

I-234 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ NA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES COAGULANTES EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COM SISTEMA MISTO DE TRATAMENTO

Cintia Tiemi Shibata⁽¹⁾

Tecnóloga Ambiental pela Faculdade Senai de Tecnologia Ambiental. Mestre em Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica pela USP. Técnica em Sistemas de Saneamento pela SABESP.

Sidnei Gomes Rosa⁽²⁾

Químico pela Faculdade São Bernardo (FASB). Técnico em Sistemas de Saneamento da SABESP.

Ednei de Oliveira Freitas⁽³⁾

Químico pela Universidade Federal de Viçosa. Técnico em Sistemas de Saneamento da SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Av. Dom Jaime de Barros Camara, 715 Ap. 141B – Planalto – São Bernardo do Campo – SP – CEP:09895-400 – Brasil – Tel: (11) 96584-1801 – e-mail:cshibata@sabesp.com.br

RESUMO

Na Estação de Tratamento de Água Rio Grande, o sistema de tratamento é composto por desinfecção, coagulação, floculação, decantação/flotação, filtração e um sistema independente de membranas ultra filtrantes. Com esta diversidade de processos, os parâmetros de tratamento devem atender decantação e flotação simultaneamente. Foram avaliados três tipos de coagulantes: Cloreto Férrico, Cloro Sulfato Férrico e Policloreto de Alumínio (PAC). Os dois primeiros em pH alcalino e o último em pH ácido. Essas simulações foram realizadas através do equipamento jar test . Através deste trabalho, foi possível otimizar o processo de tratamento vigente na estação, substituindo primeiramente 18 ppm de Cloreto Férrico por 16 ppm de Cloro Sulfato Férrico, e, após a finalização da construção dos flotações, os 16 ppm de Cloro Sulfato Férrico por 9 ppm de Policloreto de Alumínio. Estas alterações reduziram a quantidade de lodo gerado e melhoraram significativamente a qualidade da água clarificada dos flotações.

PALAVRAS CHAVE: Decantação, flotação, jar test, tratamento de água, ETA.

INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Rio Grande, localizada no município de São Bernardo do Campo, na Grande São Paulo, trata atualmente cerca de 5200 l/s. Este sistema abastece 1,5 milhão de pessoas dos municípios de São Bernardo do Campo, Diadema, parte do município de Santo André e parte da cidade de São Paulo.

A ETA foi inaugurada em 1958 com processo de decantação como tratamento, devido as características físico-químicas do manancial, iniciou-se em 2010, a substituição de alguns dos decantadores por flotações. A mesma água coagulada alimenta os decantadores e flotações.

Atualmente, o processo de tratamento é composto por: 6 floculadores mecânicos, 3 hidráulicos, 3 decantadores convencionais e 2 de alta taxa, 4 flotações , 20 filtros e membranas ultra filtrantes que tratam separadamente 500l/s.

O processo de tratamento da estação Rio Grande está demonstrado no fluxograma abaixo.

