

Avaliação de policloreto de alumínio com relação a remoção de turbidez de água bruta da represa Cachoeira do França

Este trabalho volta-se ao estudo comparativo de dois coagulantes comerciais, com relação aos parâmetros de remoção de turbidez e, em paralelo, a quantidade de alumínio empregado no tratamento, a partir da relação de dosagem e teor de alumínio presente nos reagentes. Os reagentes comerciais avaliados foram o policloreto de alumínio líquido, com concentração de princípio ativo de 369 g L⁻¹ e o sólido, com proporção de 48% m m⁻¹. Os dados obtidos neste trabalho revelam que o PAC sólido apresentou maior efeito na redução do potencial Zeta (ζ) da água bruta, de modo que se necessitou de apenas 2 mg L⁻¹ de dosagem, para a obtenção do ponto isoelétrico, enquanto o PAC líquido, fez-se uso de 6 mg L⁻¹, para a obtenção do mesmo ponto de carga zero. Adicionalmente, a dosagem do PAC sólido resultou na maior redução de pH das amostras, proporcionalmente, à dosagem do coagulante. O teor de alumínio médio dos reagentes foi de 4,52% para o PAC líquido e 4,35% para o PAC sólido, valores que, comparados pelo teste T, não obtiveram diferença significativa a 95% de confiança. Por outro lado, em ensaios de *jar test* empregando-se de dosagens de ponto isoelétrico, o PAC líquido obteve melhor redução de turbidez na água decantada, em comparação com o PAC sólido. Enquanto a menor dosagem do PAC sólido indica possíveis vantagens do ponto de vista ambiental, com a diminuição de alumínio empregado no tratamento, a menor eficácia na remoção de turbidez em comparação com o PAC líquido, apresentando-se como uma limitação técnica, sendo sugeridas verificações adicionais, como emprego de auxiliares de floculação ou testes em outros mecanismos de coagulação, visando a satisfação na remoção de turbidez com o PAC sólido.

Palavras-chave: Policloreto de alumínio; Remoção de turbidez; Água bruta; Potencial Zeta.

Evaluation of aluminum polychlorides in the removal of turbidity from raw water from the Cachoeira do França reservoir

This work involved an evaluation of the performance of two commercially available reagents in the removal of turbidity from raw water. The commercial reagents evaluated here were liquid aluminum polychloride (APC), containing a concentration of 369 g L⁻¹, and solid APC containing a proportion of 48% m m⁻¹ of active ingredient. The data obtained in this work reveal that the solid APC showed better performance in reducing the Zeta (ζ) potential of raw water, requiring only 2 mg L⁻¹ to reach the isoelectric point, while the liquid APC required 6 mg L⁻¹ to reach the same point of zero charge. Moreover, the amount of solid APC lowered the pH level of the samples more than the coagulant did. The average aluminum content of the reagents was 4.52% in the liquid APC and 4.35% in the solid APC, and a comparison by the *t*-test indicated no significant difference at a 95% level of confidence. On the other hand, in jar tests using isoelectric point levels, the liquid APC showed higher reduction of turbidity in decanted water than did the solid APC. While the lower level of solid APC indicates possible advantages from the environmental point of view, given the lower amount of aluminum used in the treatment, its poorer performance in the removal of turbidity compared to the liquid APC is undoubtedly a technical limitation. This suggests the need for additional experimentation, such as the use of flocculation aids or tests using other coagulation mechanisms, aiming to achieve a satisfactory level of removal of turbidity with the solid APC.

Keywords: Aluminium polychloride; Turbidity removal; Raw water; Zeta Potential.

