

I-255 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO COMBINADO DO PAC 8% Al_2O_3 E DO PAC 10% Al_2O_3 COM POLÍMEROS CATIÔNICOS COMO UMA OPÇÃO DE TRATAMENTO VISANDO A MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA A POPULAÇÃO E REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS

Maria Lucia C. de Melo Gomar⁽¹⁾

Química Industrial pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Especialista em Ciências e Tecnologia Nuclear pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Analista de Saneamento na Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) e Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP).

Savio André Fonseca Santos

Técnico em Saneamento pela Escola Técnica de Pernambuco (CEFET), graduando do curso de Engenharia Ambiental pela Faculdade Maurício de Nassau.

Endereço⁽¹⁾: Praça Dois Irmãos, 1012 – Dois Irmãos - Recife - PE - CEP: 52071 – 140 -Brasil - Tel: +55 (81) 31815009 - Fax: +55 (81) 31815001 - e-mail: luciagomar@compesa.com.br.

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência do uso associado de dois tipos de hidroxiclreto de alumínio (PAC - 8% e PAC -10%) com polímeros catiônicos como uma opção de tratamento que possibilitasse tanto o aumento da eficiência na remoção de particulados e da matéria orgânica natural, como também, proporcionasse a redução das concentrações dos metais alumínio, ferro e manganês na água tratada aliando a isso, a diminuição dos custos operacionais com coagulantes.

O trabalho foi realizado em duas etapas, sendo a primeira delas um estudo em escala de bancada utilizando reatores estáticos para os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, onde foram testados 3 tipos de polímeros catiônicos e 2 tipos de coagulantes: o PAC – 8% Al_2O_3 e PAC – 10% Al_2O_3 , em uso isolado ou em associação com esses polímeros e sem fazer correção de pH. A segunda etapa constou da aplicação em planta das combinações que proporcionaram os melhores resultados em bancada.

Os resultados obtidos indicaram que o uso associado hidroxiclreto de alumínio com polímeros catiônicos podem constituir uma alternativa de tratamento que possibilita tanto a melhoria da qualidade da água distribuída como também, reduções significativas nos custos operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação, Floculação, Polímeros catiônicos, PAC, Redução de custos.

INTRODUÇÃO

As exigências cada vez mais restritivas com relação à qualidade da água produzida, como também dos efluentes tratados incorporada à crescente preocupação com a redução de impactos ambientais tem feito com que as etapas de coagulação/floculação mereçam atenção especial tanto por parte dos fabricantes de produtos químicos como pelas companhias de saneamento, no sentido de promover inovações tecnológicas e /ou intervenções nos processos de tratamento que possibilitem aplicações cada vez menores de coagulantes e coadjuvantes, melhoria da qualidade da água distribuída e produção de quantidades menores de resíduos.

Segundo Di Bernardo (2000) e Di Bernardo (2005) polímeros naturais ou sintéticos quando utilizados em conjunto com coagulantes inorgânicos podem, além de permitir a redução da dosagem aplicada desses coagulantes, possibilitar menores concentrações de alumínio residual na água tratada, aumentar a eficiência de desinfecção, como consequência da redução de sólidos suspensos na água filtrada, reduzir os problemas oriundos da sobrecarga de decantadores e filtros e possibilitar a adoção de taxas de escoamento superficial maiores que aquelas permitidas quando do uso apenas do coagulante. Mendes (1989) e Macedo (2001) citam que o uso de polímeros como auxiliares de floculação melhora a qualidade da água decantada e filtrada e aumenta o período médio entre as lavagens consecutivas dos filtros, reduzindo, portanto, a perda de água como também, acarretando na redução do volume de lodo.