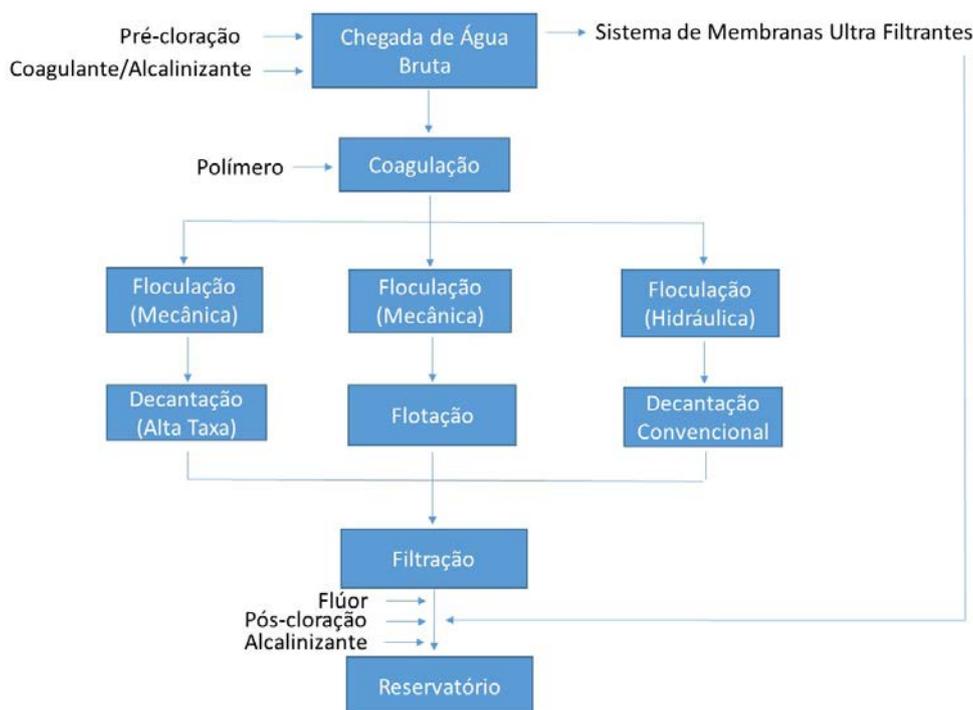


Figura 1 – Fluxograma do processo de tratamento da ETA Rio Grande

O processo de tratamento de água mais comumente utilizado no Brasil é composto das etapas de: coagulação, decantação, filtração e desinfecção. Campos, Di Bernardo e Vieira (2005), consideram as duas primeiras etapas como as responsáveis pela eficiência de remoção de partículas da água bruta. Lopes (2008) diz que a que as etapas de coagulação e floculação são de grande importância no tratamento de água, pois delas depende a eficiência das etapas subsequentes, como a sedimentação ou flotação e filtração.

Segundo Metcalf e Eddy (2003), a coagulação inclui as reações e mecanismos que desestabilizam as partículas dispersas na água, viabilizando a agregação das mesmas em flocos. Libânio et al. (1997) diz que a escolha do coagulante é resultado do custo e características da água bruta. A floculação ocorre em unidades de mistura lenta. De acordo com Lopes (2008), a agitação deve ser suficiente para que as partículas colidam formando os flocos, mas não muito alta para que não cause o rompimento dos flocos formados.

O processo de separação dos flocos do líquido pela ação da gravidade é denominado decantação. Segundo Von Sperling (1996), a obtenção de um efluente clarificado é o principal objetivo da decantação. Para simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação, Abramovich et al. (2004), considera o Jar Test como método que determinará a dosagem ideal de coagulante.

Assis (2006), considera que a flotação surge como alternativa para o tratamento de águas com baixa turbidez, baixa alcalinidade, cor elevada, alta concentração de algas, que após a coagulação produzem flocos com baixa taxa de sedimentação. A flotação é definida como um processo de remoção de partículas por meio da introdução de microbolhas de ar, que em contato com as partículas, tendem a flutuar até a superfície do tanque de flotação, onde são removidas. O tipo de flotação mais comumente utilizado e recomendado, é por ar dissolvido com pressurização do reciclo. Neste tipo de flotação, segundo Lacerda et al. (1997), parte da água clarificada é saturada com ar sob pressão e introduzida no tanque de flotação, ocorrendo a liberação de microbolhas pela diferença de pressão. Reali (2006), diz que para obtenção de condições mais favoráveis à decantação, normalmente utilizam-se altas dosagens de coagulantes, acarretando em maiores custos e quantidade de lodo gerada. Por outro lado, segundo Reali e Campos (1995), a flotação requer menor dosagem de coagulante, gerando, conseqüentemente, menor quantidade de lodo.

Este trabalho avaliou a eficiência de remoção de 3 tipos de coagulantes: Cloreto Férrico, Cloro Sulfato Férrico e Policloreto de Alumínio (PAC). O Cloreto Férrico e o Sulfato Férrico foram avaliados em pH alcalino, que era a condição vigente na época na estação e o PAC foi avaliado em pH

ácido, pois em pH alcalino há a solubilização do alumínio, que é um parâmetro controlado pela Portaria 2914/11.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de jar test foram realizados no aparelho da Policontrol, modelo Floc control III.



Figura 2 – Equipamento jar test modelo Floc control III

As condições dos ensaios, simulam o processo de tratamento da ETA, conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 – Parâmetros do ensaio de jar test

Agitação	Velocidade (rpm)	Tempo (min)
Rápida	150	0,67
Média	50	3
Lenta	35	6
Decantação		2

Os produtos químicos são adicionados nos tempos definidos abaixo:

Tabela 2 – Tempo de adição dos produtos químicos

Produto químico	Tempo (min)
Cloro	0
Coagulante / Alcalinizante	0
Polímero	1

PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO

Antigamente, a ETA operava somente por decantação, porém, avaliando-se as características da água manancial, verificou-se que a mesma era adequada para o processo de flotação. A água bruta apresentava valores de turbidez, alcalinidade e cor baixas, e de acordo com a época do ano, alta concentração de algas. Características que são favoráveis ao processo de flotação.

Abaixo as características médias do nosso manancial:

Tabela 3 – Características médias anuais do manancial

Média Anual	pH	Cor Aparente (uC)	Turbidez (NTU)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)
2013	7,1	33,8	2,4	21,7
2014	7,3	33,2	2,8	21,8
2015	7,2	30,8	2,8	21,8
2016	7,1	26,3	2,3	22,3

Observa-se que as características do manancial que abastece a ETA, a Represa Billings, não variam muito no decorrer dos anos.

