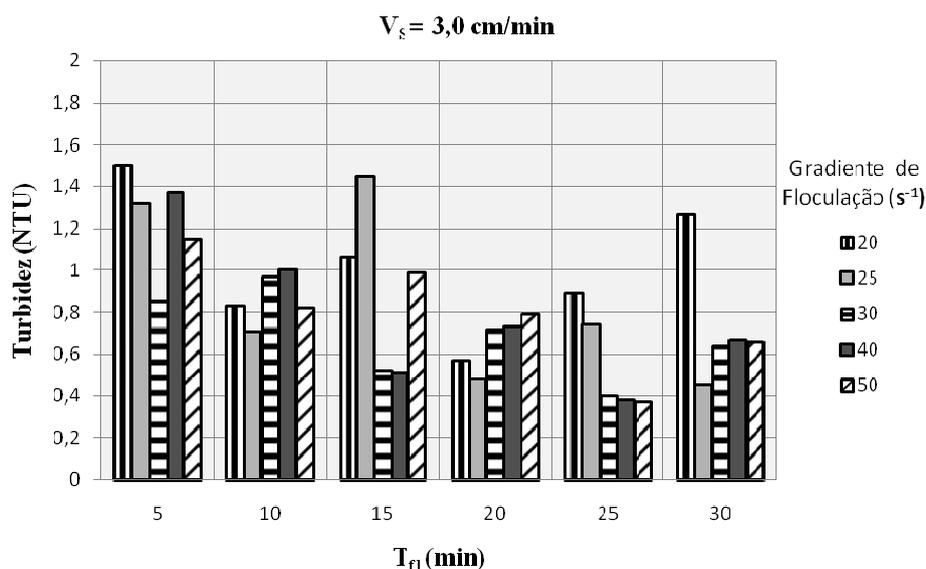


Figura 7 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para o Sulfato de Alumínio e $V_s = 3,0 \text{ cm/min}$.

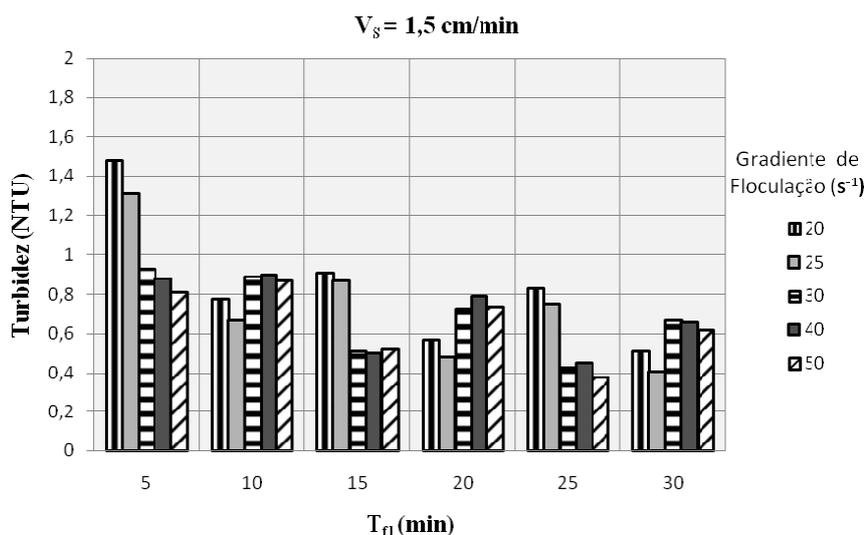


Figura 8 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para o Sulfato de Alumínio e $V_s = 1,5 \text{ cm/min}$.

Analisando as Figuras 9 e 10, pode-se observar que, assim como para o sulfato de alumínio, para o PAC, os melhores resultados para a água em estudo encontraram-se a partir de quinze minutos de floculação, com gradientes mais altos e mais baixos (dentre os estudados), dependendo

do tempo de floculação. Também se pode constatar que o tempo de cinco minutos foi insuficiente, pois apresentou os piores resultados e nos ensaios constatou-se (visualmente) que os flocos estavam em processo de formação, já que apresentavam tamanho reduzido.