O hidroxicloreto de alumínio é um sal de alumínio pré - polimerizado de fórmula bruta $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$, na qual a relação $m/3n \times 100$ representa a basicidade do produto. Pavanelli (2001) relata que em função da sua basicidade, durante a hidrólise libera, em igualdade de dosagem de íons metálicos, uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que o cloreto de alumínio e os coagulantes tradicionais como o sulfato de alumínio e cloreto férrico. Isso provoca uma menor variação do pH do meio tratado e menor consumo de neutralizante para reconduzir o pH ao seu valor original. Esse mesmo pesquisador ainda cita que devido ao seu estado pré-polimerizado e a característica de sua estrutura molecular estrutura condensada com pontes de hidrogênio entre os átomos de alumínio, esse coagulante apresenta outras vantagens na floculação em relação aos demais coagulantes inorgânicos não pré-polimerizados, principalmente pela maior concentração de elemento ativo (Al_2O_3).

Lima (2007) afirma que coagulantes pré-hidrolisados como hidroxicloreto de alumínio (PAC) permitem quando comparados aos coagulantes tradicionais o uso de dosagens mais baixas na coagulação, principalmente quando a matéria orgânica natural não determina a dosagem de coagulação, que os flocos tendem a ser fortes e densos e o seu desempenho é menos dependente da temperatura em comparação com Al (III) e o Fe (III).

A eficácia desse coagulante para a eliminação de substâncias coloidais, em média, é 2,5 vezes superior em igualdade de dosagem ao íon Al^{3+} a dos outros sais de alumínio habitualmente utilizados. Pavanelli (2001) e Srivastava et al (2005).

ZHANG *et al.* (2008) afirmaram que o hidroxicloreto de alumínio apresentou uma maior eficiência de remoção do ácido húmico quando comparado com o cloreto de alumínio devido a sua maior capacidade de neutralização das cargas do ácido húmico em uma maior faixa de pH. Também foi observado que este coagulante proporcionou uma menor concentração residual de alumínio.

Esses coagulantes não são tóxicos, produzem menor quantidade de lodo, além de lodos com menor quantidade de metais. Kawamura (2001).

Tendo em vista a potencialidade dessas aplicações, foi realizado este trabalho com o objetivo de avaliar a eficiência do uso em conjunto de dois tipos do PAC -8% Al_2O_3 e PAC -10% Al_2O_3 com polímeros catiônicos como uma opção de tratamento que combinasse redução de custos com a melhoria na qualidade da água distribuída.

DESCRIÇÃO DA ETA CASTELO BRANCO

A ETA Castelo Branco é do tipo convencional que opera com uma vazão aduzida de 3700l/s. A unidade de mistura rápida é uma calha Pashall de garganta 3,05 m e daí, a água é distribuída através de canalizações distintas para duas etapas com concepções diferentes de tratamento. A 1ª Etapa possui 4 floculadores mecânicos de eixo vertical, sendo cada um deles constituído por 4 câmaras, 4 decantadores convencionais e 8 filtros rápidos à gravidade. Já a 2ª Etapa apresenta 4 floculadores mecânicos de eixo vertical, compostos de 3 câmaras cada um, 4 unidades de decantação de alta taxa e 8 (oito) filtros rápidos à gravidade. O coagulante utilizado nessa ETA é o sulfato de alumínio líquido.

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA

A ETA Castelo Branco recebe água dos seguintes mananciais: Barragem Duas Unas, Barragem Tapacurá, Barragem Várzea do Una e Rio Capibaribe. Durante a realização desse trabalho as variações dos percentuais de participação desses mananciais na composição da água bruta que chega a ETA, aliado ao período de chuvas intensas, nos permitiram avaliar os coagulantes e coadjuvantes do estudo em quatro situações distintas, isto é, durante o desenvolvimento do trabalho trabalhamos com quatro tipos de águas, sendo que os dois primeiros tipos quando da realização dos testes em bancada. Portanto, os resultados obtidos com as águas do Tipo I e Tipo II são para a condição de bancada. E os dois últimos (Tipo III e IV) durante a aplicação dos produtos em planta e os resultados obtidos são referentes ao período da aplicação.

As principais características físico-químicas dos quatro tipos de água são mostradas na tabela 1.