Em 2010, iniciou-se a construção de flotores em substituição aos decantadores existentes. Com este novo tratamento em operação, avaliou-se o processo e o seu desempenho com outros tipos de coagulantes.

Foram avaliados o Cloreto Férrico, Cloro Sulfato Férrico e o Policloreto de alumínio (PAC). Considerou-se a eficiência de remoção de cor e turbidez dos coagulantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO DA PRIMEIRA ETAPA

Primeiramente, avaliou-se a influência do coagulante avaliou-se a remoção do coagulante Cloreto Férrico, com pH 9 de coagulação, nas dosagens de 16, 18 e 20ppm.

Seguem os gráficos:

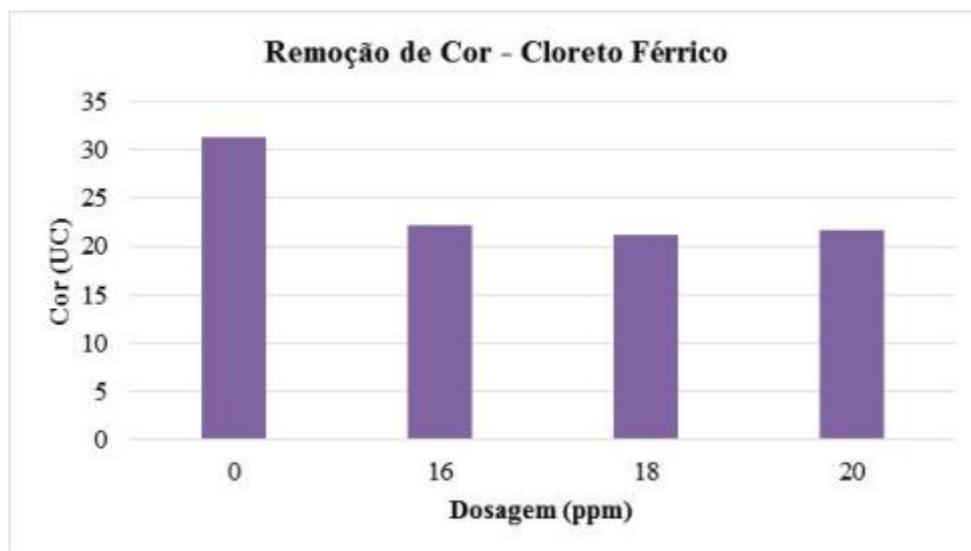


Figura 3 – Remoção de cor com Cloreto Férrico

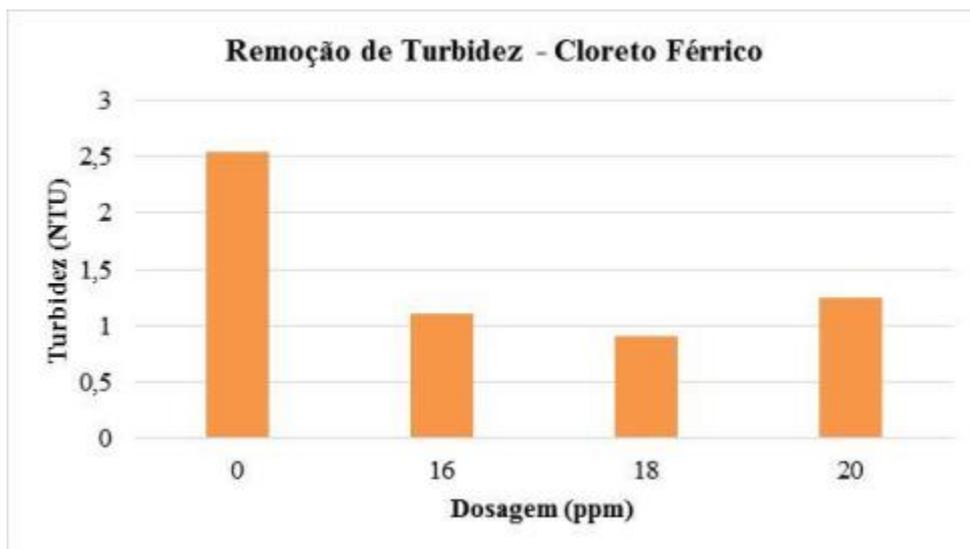


Figura 4 – Remoção de turbidez com Cloreto Férrico

Verifica-se a dosagem de 18ppm apresentou os maiores valores de remoção para cor e turbidez, 32,4% e 64,6% respectivamente.

