



ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DA ÁGUA BRUTA NA EFICIÊNCIA DO COAGULANTE QUÍMICO

ISSN 1809-3957

PAULO SÉRGIO SCALIZE¹; ABNER FIGUEIREDO NETO¹; FERNANDA POSCH RIOS²;
ANTONIO ALBUQUERQUE³

1 – UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - BRASIL; 2 – INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS - BRASIL; 3 – UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR-
COVILHÃ-PORTUGAL

Resumo - O estudo foi desenvolvido empregando ensaios em bancada por meio de Jarreste de modo a avaliar a eficiência de três coagulantes utilizados em estações de tratamento de água. Foram utilizadas amostras de água bruta, do manancial que abastece a Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara, localizada na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil. Os ensaios foram realizados em diferentes temperaturas, e aplicadas dosagens distintas de Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico e Sulfato Férrico. Foi estudada a variação do pH, a remoção da turbidez e da cor aparente. Os parâmetros avaliados sofreram interferência em relação à dosagem, aos tipos de coagulantes e à temperatura, o que comprova a necessidade de monitoramento da temperatura da água para adequação da dosagem desses compostos químicos em uma Estação de Tratamento de Água.

Palavras-chave: eficiência dos coagulantes; condições de coagulação; floculação; Jarreste.

Abstract - The study was conducted using bench tests using Jar in order to evaluate the efficacy of three coagulants used in water treatment plants. Samples of raw water from the spring that supplies the Water Treatment Station Jaime Camara, located in Goiânia, Goiás, Brazil. The tests were performed at different temperatures, and applied different doses of aluminum sulfate, ferric chloride and ferric sulphate. Was studied by pH, the removal of turbidity and apparent color. The parameters have been interfered with in relation to dosage, type of coagulant and temperature, which demonstrates the need for monitoring the water temperature for adequacy of dosage of these chemicals in a Water Treatment Plant.

Keywords: efficiency of the coagulants; conditions of coagulation; flocculation; jarrest.

I. INTRODUÇÃO

Na água bruta é possível encontrar impurezas como substâncias húmicas, partículas coloidais e microorganismos, que apresentam cargas elétricas em suas superfícies, impedindo a aproximação uma das outras. Para a remoção dessas substâncias podem ser utilizados processos de coagulação, floculação, sedimentação/flotação e filtração.

No processo de coagulação o fenômeno químico é inferido nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com cargas positivas. Já o fenômeno físico consiste no transporte das espécies

hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas presentes no líquido. Nesse processo utiliza-se de sais de alumínio ou de ferro, ou de polímeros sintéticos que alteram a força iônica do meio e sua eficiência depende da concentração do metal e do pH final da mistura. A coagulação é o resultado de quatro mecanismos distintos: (a) compressão da camada difusa; (b) adsorção e neutralização; (c) varredura; e (d) adsorção e formação de ponte. A neutralização das cargas negativas das partículas permite a atração entre as mesmas, promovendo sua aglomeração, formando partículas maiores as quais alcançam maior velocidade de sedimentação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

As condições de coagulação/floculação a serem empregadas em uma estação de tratamento de água (ETA) ou de efluentes industriais podem ser previstas em escala de laboratório utilizando-se equipamentos conhecidos como aparelhos de Jarreste, ou Teste de Jarros. Esse ensaio possibilita a determinação da eficiência dos processos de coagulação/floculação por meio de análise do comportamento das amostras. Permite a identificação da dosagem ótima do coagulante, do pH de floculação, do gradiente de velocidade, do tempo de mistura e da influência das adições de polieletrólitos.

A temperatura tem efeito significativo nos processos de coagulação floculação e sedimentação, o seu aumento provoca redução da viscosidade da água e majora a velocidade de formação de espécies hidrolisadas do metal presente no coagulante (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Neste estudo procurou-se identificar a influência da variação da temperatura na concentração do coagulante a ser dosado nos ensaios, o que pode gerar uma minimização de sua utilização e consequentemente da produção de lodo de ETA.