Tabela 1: Características das águas de estudo

Parâmetros	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV
Cor (uC)	60	100	550	726
Turbidez (uT)	4,5	17	158	310
pH	7,4	7,3	7,2	7,2
Alcalinidade (mg/l)	64,2	59,4	32,5	30,6
Ferro (mg/l)	0,6	0,7	-	-
Manganês (mg/l)	< 0,3	< 0,3	-	-

MATERIAIS E MÉTODOS

Procedimento experimental

A partir dos objetivos e do referencial teórico que dar sustentação a este estudo, apresentam-se a seguir alguns aspectos metodológicos. Trata-se de uma pesquisa quantitativa, conduzida segundo o modelo descritivo para a identificação e avaliação da eficiência de uso associado de dois tipos de coagulantes pré - polimerizados em uso associado com polímeros catiônicos. Após o levantamento do histórico de cor e turbidez da ETA dos 3 últimos anos a partir dos formulários de análise físico-química da própria ETA. Teve início a primeira etapa do trabalho que foi dividida em 4 séries como mostrado na **Tabela 2**. Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados com um jar test constituído de seis reatores estáticos de 2,0 litros, equipado com um agitador para cada reator e de um dispositivo para coleta simultânea do sobrenadante a 7,0 cm de profundidade no tempo de sedimentação fixado em 7min. Os parâmetros operacionais de cada série da investigação experimental estão mostrados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Resumo das séries de ensaios realizados na 1ª Etapa do trabalho

Séries	CARACTERÍSTICAS
Determinação dos pares menor dosagem do coagulante x pH de aplicação para os coagulantes avaliados.	$T_{mr}=10s$; $G_{mr}=1000s^{-1}$, $T_f=40min$; $G_f=30s^{-1}$, $15s^{-1}$; $V_s=1,0cm/min$
Escolha do polímero catiônico.	$T_{mr}=10s$; $G_{mr}=1000s^{-1}$, $T_p=11s$; $G_p=30s^{-1}$, $T_f=40min$; $G_f=30s^{-1}$, $15s^{-1}$; $V_s=1,0cm/min$
Otimização da dosagem do polímero catiônico com gradiente de velocidade escalonado	$T_{mr}=10s$; $G_{mr}=1000s^{-1}$, $T_p=11s$; $G_p=30s^{-1}$, $T_f=40min$; $G_f=30s^{-1}$, $15s^{-1}$; $V_s=1,0cm/min$
Otimização do tempo de aplicação do polímero com o gradiente de velocidade escalonado.	$T_{mr}=10s$; $G_{mr}=1000s^{-1}$, $T_p=0,10,20min$ após a mistura rápida; $G_p=30s^{-1}$, $T_f=40min$; $G_f=30s^{-1}$, $15s^{-1}$; $V_s=1,0cm/min$

As soluções dos coagulantes e polímeros catiônicos foram preparadas em concentração 2% (massa/volume) e 0,002% respectivamente. Nos ensaios com polímeros as dosagens variaram de 0,02 mg/l até 0,20 mg/l. Os ensaios para a determinação da cor aparente, turbidez, alcalinidade e pH, foram realizados no laboratório da

ETA. A avaliação da redução da concentração de metais na água decantada foi realizado a partir de amostras coletadas no laboratório central da Gerência de controle de qualidade da Compesa, por espectrofotometria.

Produtos químicos utilizados

Sulfato de alumínio líquido: Líquido amarelado, solução a 50% concentração massa/volume, densidade $1,32\text{g/cm}^3$ e teor de Al_2O_3 de 7%. Fornecedor: BAUMINAS

PAC – 8: Líquido amarelado, densidade igual a $1,35\text{g/cm}^3$ e teor de Al_2O_3 de 8%. Fornecedor: PRODUQUÍMICA.

PAC SBP: Líquido amarelado, densidade igual a $1,20\text{g/cm}^3$ e teor de Al_2O_3 de 10% com adição de barrilha. Fornecedor: PRODUQUÍMICA.