No próximo ensaio, avaliou-se o Cloro Sulfato Férrico na remoção de cor e turbidez da água bruta. Foram utilizadas as concentrações de 16,18 e 20 ppm, com pH 9 de coagulação.

Seguem os gráficos:

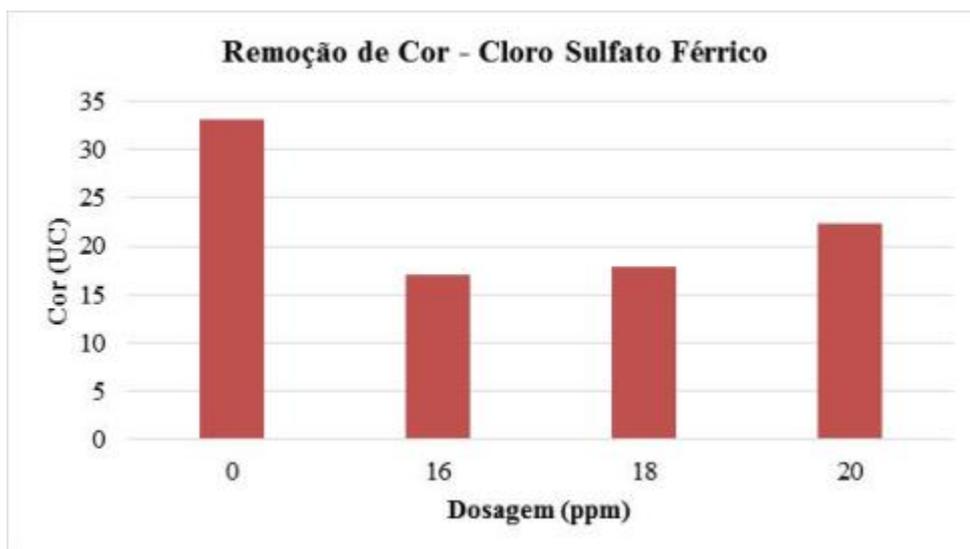


Figura 5 – Remoção de cor com Cloro Sulfato Férrico

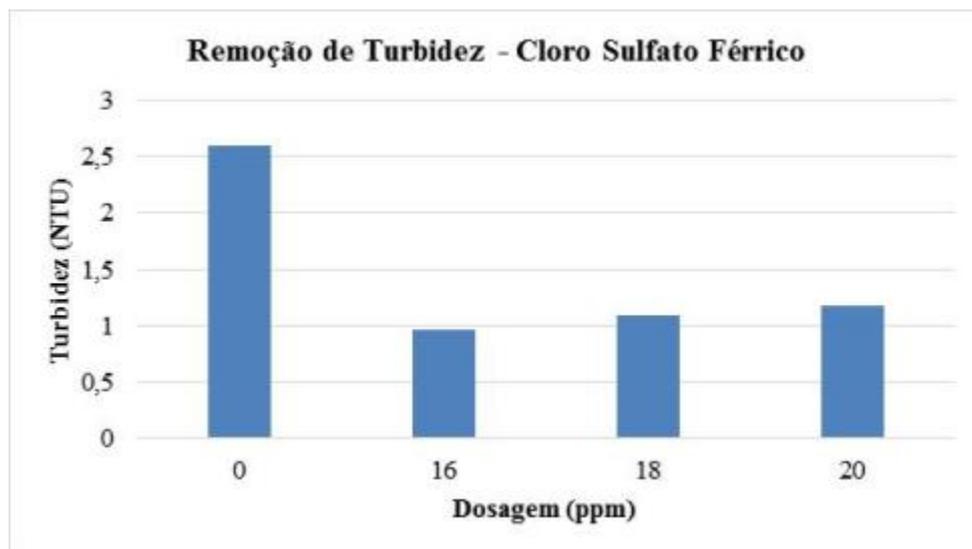


Figura 6 – Remoção de turbidez com Cloro Sulfato Férrico

Verifica-se que a dosagem de 16 ppm apresentou melhores valores de remoção, com 63,1% de turbidez e 48,2% de cor em relação a água bruta.

Neste último ensaio, avaliou-se o coagulante Policloreto de Alumínio, sem correção de pH no pré-tratamento, nas concentrações de 6, 7, 8, 9, 10 ppm. O pH de coagulação ficou na faixa de 6,4.

