

**COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

# **APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO NA ETA GUARAÚ: EFEITOS DO AJUSTE DE POLÍMERO NA DOSAGEM DE COAGULANTE**

# APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO NA ETA GUARAÚ

## INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Guaraú é uma unidade convencional que abastece a Região Metropolitana de São Paulo, garantindo água potável de qualidade por meio de processos como coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. A água bruta vem do Sistema Cantareira, que, desde os anos 1970, enfrenta desafios de alta demanda e mudanças climáticas, exigindo gestão eficiente para sua sustentabilidade.

Atualmente, o coagulante utilizado na ETA Guaraú é o PAC (policloreto de alumínio) férreo, um coagulante pré-hidrolisado com íons de ferro (III). Este coagulante é altamente eficaz devido à sua capacidade de atuar em uma ampla faixa de pH, neutralizando as cargas negativas nas partículas suspensas e facilitando sua aglomeração. Durante a etapa final de hidrólise, o PAC forma hidróxidos de alumínio, que servem como núcleos para a formação de flocos.

A poliacrilamida não iônica de alto peso molecular é utilizada na ETA Guaraú como agente floculante secundário, sendo sua dosagem média histórica em conjunto com PAC de 0,01 mg/L. Esta poliacrilamida liga partículas coaguladas em flocos maiores e mais densos através de interações físicas, como pontes de hidrogênio e forças de Van der Waals, melhorando a sedimentação e a remoção de sólidos suspensos. A ausência de carga na poliacrilamida não iônica torna-a eficaz em diversas condições químicas e de pH, sem interferir nas cargas das partículas. Para que a separação das partículas coloidais por processos de separação sólido-líquido ocorra de maneira satisfatória, é necessário garantir que a dimensão física dos flocos alcance um valor adequado (SECKLER, 2019).

A sinergia entre o coagulante e o auxiliar de floculação potencializa a formação de flocos maiores, mais densos e facilmente sedimentáveis, otimizando a remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica, metais pesados e coloração da água, resultando em um tratamento mais eficaz e de alta eficiência.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aprimorar o processo físico-químico de coagulação e floculação no tratamento de água bruta da ETA Guaraú, por meio de ajustes nas dosagens de polímero auxiliar de floculação e coagulante, visando otimizar a eficiência do tratamento e reduzir o consumo de insumos químicos.

### Objetivos Específicos:

- 1- Quantificar a eficiência de remoção de turbidez da água bruta e analisar as características dos flocos, como tamanho e intensidade de formação, em função das variações na dosagem de polímero auxiliar de floculação.
- 2- Identificar, em escala laboratorial, os ganhos em redução de coagulante em diferentes faixas de dosagem de polímero.
- 3- Implementar os ajustes identificados em escala real na ETA Guaraú, analisando os resultados operacionais em relação à eficiência do processo e à qualidade da água tratada.
- 4- Comparar os cenários antes e após os ajustes para avaliar ganhos em eficiência e desempenho, considerando os desafios de variações sazonais na qualidade da água bruta.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

## APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO NA ETA GUARAÚ



### METODOLOGIA UTILIZADA

Os ensaios laboratoriais foram realizados com o equipamento JarTest da marca PoliControl®, que permite até 6 provas simultâneas, com gradiente de velocidade ajustável de 10 a 2000 s<sup>-1</sup>. As cubas, de acrílico transparente, possuem capacidade de 2 litros, escala referencial de amostragem e saída conectada a uma mangueira de silicone, assegurando precisão e padronização nos testes.

O coagulante utilizado é o PAC Férrico 80HX da Bauminas®, pertencente à nova geração de coagulantes inorgânicos à base de sais de alumínio férrico, com cadeias polimerizadas de alto desempenho. Já o polímero auxiliar de floculação é a poliacrilamida não iônica de alto peso molecular FLOPAM FA 920 PWG, fornecida pela SNF®.

Os ensaios de jarros foram realizados utilizando 2 litros de água bruta em cada jarro, com a leitura inicial da turbidez. Como o PAC Férrico dispensa ajustes de pH para a coagulação, utilizou-se uma concentração fixa de 1% do coagulante. O polímero não iônico (poliacrilamida) foi preparado com uma concentração de 0,01% para os ensaios. O protocolo seguiu os seguintes gradientes: mistura rápida a 150 rpm por 1 minuto, seguida de misturas lentas a 100 rpm, 60 rpm e 40 rpm, cada uma por 8 minutos, e finalizando com 2 minutos de sedimentação.

