

Avaliação da remoção de turbidez na ETA Seminário: análise comparativa entre os coagulantes PAC e sulfato de alumínio

Thais Mayara Rodrigues Gomes

Mestra em Tecnologia, Ambiente e Sociedade
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
thais.mayara@ufvjm.edu.br
ORCID 0000-0002-5234-0061

Elton Santos Franco

Professor Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
elton.santos@ufvjm.edu.br
ORCID 0000-0001-5296-4790

Rafael Genaro

Professor Mestre em Matemática
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
rafael.genaro@ufvjm.edu.br
ORCID 0000-0002-0554-888X

Jairo Lisboa Rodrigues

Professor Doutor em Toxicologia
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
jairo.rodrigues@ufvjm.edu.br
ORCID 0000-0001-6088-5232

Núbia Aparecida de Aguiar

Mestra em Tecnologia, Ambiente e Sociedade
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
nubia.aparecida@ufvjm.edu.br
ORCID 0000-0001-5452-940X

Submissão: 18/08/2025

Aceite: 20/02/2026

GOMES, Thais Mayara Rodrigues; FRANCO, Elton Santos; GENARO, Rafael; RODRIGUES, Jairo Lisboa; AGUILAR, Núbia Aparecida de. Avaliação da remoção de turbidez na ETA Seminário: Análise comparativa entre os coagulantes PAC e sulfato de alumínio. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [S. l.], v. 22, n. 1, p. e2516, 2026. DOI: [10.17271/1980082722120266270](https://doi.org/10.17271/1980082722120266270).

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Avaliação da remoção de turbidez na ETA Seminário: análise comparativa entre os coagulantes PAC e sulfato de alumínio

RESUMO

Objetivo - Realizar a análise estatística da eficiência do coagulante policloreto de alumínio (PAC), utilizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) Seminário, localizada no município de Mariana, Minas Gerais, em comparação ao coagulante sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), empregado na estação até o ano de 2020, com foco específico na remoção da turbidez da água. Adicionalmente, objetiva-se avaliar a conformidade dos valores de turbidez da água tratada registrados com o padrão de potabilidade vigente para este parâmetro, comparando o desempenho dos coagulantes em relação ao atendimento dos critérios normativos.

Metodologia - Os dados de turbidez da água tratada com ambos os coagulantes foram obtidos junto aos funcionários responsáveis pela ETA Seminário. Considerando que os registros foram realizados manualmente, procedeu-se à sua digitalização para posterior tratamento estatístico. A análise estatística foi conduzida por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), a fim de verificar a aderência dos dados à distribuição normal. Em seguida, aplicou-se o teste não paramétrico U de Mann-Whitney para identificar possíveis diferenças estatisticamente significativas entre as medianas das amostras associadas ao uso do PAC e do $Al_2(SO_4)_3$.

Originalidade/relevância - Observa-se uma escassez de estudos que avaliem, de forma comparativa e por meio de métodos estatísticos, a eficiência desses dois coagulantes com base em extensos conjuntos de dados operacionais, especialmente no que se refere à redução de turbidez. A relevância acadêmica do estudo reside na aplicação de métodos estatísticos a dados operacionais reais, ampliando o conhecimento sobre o desempenho de coagulantes em contextos práticos e oferecendo subsídios para pesquisas futuras na área de tratamento de água e saneamento.

Resultados - O teste KS indicou que as amostras não seguem uma distribuição normal. O teste U de Mann-Whitney mostrou que a mediana da amostra referente à turbidez após o tratamento com o PAC é estatisticamente menor que a mediana da amostra da turbidez após o tratamento com o $Al_2(SO_4)_3$, evidenciando maior eficiência do PAC na remoção de turbidez da água. Relativo ao padrão de potabilidade, a análise demonstrou que o PAC apresentou um desempenho superior, com maior proporção de resultados em conformidade, enquanto o uso do $Al_2(SO_4)_3$ resultou em frequentes não conformidades e valores críticos.

Contribuições teóricas/metodológicas - O estudo contribui teoricamente ao evidenciar, com base em dados empíricos, a eficiência do PAC em relação ao $Al_2(SO_4)_3$ na redução de turbidez da água em uma estação de tratamento. Metodologicamente, o trabalho oferece um modelo replicável de avaliação comparativa de coagulantes a partir de registros operacionais.

Contribuições sociais e ambientais - A compreensão sobre qual dos dois coagulantes apresenta maior eficácia na remoção de partículas suspensas da água, representadas pela turbidez, pode influenciar de forma direta a tomada de decisão quanto à sua adoção em uma ETA e conduzir a um processo de tratamento de água mais refinado, contribuindo para a produção de água potável de maior qualidade, o que impacta positivamente a saúde e a qualidade de vida da população consumidora.

PALAVRAS-CHAVE: Policloreto de alumínio. Sulfato de alumínio. Turbidez.

Evaluation of turbidity removal at the Seminário WTP: a comparative analysis of PAC and aluminum sulfate coagulants

ABSTRACT

Objective - To perform a statistical analysis of the efficiency of the aluminum polychloride (PAC) coagulant used at the Seminário Water Treatment Plant (WTP), located in the municipality of Mariana, Minas Gerais, in comparison with aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$), which was used at the plant until 2020, with a specific focus on turbidity removal. Additionally, the study aims to assess the compliance of recorded treated water turbidity values with the current drinking water standards for this parameter, comparing the performance of the coagulants in meeting regulatory criteria.

Methodology - Treated water turbidity data for both coagulants were obtained from the personnel responsible for the operation of the Seminário WTP. As the records were collected manually, they were digitized for subsequent statistical processing. Statistical analysis was conducted using the Kolmogorov-Smirnov (KS) test to verify data adherence to a normal distribution. Subsequently, the nonparametric Mann-Whitney U test was applied to identify

possible statistically significant differences between the medians of the samples associated with the use of PAC and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Originality/Relevance - There is a scarcity of studies that comparatively evaluate, through statistical methods, the efficiency of these two coagulants based on extensive operational datasets, particularly regarding turbidity reduction. The academic relevance of this study lies in the application of statistical methods to real operational data, expanding knowledge about coagulant performance in practical contexts and providing support for future research in the fields of water treatment and sanitation.