Seguem os gráficos:

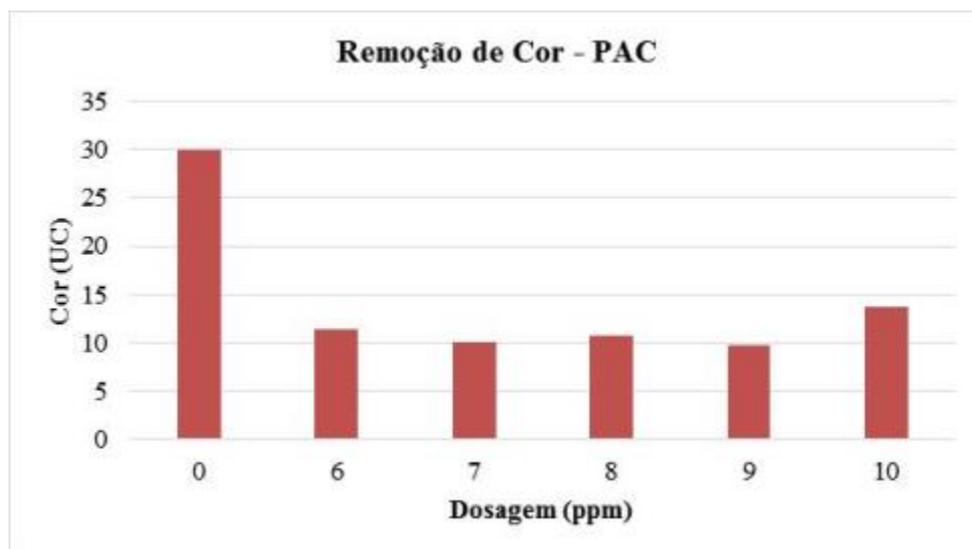


Figura 6 – Remoção de cor com Policloreto de Alumínio

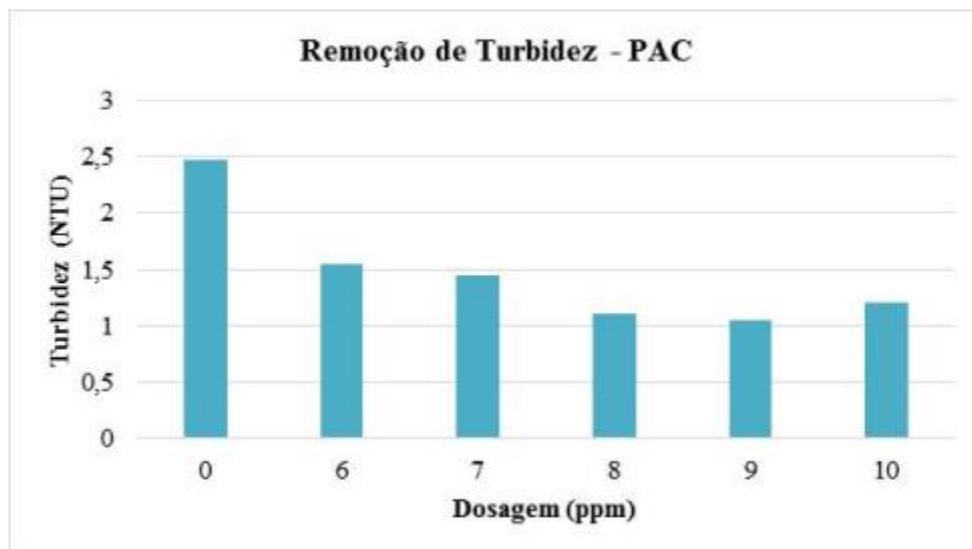


Figura 7 – Remoção de turbidez com Policloreto de Alumínio

Verifica-se que a maior remoção ocorreu na dosagem de 9 ppm, com 67,7% para cor e 57,3% para turbidez. Uma dosagem menor que o Cloro Sulfato Férrico e Cloreto Férrico, com remoção de turbidez similar e cor superior aos outros dois coagulantes.

SEGUNDA ETAPA: APLICAÇÃO NA ESTAÇÃO

Após a conclusão dos ensaios em escala laboratorial, foram aplicados os parâmetros que resultaram nas maiores eficiências de remoção de cor e turbidez na ETA.

RESULTADOS E DISCUSSÕES DA SEGUNDA ETAPA

Primeiramente avaliou-se a eficiência de remoção do coagulante Cloreto Férrico na estação de tratamento de água.