Os primeiros 15 segundos de coleta foram desprezados para eliminar possíveis interferências da água represada no tubo coletor, e as amostras subsequentes foram utilizadas para análise da turbidez residual, cálculo da eficiência de remoção de turbidez e avaliação do tamanho dos flocos em determinados jarros. A dosagem de coagulante foi aplicada no início da mistura rápida, enquanto a poliacrilamida foi dosada após essa etapa, seguindo o mesmo procedimento utilizado na ETA.

Foram realizados testes no JarTest mantendo a dosagem de coagulante fixa e variando a de polímero, e, posteriormente, ajustando o coagulante em diferentes faixas de polímero, para avaliar turbidez residual, tamanho dos flocos e possíveis reduções no consumo de coagulante. Testes preliminares em escala industrial também foram conduzidos aos resultados laboratoriais.

### RESULTADOS

Os testes de JarTest realizados com água bruta de baixa turbidez, com valor inicial de 2,82 NTU, apresentaram os seguintes resultados:

Com a dosagem de PAC Férrico fixa em 4,5 mg/L, o (Figura 1) mostra, sem polímero, o residual é de 1,85 NTU, reduzindo para 0,39 NTU com 0,11 mg/L de polímero. A dosagem de 0,01 mg/L, correspondente à média histórica da ETA, no JarTest apresentou um residual de 1,63 NTU para 0,43 NTU com 0,10 mg/L de polímero, representando uma redução de 73,61%.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
**APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE  
 FLOCULAÇÃO NA ETA GUARAÚ**

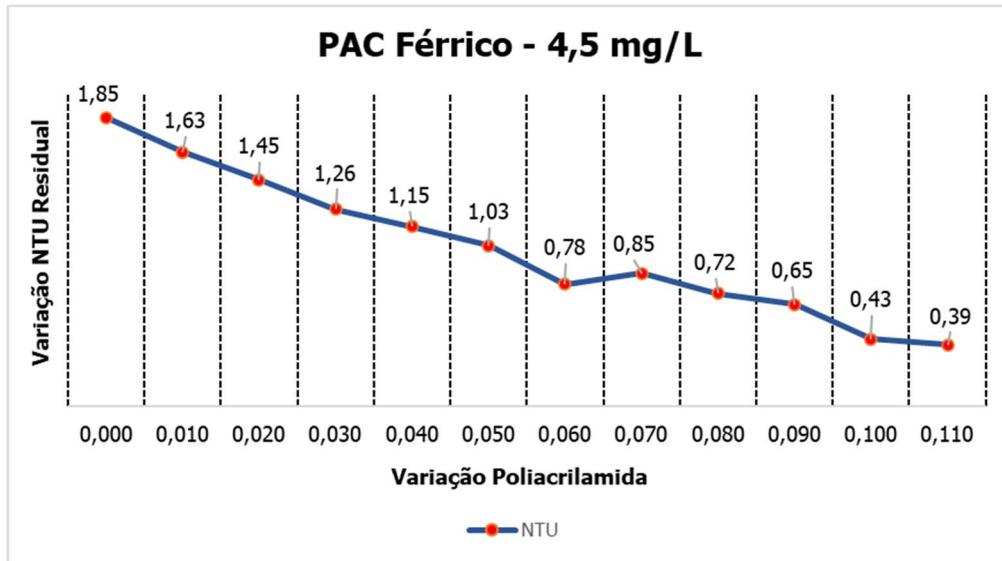


Figura 1 – Turbidez por Variação Poliacrilamida

Nas análises realizadas em JarTest, com polímero nas faixas de 0,01 e 0,02 mg/L e variação na dosagem de PAC Férrico (4,5; 4 e 3,5 mg/L), os resultados estão representados no (Figura 2).

Ao aumentar o polímero, a turbidez residual após a redução da dosagem de PAC Férrico de 4,5 para 4,0 mg/L foi de 1,40, próxima à obtida com 4,5 mg/L de PAC Férrico e 0,01 mg/L de polímero.