Results - The KS test indicated that the samples do not follow a normal distribution. The Mann-Whitney U test showed that the median turbidity after treatment with PAC is statistically lower than the median turbidity after treatment with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, demonstrating the greater efficiency of PAC in turbidity removal. With respect to drinking water standards, the analysis showed that PAC exhibited superior performance, with a higher proportion of compliant results, whereas the use of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ resulted in frequent noncompliance and critical values.

Theoretical/Methodological Contributions - The study contributes theoretically by demonstrating, based on empirical data, the greater efficiency of PAC compared to $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ in reducing water turbidity at a water treatment plant. Methodologically, the work provides a replicable model for the comparative evaluation of coagulants using operational records.

Social and Environmental Contributions - Understanding which of the two coagulants is more effective in removing suspended particles from water, represented by turbidity, can directly influence decision-making regarding their adoption at a WTP and lead to a more refined water treatment process. This contributes to the production of higher-quality drinking water, positively impacting public health and the quality of life of the consuming population.

KEYWORDS: Aluminum polychloride. Aluminum sulfate. Turbidity.

Evaluación de la remoción de turbidez en la ETA Seminário: análisis comparativo entre los coagulantes PAC y sulfato de aluminio

RESUMEN

Objetivo - Realizar el análisis estadístico de la eficiencia del coagulante policloruro de aluminio (PAC), utilizado en la Estación de Tratamiento de Agua (ETA) Seminário, ubicada en el municipio de Mariana, Minas Gerais, en comparación con el coagulante sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), empleado en la estación hasta el año 2020, con un enfoque específico en la remoción de la turbidez del agua. Adicionalmente, se busca evaluar la conformidad de los valores de turbidez del agua tratada registrados con el estándar de potabilidad vigente para este parámetro, comparando el desempeño de los coagulantes en relación con el cumplimiento de los criterios normativos.

Metodología - Los datos de turbidez del agua tratada con ambos coagulantes fueron obtenidos junto a los funcionarios responsables de la ETA Seminário. Considerando que los registros fueron realizados de forma manual, se procedió a su digitalización para su posterior tratamiento estadístico. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov (KS), con el fin de verificar la adherencia de los datos a una distribución normal. Posteriormente, se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para identificar posibles diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las muestras asociadas al uso del PAC y del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Originalidad/Relevancia - Se observa una escasez de estudios que evalúen, de manera comparativa y mediante métodos estadísticos, la eficiencia de estos dos coagulantes con base en extensos conjuntos de datos operativos, especialmente en lo que respecta a la reducción de la turbidez. La relevancia académica del estudio reside en la aplicación de métodos estadísticos a datos operativos reales, ampliando el conocimiento sobre el desempeño de los coagulantes en contextos prácticos y ofreciendo insumos para futuras investigaciones en el área de tratamiento de agua y saneamiento.

Resultados - La prueba KS indicó que las muestras no siguen una distribución normal. La prueba U de Mann-Whitney mostró que la mediana de la muestra correspondiente a la turbidez después del tratamiento con PAC es estadísticamente menor que la mediana de la muestra de turbidez después del tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, lo que evidencia una mayor eficiencia del PAC en la remoción de la turbidez del agua. En relación con el estándar de potabilidad, el análisis demostró que el PAC presentó un desempeño superior, con una mayor proporción de resultados conformes, mientras que el uso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ resultó en frecuentes no conformidades y valores críticos.

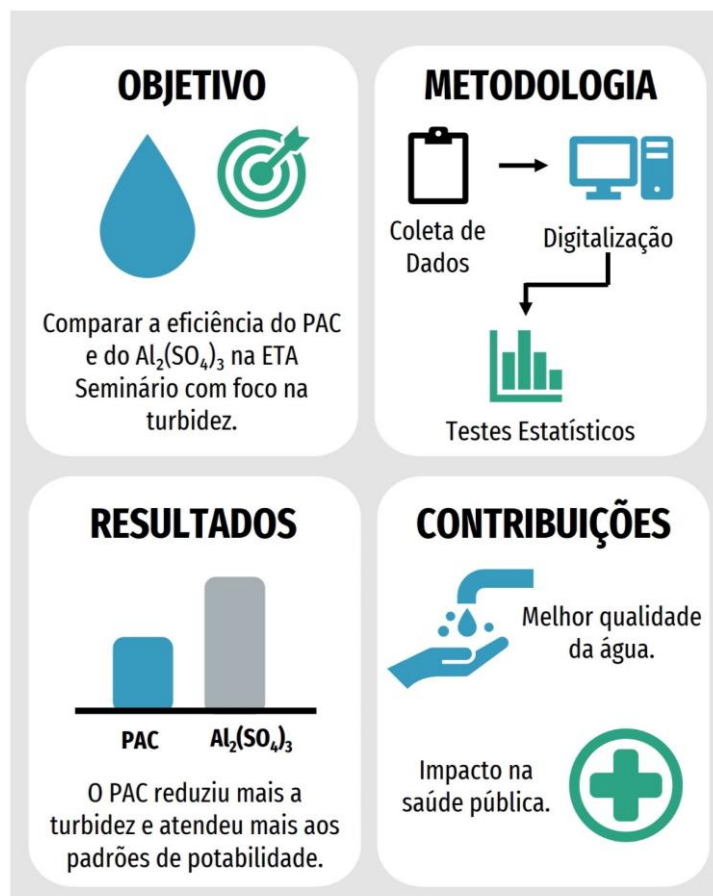
Contribuciones teóricas/metodológicas - El estudio contribuye teóricamente al evidenciar, con base en datos

empíricos, la eficiencia del PAC en relación con el $Al_2(SO_4)_3$ en la reducción de la turbidez del agua en una estación de tratamiento. Metodológicamente, el trabajo ofrece un modelo replicable de evaluación comparativa de coagulantes a partir de registros operativos.

Contribuciones sociales y ambientales - La comprensión de cuál de los dos coagulantes presenta mayor eficacia en la remoción de partículas suspendidas en el agua, representadas por la turbidez, puede influir de manera directa en la toma de decisiones respecto a su adopción en una ETA y conducir a un proceso de tratamiento de agua más refinado, contribuyendo a la producción de agua potable de mayor calidad, lo que impacta positivamente en la salud y la calidad de vida de la población consumidora.