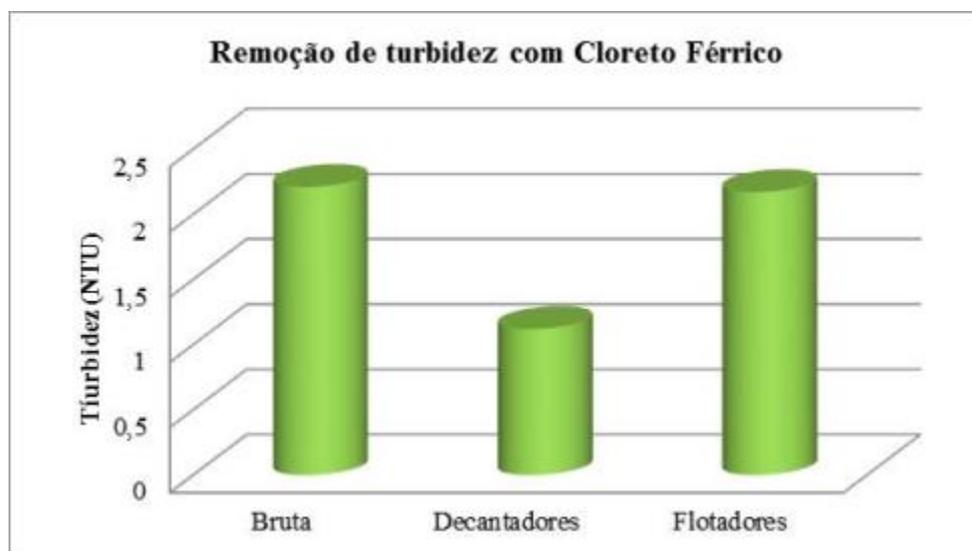


Figura 8 – Remoção de turbidez obtida com aplicação de Cloreto Férrico

O Cloreto Férrico se mostrou eficiente na remoção de turbidez dos decantadores, com redução de 49,4% do valor, porém para flotação apresentou uma eficiência menor, com remoção de 1,9%. A menor eficiência na flotação, provavelmente foi ocasionada por uma dosagem de coagulante superior à necessária neste tipo de

tratamento. Porém, com uma dosagem menor, ocorreria piora na eficiência de remoção do processo de decantação. Neste período, a ETA operava apenas com 2 flotadores, pois um estava em construção e o outro em manutenção. Portanto, o tratamento predominante na época era decantação.

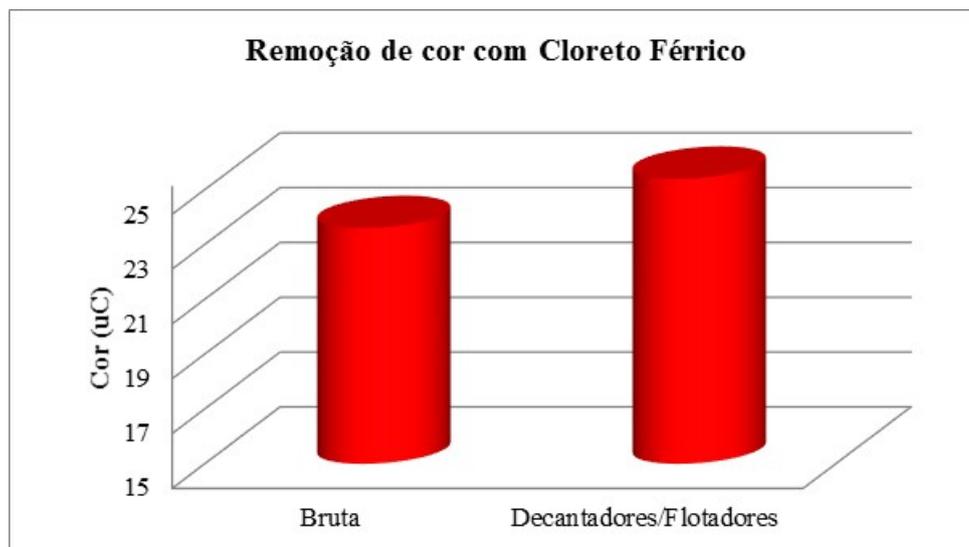


Figura 9 – Remoção de cor obtida com aplicação de Cloreto Férrico

A água decantada e a clarificada dos flotadores são recolhidas em um único canal, por isso a análise de cor é realizada da mistura dos dois tratamentos. Como este coagulante apresentou eficiência para o tratamento de flotação, conseqüentemente obteve-se uma água clarificada com menor qualidade, ocasionando acréscimo de cor na água clarificada/decantada.

Os gráficos a seguir demonstram o desempenho do coagulante Cloro Sulfato Férrico na estação.

Seguem os resultados médios de turbidez dos decantadores e flotadores.



Figura 10 – Remoção de turbidez obtida com aplicação de Cloro Sulfato Férrico

O Cloro Sulfato Férrico apresentou remoção de turbidez de 48,7% para o decantador e 19,9% para os flotadores. Verifica-se que sua eficiência de remoção é melhor para a decantação do que para a flotação.



Figura 11 – Remoção de cor obtida com aplicação de Cloro Sulfato Férrico

O Cloro Sulfato Férrico apresentou uma remoção de 34,2% de cor em relação à água bruta.

Nos gráficos abaixo, o desempenho do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) no tratamento.