Sabe-se que a escolha do coagulante dependerá de uma criteriosa avaliação técnica e econômica. Se o processo de coagulação não ocorrer de forma adequada, as unidades de tratamento instaladas na sequência poderão ser comprometidas e a qualidade da água tratada será reduzida. Na definição do produto químico utilizado como coagulante é preciso identificar todos os fatores que causam interferência no processo de coagulação, como o pH, a dosagem ótima, melhores tempos e gradientes de velocidade de mistura rápida e lenta, sob pena de ocorrer a redução da eficiência da ETA.

Já se sabe que o simples aumento da dosagem de coagulante não é suficiente para melhorar o processo de

coagulação e, conseqüentemente, garantir água tratada de melhor qualidade. A sobredosagem de coagulantes pode conduzir à reversão da carga superficial das impurezas que se pretende remover da água, promover o fenômeno da reestabilização e comprometer a eficiência de uma ETA (HELLER; PÁDUA, 2006).

O estudo teve o objetivo de identificar a influência da variação da temperatura sobre a ação dos coagulantes Sulfato Férrico, Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio no processo de tratabilidade da água.

II. MATERIAS E MÉTODOS

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Os parâmetros analisados foram cor aparente, pH e turbidez. A amostra de água bruta foi proveniente do Ribeirão João Leite, coletada na ETA Jaime Câmara, localizada em Goiânia, capital do Estado de Goiás, a uma altitude de 749m. A captação está localizada a uma distância de 1.800 m da ETA, cuja produção abastece 55% da população goiana (região Centro-Sul), com uma vazão média mensal de 5.184.000 m³.mês⁻¹.

O equipamento de teste de jarros, utilizado na pesquisa, está mostrado na Figura 1, sendo do modelo 218 – Nova Ética, com seis jarros e medidas externas de 1.200(l) x 510 (p) x 540 (h). Cada jarro possui um volume útil de 2 L.

Para determinação do pH, turbidez e cor foram utilizados, respectivamente, um pHmetro pH Meter Tec-2 Tecnal, Turbidímetro Tecnopon modelo TB-1000 e Espectrofotômetro da Hach - modelo DR 890.

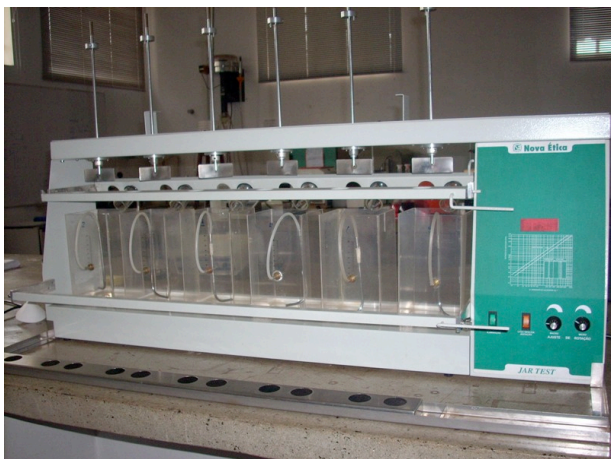


Figura 1 – Equipamento Jarteste para realização dos ensaios de tratabilidade da água em diferentes temperaturas e dosagens de coagulantes.

Procedimentos adotados:

Primeiramente foi realizada a caracterização da água bruta por meio da medição dos seguintes parâmetros: temperatura, turbidez, cor aparente e pH, utilizando os equipamentos específicos. É preciso ressaltar que optou-

se por não realizar correção de pH e da alcalinidade da água bruta, de modo a manter as condições de operação semelhantes ao que ocorre na ETA estudada.

Nessa pesquisa estabeleceu-se a variação das temperaturas da água bruta, que foi previamente aquecida ou resfriada obtendo as temperaturas de 16°, 18°, 20°, 22°, 24°, 26°, 28° e 30°C, com variação de ±0,5°C para o estudo de cada um dos três coagulantes escolhidos.

Para a obtenção da água em diferentes temperaturas foi utilizada uma incubadora de DBO sendo programada a temperatura desejada, dessa forma, toda a amostra foi mantida sob a mesma temperatura.