Topic: Engenharia Sanitária

Received: 04/07/2022

Approved: 28/07/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Diego Gouveia Marques 
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7763297812940841>
<http://orcid.org/0000-0002-3402-9202>
diegogm44@outlook.com

Valquíria de Campos 
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0061972656195816>
<http://orcid.org/0000-0001-6568-9935>
v.campos@unesp.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.007.0010

Referencing this:

MARQUES, D. G.; CAMPOS, V.. Avaliação de policloreto de alumínio com relação a remoção de turbidez de água bruta da represa Cachoeira do França. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.7, p.129-137, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.007.0010>

INTRODUÇÃO

O tratamento de águas superficiais para abastecimento público é realizado, em sua maioria, a partir do tratamento convencional ou de ciclo completo, em estações de tratamento de água (ETA). Trata-se de da tecnologia que possui a adição de coagulante em uma unidade de mistura rápida, floculação, sedimentação ou flotação e filtração (LACERDA et al., 2019). O uso de sais de alumínio e ferro como coagulantes é altamente empregado, dentro dos processos de coagulação, mesmo com novas alternativas sendo desenvolvidas ao longo dos anos. Como desvantagens do uso de sal inorgânico, tem-se a maior formação de lodo, presença de íons metálicos residuais na água tratada e sua condição de material não degradável, após o seu tempo de vida útil (SOARES et al., 2021).

Um parâmetro pertinente na verificação de um tratamento de água eficiente é a turbidez, que se trata da medida da dispersão da luz que as partículas causam, representando a concentração dessas partículas na água. Importante ressaltar que águas de mesma turbidez podem variar em características das partículas como tamanho, composição e forma (DI BERNARDO et al., 2011). Adicionalmente, o alto valor de turbidez pode criar condição para o aparecimento de micro-organismos patogênicos e interferir na ação desinfetante (DI BERNARDO et al., 2008). As impurezas apresentam carga superficial negativa, e, por isso, exercem repulsão elétrica entre elas. Esse comportamento dessas impurezas impede a sedimentação natural, requerendo, então, o uso de reagentes como os coagulantes (MANETTA, 2014).

A coagulação consiste, normalmente, do emprego de um ou mais produtos químicos que desestabilizam os poluentes aquosos coloidais, permitindo a agregação das partículas e formação de flocos de maior dimensão, possibilitando a remoção por filtração, sedimentação, centrifugação e flotação das partículas desestabilizadas, sendo o intuito do processo a maior remoção possível de partículas (CUI et al., 2020). Bons coagulantes são caracterizados por permitir a remoção de impurezas ao mínimo valor possível em pouco tempo. Flocos maiores e bem agregados são os mais propícios a sedimentar (MACCZAK et al., 2020). A coagulação é o resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos, a saber: a) compressão da dupla camada elétrica, b) adsorção e neutralização de cargas, c) adsorção e formação de pontes, e d) varredura, com destaque para os mecanismos de adsorção e neutralização de cargas e varredura, os mais estudados e abordados. As dosagens de coagulante são mais baixas e há a possibilidade da não adição de alcalinizante quando empregado o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas. A coagulação por adsorção e neutralização de cargas atua, diretamente, na diminuição da repulsão eletrostática das impurezas, sendo o ponto de potencial Zeta de valor zero, o que indica mais possibilidade de agregação das partículas e consequente precipitação (DI BERNARDO et al., 2011).

Atualmente, as ETA utilizam sal de alumínio pré-polimerizado, conhecido como cloreto de polialumínio (PAC). Devido à sua basicidade, o PAC geralmente libera menos ácido do que outros coagulantes durante a hidrólise, causando pouca variação no nível de pH da água tratada. Por este motivo, meios coagulados por PAC requerem pouco ou nenhum produto no ajuste de pH, além disso o PAC é eficiente na desestabilização de partículas, favorecendo a rápida formação de flocos grandes e uniformes, sem a

necessidade de auxiliares de floculação (CAMPOS et al., 2016). Para Kamiwada et al. (2020), a formação de precipitados rígidos e pesados, propiciam o aumento na velocidade de sedimentação. O policloreto de alumínio pode ser fornecido em solução ou sólido, sendo necessário garantir o armazenamento mínimo de 10 dias. Entre as vantagens no uso de coagulante sólido têm-se o menor custo de transporte, eliminação de derramamento químico, redução de risco aos operadores, eliminação da necessidade de contenção e kit de derramamento. Entretanto, a forma usual da aplicação de coagulantes é por via úmida, sendo necessário a etapa adicional de dissolução prévia em tanques de agitação, quando empregado o reagente sólido (ABNT, 1992).