Figura 12 – Remoção de turbidez obtida com aplicação de PAC

Verificou-se que o policloreto de alumínio (PAC) apresentou melhores resultados em relação aos outros coagulantes avaliados, tanto para turbidez como para cor. O PAC apresentou uma remoção de turbidez de 53,6% para os decantadores e 47,8% para os flotadores.

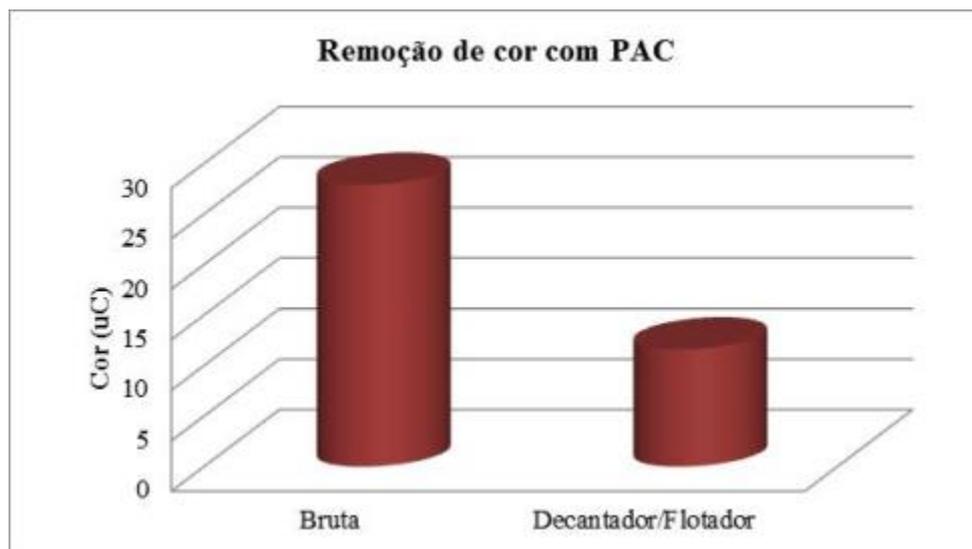


Figura 13 – Remoção de cor obtida com aplicação de PAC

O PAC apresentou uma eficiência de remoção de cor de 58,6% em relação à água bruta.

Também foram avaliados custos da modificação do processo de tratamento, considerou-se somente o coagulante e o alcalinizante. O cálculo foi realizado com base nos valores do ano de 2014. Abaixo as quantidades e valores médios, em Kg/mês e R\$/1000m³ dos produtos utilizados nos três tratamentos:

Tabela 4 – Custo do tratamento com Cloro Sulfato Férrico

Produto	Quantidade Kg/ mês	Custo R\$/ 1000m ³
Cloro Sulfato Férrico	484215,2	19,95
Cal	267169	11,64
Total		31,59

Tabela 5 – Custo do tratamento com PAC

Produto	Quantidade Kg/ mês	Custo R\$/ 1000m ³
PAC	418832,1	29,29
Cal	134047,6	5,54
Total		34,83

Tabela 6 – Custo do tratamento com Cloreto Férrico

Produto	Quantidade Kg/ mês	Custo R\$/ 1000m ³
Cloreto Férrico	560076,5	38,55
Cal	270767,5	12,00
Total		50,55