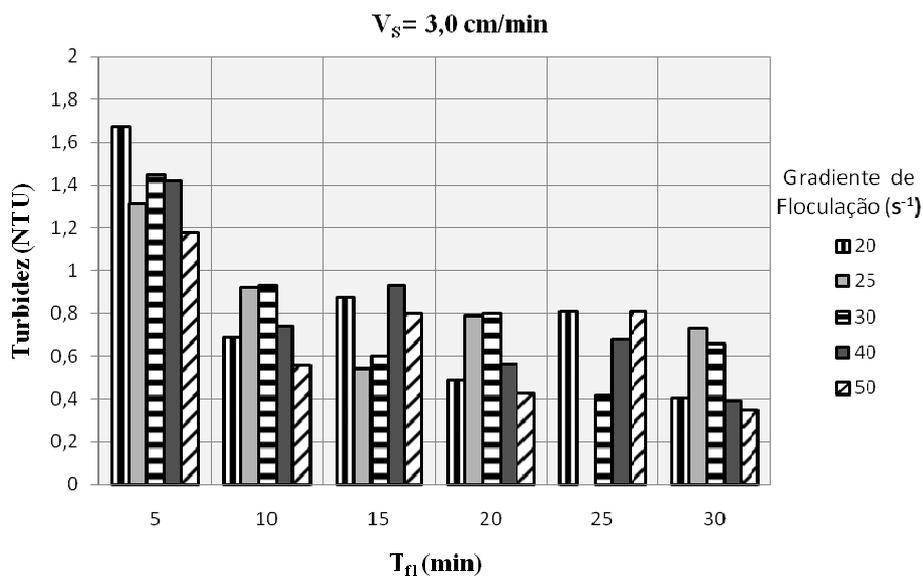


Figura 9 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para o PAC e $V_s = 3,0 \text{ cm/min}$. Observação: o resultado para o gradiente de velocidade de 25 s^{-1} e tempo de floculação 25 min foi perdido.

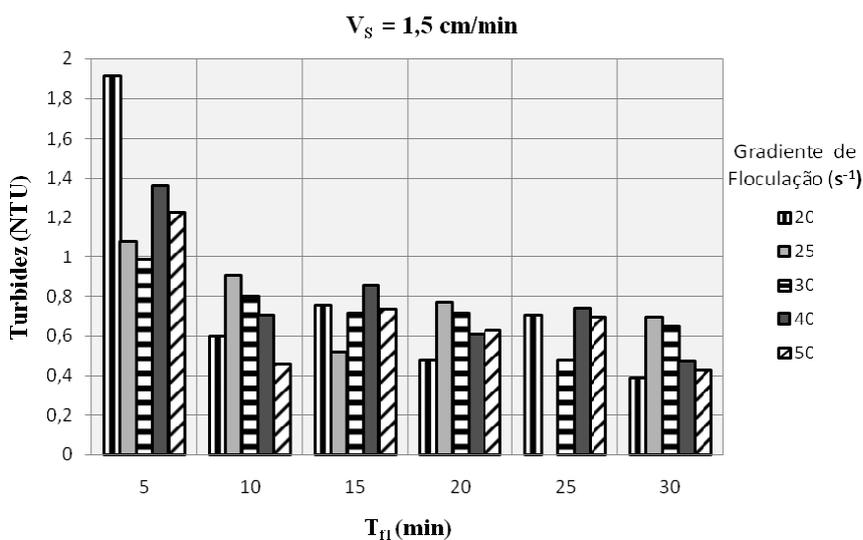


Figura 10 - Turbidez em função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para o PAC e $V_s = 1,5 \text{ cm/min}$. Observação: o resultado para o gradiente de velocidade de 25 s^{-1} e tempo de floculação 25 min foi perdido.

