

Preparação de solução de policloreto de alumínio em planta: estudo comparativo em Jar-Test

Marta Eliane Doumer⁽¹⁾

Doutora em Química Inorgânica, Mestre em Ciência do Solo, Especialista em Engenharia e Saneamento Ambiental e Graduada em Química Ambiental.

Beatriz I. Montag⁽¹⁾

Graduada em Biomedicina

Felipe Mendes de Castro⁽¹⁾

Especialista em Gestão Ambiental e Graduado em Química.

Joanna Ferreira Godinho⁽¹⁾

Mestra em Engenharia Química, Especialista em Engenharia e Saneamento Ambiental e Graduada em Química Industrial.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Marginal Lesta, 3350 – Estados – Balneário Camboriú - SC - CEP: 20000-000 - Brasil - Tel: +55 (47) 3261-0000- e-mail: marta.d@emasa.com.br.

RESUMO

Sem dúvida o coagulante é um dos produtos químicos indispensáveis numa Estação de Tratamento de Água (ETA), sendo o mais utilizado o policloreto de alumínio (PAC). Esse é um produto químico inorgânico polimerizado e catiônico de baixo peso molecular e pré-polimerizado, que na forma líquida tem aparência viscosa. O PAC tem como fórmula geral $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$ (para $0 < m < 3n$) e a basicidade em base percentual é de 10 a 83%. No presente trabalho foi estudado o uso desse coagulante no estado sólido, objetivando-se a preparação *in situ* do coagulante. Tal medida se justifica pela redução de perdas com resíduos de material nos tanques de dosagem, os quais levam a custos indesejados com destinação final e perda de material ativo. O PAC comercializado em forma de pó, é adquirido em sacos de 20 a 30 kg com teor de óxido de alumínio entre 5 e 33% m/m com massa específica de $0,9 \text{ g/cm}^3$. Foram realizados testes comparativos entre os PAC sólido (S) e líquido (L) em escala de bancada com Jar-Test com velocidades de sedimentação de 1,5 e 3,0 cm/min.. Nos primeiros ensaios foram avaliados separadamente os dois produtos comerciais, mantendo-se o pH natural da água bruta (6,89). De acordo com os resultados, os coagulantes PAC-L e PAC-S se equiparam em termos de remoção de turbidez para a velocidade de sedimentação 3,0 cm/min. O que não se percebe no parâmetro cor, onde o PAC-L mostra-se mais eficiente, em ambas as velocidades, sendo mais pronunciada a diferença em taxas de sedimentação menores (1,5 cm/min). Com a inserção do coagulante secundário (polímero), tanto o PAC-L como PAC-S apresentaram melhora significativa na formação de flocos e eficiência em termos de clarificação, sendo o efeito mais pronunciado para o PAC-L.

PALAVRAS-CHAVE: coagulante, policloreto de alumínio, PAC em pó.

INTRODUÇÃO

Os processos de tratamento de águas são vitais para a saúde pública pois garantem o acesso da população à água potável. Porém, as águas superficiais contêm inúmeros tipos de contaminantes, os quais precisam ser retirados e tratados para definir a potabilidade da água. Dessa forma, cada processo deve ser proposto de acordo com as características físico-químicas da água (LEMOS, FILHO, CAVALLINI, 2020).

Dentro destes caracteres de avaliação da efetividade do tratamento da água estão a cor, tanto aparente quanto verdadeira, e a turbidez. A cor, então, é definida de acordo com sua capacidade de absorção de radiação da luz, e é medida devida a substâncias dissolvidas na água; já a turbidez é uma característica que acontece devido ao desvio provocado pela presença de frações de compostos em suspensão. (RICHTER, 2009) Outras propriedades também importantes da água, que são medidas periodicamente nas ETAs, são a alcalinidade e pH.

Conhecido como PAC ou Policloreto de alumínio, é um coagulante inorgânico polimerizado catiônico de baixo peso molecular e pré-polimerizado, que na forma líquida tem aparência viscosa. Contém cadeias de polímeros pré-formadas, com alta concentração de carga catiônica na unidade polimérica, e é capaz de formar flocos mais rapidamente que coagulantes tradicionais, não pré-polimerizados, isso garante que os flocos possuam maior densidade, e desse modo, precipitam também mais rápido. (LEMONS, FILHO, CAVALLINI, 2020).