No estudo de cada coagulante foram realizados oito ensaios de jarros, um para cada temperatura, aplicando dosagens variadas dos coagulantes estudados, de acordo com o que está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dosagens aplicadas de cada coagulante.

	Sulfato Férrico	Cloreto Férrico	Sulfato de Alumínio
Dosagem aplicada (mg/L)	16, 18, 20, 22, 24 e 26	16, 18, 20, 22, 24 e 26	20, 22, 24, 26, 28 e 30

Particularidades dos ensaios de jarros

As porções da água bruta foram colocadas em cada um dos seis jarros, com capacidade individual para 2L e, em seguida mantida na incubadora de DBO para que atingisse a temperatura desejada.

Depois de ligar o equipamento de agitação, empregando um gradiente de velocidade médio de mistura rápida de 700s⁻¹(G_m), as concentrações previamente estabelecidas de cada coagulante estudado foram adicionadas simultaneamente às amostras de água. O tempo de mistura rápida foi de 1 minuto, sendo em seguida reduzido a um gradiente de velocidade médio de floculação de 40s⁻¹ (G_f), simulando a floculação com duração de 20 minutos.

Transcorrido o tempo de floculação (T_f) o aparelho era desligado e após 10 minutos de repouso as amostras de água decantada eram coletadas, estabelecendo uma velocidade de sedimentação de 0,7 cm.min⁻¹. Antes do início de cada coleta (2s antes), era descartado um pequeno volume de água, para evitar interferência nos resultados, devido à presença da água remanescente na mangueira de coleta. As amostras coletadas foram submetidas à determinação de cor, pH e turbidez.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 a 5 estão apresentados os resultados médios dos parâmetros de cor e turbidez encontrados em todas as temperaturas analisadas para cada coagulante.

Tabela 2 – Valores médios de cor e turbidez encontrados para cada coagulante estudado nas temperaturas 16 e 18°C

Coagulante	Dosagem (mg/L)	Temperaturas (°C)			
		16		18	
		turbidez (UNT)	Cor (PtCo)	turbidez (UNT)	Cor (PtCo)
Cloro férrico	16	2,5	61	2,0	51
	18	2,0	40	2,1	44
	20	2,5	47	2,5	36
	22	1,3	31	1,3	20
	24	1,5	33	2,1	31
	26	0,9	21	2,1	42
Sulfato de Alumínio	20	3,5	40	3,5	40
	22	3,5	25	3,1	34
	24	3,2	27	3,3	27
	26	2,7	17	2,1	13
	28	3,9	23	3,7	36
	30	5,1	27	3,5	32
Sulfato férrico	16	3,3	126	3,1	*
	18	3,1	123	2,7	*
	20	2,5	116	2,0	*
	22	1,5	97	1,6	*
	24	2,0	112	1,9	*
	26	2,1	107	2,0	*

* Os resultados foram descartados devido a problemas técnicos.

Tabela 3 – Valores médios de cor e turbidez encontrados para cada coagulante estudado nas temperaturas 20 e 22°C

Coagulante	Dosagem (mg/L)	Temperaturas (°C)			
		20		22	
		turbidez (UNT)	Cor (PtCo)	turbidez (UNT)	Cor (PtCo)
Cloro férrico	16	2,2	33	*	*
	18	2,0	34	*	*
	20	1,8	36	*	*
	22	1,1	29	*	*
	24	1,7	22	*	*
	26	1,9	14	*	*
Sulfato de Alumínio	20	2,8	36	2,9	30
	22	3,1	35	2,6	31
	24	3,0	33	2,8	29
	26	2,6	28	2,4	20
	28	2,9	42	3,3	33
	30	3,5	32	3,7	44
Sulfato férrico	16	3,1	133	2,8	113
	18	3,1	134	2,6	97
	20	2,4	101	2,3	90
	22	1,5	101	1,6	94
	24	1,8	104	2,2	105
	26	2,0	124	2,2	96

* Os resultados foram descartados devido a problemas técnicos.