Acquafloc AF 2009 : polímero orgânico, catiônico, biodegradável, de baixo peso molecular, de origem vegetal produzido a partir de extratos da casca da acácia negra. Fornecedor: TRILIMP

Hidrofloc OC 502 – E – co-polímero catiônico, líquido alaranjado, solúvel em água, constituído de uma mistura de compostos vegetais tendo o extrato de quiabo como base e acrilatos. Fornecedor: HIDRONORPE

Aquapol 200 (FQ 4350): polímero sintético catiônico, sólido branco, constituído de acrilatos. Fornecedor: PRODUQUÍMICA.

Foram utilizados os seguintes equipamentos: pHmetro QUIMIS, turbidímetro HACH AP 2100, colorímetro POLICRONTROL e espectrofotômetro VARIAN 220FS. Nos ensaios para determinação da alcalinidade empregou-se o método titulométrico.

RESULTADOS

Escolha do polímero catiônico

Foram realizados 2 ensaios para escolha do tipo de polímero catiônico. A adição do polímero foi arbitrada para o início da floculação e a dosagem adotada foi de $0,2\text{ mg/l}$. Como coagulante foi utilizado o sulfato de alumínio líquido com dosagem de 40mg/l (aplicada na ETA). Na **Figura 1** os valores indicados para as eficiências de remoção de turbidez e cor aparente são a média dos valores obtidos nesses ensaios. Em ambos os ensaios o Aquapol 200 apresentou maior eficiência de da cor aparente e da turbidez.

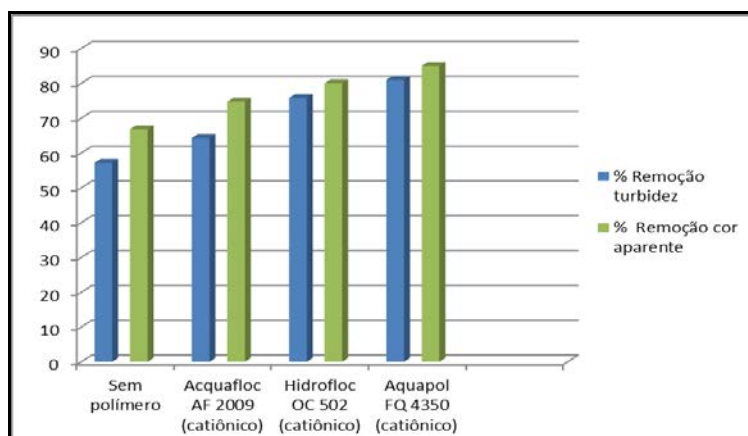


Figura 1 – Eficiência de remoção de turbidez e cor aparente para os 3 tipos de polímeros catiônicos.

Características da água bruta: Cor: $62,5\text{ uC}$, Turbidez: $5,04\text{ uT}$, pH: $7,5$ e Alcalinidade: $59,4\text{mg/l}$.

Otimização da dosagem de polímero catiônico

Nessa série de ensaios foram fixados os seguintes parâmetros: dosagem do coagulante, tempo de mistura rápida, gradiente de mistura rápida, tempo de floculação, gradientes de floculação e velocidade de sedimentação. A dosagem de polímero variou de $0,02$ a $0,20\text{ mg/l}$. Nas Tabelas 3,4,5 e 6 são mostradas as combinações de dosagem do coagulante, dosagem do polímero e pH que permitiram as maiores eficiências de remoção para os parâmetros cor aparente e turbidez para cada um quatro tipos de água.

Nas quatro situações o PAC-10 apresentou as maiores eficiências de remoção com relação aos parâmetros avaliados.

Durante a aplicação em planta do sulfato de alumínio associado ao polímero e dos dois tipos de PAC também em associação com o polímero catiônico foi observado tanto o aumento da remoção para os parâmetros cor aparente e turbidez como também nivelamento com relação à remoção desses parâmetros como mostrado na **Figura 2**.