Embora seja um processo consolidado e amplamente empregado, o uso dos reagentes comuns na coagulação, como sais de ferro e alumínio, pode resultar em impactos negativos ao ambiente, com a presença de resíduos de metais na água e seus consequentes riscos à saúde humana, além da geração de lodo (BUENAÑO et al., 2019). A presença de íons de alumínio, por exemplo, pode estar relacionada a ocorrência de doenças como demência, danos ao sistema nervoso central, perda de memória, surdez, fortes tremores, dores musculares, cólicas e fraqueza (SILVA et al., 2020). Adicionalmente, a diminuição do emprego de reagentes nos processos, visando a eliminação ou redução de substâncias nocivas aos seres humanos e ao ambiente, torna-se um princípio explorado diretamente pela “química verde” (BORDIN et al., 2021). No conceito de ecoeficiência, relevante conjunto de elementos avaliados no universo empresarial no âmbito de responsabilidade ambiental, a redução de reagentes empregados em um sistema produtivo é abordada no princípio 1, onde tem-se a “redução de bens e materiais utilizados nos bens e serviços”, reforçando a pertinência de estudos com esse intuito (WBCSD, 2000). Os coagulantes comerciais inorgânicos, amplamente empregados, possuem as desvantagens na aplicação de não biodegradabilidade, toxicidade, maior produção de lodo e concentração residual de metais na água tratada (ZOTESSO et al., 2019) e isso implica na busca por menores dosagens, onde testes comparativos com reagentes disponíveis no mercado é incentivada. Assim, este trabalho volta-se para realização de ensaios de coagulação-floculação-decantação em *jar test* para buscar o melhor desempenho, na remoção de turbidez entre dois produtos, policloreto de alumínio, selecionados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho buscou avaliar dois coagulantes PAC comerciais distintos no tratamento de água superficial da represa Cachoeira do França, São Paulo, um manancial utilizado no abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo. Os coagulantes avaliados referem-se ao PAC líquido da empresa Bauminas, referenciado no trabalho como PAC Bauminas, e o PAC sólido de alto peso molecular, com 48% em massa de princípio ativo, da empresa Finquímica, referenciado no trabalho como PAC 48. As amostras de água bruta utilizadas nos ensaios são *in natura*. As coletas e armazenamentos foram realizadas conforme descrito por Di Bernardo et al. (2011).

Os ensaios foram realizados em um *jar test* policontrol Floc Control com seis jarros e rotação máxima de 600 rpm. As aferições de turbidez, pH e potencial Zeta foram realizadas no laboratório da ETA, seguindo

as prescrições estabelecidas na 21ª edição do “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (APHA et al., 2005). Os reagentes empregados são expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Informações dos reagentes empregados nos ensaios de *jar test* e verificação de teor de alumínio.

Reagente	Nome comercial	Fornecedor	Concentração
PAC Bauminas	PAC FLOC® 120 HT	Bauminas	369 g cm ⁻³
PAC 48	Fin-flake	Finquímica	0,48% m m ⁻¹

Avaliou-se a influência dos coagulantes no potencial Zeta das amostras de água superficial, buscando as dosagens necessárias para a obtenção do ponto isoelétrico, ou seja, de potencial Zeta zero. O ensaio consistiu-se na adição consecutiva de 1 mg L⁻¹ de ambos os coagulantes, e a aferição do potencial Zeta das amostras, até o ponto isoelétrico. Posteriormente, realizou-se ensaio adicional com adição consecutiva de 0,5 mg L⁻¹ do PAC 48, para melhor verificação do impacto do reagente no potencial Zeta.