Tabela 4 – Valores médios de cor e turbidez encontrados para cada coagulante estudado nas temperaturas 24 e 26°C

Coagulante	Dosagem (mg/L)	Temperaturas (°C)			
		24		26	
		turbidez (UNT)	Cor (PtCo)	turbidez (UNT)	Cor (PtCo)
Cloro férrico	16	2,0	46	1,7	39
	18	1,4	40	1,8	32
	20	0,8	19	2,0	32
	22	1,2	27	0,8	28
	24	1,3	30	1,1	24
	26	1,2	27	1,8	20
Sulfato de Alumínio	20	1,9	29	2,3	35
	22	3,2	38	2,0	35
	24	3,1	34	2,0	29
	26	1,8	18	1,5	21
	28	2,2	24	1,7	24
	30	2,6	38	1,9	25
Sulfato férrico	16	2,5	106	1,7	101
	18	2,1	104	2,3	102
	20	2,2	110	2,0	103
	22	1,5	93	1,5	83
	24	1,5	88	1,4	84
	26	1,5	90	1,6	83

* Os resultados foram descartados devido a problemas técnicos.

Tabela 5 – Valores médios de cor e turbidez encontrados para cada coagulante estudado nas temperaturas 28 e 30°C

Coagulante	Dosagem (mg/L)	Temperaturas (°C)			
		28		30	
		turbidez (UNT)	Cor (PtCo)	turbidez (UNT)	Cor (PtCo)
Cloro férrico	16	1,3	43	1,5	44
	18	1,2	51	1,4	30
	20	0,8	26	1,5	34
	22	0,7	26	*	22
	24	0,8	24	1,2	29
	26	0,8	6	1,1	21
Sulfato de Alumínio	20	2,3	22	2,0	24
	22	2,4	31	1,9	29
	24	2,2	29	1,9	22
	26	2,0	19	1,2	10
	28	2,3	38	1,7	14
	30	2,0	33	1,2	15
Sulfato férrico	16	2,9	110	2,9	118
	18	2,9	108	2,4	106
	20	2,0	101	2,0	99
	22	1,5	100	1,6	81
	24	1,1	86	1,6	92
	26	1,2	90	1,4	78

* Os resultados foram descartados devido a problemas técnicos.

Coagulante Sulfato de Alumínio

O coagulante sulfato de alumínio apresentou melhores resultados quando aplicado nas amostras de água com temperaturas mais altas. A Figura 2 indica uma tendência ao afunilamento, mostrando que este coagulante químico é mais apropriado para localidades onde a temperatura da água se apresenta elevada na maior parte do dia, pois em temperaturas baixas, a remoção de turbidez, foi menos eficiente.

Pode ser observado na Figura 2 que no ensaio utilizando dosagem de 26 mg.L⁻¹, a eficiência de remoção da turbidez foi de 59% com temperatura de 16°C, aumentado gradativamente à medida que a temperatura da água subia, alcançando a eficiência de remoção de 81% com temperatura de 30°C. Com relação ao parâmetro cor aparente, é possível verificar na Figura 3 que a eficácia deste coagulante químico praticamente não sofre alterações com a variação da temperatura da água bruta. Ao contrário do que ocorre com o gráfico relacionado com a turbidez, quando se trata de remoção de cor não há tendência à convergência.

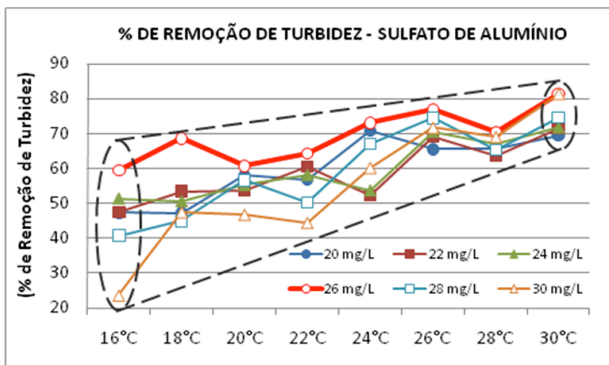


Figura 2 - Remoção de turbidez sob diferentes temperaturas da água bruta e dosagens de sulfato de alumínio