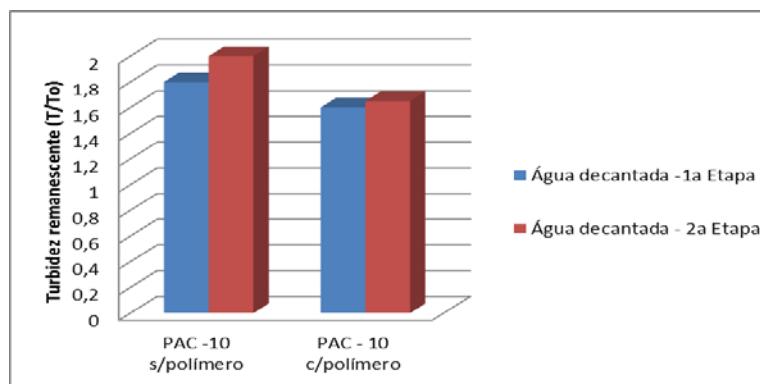


Figura 2: Comparação da turbidez remanescente para as duas etapas da ETA Castelo Branco com e sem a aplicação do polímero Catiônico – Tipo III

Tabela 3 – Água Tipo I – Melhores dosagens dos coagulantes e do polímero para o pH =7,4

Coagulante	Dosagem do Coagulante (mg/l)	pH	Dosagem do polímero (mg/l)	Água decantada (T/T ₀) %
Sulfato de alumínio líquido	74,8	7,4	0,2	27,78
PAC – 8	24,8	7,4	0,15	24,22
PAC – 10	22,4	7,4	0,1	21,77

Tabela 4 – Água Tipo II – Melhores dosagens dos coagulantes e do polímero para o pH =7,3

Coagulante	Dosagem de Coagulante (mg/l)	pH	Dosagem de polímero (mg/l)	Água decantada (T/T ₀) %
Sulfato de Alumínio líquido	104	7,3	0,2	11,76
PAC – 8	34	7,3	0,15	8,35
PAC – 10	31	7,3	0,1	6,47

Tabela 5 – Água Tipo III – Melhores dosagens dos coagulantes e do polímero para o pH =7,2

Coagulante	Dosagem de Coagulante (mg/l)	pH	Dosagem de polímero (mg/l)	Água decantada (T/T ₀)%
Sulfato de Alumínio líquido	128	7,2	0,1	2,75
PAC – 8	109	7,2	0,1	2,23
PAC – 10	97	7,2	0,1	1,6

Tabela 6 – Água Tipo I – Melhores dosagens dos coagulantes e do polímero para o pH =7,3

Coagulante	Dosagem de Coagulante (mg/l)	pH	Dosagem de polímero (mg/l)	Água decantada (T/T ₀)%
Sulfato de Alumínio líquido	138	7,3	0,05	1,16
PAC – 10	107	7,3	0,05	0,93

Avaliação da eficiência de remoção da cor e da turbidez em função do ponto de aplicação do polímero

Para Di Bernardo (2000) a eficiência dos polímeros como agentes de floculação é afetada por vários fatores tais como: gradientes de velocidade, tamanho e distribuição de tamanho das partículas e tamanho da cadeia polimérica. Simulamos a aplicação do polímero em 4 pontos como mostrado a seguir:

Ponto 1 - Após a mistura rápida.

Ponto 2 – Início do 1^o gradiente de floculação.

Ponto 3 - 10min após a mistura rápida.

Ponto 4 – Início do 2^o gradiente de floculação (20min após a mistura rápida).

O polímero catiônico sintético apresentou maior eficiência para remoção de cor aparente e turbidez nos 4 pontos avaliados. A **Figura 4** mostra a variação do percentual de remoção da turbidez em função do ponto de aplicação.