Turbidez por variação de PAC e Polímero		
Dosagem PAC (ppm)	Dosagem Polímero (ppm)	Turbidez Decantada (NTU)
3,50	0,010	1,77
4,00	0,010	1,63
4,50	0,010	1,49
3,50	0,020	1,55
4,00	0,020	1,40
4,50	0,020	1,19

Figura 2 – Turbidez por Variação de PAC Férrico

Nas análises realizadas em JarTest, com polímero nas faixas de 0,04 e 0,11 mg/L e variação na dosagem de PAC Férrico (4,5; 4 e 3,5 mg/L), os resultados estão representados no (Figura 3).

Ao aumentar o polímero, a NTU residual após a redução da dosagem de PAC Férrico de 4,5 para 3,5 mg/L foi de 1,17, próxima à obtida com 4,5 mg/L de PAC Férrico e 0,04 mg/L de polímero.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
**APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE  
 FLOCULAÇÃO NA ETA GUARAÚ**

Turbidez por variação de PAC e Polímero		
Dosagem PAC (ppm)	Dosagem Polímero (ppm)	Turbidez Decantada (NTU)
3,50	0,040	1,46
4,00	0,040	1,33
4,50	0,040	1,15
3,50	0,110	1,17
4,00	0,110	0,70
4,50	0,110	0,47

Figura 3 – Turbidez por Variação de PAC Férrico

Os testes de JarTest realizados com água bruta de turbidez elevada em relação à média da ETA, com valor inicial de 7,13 NTU, apresentaram os seguintes resultados:

Com a dosagem de PAC Férrico fixa em 6 mg/L, o (Figura 4) mostra, sem polímero, o residual é de 2 NTU, reduzindo para 0,38 NTU com 0,06 mg/L de polímero.

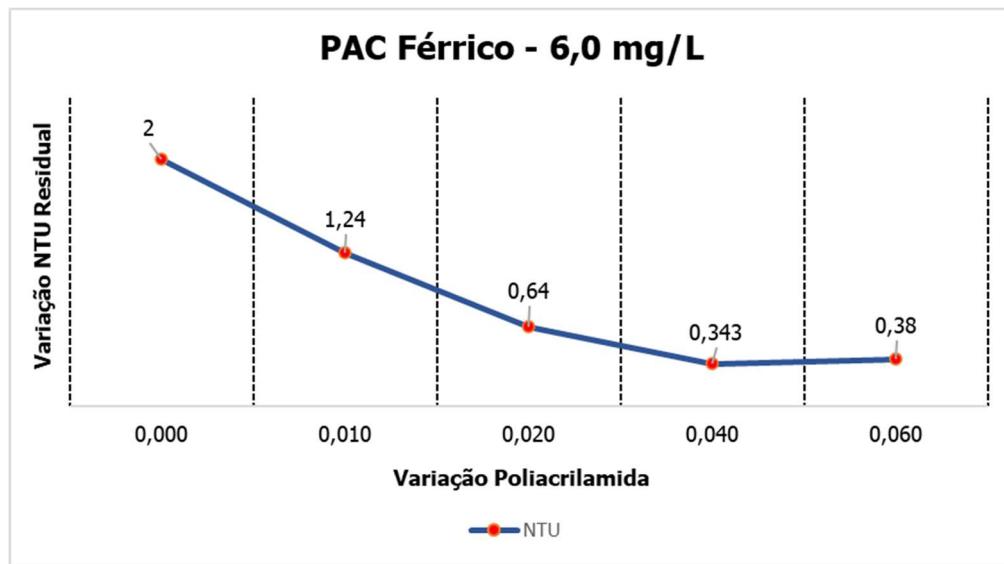


Figura 4 – Turbidez por Variação Poliacrilamida

Em junho de 2024, a ETA Guaraú aumentou a dosagem de polímero, de aproximadamente 0,01 mg/L para 0,02 mg/L. A turbidez bruta permaneceu estável ao longo dos meses e portanto em alguns dias a dosagem de polímero foi ajustada para testes comparativos, o que também impactou a dosagem de PAC (Policloreto de Alumínio).