PALABRAS CLAVE: Policloruro de aluminio. Sulfato de aluminio. Turbidez.

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural extremamente importante para o ser humano, essencial para a sobrevivência e para as atividades cotidianas. Para que seu consumo seja seguro, é necessário o atendimento a padrões de potabilidade que garantirão que a água estará livre de impurezas, microrganismos patogênicos e outros contaminantes potencialmente prejudiciais à saúde humana. Dessa forma, torna-se fundamental a realização do tratamento da água antes de sua distribuição à população, principalmente quando ela é proveniente de mananciais superficiais, como rios, que estão suscetíveis às fontes variadas de poluição.

A infraestrutura composta por construções civis, equipamentos e materiais diversos designados para o tratamento e distribuição de água potável à população consiste no sistema de abastecimento de água para o consumo humano. No âmbito desse sistema, as instalações onde a água é tratada, a fim de atingir os padrões de potabilidade, são denominadas Estações de Tratamento de Água (ETA). No Brasil, tais padrões são regidos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021).

O tratamento de água tem como finalidade melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que constituem o Índice de Qualidade das Águas (IQA), instrumento utilizado para descrever o nível de qualidade da água e assegurar que ela esteja adequada para o consumo humano (Chidiac *et al.*, 2023). Esse processo ocorre através de etapas que, de modo geral, abrangem: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação (Trifirò; Zanirato, 2024).

Conforme Pandey e Khan (2022), na etapa de coagulação são adicionados coagulantes à água com o objetivo de retirar dela partículas coloidais responsáveis pela turbidez, cor, sabor e odor. Esses coagulantes promovem a desestabilização das partículas sólidas em suspensão no líquido, possibilitando sua agregação em flocos maiores. Esses flocos serão posteriormente removidos nas etapas seguintes do tratamento. Como resultado, ocorre a redução significativa da turbidez da água, entre outros parâmetros.

Os coagulantes empregados nesse processo podem ser de natureza orgânica ou inorgânica. Entre os coagulantes orgânicos, compostos como tanino, quitosana, *moringa oleifera* e *aloe vera* apresentam potencial como agentes coagulantes e floculantes, com vantagens ambientais relacionadas à redução do uso de insumos químicos convencionais e à mitigação de impactos associados ao tratamento de água (Borri; Freire; Boina, 2014; Martins; Oliveira; Guarda, 2014).

O coagulante inorgânico mais comumente utilizado em ETA é o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Além dele, também são amplamente empregados o aluminato de sódio (NaAlO_2), o cloreto de alumínio (AlCl_3), o cloreto férrico (FeCl_3), o sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) e o sulfato ferroso (FeSO_4) (Pandey; Khan, 2022). Destaca-se que, nos últimos anos, o policloreto de alumínio (PAC) tem se consolidado como um coagulante eficiente, apresentando vantagens em relação ao $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, tais como menor dosagem requerida, menor geração de lodo e melhor desempenho em uma faixa mais extensa de pH e temperatura, como mostram Kumar e Balasundaram (2017), e Dutta (2020).

A turbidez é um dos principais parâmetros avaliados para assegurar a qualidade da água, pois está relacionada à presença de partículas em suspensão, conhecidas como Sólidos

Suspensos Totais (SST), que podem incluir microrganismos, poluentes, sedimentos, microplásticos, entre outros. É a baixa capacidade de sedimentação natural dos SST que torna necessário o uso de coagulantes durante o processo de tratamento, a fim de facilitar sua remoção em um curto intervalo de tempo, sendo fundamental a escolha de um coagulante eficaz para garantir o bom desempenho do processo (Kumar; Balasundaram, 2017).

A redução da turbidez, portanto, contribui significativamente não apenas na melhoria da aparência visual da água, tornando-a mais clara e agradável para o consumo, mas também na garantia da segurança sanitária, protegendo a população contra patologias e promovendo a confiança no sistema de abastecimento.

A análise estatística, segundo Gonçalves (2017), visa principalmente, a partir da investigação de amostras representativas, inferir conclusões sobre toda uma população. Para isso, utiliza-se de ferramentas como testes estatísticos, destacando-se os testes de hipóteses, que possibilitam avaliar se uma hipótese é sustentada pelos dados amostrais, auxiliando na tomada de decisões. Esses testes permitem comparar o desempenho dos coagulantes, por exemplo, e determinar se as diferenças observadas são estatisticamente significativas.

Observa-se uma carência de investigações que comparem a eficácia do PAC e do $Al_2(SO_4)_3$ na diminuição da turbidez da água por meio de abordagens estatísticas. A identificação do coagulante que apresenta melhor desempenho na remoção de partículas em suspensão pode ter impacto direto na escolha do insumo a ser adotado em ETA, promovendo maior eficiência no processo de tratamento da água.

A ETA Seminário, localiza-se em Mariana, no estado de Minas Gerais (MG), nas coordenadas geográficas -20.385444° de latitude e -43.410073° de longitude (Google, 2023), e pertence à autarquia Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Mariana. A estação de tratamento possui capacidade nominal de 18 L.s-1 de água e abastece os bairros São José (Chácara), Cabanas, São Pedro e a rua Dom Viçoso (SAAE, 2023).

A água que chega na estação (água bruta) origina-se da Nascente Seminário (manancial superficial) e é conduzida até ela por meio de duas adutoras, passando por um sistema de grades. A ETA possui 13 câmaras de floculação, 1 decantador convencional, 5 filtros rápidos e 1 reservatório com capacidade de armazenamento de aproximadamente 60 m³. Durante alguns anos a ETA Seminário utilizou como coagulante químico o $Al_2(SO_4)_3$ e no ano de 2020 o substituiu pelo PAC.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo analisar, com base em inferência estatística, se o uso do coagulante PAC promoveu uma alteração estatisticamente significativa na remoção de turbidez da água tratada na ETA Seminário, em comparação ao tratamento com $Al_2(SO_4)_3$.