De posse dos gráficos de floculação para o sulfato de alumínio (Figuras 7 e 8), selecionou-se o tempo e o gradiente de velocidade médio para a floculação, que foram 20 minutos e 25 s^{-1} , respectivamente. Outros pontos nestes gráficos apresentaram resultado ligeiramente melhores, porém para maiores tempos de floculação ou maiores gradientes de velocidade, o que acabaria resultando em câmaras de floculação de maiores dimensões ou equipamentos de maior capacidade, acarretando em maiores custos de implantação e operação. Por esta razão, $T_f = 20 \text{ min}$ e $G_f = 25 \text{ s}^{-1}$, foram os parâmetros de floculação empregados para se avaliar a influência da velocidade de sedimentação.

De posse dos gráficos de floculação para o PAC (Figuras 9 e 10), selecionou-se o tempo e o gradiente de velocidade médio para a floculação, que foram 20 minutos e 20 s^{-1} , respectivamente. Estes foram os parâmetros de floculação empre-

gados para se avaliar a influência da velocidade de sedimentação. Conforme mencionado acima (para o sulfato de alumínio), outras combinações de $T_f \times G_f$ também apresentaram resultados satisfatórios, contudo conduziram a maiores custos.

Analisando a Figura 11, pode-se observar que, para o sulfato de alumínio e a água em questão, os valores de turbidez para as velocidades de sedimentação entre 3,5 e 0,5 cm/min apresentaram a mesma ordem de grandeza. Contudo, a velocidade de sedimentação de 2,5 cm/min conduziu a uma turbidez ligeiramente menor, sendo que, para as velocidades mais baixas, os valores de turbidez tiveram um leve aumento, devido aos flocos não sedimentarem mais, podendo até mesmo flutarem (observação visual) devido, provavelmente, à presença das algas.

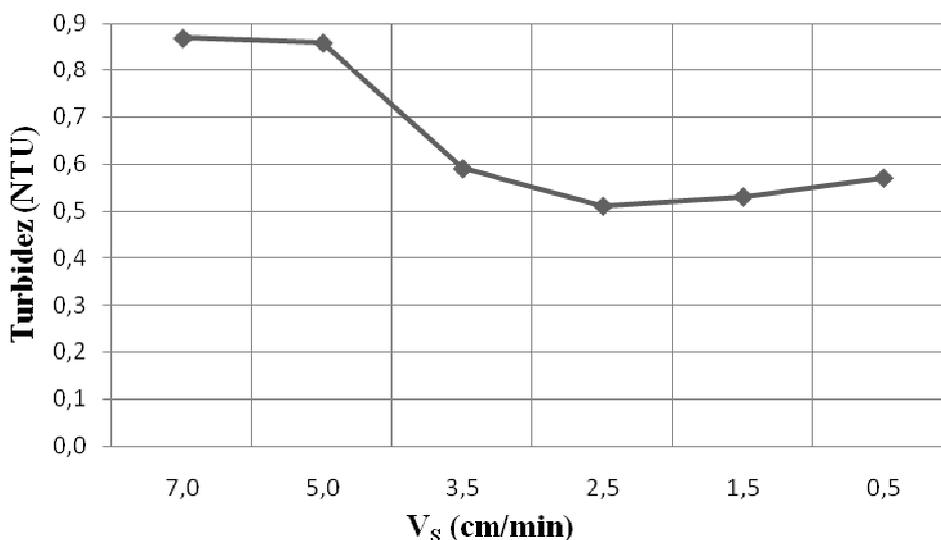


Figura 11 - Turbidez em função da Velocidade de Sedimentação para o Sulfato de Alumínio.