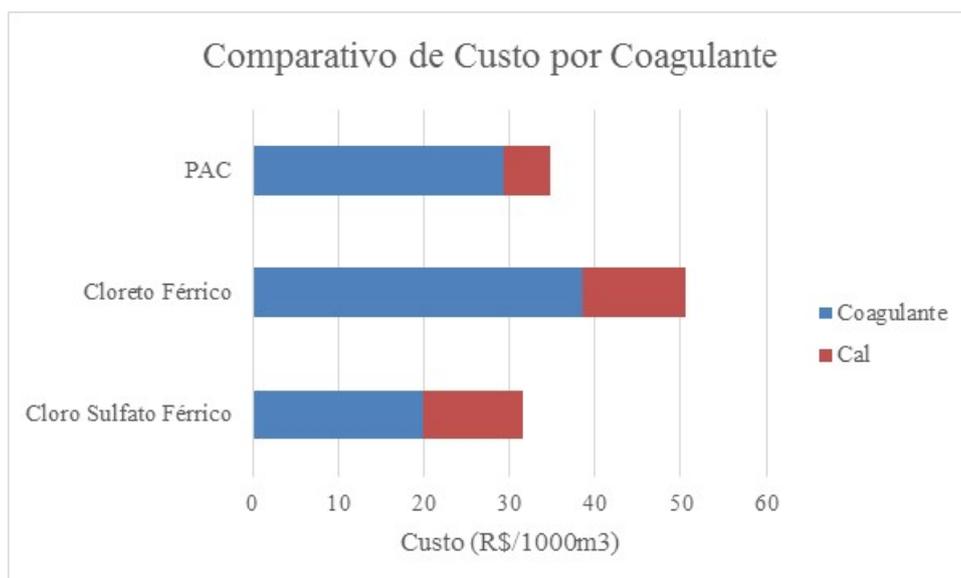


Figura 14 – Custo do tratamento com diferentes coagulantes

Verifica-se que o PAC apresenta um custo intermediário entre o Cloro Sulfato Férrico e o Cloreto Férrico, porém possui eficiência de remoção de cor e turbidez superior aos outros dois coagulantes testados em nosso processo de tratamento.

Outro benefício da utilização do PAC no processo, foi a redução da quantidade de lodo gerada. Essa redução pode ser verificada no gráfico abaixo:



Figura 15 – Quantidade de lodo gerado Sulfato Férrico x PAC

Através dos dados, verifica-se que o sulfato férrico e o cloreto produziam valores semelhantes de lodo. Porém com a utilização do PAC, houve uma redução de 38% da quantidade média mensal gerada pelo Cloro Sulfato férrico e 39% em relação ao Cloreto Férrico.

CONCLUSÃO

No início, a ETA Rio Grande operava apenas por decantação, utilizando o Cloreto Férrico como coagulante em pH alcalino. Com o início da transformação dos decantadores em flotores, verificou-se que este coagulante era mais eficiente nos decantadores do que nos flotores.

Através dos ensaios de jar test, determinou-se a condição de partida para substituição do Cloreto Férrico pelo Cloreto Sulfato Férrico em pH alcalino. Este coagulante melhorou a qualidade de água tratada produzida.

Iniciou-se os ensaios em laboratório com o Policloreto de Alumínio (PAC) em pH ácido, pois em pH alcalino há a solubilização de alumínio, que é um parâmetro controlado pela Portaria 2914/11. Os resultados dos ensaios foram satisfatórios, então iniciou-se sua aplicação no processo de tratamento da ETA.

Observa-se que apesar do custo do coagulante PAC ser mais elevado que os outros coagulantes, ele apresenta remoção de turbidez e cor superior com uma dosagem menor, reduzindo também significativamente o consumo de cal. Esta troca de coagulante no processo promoveu redução da quantidade de lodo gerado e melhora significativa da qualidade da água tratada pelo processo de flotação.

Como nosso sistema de tratamento é misto, a água coagulada deve atender os dois sistemas. Baseando-se em referências de estudos realizados, acredita-se que o sistema de flotação está operando com uma dosagem superior a necessária, o que pode ter ocasionado redução em sua eficiência de remoção de cor e turbidez. Porém, uma dosagem muito baixa prejudicaria o sistema de decantação. Portanto a dosagem ideal para ETA Rio Grande é uma dosagem intermediária que atenda os dois sistemas simultaneamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAMOVICH, B.; LURA, M. C.; CARRERA, E.; GILLI, M. I.; HAYE, M. A.; VAIRA, S. Acción de distintos coagulantes para la eliminación de *Cryptosporidium* spp, em el proceso de potabilización del agua. Revista Argentina de Microbiología, v. 36, 2004, p. 92-96.
2. ASSIS, R. S. S. Remoção de *Microcystis aeruginosa* e Microcistinas por flotação por ar dissolvido – Estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-085/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006. 119p.
3. BRASIL. Portaria nº2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
4. CAMPOS, S. X.; DI BERNARDO, L.; VIEIRA, E. M. Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 3, 2005, p. 194-199.
5. LACERDA, M. R. S. et al. A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido de águas de baixa turbidez e com presença de algas. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Rio de Janeiro, Brasil, 1997 pp. 1566-1575.
6. LIBÂNIO, M. et al. Avaliação do emprego do sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. 9p.
7. LOPES, F. M. F. Comparação da flotação por ar dissolvido e sedimentação no tratamento de águas – Estudo em escala de bancada utilizando policloreto de alumínio. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
8. METACALF & EDDY. Waster Engineering: Treatment, Reuse and Disposal. McGraw-Hill Book Co, Singapura, 2003. 1819p.
9. REALI, M. A. P. Clarificação por flotação de água bruta com com moderadamente elevada. Trabalho apresentado no 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Rio de Janeiro, Brasil, 1995.
10. REALI, M. A. P. & CAMPOS, J. Optimization of colour removal using a batch flotation test. Trabalho apresentado no Worldwide Symposium: Pollution in large cities, 1995.
11. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. DESA, Belo Horizonte, Brasil, 1996. 211p.