A partir das mesmas amostras utilizadas no ensaio de potencial Zeta, avaliou-se, também, a influência das dosagens de coagulante no pH das amostras, fator esse impactante na demanda posterior de alcalinizante para as águas tratadas a serem distribuídas (YEHIA et al., 2021). Adicionalmente, avaliou-se o teor de alumínio dos coagulantes, empregando o método 8012 da Hach em um espectrofotômetro Mettler Toledo UV5, visando correlacionar a dosagem de coagulante em ponto isoelétrico, com a quantidade de alumínio empregada. Os ensaios foram realizados a partir da diluição dos reagentes em duas faixas: 1 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹ de princípio ativo de ambos os coagulantes. Os valores foram escolhidos para encaixar os resultados na faixa de detecção de 0,008 a 0,800 mg L⁻¹ de alumínio do método. Para a preparação dos reagentes, além da diluição, realizou-se a acidificação com HCl 1:3 para garantir de que o alumínio estivesse em sua forma livre. Por fim, realizou-se um ensaio *jar test* com os dois coagulantes, na dosagem que resulta no ponto isoelétrico das amostras.

RESULTADOS

A amostra de água bruta utilizada no ensaio possuía as características expressas na Tabela 2.

Tabela 2: Características físico-químicas da água bruta utilizada nos ensaios de *jar test*.

Parâmetro	Valor
Turbidez (NTU)	2,89
pH	6,8
Potencial Zeta (μV)	-15,4

O manancial no qual foram coletadas as amostras de água bruta é preservado, com grande área de proteção integral, e, segundo o Plano de Desenvolvimento e Proteção da Sub-Bacia Alto Juquiá (2019), o possui previsão de manter a boa qualidade da água pelas próximas décadas. O valor de turbidez abaixo de 10 NTU da amostra de água bruta configura águas de baixa turbidez segundo Cruz et al. (2019). A metodologia empregada nos ensaios de *jar test* empregou os seguintes parâmetros hidráulicos descritos na Tabela 3, valores sugeridos por Di Bernardo et al. (2011) para ensaios de tratabilidade de água. Observou-se a influência dos reagentes no potencial Zeta e no pH. Os valores são apresentados na Tabela 4 e nas Figuras 1 e 2.

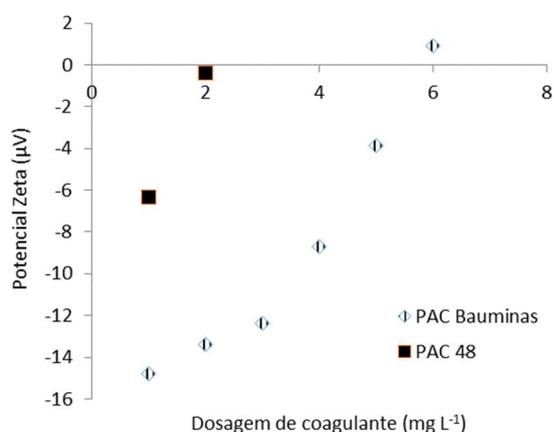
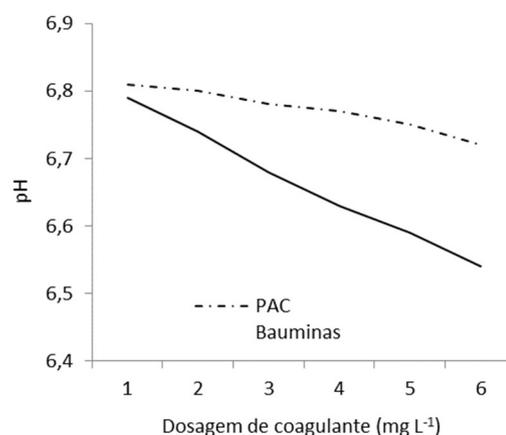
Tabela 3: Parâmetros hidráulicos e operacionais utilizados nos ensaios de *jar test*.