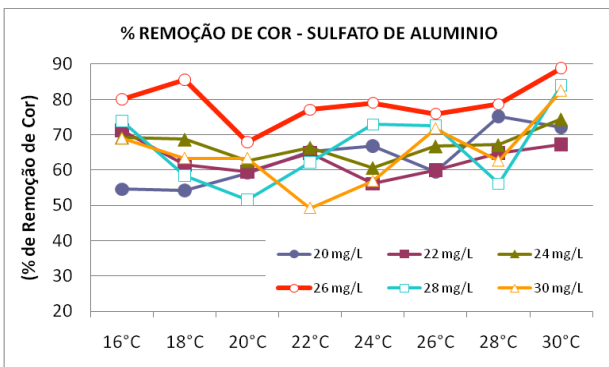


Figura 3 - Remoção de cor aparente sob diferentes temperaturas da água bruta e dosagens de sulfato de alumínio.

]

Na água, o parâmetro pH é influenciado pela temperatura. Em uma ETA a utilização de coagulantes, como os sais férricos, provoca a redução de pH. Nesse estudo, de todos os coagulantes aplicados, o sulfato de alumínio provocou menor alteração do pH da água tratada. Para este coagulante pôde-se perceber pequena redução do pH entre as temperaturas de 16°C a 22°C, independente das concentrações utilizadas notou-se essa

redução. Os valores encontrados para o parâmetro pH são apresentados na Figura 4.

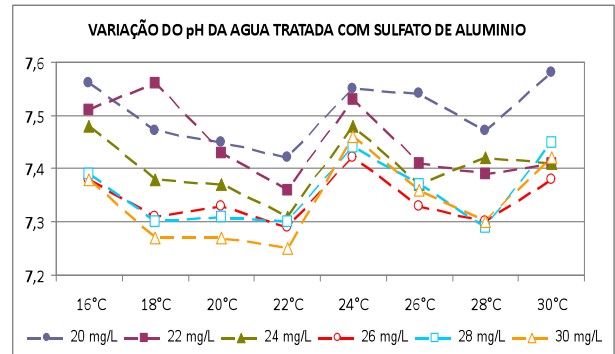


Figura 4 - Variação do pH da água tratada com sulfato de alumínio

Coagulante Cloreto Férrico

A maior remoção de turbidez com o uso do coagulante cloreto férrico não está diretamente relacionada com o aumento de sua dosagem. O menor valor obtido foi 0,7 UNT a uma temperatura de 28°C, com concentração de 22 mg.L⁻¹ que alcançou valores da ordem de 80%, se revelando a mais eficiente em todas as temperaturas empregadas.

Dessa forma, pode-se comprovar a importância da realização de ensaios de jarreste em vários horários do dia, em busca da melhor dosagem de coagulante. Neste estudo, quando a água bruta estava com a temperatura de 28 e 30°C, observou-se uma maior eficiência de remoção de turbidez. Isso indica que em uma ETA a adoção de uma mesma dosagem para todos os horários do dia, pode implicar em maior consumo de coagulante, não garantir melhoria da qualidade da água tratada e ainda provocar maior geração de lodo nas lavagens dos filtros. Caso o ensaio tivesse sido realizado somente em temperaturas menores, não seria notada essa diferença e o gráfico não apresentaria a tendência ao afunilamento, conforme mostrado na Figura 5.

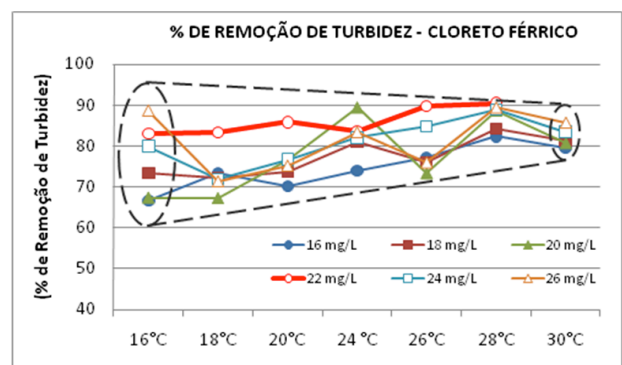


Figura 5 - Remoção de turbidez sob diferentes temperaturas da água bruta e dosagens de cloreto férrico.

