

Estudo de redução do residual de alumínio na água tratada da cidade de Mogi das Cruzes

Study for Reduction Aluminum Ion on the Treated Water in Mogi das Cruzes City

André Ferreira da Silva
Flávio Gomes de Lima
Melany Berger Greiff
Rafael Augusto de Moraes Regueiro
Ricardo Waragai Antunes
Welson da Fonseca Araújo Teodoro
Angel Moreno¹
UMC - Universidade de Mogi das Cruzes

Resumo: Por meio deste trabalho teve-se por objetivo estudar a redução do residual de alumínio da água tratada da cidade de Mogi das Cruzes, que se encontrava no limite superior da especificação. Como base foi avaliada a Estação de Tratamento de Água (ETA), projetada para tratar aproximadamente 550L/s, mas que está operando com vazão de 650L/s. Com vistas à otimização do tratamento, foi avaliada a eficiência e a viabilidade da substituição do Sulfato de Alumínio pelo Policloreto de Alumínio (PAC), nas etapas de coagulação e floculação, buscando-se reduzir o teor de alumínio. Os ensaios de laboratório foram realizados em aparelho Jar-test, com o objetivo de se obter as condições ideais de tratamento. A partir disso, foram realizados testes na ETA, para avaliar o comportamento do reagente no processo, nas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração e, por fim, foi avaliado o custo de aplicação da melhoria no processo.

Palavras-chave: Tratamento de Água; Alumínio; Coagulante; Policloreto de Alumínio (PAC); Custo.

Abstract: This work had as objective to study the reduction of Aluminum (Al^{3+}) on the treated water in Mogi das Cruzes city that was at the upper limit of the specification. As a base, were evaluated the Estação de Tratamento de Água (ETA) (Water Treatment Station), designed to treat approximately 550L/s, but which is operating at a flow rate of 650L/s. To optimize the treatment, were evaluated the performance and viability to change the Aluminum Sulfate to Aluminum Polichloride (APC), on the steps of coagulation and flocculation, mainly in order to reach the reduction of Al^{3+} . The tests in laboratory were done with a Jar-test device, in order to obtain the ideal treatment conditions. Before that, tests were done on ETA (WTS) to evaluate the performance of the reagent on process, in these phases of coagulation, flocculation, decantation and permeation and, in the end, were evaluated the cost for the application of this improvement in the process.

Keywords: Water Treatment; Aluminum; Coagulant; Aluminum Polichloride (APC); Cost.

Introdução

O abastecimento de água é uma preocupação crescente da humanidade, tanto em termos de qualidade quanto de quantidade. Para Rebouças (1999), o

¹ Orientador

rápido crescimento da população, urbanização, industrialização e intensificação da produção agrícola fez com que se aumentasse a escassez de água e, com isso, houve alteração da qualidade. As Estações de Tratamento de Água (ETA) foram criadas para remover os riscos presentes nas águas das fontes de abastecimentos, por meio de uma combinação de processo e de operações de tratamento.

Em meio à crise hídrica e, devido a sazonalidades, a qualidade da água do Rio Tietê captada para tratamento na cidade de Mogi das Cruzes vem sofrendo diversas alterações, o que nos últimos anos prejudicou a eficiência do processo, principalmente no que diz respeito ao residual de alumínio na água tratada.

Mesmo sendo controlado por aspectos organolépticos, há um debate considerável no círculo médico, relatando o papel do alumínio na incidência do mal de Alzheimer, uma doença degenerativa cerebral de etiologia desconhecida (PERL, 1988). O alumínio é um composto nefrotóxico que pode causar, ao longo dos anos, encefalopatia grave, podendo levar a distúrbios neurológicos. Essa associação entre a presença de alumínio no cérebro, a neuroquímica e o mal de Alzheimer ainda está em investigação. Entretanto, devido ao fato de a presença de alumínio na água potável ser mais prontamente disponível para absorção biológica do que outras fontes, assumiu-se que esse metal teria efeito desproporcional sobre o mal de Alzheimer, quando consumido através de água potável (REIBER, *et al.*, 1995).