E, por fim, analisando a Figura 12, pode-se observar que, para o PAC e a água em questão, os valores de turbidez para as velocidades de sedimentação entre 3,5 e 0,5 cm/min também apresentaram a mesma ordem de grandeza. Contudo, a velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min conduziu a uma turbidez ligeiramente menor, sendo que, para a velocidade mais baixa, os valores de

turbidez tiveram um leve aumento, devido, novamente, aos flocos não sedimentarem mais, podendo alguns até flutarem.

Mais uma vez, deve-se levar em consideração que menores velocidades de sedimentação implicariam em decantadores de maiores dimensões e, conseqüentemente, maiores custos.

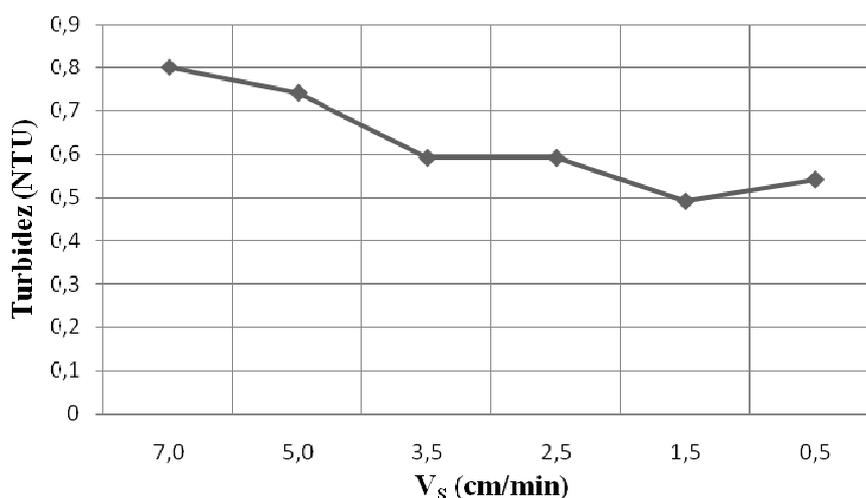


Figura 12 - Turbidez em função da Velocidade de Sedimentação para o PAC.

4 Conclusões

Com base no trabalho realizado, tiram-se as seguintes conclusões.

Ambos os coagulantes testados requereram baixos tempos e baixos gradientes de velocidade médio de mistura rápida para a água em estudo.

Com os dois coagulantes, os melhores resultados foram obtidos (para a água em estudo) a partir de quinze minutos de floculação e os piores resultados, para os menores tempos de floculação. Diferentes gradientes de velocidade médio de floculação conduziram a resultados satisfatórios, contudo quanto maior o gradiente de velocidade e o tempo de floculação maiores serão os custos de implantação e operação.

Com ambos os coagulantes empregados na presente pesquisa e para a água em estudo, resultados satisfatórios foram obtidos a partir da velocidade de sedimentação de 3,5 cm/min. Com o sulfato de alumínio, o melhor resultado encontrado foi para a velocidade de sedimentação de 2,5 cm/min, enquanto com o PAC foi para 1,5 cm/min.

Diante do exposto, recomenda-se que os parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação devem ser otimizados ou adequados em laboratório ou em instalação piloto, pois influenciaram marcadamente a eficiência de remoção de turbidez, principal parâmetro de controle empregado no tratamento de águas de abastecimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e seus funcionários, pelos equipamentos, análises, produtos químicos cedidos e pelas ajudas fornecidas, e à Fundação Araucária, pela bolsa de Iniciação Científica fornecida ao segundo autor.

Referências

- AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K.M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. *Journal AWWA*, v.74, n.4, p 200-216, apr., 1982.
- BRITO, S.A. **Influência da velocidade de sedimentação na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura durante a floculação**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos, RiMA, 2002, 237 p.
- _____.; DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos, RiMA, 2ed., 2v, 1565 p, 2005.
- MENDES, C.G. da N. **Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis**, 2v, 244p, 1989. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518 de 25 de Março de 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216 Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público, 1992.

STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19.ed. American Public Health Association, *American Water Works Association*, Water Pollution Control Federation, 1995.