2.2 Objetivos específicos

- Aplicar técnicas estatísticas para análise da distribuição das amostras e realização de

testes de hipóteses;

- Comparar a eficiência dos coagulantes PAC e $Al_2(SO_4)_3$ na remoção de turbidez da água;
- Verificar a conformidade dos dados coletados com o padrão normativo de turbidez vigente;
- Avaliar qual dos coagulantes apresentou maior aderência aos limites normativos estabelecidos.

3 METODOLOGIA

3.1 Levantamento e sistematização dos dados

Para a realização da análise estatística do desempenho do coagulante PAC em relação ao $Al_2(SO_4)_3$, no que se refere à remoção da turbidez da água após o tratamento, foram obtidos dados operacionais da ETA Seminário referentes ao período de 2018 a 2022.

Os dados foram fornecidos pelos profissionais responsáveis pela operação da ETA e consistiam em planilhas de controle da estação, nas quais estavam registradas manualmente informações como a turbidez da água bruta e da água tratada, coletadas em intervalos de 2 horas ao longo de 24 horas. Os dados correspondentes ao tratamento com $Al_2(SO_4)_3$ abrangem o período de 1º de janeiro de 2018 a 21 de julho de 2020, totalizando 10.903 registros, enquanto os dados referentes ao tratamento com PAC correspondem ao período de 22 de julho de 2020 a dezembro de 2022, totalizando 10.404 registros.

Considerando que os dados foram originalmente registrados de forma manual, tornou-se necessário sua digitalização. Esse processo foi realizado por meio do *website nanonets.com*, que permitiu a conversão dos dados escritos em tabelas para um formato compatível com o *software Excel*. Os dados de turbidez tratada correspondentes a cada coagulante foram separados e organizados em planilhas, de acordo com a ordem cronológica de monitoramento, de maneira a facilitar seu uso e consulta.

Na sequência, procedeu-se a uma revisão detalhada de cada registro para corrigir eventuais erros decorrentes do processo de digitalização dos dados pela inteligência artificial (IA) do *website* utilizado. Ressalta-se, entretanto, que o caráter manual das medições e dos registros originais configura uma limitação do presente estudo, uma vez que esse tipo de procedimento pode estar sujeito a variações operacionais, erros de anotação e inconsistências associadas ao fator humano.

Ainda que a etapa de revisão dos dados tenha sido conduzida de forma criteriosa, não se pode descartar completamente a possibilidade de vieses residuais. Dessa forma, os resultados obtidos devem ser interpretados à luz dessa limitação, reconhecendo-se, contudo, que o volume expressivo de dados analisados tende a mitigar eventuais distorções pontuais e a conferir maior robustez às análises realizadas.

3.2 Análise da normalidade dos dados

A avaliação da normalidade dos dados mostrou-se necessária, uma vez que essa etapa é fundamental para a escolha do método estatístico mais adequado para análise das amostras,

tendo em vista que a normalidade é um pressuposto de muitos testes estatísticos. Para tal propósito, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), que, por se tratar de um teste não paramétrico, não requer suposições rígidas sobre o formato da distribuição dos dados, o que lhe confere versatilidade na análise estatística (Corder; Foreman, 2014).

O teste KS é um teste de hipóteses, procedimento estatístico utilizado para avaliar a validade de uma suposição sobre um parâmetro populacional. Estes tipos de testes partem de uma hipótese inicial, denominada hipótese nula (H_0), que representa a ausência de efeito ou diferença significativa. Paralelamente, formula-se uma hipótese alternativa (H_1), que sugere a existência de um efeito ou diferença relevante. Com base nos dados amostrais, o teste estatístico é aplicado para verificar a plausibilidade da H_0 , considerando um nível de significância (α) previamente estabelecido. Caso a evidência estatística seja suficiente para rejeitar a H_0 , aceita-se a H_1 como a explicação mais provável para os dados observados (Assis; Sousa; Linhares, 2020).

Conforme DeGroot (1986), o teste KS verifica a H_0 de que a função de distribuição cumulativa empírica da amostra corresponde à função de distribuição cumulativa teórica. A H_0 é rejeitada quando a estatística do teste, representada por $n^{1/2}D_n^*$, ultrapassa um valor crítico c tabelado, indicando que os dados não seguem a distribuição esperada. Nesse contexto, o teste se mostra uma ferramenta importante para a avaliação da normalidade dos dados.

O teste foi realizado através do *software Excel*, considerando os dados de turbidez após o tratamento da água com o coagulante $Al_2(SO_4)_3$ e com o coagulante PAC. O α adotado para realização do teste foi de 5% ($\alpha = 0,05$). Ressalta-se que o α escolhido reflete a probabilidade de rejeitar a H_0 quando ela é, de fato, verdadeira. Um α de 5% representa uma confiabilidade de 95% nos resultados obtidos (Shrestha, 2019). Além disso, através do *software RStudio*, foi elaborado o gráfico de probabilidade normal para as duas amostras.

Os valores discrepantes (*outliers*), definidos por Fitrianto *et al.* (2022) como uma observação que se distancia consideravelmente das demais observações em um conjunto de dados, foram removidos apenas das representações gráficas com o intuito de aprimorar a clareza visual das distribuições. Os conjuntos de dados referentes ao tratamento de água frequentemente apresentam uma quantidade significativa de *outliers*. Fatores ambientais variados presentes na área de coleta podem influenciar os valores registrados, resultando na presença de pontos anômalos (Kulanuwat *et al.*, 2021).

Ressalta-se que os dados discrepantes não foram removidos das análises estatísticas, pois, embora muitas vezes indiquem comportamentos atípicos ou possíveis erros, nem sempre refletem falhas nos dados. Ademais, a exclusão desses registros poderia implicar na perda de informações relevantes para a interpretação e compreensão dos fenômenos estudados.

3.3 Análise do efeito dos coagulantes sobre a turbidez

Como os dados não apresentaram aderência à distribuição normal, conforme será mostrado na seção de resultados, aplicou-se o teste não paramétrico U de Mann-Whitney. Segundo Nachar (2008), é um teste de hipóteses utilizado para comparar duas amostras independentes, sem pressupor uma distribuição específica para elas.