Dessa forma, o presente estudo tem por finalidade a redução do residual de alumínio, por meio da substituição do coagulante atualmente utilizado no processo (Sulfato de Alumínio) pelo Policloreto de Alumínio, visto que, uma vez atingido esse objetivo, haverá benefício tanto para o atendimento à Portaria 2.914/11 – MS, tanto para a população que consome a água.

Na cidade de Mogi das Cruzes, assim como em diversas outras cidades do Brasil, o processo de coagulação é feito através do Sulfato de Alumínio Ferroso, que, até antes da crise hídrica, sempre foi eficiente. Porém, com a crise e a significativa alteração no manancial, devido ao baixo nível e lixiviação do material em suspensão no leito, esse processo, na maioria do tempo, não é mais eficiente para atender todos os parâmetros com relação a concentrações de metais, principalmente o Alumínio (Al^{3+}), que faz parte do princípio ativo do produto.

Essa análise da substituição do coagulante visa demonstrar os benefícios com o Policloreto de Alumínio (PAC), tendo como principal meta o atendimento aos

padrões de potabilidade, fornecendo assim água de melhor qualidade à população da cidade de Mogi das Cruzes. Paralelamente, foi analisado o custo do processo, confrontando-se os valores praticados atualmente com a perspectiva de gasto após a implementação do projeto. Uma outra vertente verificada neste estudo foi o impacto positivo para a operação da ETA, no que se refere ao rendimento dos processos de decantação e filtração, após a aplicação em escala produtiva.

O processo de coagulação, utilizado no tratamento de água para consumo humano, envolve a aplicação de produtos químicos para a precipitação de compostos em solução que, de outra maneira, não poderiam ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração (RICHTER, 2009). Devido aos altos teores de impurezas, o tratamento da água é geralmente coagulado com sal de alumínio ou de ferro, ocasionando uma desestabilização da água a ser tratada. Isso faz com que ocorra precipitação das impurezas mais densas, para serem retiradas nas etapas seguintes. A fase de coagulação é realizada na unidade de mistura rápida, e podem ser utilizados misturadores hidráulicos (medidor Parshall, os vertedores triangulares e retangulares e os injetores) ou mecanizados (turbinas, hélices e outros).

Na cadeia de processos de uma estação de tratamento de água, a coagulação é geralmente seguida pela floculação, que pode ser definida como o processo de juntar partículas coagulantes ou desestabilizadas para formar maiores massas ou flocos, de modo a possibilitar sua separação por sedimentação ou flotação, e assim a filtração da água. Portanto, pode-se dizer que a coagulação e a floculação são os processos mais utilizados para a remoção de substâncias que produzem cor e turbidez na água (RICHTER, 2009).

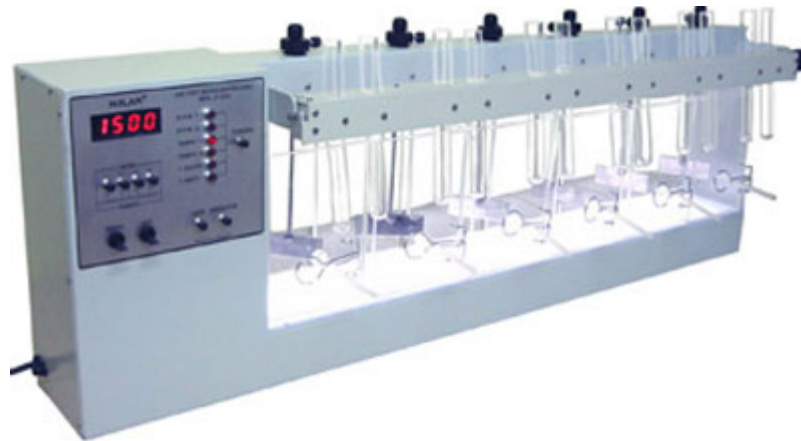
Para que se possa manter uma boa qualidade da água tratada, uma Estação de Tratamento de Água (ETA) pode sofrer mudanças tanto em sua estrutura como também nos produtos químicos utilizados no processo de tratamento. Um dos produtos mais importantes é o agente coagulante. Escolher um produto eficiente para o sistema depende de alguns fatores tais como a característica da água, a oferta do produto no mercado, o preço e a eficiência que terá no processo (CONSTANTINO, 2009).