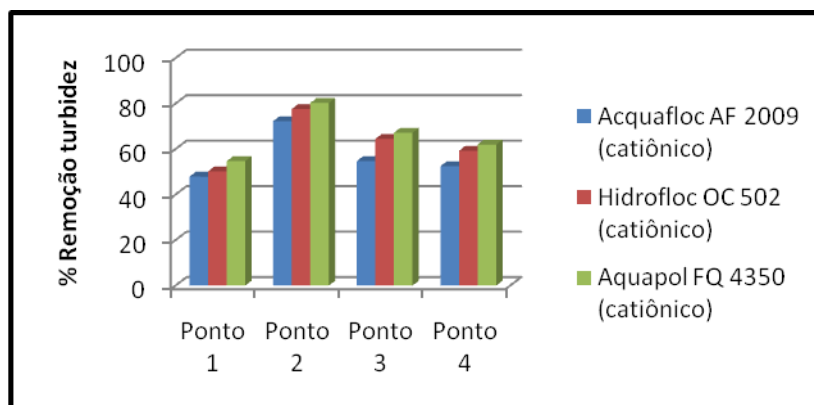


Figura 2 – Eficiência de remoção de turbidez em função do ponto de aplicação para os 3 tipos de polímeros catiônicos.

Características da água bruta: Cor: 55 uC, Turbidez: 4,42,04 uT, pH: 7,5 e Alcalinidade: 49,4 mg/l

METAIS

Estudos preliminares com a água do tipo I indicaram reduções significativas nas concentrações de alumínio na água decantada, como mostrado na Figura 3. O coagulante que apresentou maior eficiência de remoção foi o PAC-10. Com a adição dos polímeros catiônicos as reduções obtidas foram ainda maiores sendo que o polímero catiônico a base de quiabo OC 402 foi o mais eficiente. Para os metais ferro e manganês os resultados obtidos nos 5 ensaios realizados foram: Ferro: < 0,3 mg/l e Mn < 0,1 mg/l. A redução da concentração de metais será objeto de novos estudos.

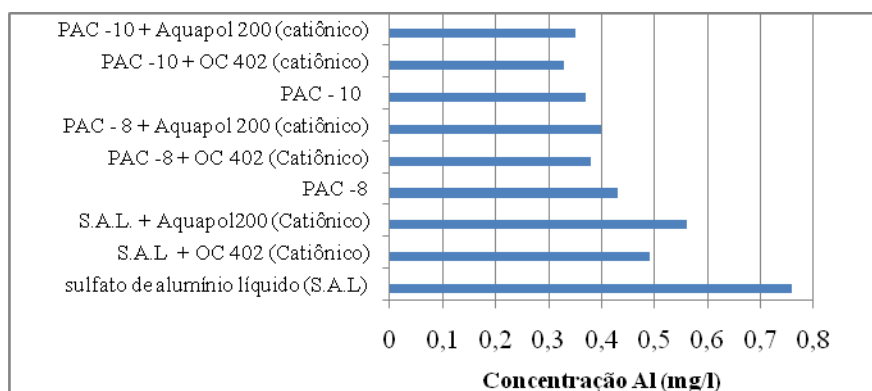


Figura 3: Comparação da redução da concentração de alumínio para os tipos de coagulantes e floculantes.

CUSTOS

Os custos dos coagulantes e polímeros informados na tabela 2 foram fornecidos pelo Centro de Distribuição da Companhia Pernambucana de Saneamento – Compesa, com exceção do PAC – 10 que foi fornecido pelo representante da PRODUQUÍMICA.

Tabela 7: Custos dos coagulantes e do polímero catiônico

Produto (Posto em Recife-PE)	Preço por tonelada Mês ref. Maio/2011	
	Reais (R\$)	Dólar (U\$)*
Sulfato de alumínio líquido	470,00	291,38
PAC - 8	478,00	296,34
PAC - 10	600,00	371,98
Aquapol 200	8900,00	5.517,67

*Dólar comercial = U\$1,613

A análise de redução de custos foi feita a partir dos resultados obtidos em planta e sintetizada nas Tabelas abaixo. A opção de tratamento que resultou nos menores custos para os quatro tipos de água analisadas foi PAC – 8 + polímero catiônico.