Parâmetro	Valor
Tempo de mistura rápida	10 s
Gradiente de mistura rápida	600 s ⁻¹
Tempo de mistura lenta	15 min
Gradiente de mistura lenta	35 s ⁻¹
Velocidade de sedimentação	2,5 cm min ⁻¹

Tabela 4: Resultados da influência dos coagulantes no potencial Zeta e pH das amostras de água bruta.

Dosagem de coagulante (mg L ⁻¹)	PAC Bauminas		PAC 48	
	Potencial Zeta (μV)	pH	Potencial Zeta (μV)	pH
1	-14,8	6,8	-6,33	6,7
2	-13,4	6,8	-0,399	6,7
3	-12,4	6,7	-*	6,6
4	-8,72	6,7	-	6,6
5	-3,88	6,7	-	6,5
6	0,93	6,7	-	6,5

* Ensaios não realizados por já ter-se obtido o ponto isoeletrico.

**Figura 1:** Influência da dosagem dos reagentes no potencial Zeta das amostras de água bruta.**Figura 2:** Influência da dosagem dos coagulantes no pH das amostras de água bruta.

A partir do impacto observado no potencial Zeta com a utilização do PAC 48, realizou-se um ensaio com espaçamento de dosagens menor, para melhorar a visualização do efeito com esse reagente. Os valores são expressos na Tabela 5.

Tabela 5: Efeito do PAC 48 no potencial Zeta das amostras de água bruta.

Dosagem (mg L ⁻¹)	Potencial Zeta (μV) PAC 48
0,5	-11,9
1,0	-7,84
1,5	-3,59
2,0	0,52

Observou-se que o ponto isoeletrico foi obtido com o PAC 48 com, aproximadamente, um terço do que o necessário com o PAC Bauminas, indicando maior ação na desestabilização da camada difusa das partículas, e, caso averiguada a remoção eficiente, sugere um potencial benefício ambiental e financeiro pela menor dosagem de coagulante no tratamento. Para o aprofundamento das possíveis vantagens ambientais com o menor uso do reagente, avaliou-se o teor de alumínio livre dos reagentes, em duas faixas de dosagem e os valores obtidos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Teor de alumínio obtido para cada reagente em diferentes dosagens de princípio ativo.

Reagente	pH	Dosagem de princípio ativo (mg L ⁻¹)	Teor de alumínio (%)	Média
PAC Bauminas	3,4	10	4,7	4,80
	3,1	1	4,9	
PAC 48%	3,7	10	3,6	4,35
	3,1	1	5,1	

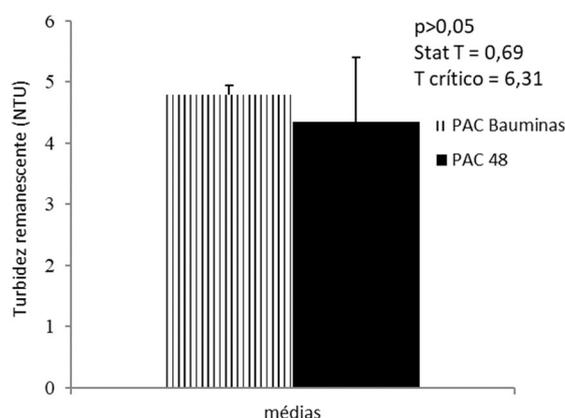
Como medida de comparação inicial, Di Bernardo et al. (2011) citam, por exemplo, que o teor de alumínio livre em sulfato de alumínio comercial líquido é de, aproximadamente, 3,9 a 4,8%, mostrando que os reagentes possuem teor de alumínio dentro de parâmetros esperados, na literatura para coagulantes à base de alumínio. A comparação entre os teores de alumínio foi realizada a partir do teste T e encontra-se nas Tabelas 7 e 8, além da Figura 3.