Metodologia de teste piloto em pequena escala

O Jar-test consiste em uma escala piloto do tratamento químico usado em uma planta de tratamento de água, que simula a etapa de coagulação/floculação de

processo dentro da planta, ajudando a operação, para que a química utilizada no tratamento de água seja em quantidade ideal para alcançar a melhor performance da planta (SANT'ANNA JR/2010). Uma imagem ilustrativa do aparelho de Jar-test pode ser vista abaixo (Figura 1).

Figura 1: Equipamento de Jar-test.



Fonte: SP Labor: equipamentos para laboratórios.²

As amostras são agitadas rapidamente por um tempo determinado e depois agitadas por outro tempo determinado, porém em velocidade lenta, de forma que a agitação não quebre os flocos, controlada por um gradiente de velocidade pré-definido, a fim de reproduzir a situação real da estação de tratamento.

Após a floculação, a agitação é interrompida para que ocorra a sedimentação do flocos, o que corresponde ao tempo de detenção da etapa de decantação reproduzida na ETA, em que serão analisados os resultados e assim comparados com os parâmetros que foram determinados para a avaliação de performance e otimização.

Parte experimental: laboratório

Os ensaios de laboratório em equipamento Jar-test para a avaliação do Policloreto de Alumínio (PAC) foram realizados utilizando-se equipamento com seis jarros de dois litros cada e, para as dosagens de cada coagulante testado, utilizou-se uma solução estoque a 2% (m/v) de cada um deles.

² Disponível em: < <http://www.splabor.com.br/blog/tag/jar-test/>>. Acesso em: 27 jun. 2017.

Em cada jarro, foram coletadas amostras de água bruta do rio Tietê pré-clorada com Hipoclorito de Sódio. Em seguida, foram adicionadas várias concentrações diferentes dos coagulantes estudados, sendo eles PAC 12%, 14% e 18%, e Sulfato de Alumínio.

As amostras passaram por agitação rápida, 300 RPM (rotações por minuto), decaindo lentamente durante dez minutos até atingir cerca de 15 RPM, permanecendo em agitação constante por mais dois minutos até que se tivesse o tempo total de 12 minutos de ensaio. Após o término dos 12 minutos, a agitação foi desligada e as amostras permaneceram em repouso por cerca de 45 minutos, para que ocorresse a sedimentação dos flocos formados no processo.

Após o tempo de sedimentação dos flocos, foram retiradas alíquotas à meia altura de todos os jarros, dispensando-se os primeiros 50mL, a fim de evitar falsos resultados, e coletando-se cerca de 200mL, para que fossem analisados os parâmetros Cor Aparente, Turbidez e pH, definindo-se assim as melhores dosagens de cada coagulante. Por fim, foi retirada mais uma alíquota do jarro com o melhor resultado, para que fosse realizada a análise de eficiência de cada coagulante utilizado nos testes.

A avaliação do desempenho dos coagulantes nos testes de bancada foi realizada utilizando-se métodos físico-químicos, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW). Para isso, foram realizadas análises de Turbidez, Cor Aparente, pH e Alumínio (Al^{3+}), e, a partir dos resultados obtidos desses parâmetros, foi determinado o melhor coagulante a ser aplicado no teste em planta.