Tabela 8: Comparação de custos para a água do tipo I

Coagulante	pH	Dosagem coagulante (mg/l)	Dosagem polímero (mg/l)	Custo total (1000m ³)	
				Reais (R\$)	Dólar (U\$)
Sulfato de alumínio líquido	7,5	74,8	0,20	37,12	23,01
PAC - 8	7,4	24,8	0,15	13,18	8,17
PAC - 10	7,4	22,4	0,10	14,42	8,90

Tabela 9: Comparação de custos para a água do tipo II

Coagulante	pH	Dosagem coagulante (mg/l)	Dosagem polímero (mg/l)	Custo total (1000m ³)	
				Reais (R\$)	Dólar (U\$)
Sulfato de alumínio líquido	7,3	104	0,20	50,66	30,42
PAC - 8	7,3	34	0,15	17,58	10,90
PAC - 10	7,3	31	0,10	19,49	12,08

Tabela 10: Comparação de custos para água do tipo III

Coagulante	pH	Dosagem coagulante (mg/l)	Dosagem polímero (mg/l)	Custo total (1000m ³)	
				Reais (R\$)	Dólar (U\$)
Sulfato de alumínio líquido	7,5	128	0,1	61,05	37,85
PAC - 8	7,4	109	0,1	52,99	32,85
PAC - 10	7,4	97	0,1	59,09	36,63

Tabela 11: Comparação de custos para água do tipo IV

Coagulante	pH	Dosagem coagulante (mg/l)	Dosagem polímero (mg/l)	Custo total (1000m ³)	
				Reais (R\$)	Dólar (U\$)
Sulfato de alumínio líquido	7,2	143	0,05	67,65	41,49
PAC - 10	7,2	107	0,05	64,64	40,07

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para as condições do estudo, o PAC-10 proporcionou melhores resultados para os seguintes parâmetros: remoção da cor aparente, da turbidez e em relação à redução da dosagem aplicada. Entretanto, na avaliação da viabilidade financeira, o coagulante o PAC – 8 proporcionou a maior redução de custos com percentuais de remoção para os parâmetros avaliados ligeiramente menores que os encontrados para o PAC –10.

O uso de polímeros associado aos coagulantes avaliados permitiu a redução da dosagem desses coagulantes. Como também, possibilitou o nivelamento das eficiências de decantação das duas etapas da ETA Castelo Branco e a melhoria da qualidade da água distribuída.

Entretanto, o emprego de polímeros sintéticos catiônicos deve ser feito de forma criteriosa devido ao potencial de toxicidade incorporado a eles. Portanto, sua substituição por polímeros naturais já objeto de muitas investigações e pesquisas deve ser estimulado levando-se em conta os aspectos saúde pública e economia de custos visto que os processos para a fabricação desses produtos é bem menos complexa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KAVAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. American Water Works Association. v 83, n.10, p.88-91,1991).
2. LIMA, G.J de A. Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto. Dissertação de mestrado-da Faculdade de Engenharia - Universidade do Rio de Janeiro, 2007.
3. DI BERNARDO, A.S. Influência do tempo de aplicação de polímeros na eficiência da floculação/sedimentação. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.
4. DI BERNARDO, L, DI BERNARDO, A.S (2005). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. v.1., 1. Rima Editora, 2005.
5. MACÊDO, J. A. B. Águas e águas. Editora varela, São Paulo, 2001.
6. MENDES, C. G. N. Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. São Carlos. V. 2. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1989.
7. PAVANELLI, Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação de mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2001.
8. SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D; MISHRA, I. M. (2005). Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium chloride and bagasse fly ash. Colloids and Surfaces 260, 0. 17-28.
9. ZHANG, P., WU, Z., ZHANG, G., ZENG, G., ZHANG, H., LI, J., SONG, X., DONG, J.,2008, "Coagulation characteristics of poly aluminum chlorides PAC-Al30 on humic acid removal from water" , *Separation and Purification Technology* , v.63, pp.642-647.