Conforme ilustrado na Figura 5, a redução na dosagem de PAC, quando aumentado a dosagem de polímero, mantendo a eficiência no tratamento, foi a seguinte: 0,6 mg/L em junho, 0,5 mg/L em julho, 0,4 mg/L em agosto e 0,5 mg/L em setembro.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
**APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE  
 FLOCULAÇÃO NA ETA GUARAÚ**

PAC Férrico por variação de Polímero			
Mês	Turbidez Bruta (NTU)	Dosagem PAC (ppm)	Dosagem Polímero (ppm)
Junho	1,9	4,10	0,010
		3,50	0,020
Julho	1,8	3,70	0,010
		3,20	0,020
Agosto	1,8	3,5	0,010
		3,1	0,020
Setembro	2,3	4,3	0,010
		3,7	0,020

Figura 5 – Variação PAC Férrico por Polímero – Período de Estiagem

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se uma redução consistente da turbidez residual com o aumento da dosagem de polímero nos testes de JarTest. O incremento do polímero de 0,010 mg/L para 0,020 mg/L possibilitou uma redução de 0,5 mg/L na dosagem de PAC Férrico, mantendo a eficiência do tratamento, com turbidez residual de 1,49 NTU utilizando 4,5 mg/L de coagulante e 1,40 NTU com 4,0 mg/L.

Com dosagens mais elevadas de polímero (0,04 mg/L e 0,11 mg/L), os resultados mostram que, ao utilizar 3,5 mg/L de PAC Férrico e 0,11 mg/L de polímero, a turbidez residual foi de 1,17 NTU, próxima a 1,15 NTU obtida com 4,5 mg/L de PAC Férrico e 0,04 mg/L de polímero. Esse ajuste demonstrou uma redução potencial de 1,0 mg/L na dosagem de coagulante.

Sob condições de turbidez levemente elevada na água bruta e com a dosagem de coagulante fixada em 6 mg/L no JarTest, a turbidez residual foi reduzida de 1,24 NTU para 0,64 NTU com o aumento da dosagem de polímero, representando uma diminuição significativa de 50,8%.

Em escala real, ao longo dos meses de junho a setembro, os testes indicaram que a dosagem média de coagulante foi 0,5 mg/L menor nos dias em que houve aumento na dosagem de polímero, sem comprometer o processo. Após esse período, os testes foram finalizados, e a dosagem de polímero foi fixada em aproximadamente 0,020 mg/L.

## CONCLUSÃO / RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que o aumento da dosagem de polímero como auxiliar de flocação na ETA Guaraú demonstrou ser uma estratégia eficaz para otimizar o uso de coagulante no processo de tratamento da água.

Os testes de JarTest demonstraram uma redução consistente na turbidez residual com o aumento da dosagem de polímero de 0,01 mg/L para 0,02 mg/L. Contudo, essa mesma redução na turbidez residual da

## APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE FLOCULAÇÃO NA ETA GUARAÚ

água decantada não foi completamente replicada na ETA, devido às diferenças entre a estabilidade encontrada nos testes de bancada e as variáveis operacionais em escala real. Observou-se também que o aumento do tamanho dos flocos, resultante da otimização do processo com o uso do polímero como auxiliar de floculação, contribuiu para a melhoria do desempenho. Além disso, houve uma redução de 0,50 mg/L na dosagem de coagulante na ETA, o que representou, durante os meses em que os testes em escala real foram realizados, uma economia de 10% a 15% no consumo de coagulante.

Incrementos na dosagem de polímero, até 0,1 mg/L, indicaram ganhos de até 70% na turbidez residual para a mesma dosagem de coagulante, além de economias de 0,5 mg/L a 1,5 mg/L de coagulante em baixa turbidez. Esses resultados sugerem potencial de otimização em escala real, considerando as limitações de teor de poliacrilamida e colmatação do leito filtrante.

Na ETA Guaraú, devido à baixa turbidez predominante, o tratamento de coagulação baseia-se na combinação de varredura e desestabilização de cargas com retenção no leito filtrante. O aumento do tamanho dos flocos melhora a sedimentação e a adesão ao leito, otimizando a eficiência do processo.

Recomenda-se a continuidade dos testes em escala real para avaliar o limite de colmatação do leito filtrante, mantendo condições de processo estáveis. Essa abordagem permitirá ajustar as dosagens de polímero e coagulante, visando reduzir o consumo de insumos e otimizar a eficiência do tratamento na ETA Guaraú.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Di Bernardo, L.; Dantas, A. D. B.. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Segunda edição. São Carlos. Rima. 2005.