Resultados e discussão do teste piloto em pequena escala

Durante o período de realização dos testes, o foco foi encontrar o coagulante que apresentasse o melhor desempenho em remoção de sólidos, que por questões de ajuste operacional, a fim de não sobrecarregar os filtros da estação, adota-se como faixa ótima, valores entre 75 e 85%, manutenção do residual de Alumínio de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação vigente e custo de aplicação, comparado ao Sulfato de Alumínio.

A tabela 1 apresenta os melhores resultados de performance de cada coagulante, obtidos por meio dos testes-piloto.

Tabela 1: Comparativo dos melhores resultados de cada coagulante.

	Água Bruta	Taxa de Remoção			PAC 18% 25 ppm
		Al ₂ (SO ₄) ₃ F66 50 ppm	PAC 12% 40 ppm	PAC 14% 30 ppm	
Cor	82,75 uH	76,2%	82,6%	77,2%	79,3%
Turbidez	10,82 NTU	79,8%	83,5%	79,6%	81,1%
pH	6,95	6,3	6,4	6,5	6,7
R\$x10⁻⁵/jarro	-	8,80	10,56	7,92	6,60
Residual de Alumínio -->		0,198 mg/L	0,107 mg/L	0,118 mg/L	0,098 mg/L

Pode-se observar na Tabela 1 que a dosagem ideal de PAC 18%, encontrou-se 50% menor em relação ao Sulfato de Alumínio. Notou-se também, que as taxas de remoção de Cor Aparente e Turbidez foram superiores e, por fim, a concentração residual de Alumínio encontrada foi inferior à dos demais coagulantes. Considera-se muito importante, também, o fato de que o custo operacional para esse coagulante, foi 25% menor.

A partir disso, inferiu-se que o PAC 18% foi o coagulante com o melhor desempenho nos testes-piloto, no que diz respeito à remoção de sólidos, residual de Alumínio, acidificação do meio e custo benefício, de acordo com a dosagem adicionada.

Ao final dos testes de bancada e tratamento dos dados, o estudo seguiu para testes em escala produtiva, sendo autorizada pela empresa a compra de uma carga teste no valor total de R\$ 7.335,00, sendo essa a única despesa com o projeto, considerando o menor valor orçado, não desrespeitando as leis vigentes para aquisição de materiais pelo setor público.

Realização de teste em escala produtiva

Para o teste em escala produtiva, foram instalados, pelos próprios funcionários da empresa, com material disponível, sem custo, dois tanques para o armazenamento do PAC 18%, sendo esses alinhados diretamente para o sistema de dosagem de produto no processo já existente. O sistema de bombeamento da linha

de dosagem de coagulante na ETA possui duas bombas independentes, e os tanques foram instalados diretamente nessa linha de dosagem para, primeiramente, verificar-se se as bombas seriam compatíveis com vazão e produto e também para que não houvesse necessidade de compra de uma bomba apenas para o teste.

Após o recebimento da carga teste, foi realizado um Jar-test nas condições da água bruta do dia em que se iniciaria a dosagem na planta, e o teste em escala produtiva foi, enfim, iniciado pelo responsável pelo tratamento de água, juntamente com os operadores, e pelo acompanhamento do grupo de trabalho.

Durante todo o período de teste, tanto o pessoal do sistema operacional e o de controle de qualidade da empresa quanto o grupo acompanharam todas as variáveis de controle de processo. Eles observaram as dosagens de coagulante, alcalinizante e polímero, sempre avaliando e observando se haveria mudanças positivas ou negativas, tanto para a operação do sistema quanto para parâmetros de qualidade de água tratada no final do processo.

Ao final do período de teste, os dados foram recolhidos e tratados, a fim de obter-se os reais parâmetros, com o objetivo de viabilizar a aplicação desse projeto e a substituição do Sulfato de Alumínio pelo PAC 18% na Estação de Tratamento de Água (ETA), definitivamente.