Com relação às análises de cor aparente, entre os três coagulantes químicos testados, o menor valor conseguido foi 6,0 PtCo à temperatura de 28°C, com concentração de 26 mg.L⁻¹ do coagulante cloreto férrico, que se revelou também o mais eficiente para remoção de cor, não sendo influenciado pelo parâmetro temperatura, o que pode ser verificado nos gráficos apresentados na Figura 6. Para

todas as dosagens utilizadas deste coagulante e sob as temperaturas testadas, a remoção de cor aparente permaneceu praticamente constante.

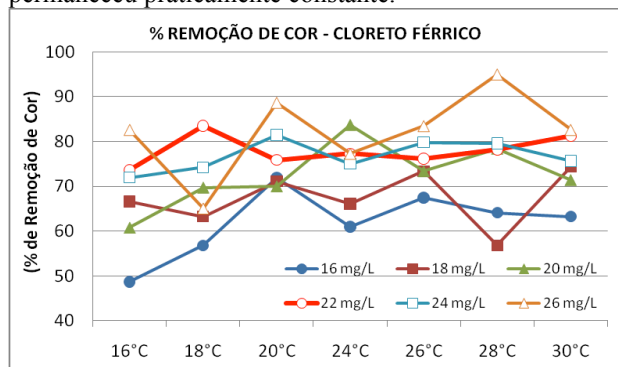


Figura 6 - Remoção de cor aparente sob diferentes temperaturas da água bruta e dosagens de cloreto férrico.

Coagulante Sulfato Férrico

Com a aplicação do sulfato férrico, foi possível perceber a influência da temperatura da água na sua eficiência. Pode ser observado na Figura 7 que para temperatura da água variando de 24 a 30°C, foram obtidos melhores resultados com dosagens de 24 a 26 mg.L⁻¹ e para temperaturas de 16 a 22°C os melhores resultados foram observados com dosagem de 22 mg.L⁻¹.

Para esse coagulante, caso fosse mantida uma dosagem de 22 mg.L⁻¹, os valores de turbidez estariam entre de 1,5 a 1,6 UNT, ou seja, pouca variação. Em uma ETA que utiliza esse coagulante químico a adoção de dosagem ótima a partir da realização de ensaios jarteste em horário com temperaturas mais elevadas implicaria em um maior consumo de coagulante e produção de água tratada com maior turbidez e menor qualidade. Os gráficos apresentados na Figura 8 mostram ainda, a baixa eficiência do coagulante sulfato férrico na remoção de cor aparente, atingindo o máximo de 57% à temperatura de 30°C com a maior dosagem utilizada.

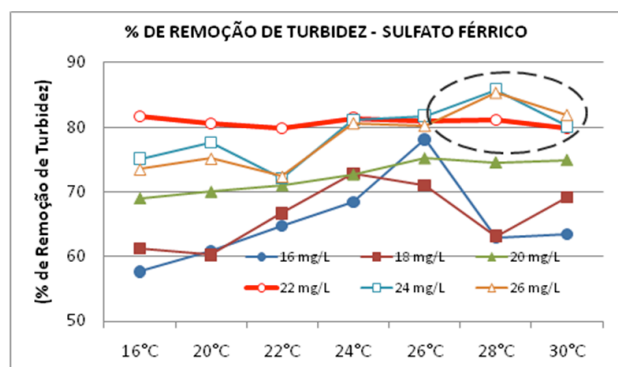


Figura 7 - Remoção de turbidez sob diferentes temperaturas da água bruta e dosagens de sulfato férrico.

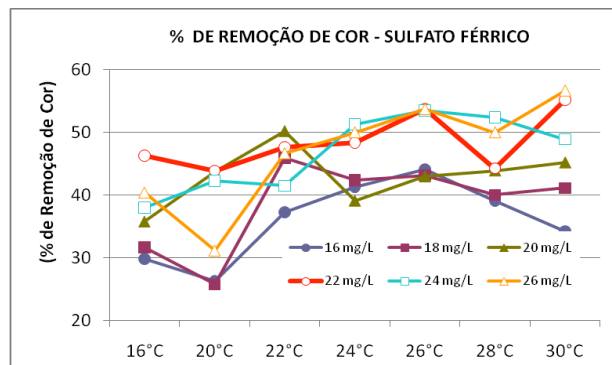


Figura 8 - Remoção de cor aparente sob diferentes temperaturas da água bruta e dosagens de sulfato férrico.