O PAC tem como fórmula geral $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$ (para $0 < m < 3n$) e a basicidade relaciona a concentração em mol L^{-1} de OH e Al (OH/Al), em base percentual (PB) esse valor é $[(OH/Al) \cdot 100/3]$. A faixa de PB para produtos comerciais é de 10 a 83%. Acredita-se que a PB pode interferir no pH de coagulação e levar a maior eficiência de coagulação quanto maior a basicidade. Portanto, não ocorre uma grande variação do pH da água tratada. Nesse viés, a basicidade se caracteriza como o número médio de íons hidroxila por átomo de alumínio na molécula do produto, podendo variar entre 0 e 3,0 (DI BERNARDO, 2011).

Uma das alternativas para redução dos custos de operação é a aquisição do coagulante em sua forma sólida com diluição na própria Estação de Tratamento de Água (ETA). Como vantagem, a preparação *in situ* evita perdas com resíduos de material nos tanques de dosagem. Tais resíduos levam a custos indesejados com destinação final e perda de material ativo. O PAC comercializado em forma de pó, é adquirido em sacos de 20 a 30 kg com teor de óxido de alumínio entre 5 e 33% m/m com massa específica de $0,9 \text{ g/cm}^3$ (DI BERNARDO, 2011).

OBJETIVOS

Este estudo se destina a avaliar a viabilidade do coagulante PAC sólido para substituição do PAC na forma comercial líquida para aplicação na ETA de Balneário Camboriú – SC, considerando a eficiência no processo de clarificação da água e custos de material/operação.

METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Balneário Camboriú, a água bruta é recalçada do Rio Camboriú, com vazão média de 700 L s^{-1} . Os ensaios para otimização das condições de coagulação foram realizados em novembro de 2022. Num primeiro momento realizou-se ensaios de coagulação/floculação/sedimentação avaliando os coagulantes policloreto de alumínio com amostra comercial líquida (18%) (PAC-L) e policloreto de alumínio com produto fornecido sólido (30%) (PAC-S). Na tabela 1 estão dispostos dados de características dos dois produtos. Num segundo momento, foi otimizada a dosagem de coagulante secundário, polímero catiônico, poliacrilamida (marca SNF 4350 PWG), a partir dos resultados da primeira etapa.

Tabela 1. Ficha técnica dos coagulantes.

Parâmetro	PAC-L	PAC-S
Al_2O_3 %	17,23±1	30±1
Densidade g/cm^3	1,4	0,7
Basicidade livre (Al_2O_3) %(m/m)	40 - 45	40-50

Os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados em equipamento *Jar Test* Policontrol Floc Control IV. O gradiente de velocidade (s^{-1}) e tempo de rotação se resumem a seguir: $100 \rightarrow 30s$, $1.000 \rightarrow 20s$,

20 → 1200 s. As velocidades de sedimentação foram de 3,0 cm min⁻¹ e 1,5 cm⁻¹, as quais correspondem aos tempos de coleta pós decantação de 2' 20" e 4' 40".

A água bruta apresentou como características: cor 69 uH, turbidez 14,1 NTU, pH: 6.89. As soluções foram preparadas com o produto comercial na concentração de 8g L⁻¹ para PAC-L e 4 g L⁻¹ para PAC-S. As dosagens de coagulante utilizadas nos ensaios estão descritas na tabela 2. Identificada a concentração ideal de cada coagulante, foram realizados testes com quantidade crescentes de polímero catiônico: 0,05, 0,1 e 0,2 ppm. A eficiência foi avaliada pela remoção de cor e turbidez. O colorímetro utilizado foi o Aquacolor e turbidímetro AP 2000, ambos da marca Policontrol, para avaliar as condições de floculação foram analisados os valores de pH.

Tabela 2. Dosagem de coagulantes usados nos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação (PAC-L: amostra comercial líquida; PAC-S: amostra comercial sólida).

	Dosagem do coagulante mg L ⁻¹					
	15	17	19	21	23	25
PAC-L (18%)	15	17	19	21	23	25
PAC-S (30%)	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Otimização da dosagem de PAC-L, PAC-S e polímero

Nos primeiros ensaios foram avaliados separadamente os dois produtos comerciais, mantendo-se o pH natural da água bruta que consta de 6.89. De acordo com os resultados dispostos na tabela 3, podemos verificar que os coagulantes PAC-L e PAC-S se equiparam em termos de remoção de turbidez para velocidade de sedimentação 3,0 cm/min. O que não se percebe no parâmetro cor, onde o PAC-L mostra-se mais eficiente na remoção, em ambas as velocidades, sendo mais pronunciada a diferença em taxas de sedimentação menores (1,5 cm/min). Nessa mesma condição, o produto comercializado na forma líquida demonstrou melhor performance, com remoção da turbidez superior a 85% (turbidez inicial de 14,1 NTU).