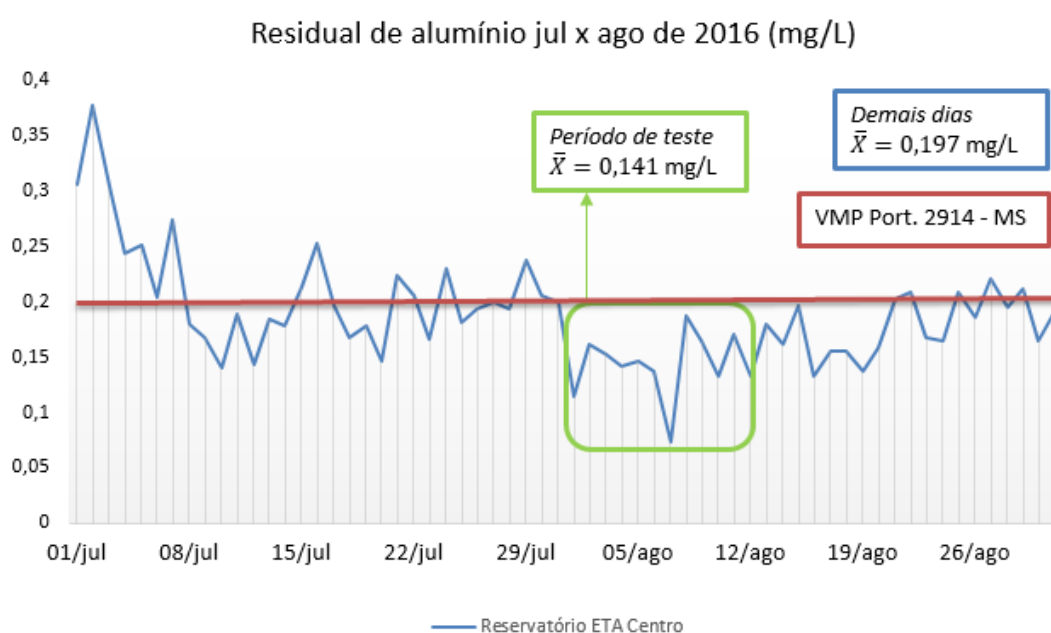
Resultados de discussão do teste em escala produtiva

Ao final do período de teste em escala produtiva, foram analisados todos os dados. O primeiro item foi a operação do sistema de tratamento, considerando, principalmente, a dosagem de produtos químicos. Uma vez que esse não apresentou problemas, foi constatado, então, que todo o sistema de dosagem de coagulante não sofreria alterações significativas com a mudança do coagulante.

O segundo fator considerado após o início dos testes foi avaliar se a melhor dosagem encontrada no Jar-test, antes do início, realmente iria surtir efeito no processo tanto de coagulação e floculação quanto de decantação. Ao realizar análises de controle de processo, assim como as que foram realizadas no teste de bancada, observou-se que a resposta do produto novo era positiva, ou seja, o uso desse novo coagulante no processo produtivo foi de cerca de 50% menor do que o de Sulfato de Alumínio.

Após cerca de 6 horas de teste, foi realizada uma análise de alumínio na água tratada na saída da estação, para verificar se o resultado encontrado nos testes de bancada iniciais seriam os mesmos, ou ao menos próximos, do teste realizado em escala produtiva. Essa análise de residual de alumínio seguiu sendo realizada, diariamente, até que se encerrasse o teste. Os resultados podem ser observados no gráfico abaixo (Gráfico 1).

Gráfico 1: Comparativo do residual de alumínio na água tratada antes, durante e depois do teste em escala produtiva com o PAC 18%.