Avaliação dos custos

Visando avaliar o custo relativo ao consumo do coagulante foi elaborada a Tabela 6 com valores estimados do custo diário para cada coagulante aqui considerado. Para os cálculos utilizou-se como referência a vazão média da ETA. O custo de cada coagulante também foi baseado no valor comercialmente praticado pela ETA.

Tabela 6 – Custo de consumo diário de coagulante.

Coagulante Químico	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Quantidade consumida (kg/dia)	Custo diário (R\$/dia)
Cloreto Férrico	16	2765	1.880,06
	18	3110	2.115,07
	20	3456	2.350,08
	22	3802	2.585,09
	24	4147	2.820,10
	26	4493	3.055,10
Sulfato de Alumínio	20	3456	1.757,55
	22	3802	1.933,30
	24	4147	2.109,06
	26	4493	2.284,81
	28	4838	2.460,57
	30	5184	2.636,32
Sulfato Férrico	16	2765	1.645,06
	18	3110	1.850,69
	20	3456	2.056,32
	22	3802	2.261,95
	24	4147	2.467,58
	26	4493	2.673,22

IV. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu concluir que:

- a temperatura é um parâmetro que influenciou, de forma diferente, na eficiência de cada coagulante testado, ou seja, a temperatura da água promove comportamentos distintos em sua tratabilidade em função do coagulante utilizado. Dessa forma, a temperatura pode influenciar diferentemente na qualidade da água obtida para cada coagulante;
- é de fundamental importância o monitoramento da temperatura para adequação da dosagem do coagulante durante o processo de tratamento de água;
- em locais onde se utiliza o coagulante sulfato férrico e ocorre grande variação de temperatura da água durante o dia, caso não haja controle desse parâmetro, pode ocorrer um tratamento inadequado, com maior consumo de coagulante e maior geração de resíduo.

- a eficiência do coagulante sulfato de alumínio aumenta com o aumento da temperatura da água. Podendo ser testado em localidades onde a temperatura da água se apresenta mais elevada na maior parte do dia.

- em locais onde há variação de temperatura entre o dia e noite, podem estar ocorrendo um maior consumo de coagulante e obtenção de água de pior qualidade. Assim, a realização de ensaios Jar-teste *in loco*, durante a noite, quando ocorrem temperaturas menores, pode contribuir para a adequação da dosagem de coagulante e gerar água decantada de melhor qualidade refletindo em uma maior duração da carreira de filtração.

- em ETAs que apresentam automação na dosagem do coagulante, e que utilizam apenas a correlação dos parâmetros cor e turbidez para determinar a dosagem ótima, deve-se levar em consideração também a temperatura. Dessa forma pode gerar uma redução do consumo de coagulante e minimização da produção de resíduos no decantador e nas lavagens dos filtros.

- a melhor eficiência obtida foi com a utilização do cloreto férrico independentemente da temperatura.

V. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Universidade Federal de Goiás.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANDRADE, C. O.; GALVÃO; M. V.; MELO, H. N. S.; MELO; J. L. S.; RODRIGUES, J. I. C. Desinfecção de efluente de filtros anaeróbios: pesquisa em “jar-test” e em tanque de contato. **Anais...** Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancun, México, p. 01-08, out., 2002.

[2] BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades João Pessoa.** Universidade Federal da Paraíba. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA CURSO DE MESTRADO Sub-Programa UFPB/UEPB/Área de Saneamento Ambiental julho de 2001.

[3] DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** Rima, Ed. 2, v. 1. São Carlos, SP, 2005.

[4] HELLER, L.; PÁDUA, V.L. (organizadores) **Abastecimento de água para consumo humano.** Editora UFMG, Ed. 1, Belo Horizonte MG, 2006.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.