Tabela 7: Análise descritiva do resultado dos dois coagulantes em que foi avaliado teor de alumínio.

Reagente	PAC Bauminas	PAC 48
Média de teor de alumínio (%)	4,80	4,35
Variância	0,02	1,125
Observações	2	2

Tabela 8: Resultado do teste T da comparação do teor de alumínio dos coagulantes.

Componente estatístico	Valores
Correlação de Pearson	1
Hipótese da diferença de média	0
Graus de liberdade	1
Stat t	0,6923
P(T<=t) uni-caudal	0,3072
t crítico uni-caudal	6,3137
P(T<=t) bi-caudal	0,6144
t crítico bi-caudal	12,7062

**Figura 3:** Comparação entre as médias de teor de alumínio dos coagulantes PAC 48 e PAC Bauminas.

Nota-se que a diferença entre o teor de alumínio dos dois coagulantes não possui diferença significativa a 95% de confiança a partir do resultado do teste T de comparação de médias para duas amostras.

A comparação entre os coagulantes foi efetuada empregando-se as dosagens que resultaram no ponto isoelétrico, no ensaio de *jar test*, sem adição de alcalinizante e auxiliares de floculação. Os resultados obtidos são expressos na Tabela 9.

Realizou-se o teste T para duas amostras, buscando avaliar a significância da diferença entre as médias dos dois tratamentos. Os resultados são apresentados nas Tabelas 10 e 11 e na

Figura 4.

Tabela 9: Resultados do ensaio de *jar test* em triplicata, apresentando pH final, turbidez remanescente e potencial Zeta.

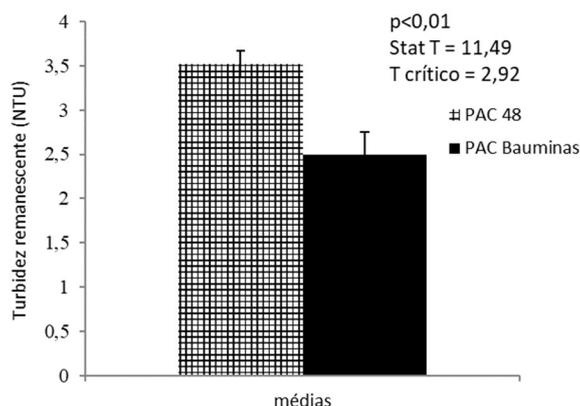
Jarros	Reagentes	Dosagem (mg L ⁻¹)	pH	Turbidez remanescente (NTU)	Potencial Zeta (μV)
1	PAC 48	2	6,7	3,36	0,31
2	PAC 48	2	6,6	3,68	0,47
3	PAC 48	2	6,7	3,53	0,22
4	PAC Bauminas	6	6,5	2,31	-0,28
5	PAC Bauminas	6	6,6	2,81	-0,06
6	PAC Bauminas	6	6,5	2,35	-1,00

Tabela 10: Avaliação descritiva dos tratamentos empregados no experimento.

Reagente	PAC 48	PAC Bauminas
Média	3,52	2,49
Variância	0,0256	0,0772
Observações	3	3

Tabela 11: Resultados do teste T para duas amostras empregado.

Componente estatístico	Valores
Correlação de Pearson	0,883449
Hipótese da diferença de média	0
Graus de liberdade	2
Stat t	11,49726
P(T<=t) uni-caudal	0,00374
t crítico uni-caudal	2,919986
P(T<=t) bi-caudal	0,00748
t crítico bi-caudal	4,302653

**Figura 4:** Comparação de médias entre os coagulantes PAC Bauminas e PAC.

Verificou-se, a partir do teste T com valor P de 0,00374 que as médias são significativamente diferentes a 99% de significância. Desse modo, os resultados do PAC Bauminas são mais eficientes em termos da remoção de turbidez, enquanto destaca-se o baixo uso de coagulante e o consequente baixo impacto no pH das amostras de água bruta quando utilizado o PAC 48. Em um cenário com baixo uso de reagentes químicos, porém com a necessidade da melhor formação de flocos, para posterior melhor separação sólido-líquido, o emprego de auxiliares de floculação de alto peso molecular como polímeros não-iônico e aniônico são indicados (BONGIOVANI et al., 2014).