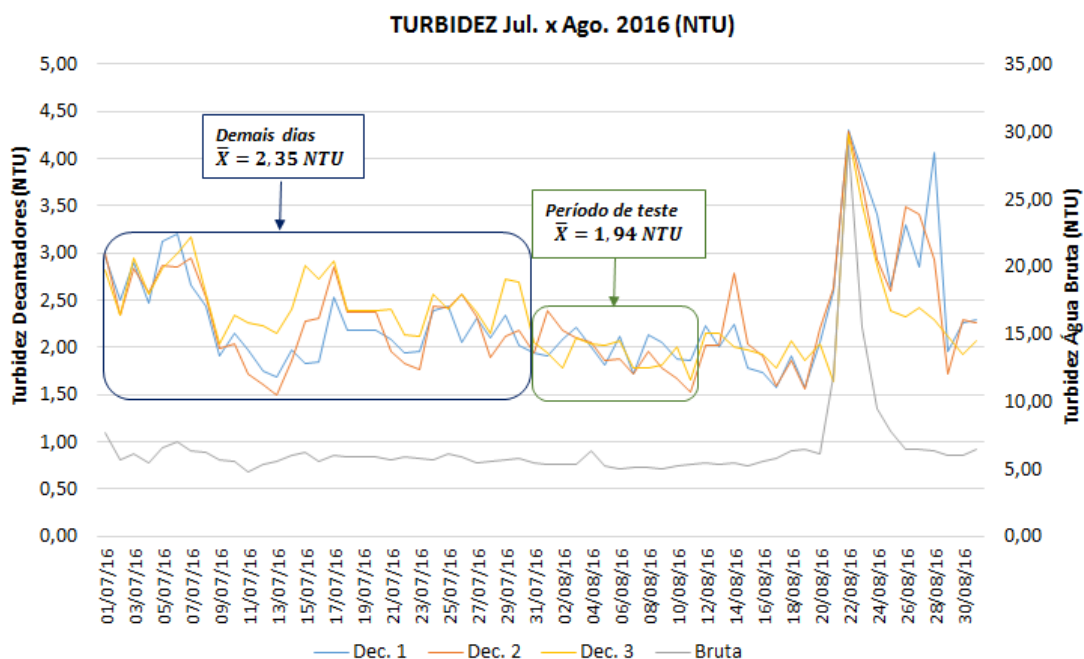
Como pode ser observado no gráfico, durante o período de teste em escala produtiva com o PAC 18%, com uma dosagem de 15ppm, mesmo com uma média acima do resultado obtido (0,141 mg/L) em teste de bancada, o residual de alumínio médio foi inferior à média obtida quando se estava trabalhando com o Sulfato de Alumínio, com uma dosagem de 25ppm, isso mesmo avaliando-se um período maior com o sulfato comparado com o PAC 18%. Esses resultados já foram satisfatórios no quesito atendimento à legislação, uma vez que o valor máximo permitido pela Portaria 2.914/11 – MS é de 0,200 mg/L.

Outro parâmetro observado durante o estudo foi que, em acordo com o teste de bancada, ao iniciar a dosagem do PAC 18% na planta, o pH da água floculada apresentou menor diferença entre o pH da água bruta, o que indicou que a reação

que ocorre no processo de coagulação entre a matéria orgânica e o PAC 18% gerou quantidade menor de prótons no meio, o que reduziu, imediatamente, o consumo de alcalinizante Hidróxido de Cálcio e do Polímero utilizado como auxiliar de coagulação e, de acordo com dados fornecidos pela operação da Estação de Tratamento de Água, analisando-se os dados de consumo desses materiais durante o período em que se utilizou o PAC 18%, comparado ao Sulfato de Alumínio, obteve-se redução no uso de hidróxido e Polímero de cerca de 25% e 10%, respectivamente.