Neste teste, a H_0 assume que as medianas das duas amostras independentes comparadas são estatisticamente iguais. Em contrapartida, a H_1 pressupõe que uma mediana é

estatisticamente superior à outra. A rejeição da H_0 ocorre quando a estatística z calculada do teste é maior ou igual ao valor crítico z tabelado (Nachar, 2008). O teste foi realizado no *software Excel*, adotando-se um nível de significância de 5%, possibilitando a avaliação de qual dos coagulantes apresentou maior eficiência em remover a turbidez da água após tratamento.

3.4 Verificação do atendimento ao padrão de turbidez

A avaliação do atendimento ao padrão de turbidez da água tratada foi realizada com base nos critérios estabelecidos pela legislação vigente em cada período analisado. Para o intervalo compreendido entre janeiro de 2018 a abril de 2021, adotou-se como referência a Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 (Brasil, 2017), que regia os padrões de qualidade da água à época. Por outro lado, para o intervalo de maio de 2021 a dezembro de 2022, adotaram-se os parâmetros definidos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021), já em vigor nesse período.

A Portaria GM/MS nº 888/2021 determina que o valor máximo permitido (VMP) de turbidez da água, proveniente de manancial superficial, após filtração rápida deve ser de 0,5 unidade de turbidez (uT) em no mínimo 95% das amostras analisadas mensalmente, sendo tolerado o valor de até 1,0 uT para os 5% restantes. A Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017, por sua vez, apresentava metas progressivas para o atendimento ao VMP de 0,5 uT para sistemas de filtração rápida, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrão de turbidez para água pós-filtração rápida: metas progressivas

Portaria	VMP de 0,5 uT	VMP de 1,0 uT
GM/MS nº 5/2017	Em no mínimo 25% das amostras mensais coletadas, ao fim do 1º ano pós publicação da portaria.	No restante das amostras mensais coletadas.
	Em no mínimo 50% das amostras mensais coletadas, ao fim do 2º ano pós publicação da portaria.	
	Em no mínimo 75% das amostras mensais coletadas, ao fim do 3º ano pós publicação da portaria.	
	Em no mínimo 95% das amostras mensais coletadas, ao fim do 4º ano pós publicação da portaria.	

Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Dessa forma, foram calculadas por meio do *Excel* as porcentagens de amostras mensais coletadas com valores menores ou iguais a 0,5 uT e maiores que 1,0 uT para o tratamento com $Al_2(SO_4)_3$ e com PAC ao longo do período analisado. Os resultados obtidos foram sistematizados e organizados em tabelas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste KS

Ao aplicar o teste KS aos dados de turbidez da água após o tratamento com $Al_2(SO_4)_3$, obteve-se a estatística $n^{1/2}D_n^*$ igual a 0,331. Por sua vez, para os dados de turbidez resultantes do tratamento com o PAC, o teste indicou $n^{1/2}D_n^*$ igual a 0,302. O valor crítico encontrado foi de

0,013 para ambas as amostras. A Tabela 2 apresenta, adicionalmente, o nível de significância (α) adotado e o tamanho das amostras (n).

Tabela 2 - Resultados do teste KS

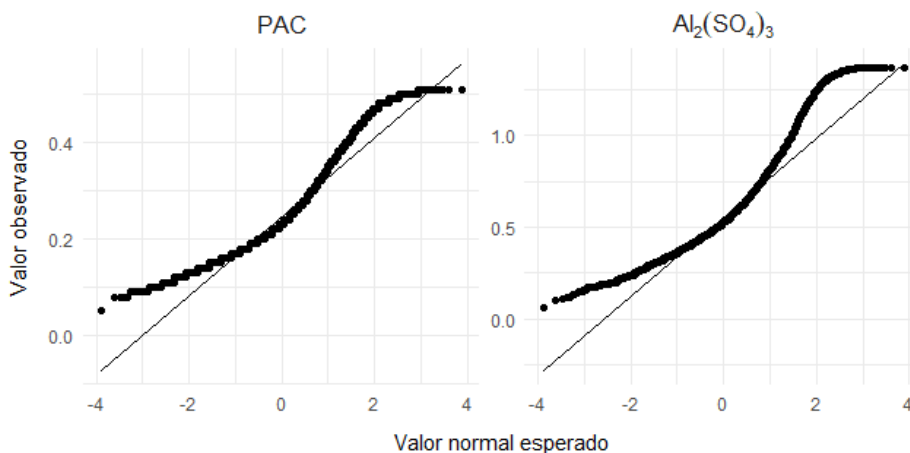
Coagulante	α	n	$n^{1/2}D_n^*$	c
PAC	0,05	10.404	0,302	0,013
Al ₂ (SO ₄) ₃	0,05	10.903	0,331	0,013

Fonte: Autoria própria.

Como $n^{1/2}D_n^* > c$ tanto para a amostra referente à turbidez tratada com o Al₂(SO₄)₃ quanto para a amostra referente à turbidez tratada com o PAC, rejeita-se a H₀. Dessa forma, conclui-se que as amostras não seguem uma distribuição normal. Sendo assim, é necessário prosseguir a análise utilizando um método estatístico não paramétrico.

O gráfico de probabilidade normal (Gráfico 1) apresenta a distribuição dos valores de turbidez tratada com PAC e com Al₂(SO₄)₃ em relação a uma distribuição normal teórica. A linha contínua estreita representa a reta de referência para uma distribuição normal, enquanto a curva formada por pontos pretos corresponde à distribuição dos valores observados.

Gráfico 1 – Comparação da curva de distribuição dos dados da turbidez após o tratamento com PAC e com Al₂(SO₄)₃ em relação à reta de distribuição normal teórica



Fonte: Autoria própria.

Observa-se que a maior parte dos pontos se afasta da reta teórica, indicando um não ajuste dos dados à distribuição normal. Esse comportamento corrobora os resultados obtidos através do teste KS, reforçando a evidência de não normalidade das amostras analisadas.

4.2 Teste U de Mann-Whitney

A aplicação do teste não paramétrico U de Mann-Whitney, ao nível de significância de 5%, resultou em um valor absoluto de z calculado igual a 105,61, enquanto o módulo de z tabelado foi de 1,64, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do teste U de Mann-Whitney

	Resultado
z calculado	105,61
z tabelado	1,64

Fonte: Autoria própria.