DISCUSSÃO

Nota-se, primeiramente, que o coagulante PAC 48 obteve grande efeito na neutralização de cargas das amostras de água bruta, como notado na redução do potencial Zeta mostrada nas Tabelas 4 e 5, de modo

que a sua dosagem requerida foi de até três vezes mais baixa que a dosagem utilizada do PAC Bauminas para a obtenção do ponto isoelétrico. A comparação entre o teor de alumínio entre os dois coagulantes, pelo teste T, indicou que não há diferença significativa a 95% de confiança, como indicado na Tabela 8 e Figura 3, desse modo, a menor dosagem requerida é uma vantagem do ponto de vista ambiental para o PAC 48, visto que é defendido o menor emprego de reagentes nos processos, como indicado no princípio 1 da ecoeficiência (WBCSD, 2000), bem como menores dosagens de coagulante podem resultar na menor geração de lodo do tratamento (PEREIRA et al., 2012).

A diminuição no valor do pH proporcional à dosagem de coagulante das amostras em que se utilizou o PAC 48 se mostrou maior, entretanto, esse comportamento é equilibrado com a sua menor dosagem requerida para a obtenção do ponto isoelétrico. Entretanto, esse efeito no pH do coagulante mostre-se um fator de atenção, com risco de aumentar a demanda de alcalinizante no sistema, nas etapas de correção do pH prévias à distribuição (YEHIA et al., 2021).

Por outro lado, a remoção de turbidez utilizando o PAC 48 foi menos efetiva, quando do uso de PAC Bauminas, indicando a provável formação de flocos de menor peso, tamanho ou resistência, diminuindo a eficiência da decantação. Nesse contexto, quando não há necessidade da diminuição do uso de coagulante, enquanto precisa-se da melhor formação dos flocos em termos de peso, resistência e tamanho, o uso de auxiliares de floculação aniônicos, como polímeros a base de acrilamida torna-se indicado (BONGIOVANI et al., 2014).

CONCLUSÕES

Neste trabalho o coagulante PAC 48 apresenta potencial ganho ambiental e econômico, em razão da menor demanda de alumínio, para o mesmo resultado na neutralização de cargas, verificado no potencial Zeta de valor zero. Empregou-se 2 mg L⁻¹ de PAC 48 em contraste com 6 mg L⁻¹ do PAC Bauminas para a obtenção do ponto isoelétrico, enquanto o teor de alumínio entre os coagulantes, não apresentou diferença significativa verificado através do teste T, com $p > 0,05$. Entretanto, a redução de turbidez da amostra de água tratada com PAC 48 foi inferior quando comparada ao PAC Bauminas, mostrando-se uma limitação do ponto de vista de tratamento efetivo, em que se deseja maior redução possível de turbidez nas etapas de coagulação-floculação-decantação.

Como opções para melhorar a redução de turbidez, citam-se a utilização de auxiliares de floculação ou a aplicação de diferentes mecanismos de coagulação, porém, os benefícios ambientais e econômicos podem ser afetados pela necessidade da adição de mais reagentes ao tratamento de água, para abastecimento público e econômicos podem ser afetados pela necessidade da adição de mais reagentes no tratamento.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de normas técnicas. **NBR 12216**. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. ABNT, 1992.

APHA; AWWA; WEF. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: APHA, 2005.