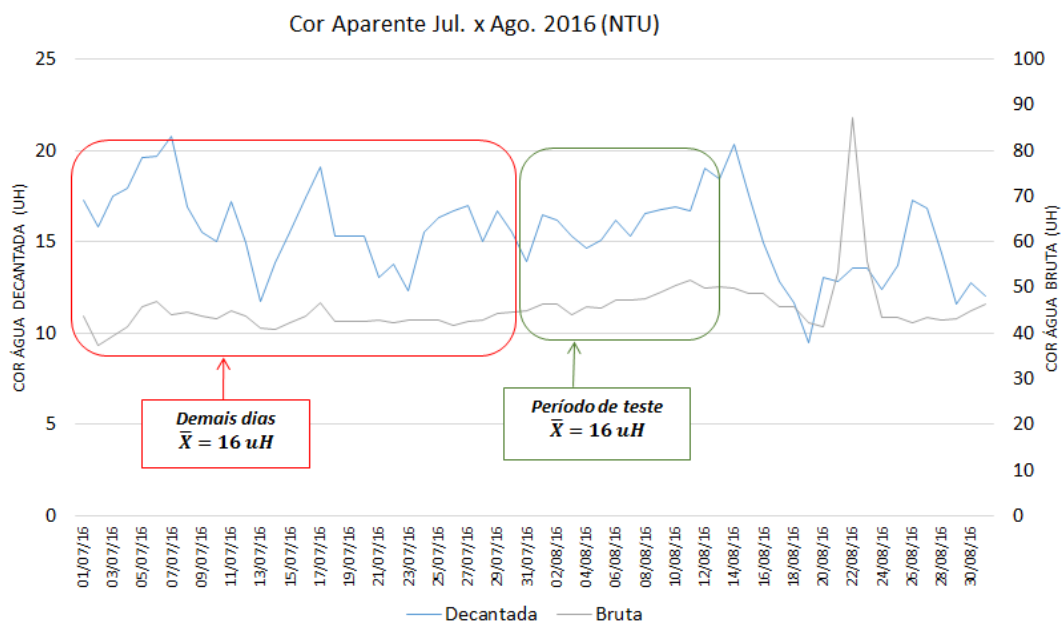
Com o uso desse coagulante, pode-se observar que a floculação nos tanques ficou mais homogênea, ou seja, flocos com tamanhos mais uniformes. Com isso, observou-se também que houve diminuição significativa no arraste de material em suspensão (turbidez) dos decantadores para os filtros e, conseqüentemente, filtros com menor carga de material sólido, o que demonstra maior robustez no processo de coagulação, ou seja, não sofre variações significativas quando se trata de acontecimentos sazonais. Tal observação pode ser melhor verificada nos gráficos a seguir (Gráfico 2 e Gráfico 3).

Gráfico 2: Comparativo da turbidez da água bruta e decantada antes e durante o teste prático com o PAC 18%.



No gráfico dois pode ser observado que, durante o período do teste em escala produtiva com o PAC 18%, a média dos valores de turbidez da água coletada nos decantadores da ETA foram, aproximadamente, 20% inferior aos valores médios anteriores ao teste, mesmo com a turbidez da água bruta sempre com resultados próximos. Observa-se também que, após o teste, houve um pico na turbidez da água bruta e, por isso, os valores foram desconsiderados para cálculo de média.

Gráfico 3: Comparativo da Cor Aparente da Água Bruta e decantada antes e durante o teste prático com o PAC 18%.



No gráfico três, no entanto, pode-se observar que, durante o período de teste prático com o PAC 18%, não houve alteração da cor aparente da água coletada nos decantadores, o que mostra que, mesmo não trazendo melhoras para esse parâmetro, comparado com a ação do Sulfato de Alumínio, o PAC 18% não alterou negativamente a cor aparente da água, uma vez que, como explicado anteriormente, a redução será apenas de material em suspensão, o que diminui os valores de turbidez.

Análise de custos e viabilidade de aplicação

Visto os resultados obtidos no teste em escala produtiva, realizou-se uma análise de viabilidade da aplicação contínua do PAC 18% na Estação de Tratamento de Água Mogi das Cruzes, obtendo-se as seguintes informações:

- De acordo com os dados de contrato no momento da pesquisa e com os dados do teste em planta, a economia desse insumo com a aplicação do novo coagulante será de aproximadamente R\$ 420.000,00 / ano;
- Ainda de acordo com os dados, para o uso de Polímero, foi observada uma redução da quantidade, o que levará a uma economia de cerca de R\$ 15.600,00 / ano;
- Outra análise foi em relação ao coagulante, uma vez que mesmo com preço maior do que o do Sulfato de Alumínio, a substituição deste pelo PAC 18% irá proporcionar uma economia de cerca de R\$ 300.000,00 / ano;
- Economia total de cerca de R\$ 735.600,00 / ano no total.