Como $|z \text{ calculado}| > |z \text{ tabelado}|$, rejeita-se a H_0 , aceitando-se a hipótese alternativa a qual indica que existe diferença estatisticamente significativa entre as medianas das duas amostras analisadas. A mediana da amostra de turbidez da água tratada com o PAC foi de 0,24 uT, enquanto a mediana da amostra de turbidez após o tratamento com o $Al_2(SO_4)_3$ foi de 0,55 uT. Dessa forma, constata-se que a mediana da amostra referente ao PAC foi estatisticamente menor que a do $Al_2(SO_4)_3$, permitindo inferir que o PAC apresentou maior eficiência na remoção do parâmetro turbidez da água na ETA Seminário.

A maior eficiência do PAC observada neste estudo encontra respaldo na literatura internacional, que destaca seu desempenho superior em processos de coagulação quando comparado ao $Al_2(SO_4)_3$. Sob a perspectiva ambiental, o uso do PAC tem sido associado à menor geração de lodo e à redução do alumínio residual na água tratada, o que pode contribuir para a diminuição de impactos ambientais relacionados à disposição de resíduos (Dutta, 2020).

Sob a perspectiva econômica, a maior eficiência de coagulação e a necessidade de menores dosagens, como mostram Azhar, Haron e Ismail (2022), tendem a reduzir o consumo de insumos e os custos operacionais ao longo do tempo. No âmbito social, a maior regularidade no atendimento aos padrões normativos de turbidez reflete diretamente na segurança e na confiabilidade do abastecimento público de água, aspecto fundamental para a proteção da saúde da população.

No contexto brasileiro, marcado por elevada heterogeneidade regional, limitações orçamentárias e desafios na universalização do saneamento básico, a escolha de coagulantes mais eficientes e ambientalmente adequados assume papel estratégico, sobretudo em sistemas públicos de abastecimento de água, nos quais a eficiência operacional e a conformidade normativa impactam diretamente a qualidade de vida da população.

Assim, os resultados obtidos neste estudo reforçam que a adoção do PAC pode representar não apenas uma melhoria técnica, mas também um avanço em termos de sustentabilidade e qualidade dos serviços de saneamento.

4.3 Análise do atendimento ao padrão de turbidez

Para verificar o atendimento ao VMP de turbidez para os anos de 2018, 2019 e 2020, período em que se utilizou o $Al_2(SO_4)_3$ na ETA Seminário, foi considerado o expresso na Tabela 1 referente à Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017, em vigor na época. Com isso, calculou-se a porcentagem de amostras coletadas que apresentaram valores de turbidez abaixo de 0,5 uT e maiores que 1,0 uT para cada mês do período analisado. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para o tratamento com o coagulante $Al_2(SO_4)_3$.

Tabela 4 - Porcentagem de amostras coletadas com valores abaixo ou iguais a 0,5 uT e acima de 1,0 uT para o tratamento com $Al_2(SO_4)_3$

Mês	2018		2019		2020	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Janeiro	38,61%	62,44%	71,39%	5,71%	26,63%	40,32%
Fevereiro	26,22%	10,74%	43,12%	22,58%	29,57%	19,05%
Março	16,62%	20,61%	42,23%	15,57%	38,48%	28,77%
Abril	9,89%	24,45%	24,44%	7,35%	55,28%	4,35%
Mai	19,51%	11,78%	43,48%	5,29%	49,45%	0,54%
Junho	0,00%	99,43%	46,35%	4,19%	79,21%	6,76%
Julho	0,00%	96,50%	53,54%	4,88%	94,35%	14,29%
Agosto	22,16%	39,93%	57,79%	2,68%	-	-
Setembro	36,39%	18,47%	65,17%	10,48%	-	-
Outubro	64,52%	18,18%	63,54%	1,52%	-	-
Novembro	58,33%	16,67%	33,14%	29,39%	-	-
Dezembro	54,26%	26,71%	33,71%	13,79%	-	-

Fonte: Autoria própria.

Nota: (1) $\leq 0,5$ uT; (2) $> 1,0$ uT no restante das amostras.

Observa-se que no ano de 2018, entre os meses de março a agosto, não foi atingido o percentual mínimo de 25% de amostras com turbidez inferior ou igual a 0,5 uT, conforme estabelecido nas metas progressivas da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017. Esse resultado evidencia dificuldades no processo de clarificação da água nesse intervalo.

Ressalta-se que, nos meses de junho e julho, nenhuma das amostras apresentou valor dentro do limite de 0,5 uT, o que aponta para uma falha completa no atendimento ao padrão de potabilidade nesses meses. Esse desempenho insatisfatório pode estar relacionado a ineficiências operacionais no sistema de coagulação e filtração, ou ainda à necessidade de readequação na dosagem do coagulante e manutenção dos filtros.

Além disso, em todos os meses de 2018 foram registrados valores superiores a 1,0 uT, sendo fevereiro o mês com menor percentual de amostras acima desse limite (10,74%) e junho aquele com a maior proporção (99,43%). Tais resultados apontam para a necessidade de revisão dos parâmetros de coagulação e filtração, bem como de maior controle operacional e manutenção preventiva, de modo a garantir a estabilidade do processo e o cumprimento dos padrões de potabilidade.

Em 2019 o critério mínimo de 50% de amostras com turbidez até 0,5 uT não foi alcançado nos meses de fevereiro a junho, bem como em novembro e dezembro. Nota-se, portanto, um maior número de meses em desconformidade em relação ao ano anterior, o que evidencia dificuldades na consolidação do atendimento às metas progressivas estabelecidas pela norma.

Assim como no ano anterior, todos os meses apresentaram amostras com valores superiores a 1,0 uT. Contudo, houve uma redução significativa na quantidade de amostras que ultrapassaram esse limite, indicando uma melhoria gradual na eficiência do tratamento. O menor percentual de amostras fora do limite foi registrado em outubro (1,52%), enquanto o maior ocorreu em novembro (29,39%), sugerindo que, embora o desempenho geral tenha evoluído, persistem oscilações sazonais no controle da turbidez. Essa variação pode estar

relacionada tanto a fatores climáticos e à qualidade da água bruta, como o aumento da carga de sólidos suspensos devido à maior pluviosidade característica do período.