BONGIOVANI, M. C.; CAMACHO, F. P.; NISHI, L.; COLDEBELLA, F.; VALVERDE, K. C.; VIEIRA, A. M. S.; BERGAMASCO, R.. Improvement of coagulation/flocculation process using a combination of Moringa oleifera lam with anionic polymer in water treatment. **Environmental Technology**, v.35, n.17, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1080/09593330.2014.899398>

BORDIN, J. M. T.; MALESUIK, M. D.; SILVA, F. E. B.. A química verde na análise farmacêutica: desenvolvimento de um método para a quantificação de nitazoxanida em formas farmacêuticas utilizando imagens digitais. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 13. Anais. 2021.

BUENAÑO, B.; VERA, E.; ALDÁS, M. B.. Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment. **Ingeniería e Investigación**, v.39, n.1, p.24-35, 2019.

CAMPOS, V.; FERNANDES, A. R.; MEDEIROS, T. A.; ANDRADE, E. L.. Physicochemical characterization and evaluation of PGA bioflocculant in coagulation-flocculation and sedimentation processes. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.4, n.4, p.3753-3760, 2016.

CRUZ, M. A. S.; GONÇALVES, A. A.; ARAGÃO, R.; AMORIM, J. R. A.; MOTA, P.V. M.; SRINIVASAN, V. S.; GARCIA, C. A. B.; FIGUEIREDO, E. E.. Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil. **Environmental Earth Sciences**, p.68-78, 2019.

CUI, H.; HUANG, X.; YU, Z.; CHEN, P.; CAO, X.. Application progress of enhanced coagulation in water treatment. **RSC Advances**, v.10, p.20231-20244, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1039/D0RA02979C>

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P.. **Seleção de tecnologias de tratamento de água volume 1**. São Carlos: ELDIBE LTDA, 2008.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N.. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. LDiBe, 2011.

KAMIWADA, W. Y.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G.. Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.5, p.667-676, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180005>

LACERDA, A. B.; RÄDER, A. S.; LOPES, E. S.. A eficiência da remoção de coliformes em uma estação de tratamento de água convencional. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.

6, 2019. DOI: <http://doi.org/10.34117/bjdv5n6-2104>

MACCZAK, P.; KACZMAREK, H.; BOROWSKA, M. Z.. Recent Achievements in Polymer Bio-Based Flocculants for Water Treatment. **Materials**, v.13, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/ma13183951>

MANETTA, L. S.. **Determinação dos gradientes de velocidade médios em sistemas de câmaras em série visando atender ao critério do menor tempo de floculação total**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014.

PDPAs. Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Sub-Bacia Alto Juquiá. **Elaboração e Revisão dos Planos de Desenvolvimento e Proteção Ambiental das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: PDPAs, 2019.

PEREIRA, T. M.; GOMES, M. H. R.; PEREIRA, R.. Estimativa Final da Produção de Logo em Estações de Tratamento de Água: Estudo de Caso. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, 11. Anais. 2012.

SILVA, A. L. O.; RAMOS, M. S.; LUIZ, M. R.; SOUZA, N. C.; NASCIMENTO, A. P. S.; SILVA, J. E. O. A.; RAMOS, E. F.; AMORIM, F. V.. Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.1, 2020. DOI: <http://doi.org/10.34117/bjdv6n1-098>

SOARES, E. J. S.; BARBOSA, M. G. N.; ANDRADE, T. C. S.; SANTOS, W. B.; SILVEIRA, T. N.; FERREIRA, W. B.. Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.2, p.292-302, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0027>

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. In: VERFAILLIE, H. A.; BIDWELL, R.. **Medir a Eco-eficiência: um guia para comunicar o desempenho da empresa**. Monsanto Company, Environmental Resources Management. Londres: WBCSD, 2000.

YEHIA, H. M. A.; SAID, S. M.. Drinking water treatment: pH Adjustment using natural physical field. **Journal of Biomedicines and Medicines**, v.9, n.6, 2021. DOI: <http://doi.org/10.4236/jbm.2021.96005>

ZOTESSO, J. P.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.. Comparação entre os coagulantes policloreto de alumínio (PAC) e TANFLOC SG no tratamento de efluente de lavanderia hospitalar. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 11. Anais. 2019.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157944041290072065>