Em termos de pH, após a sedimentação, os valores de pH para o PAC-L, em geral, são superiores ao observado para o PAC-S. Embora seja notada essa diferença, pela tabela 1 percebemos que em termos de basicidade os dois produtos se assemelham.

Tabela 3. Parâmetros avaliados após ensaios de coagulação/floculação/sedimentação na otimização da dosagem de coagulante (PAC). Dosagem otimizada em azul.

PAC-L - ÁGUA DECANTADA						
Dosagem PAC	Vs1 = 3,0 cm/min			Vs1 = 1,5 cm/min		
ppm	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH
15	39	9,06	6,75	15	3,08	6,80
17	23	5,53	6,87	8	1,90	6,87
19	21	5,15	6,82	7	1,98	6,86
21	36	9,07	6,80	14	3,21	6,82
23	26	6,10	6,75	10	2,10	6,77

25 34 8,59 6,69 15 4,13 6,77

PAC-S - ÁGUA DECANTADA						
Dosagem PAC	Vs1 = 3,0 cm/min			Vs1 = 1,5 cm/min		
ppm	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH
7,5	57	13,60	6,92	54	8,58	6,77
8,5	37	7,40	6,11	31	5,26	6,77
9,5	33	4,90	6,72	29	3,54	6,79
10,5	39	7,17	6,59	36	5,78	6,78
11,5	27	4,96	6,51	31	4,19	6,72
12,5	42	8,31	6,60	30	4,81	6,72

Dosagem otimizada em azul.

A partir dos resultados dos parâmetros de turbidez e cor, as dosagens de 19 ppm e 9,5 ppm, para o PAC-L para o PAC-S, respectivamente, foram adotadas para os testes de otimização da concentração de polímero, como coagulante secundário. Os resultados são apresentados na tabela 4 e figura 1.

Tabela 4. Parâmetros avaliados após ensaios de coagulação/floculação/sedimentação na otimização da dosagem de polímero (POL).

PAC-L - ÁGUA DECANTADA							
Dosagem							
PAC	POL	Vs1 = 3,0 cm/min			Vs1 = 1,5 cm/min		
ppm		Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH
19	0,05	28	7,75	6,73	26	6,63	6,74
19	0,1	11	2,37	6,79	10	1,70	6,77
19	0,2	6	1,73	6,73	7	1,89	6,84

PAC-S - ÁGUA DECANTADA							
Dosagem							
PAC	POL	Vs1 = 3,0 cm/min			Vs1 = 1,5 cm/min		
ppm		Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH
9,5	0,05	32	7,06	6,81	28	6,16	6,89
9,5	0,1	20	4,01	6,91	20	4,52	6,92

9,5 0,2 17 2,62 6,88 12 * 6,93

*dado não disponível.