No ano de 2020, entre os meses de janeiro e maio, não foi atingido o mínimo de 75% de amostras com turbidez inferior ou igual a 0,5 uT. Novamente, nos meses analisados do referido ano foram verificadas amostras com valores superiores a 1,0 uT. Dentre esses meses, janeiro apresentou a maior frequência desses registros (40,32%), enquanto maio apresentou a menor (0,54%), configurando o melhor desempenho do $Al_2(SO_4)_3$ em todo o período analisado, compreendido entre janeiro de 2018 e julho de 2020.

Sendo assim, com relação ao VMP de turbidez de 0,5 uT, verifica-se que, dos 31 meses analisados, em 18 deles não foi alcançado o percentual mínimo exigido de amostras dentro desse limite, o que corresponde a 58,06% do total avaliado. Esse resultado evidencia uma frequente não conformidade com as metas de turbidez estabelecidas pela Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017, indicando que mais da metade do período avaliado apresentou desempenho abaixo do esperado em termos de eficiência do tratamento.

Ademais, considerando-se o total de 10.903 amostras examinadas, 1.763 apresentaram turbidez superior a 1,0 uT e em 100% dos meses analisados foram identificadas amostras com valores superiores a esse, configurando, portanto, recorrente descumprimento do padrão estabelecido, o que pode ter comprometido a qualidade final da água tratada em determinados períodos.

A fim de se verificar a conformidade com o VMP de turbidez no tratamento com PAC, aplicou-se o mesmo procedimento adotado para o tratamento com $Al_2(SO_4)_3$, no período de julho de 2020 a abril de 2021, em que a norma vigente era a Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017. Os resultados obtidos estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Porcentagem de amostras coletadas com valores abaixo ou iguais 0,5 uT e acima de 1,0 uT para o tratamento com PAC: avaliação com uso da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017

Mês	2020		2021	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Janeiro	-	-	98,34%	33,33%
Fevereiro	-	-	95,72%	28,57%
Março	-	-	98,37%	0,00%
Abril	-	-	100,00%	0,00%
Maio	-	-	-	-
Junho	-	-	-	-
Julho	94,17%	0,00%	-	-
Agosto	92,13%	0,00%	-	-
Setembro	95,53%	0,00%	-	-
Outubro	94,10%	47,37%	-	-
Novembro	90,41%	65,38%	-	-
Dezembro	93,13%	52,00%	-	-

Fonte: Autoria própria.

Nota: (1) \leq 0,5 uT; (2) $>$ 1,0 uT no restante das amostras.

Constata-se que, nos meses analisados do ano de 2020, todos atenderam ao requisito mínimo de 75% das amostras com turbidez inferior ou igual a 0,5 uT. Entre julho e setembro não

foram registradas amostras com valores superiores a 1,0 uT, o que indica eficiência operacional e estabilidade no processo de tratamento durante esse período.

Entretanto, entre outubro e dezembro, voltou-se a registrar amostras com turbidez acima de 1,0 uT, sendo novembro o mês com maior ocorrência (65,38%) de resultados fora do limite. Esse aumento pode estar associado ao início do período chuvoso, quando há maior carregamento de partículas e matéria orgânica para os mananciais, elevando a carga de sólidos suspensos e exigindo maior rigor no controle operacional da ETA.

Em relação ao ano de 2021, todos os meses avaliados atenderam plenamente ao critério de potabilidade, que estabelece que no mínimo 95% das amostras apresentem turbidez igual ou inferior a 0,5 uT. Esse resultado evidencia uma melhoria significativa na eficiência do tratamento da água em relação aos anos anteriores, refletindo possivelmente o aperfeiçoamento dos processos operacionais e a influência do coagulante aplicado.

Nos meses de janeiro e fevereiro, foram registradas amostras com turbidez superior a 1,0 uT, porém, as porcentagens de não conformidade (33,33% e 28,57%, respectivamente) foram substancialmente menores do que as observadas em 2020, indicando tendência de estabilização da qualidade da água. Destaca-se o desempenho do mês de abril, em que todas as amostras apresentaram turbidez inferior ou igual a 0,5 uT, sem nenhum registro acima de 1,0 uT. Esse resultado demonstra a consolidação do controle operacional.

No período de maio de 2021 a dezembro de 2022, adotou-se como referência a norma vigente, a Portaria GM/MS nº 888/2021. Essa regulamentação estabelece que, para a turbidez da água tratada por filtração rápida, ao menos 95% das amostras mensais devem apresentar valores iguais ou inferiores a 0,5 uT, sendo admitido o limite de até 1,0 uT para os 5% restantes. Com base nisso, para a verificação do atendimento ao VMP de turbidez, foi calculada a porcentagem de amostras com valores abaixo ou iguais a 0,5 uT e superiores a 1,0 uT para cada um dos meses. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Porcentagem de amostras coletadas com valores abaixo ou iguais a 0,5 uT e acima de 1,0 uT para o tratamento com PAC: avaliação com uso da Portaria de Consolidação GM/MS nº 888/2021

Mês	2021		2022	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Janeiro	-	-	87,81%	59,09%
Fevereiro	-	-	78,31%	9,72%
Março	-	-	95,57%	0,00%
Abril	-	-	98,29%	0,00%
Maio	99,73%	0,00%	93,75%	4,35%
Junho	100,00%	0,00%	99,72%	0,00%
Julho	96,23%	7,14%	99,48%	0,00%
Agosto	97,57%	11,11%	99,46%	0,00%
Setembro	99,47%	0,00%	97,98%	0,00%
Outubro	84,37%	25,86%	89,33%	34,29%
Novembro	96,83%	18,18%	95,49%	18,75%
Dezembro	97,53%	22,22%	99,73%	0,00%

Fonte: Autoria própria.

Nota: (1) \leq 0,5 uT; (2) $>$ 1,0 uT no restante das amostras.