Por fim, com essa alteração na planta de tratamento, além da elevada economia com o processo, o controle do estoque de produto químico utilizado para tratamento de água ficará facilitado aos que realizam esse trabalho diariamente.

Conclusão

Observado os resultados dos testes realizados em pequena escala (Jar-test), quando foram comparados os dados obtidos com as três concentrações de PAC (12, 14 e 18%) com o Sulfato de Alumínio, concluiu-se que o PAC 18% seria o coagulante mais indicado para sanar os problemas encontrados e, conseqüentemente, proporcionaria grande economia para o processo de tratamento de água.

Após essa etapa, no decorrer do teste-piloto, foram observadas todas as variáveis que poderiam influenciar, primeiramente, no sistema de dosagem, na qualidade da água e, por fim, nos custos de tratamento. Analisando-se os dados obtidos, conforme apresentado, o teste demonstrou-se satisfatório, pois não houve a necessidade de adaptações na Estação. A qualidade da água tratada melhorou, se comparada à anterior, e o custo operacional foi reduzido. Isso pode ser observado se considerar-se que o residual de alumínio se encontrou dentro dos padrões estabelecidos e que, realizando-se a aplicação do PAC 18 na ETA, pode-se obter ainda uma economia de aproximadamente R\$ 700.000,00 / ano, de acordo com os dados de contratos de fornecimento de produtos químicos no período de estudo, o que prova a total viabilidade da aplicação deste projeto, de forma efetiva.

Além do ganho financeiro e da qualidade de água tratada, existe ainda a possibilidade de maiores ganhos no meio do processo de tratamento, os quais não puderam ser avaliados devido ao curto tempo de teste em escala de produção, como a redução de retrolavagem dos filtros, uma vez que, com uma menor carga de material em suspensão nesses, o tempo de carreira irá aumentar gradativamente, e também uma melhor compactação do lodo nas piscinas de decantação, que pode contribuir para a diminuição do volume do lodo gerado na ETA.

Pode-se concluir que os objetivos desse projeto foram atingidos em todos os aspectos desejados, proporcionando benefícios tanto para o Semae – Mogi das Cruzes, uma vez que esse projeto já está sendo implantado pela empresa, como também para toda a população abastecida por essa água tratada, que irá consumir água de melhor qualidade.

Referências

APHA (2005). **Standard Methods for the Examination of water and wastewater**. American Public Health Association. American Works Association. Washington.

CONSTANTINO, Arcioni Ferrari e YAMAMURA, Victor Docê. **Redução do gasto operacional em Estação de Tratamento de Água utilizando o PAC**. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Maringá, 2009.

DI BERNARDO, Luiz e DANTAS, Ângela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2.ed., São Carlos: Rima, 2005, 2v.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (BRASIL). **Manual prático de análise de água**. 3.ed., Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009.

PERL, D. P. & GOOD, P. F., 1988. **Aluminum, Environmental and Central Nervous System Disease**. Environmental Technology Letters, n.9, p.901-906

REBOUÇAS A. C. Panorama da água doce no Brasil. *In*: REBOUÇAS, Aldo da Cunha (org.). **Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil**. São Paulo: IEA/USP, Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1999, p.59-107.

REIBER, S.; KUKULL, W. & STANDISH-LEE, P. Drinking Water Aluminum and Bioavailability. **Journal of The American Water Works Association**, n.87, p.86-99, 1995.

RICHTER, Carlos A. **Água, métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

SANT'ANNA Jr, Geraldo Lippel. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**, XIX, 2010.