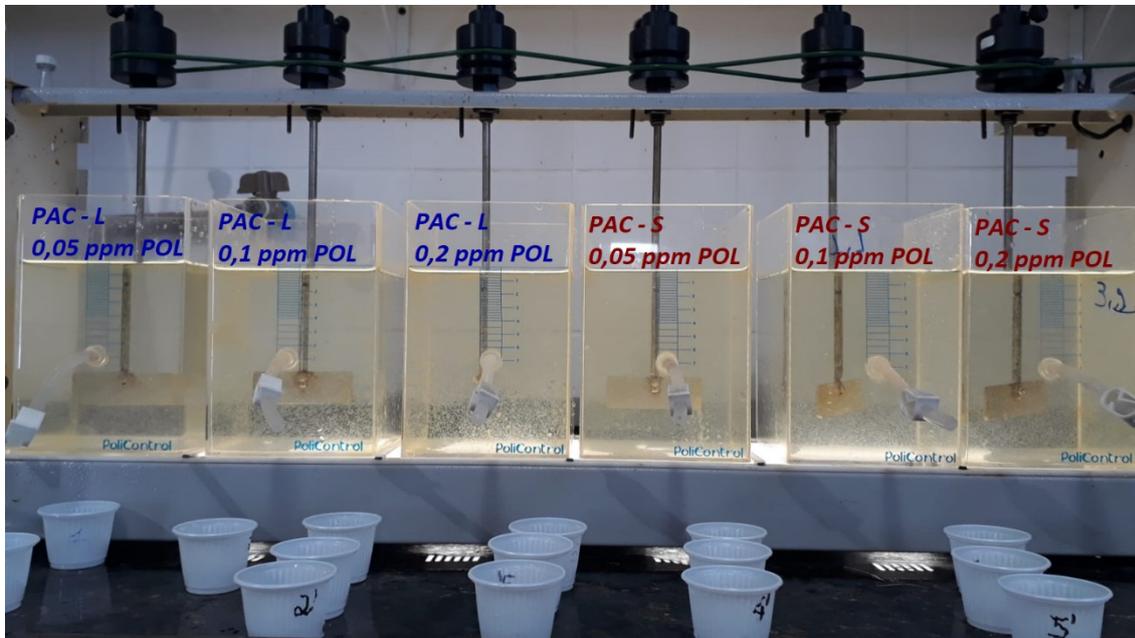


Figura 1: Formação de flocos em ensaio com Jar Test frente a adição de polímero (POL) como coagulante secundário. À esquerda aplicação de coagulante comercial no estado líquido e à direita no estado sólido.

De maneira visual é possível perceber que houve uma melhor coagulação, como o uso de PAC-L, com flocos mais robustos e melhor agregados. Frente a isso, em velocidades de sedimentação mais lenta, o PAC-L foi mais eficiente devido ao desenvolvimento de flocos maiores. O emprego do polímero na concentração de 0,1 ppm levou à remoção de cerca de 90 % da turbidez com o uso do PAC-L. Por outro lado, com PAC-S, na mesma condição, em torno de 70% de redução deste parâmetro.

Viabilidade econômica dos coagulantes

Uma vez realizada encontrada a dosagem ótima de coagulantes, é preciso avaliar os custos envolvidos. A tabela 5 apresenta a discriminação dos dados.

O estudo de custos operacionais foi realizado a partir dos dados de consumo otimizado de PAC nas formas sólidas e líquidas, preço por quilo dos produtos e vazão diária da ETA. Nessa perspectiva, o volume médio de água bruta aduzido na ETA foi de 59.490 m³/dia, para o mês de outubro de 2022.

Nessa avaliação preliminar, o custo com coagulante concentrado sólido é cerca de 3 vezes maior que do produto comercial líquido. A que se levar em conta que o preço base de PAC-L teve como fonte notas de aquisição do produto atualmente utilizado na ETA, os quais são adquiridos sob a forma de pregão o que leva a um decréscimo significativo devido a modalidade competitiva. Por outro lado, o preço/kg para o PAC-S foi obtido por cotação simples. Além disso, uma unidade de diluição do PAC-S precisa ser construída, o que demandaria o incurso de obras civis, e esses custos precisam ser previstos numa perspectiva de troca do tipo de coagulante.

Tabela 5. Comparação dos custos diários com utilização dos coagulantes.

Coagulante	Preço R\$/Kg	Volume/dia m ³	Custo R\$/dia
PAC-L 19 mg L ⁻¹	1,45	59.490	163,89
PAC-S 9,5 mg L ⁻¹	8,58		484,90

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os dois coagulantes analisados demonstram ser eficientes na remoção da turbidez com a maior taxa de sedimentação (3,0 cm/min), taxa essa próxima ao praticado ao longo do ano em planta. Entretanto, com a inserção do coagulante secundário, o PAC-L se sobressai, com melhor formação de flocos e eficiência em termos de clarificação da água. Do ponto de vista de viabilidade financeira, embora haja menor consumo do produto, o custo do produto em pó é proibitivo.

Como perspectivas futuras, podem ser estudados outros polímeros no ajuste de coagulação, em especial, a classe de não aniônicos, a fim de encontrar a melhor sinergia entre o PAC-S e o coagulante secundário. Além disso, podem ser avaliados os custos e payback da instalação de uma unidade de mistura e preparação de polímero. O intuito é integrar um estudo de viabilidade de uso do policloreto de alumínio comercializado em pó como coagulante unindo resultados de eficiência em termos de tratamento de água e redução de custos e problemas operacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDI, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardi; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira.. *Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. Ed, São Carlos, SP: LDiBe, 2011.
2. RICHTER, Carlos A. *Água: Métodos e tecnologias de tratamento*. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 340 p.
3. LEMOS, K. S.; DE AGUIAR FILHO, S. Q.; CAVALLINI, G. S. *Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica*. Revista Desafios, Tocantins, v. 7, n.1, p. 110-119, mar. 2020. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/7824/16525>. Acesso em: mar/2023.