No ano de 2021, o VMP de 0,5 uT foi descumprido apenas no mês de outubro, quando o percentual atingido foi de 84,37%, indicando um episódio pontual de redução na eficiência do

tratamento. Essa exceção pode estar associada a influências sazonais, que levam a um aumento da turbidez da água bruta durante o período chuvoso, o que exige ajustes mais precisos na dosagem de coagulantes e na operação das unidades de filtração.

Verifica-se ainda que, nos meses de julho, agosto e de outubro a dezembro, foram registradas amostras com turbidez superior a 1,0 uT, sendo outubro o mês com maior percentual de não conformidade (25,86%). Em contrapartida, maio, junho e setembro apresentaram todas as amostras dentro do limite de 1,0 uT, o que demonstra uma operação eficiente da ETA.

Em 2022, a conformidade com o VMP de 0,5 uT não foi alcançada nos meses de janeiro, fevereiro, maio e outubro. Dentre esses, fevereiro apresentou o menor percentual de amostras dentro do limite (78,31%), indicando possível comprometimento na eficiência do tratamento nesse período. Além disso, foram registradas amostras com turbidez superior a 1,0 uT nos meses de janeiro, fevereiro, maio, outubro e novembro, com destaque para janeiro, que apresentou o maior percentual de resultados acima desse valor (59,09%). Esse comportamento pode estar associado à chegada de uma água bruta mais turva na ETA durante períodos de maior pluviosidade.

Dessa forma, entre os 30 meses avaliados para o tratamento com PAC, 5 não alcançaram o percentual mínimo exigido de amostras com turbidez inferior ou igual a 0,5 uT, correspondendo a 16,67% do total analisado. Esse resultado mostra que, embora a maioria dos meses tenha atendido aos padrões de potabilidade, ainda ocorreram períodos pontuais de ineficiência no processo de clarificação.

Além disso, das 10.404 amostras examinadas, 115 apresentaram valores de turbidez superiores a 1,0 uT, distribuídas em 15 meses (50% do período). Essa ocorrência evidencia que, mesmo com desempenho geral satisfatório, houve recorrência de episódios de elevação da turbidez, possivelmente associados a variações operacionais, características da água bruta ou condições climáticas adversas. A Tabela 7 compara os resultados obtidos do desempenho do PAC e do $Al_2(SO_4)_3$ no cumprimento do padrão de potabilidade de turbidez.

Tabela 7 – Comparação do desempenho do PAC e do $Al_2(SO_4)_3$ em relação ao atendimento ao padrão de potabilidade para turbidez

Coagulante	Total de meses analisados	Meses que ultrapassaram o VMP de 0,5 uT	Meses que ultrapassaram o VMP de 1,0 uT	Quantidade de amostras maiores que 1,0 uT
PAC	30	5	15	115
$Al_2(SO_4)_3$	31	18	31	1.763

Fonte: Autoria própria.

Diante desse cenário, os resultados evidenciam que o PAC apresentou desempenho superior ao $Al_2(SO_4)_3$ no que se refere ao atendimento aos padrões normativos de turbidez, uma vez que apresentou maior frequência de conformidade com o VMP. Os resultados indicam que o PAC proporcionou um processo de coagulação mais eficiente, refletido na menor incidência de valores de turbidez acima dos limites normativos e em maior regularidade no cumprimento dos padrões de qualidade da água tratada.

5 CONCLUSÃO

A etapa de coagulação desempenha um papel fundamental no tratamento de água, especificamente na remoção de partículas suspensas, garantindo a qualidade e segurança da água para consumo humano. Nesse contexto, a seleção do coagulante mais eficaz é de extrema importância, pois otimiza a remoção de impurezas, garante a potabilidade da água, reduz custos e impactos ambientais, melhora a eficiência dos processos subsequentes e evita a formação de subprodutos indesejáveis.

Diante disso, a presente pesquisa investigou o desempenho do PAC, coagulante atualmente utilizado na ETA Seminário em Mariana/MG, em comparação ao $Al_2(SO_4)_3$, coagulante utilizado até o ano de 2020 na mesma ETA, na remoção de turbidez da água. A análise comparativa foi realizada por meio de métodos estatísticos com o objetivo de verificar se o PAC apresentaria resultados satisfatórios. Ademais, este estudo avaliou o cumprimento do padrão de turbidez por ambos os coagulantes, comparando os valores de turbidez das amostras coletadas com o VMP de turbidez estabelecido pelas portarias vigentes em cada período analisado.

A análise estatística, por meio do teste U de Mann-Whitney, demonstrou que a amostra tratada com o PAC apresentou mediana estatisticamente menor em comparação à amostra tratada com $Al_2(SO_4)_3$. Essa constatação evidencia que o PAC proporcionou um processo de coagulação mais eficiente, refletindo-se em maior capacidade de remoção de partículas responsáveis pela turbidez da água.

A análise do atendimento ao VMP de turbidez evidenciou que o PAC obteve performance superior em relação ao $Al_2(SO_4)_3$, uma vez que permaneceu dentro dos limites determinados pelas normas com maior frequência. Durante o período analisado com a aplicação do PAC no tratamento da água, verificou-se que, em apenas 5 meses, não foi atingido o percentual mínimo de 95% de amostras com turbidez inferior a 0,5 uT. Em contrapartida, no tratamento com $Al_2(SO_4)_3$, observou-se que, em 18 meses do total avaliado, os parâmetros normativos para o VMP de turbidez não foram alcançados.

Acerca do VMP de 1,0 uT para as demais amostras coletadas fixado pelas portarias, observou-se que, no tratamento com PAC, em 50% dos meses avaliados foram detectados valores de turbidez superiores a esse limite. Por outro lado, a aplicação do $Al_2(SO_4)_3$ apresentou capacidade inferior, uma vez que, em 100% dos meses analisados, foram identificadas amostras com turbidez acima de 1,0 uT.

Em suma, os resultados obtidos neste estudo confirmam a eficácia do PAC na remoção de turbidez da água, demonstrando seu potencial para assegurar a potabilidade e qualidade da água destinada ao consumo humano.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, J. P. de; SOUSA, R. P. de; LINHARES, P. C. F. **Testes de hipóteses estatísticas**. Mossoró: EdUFERSA, 2020. ISBN: 978-65-87108-06-3.

AZHAR, A. A.; HARON, N. F.; ISMAIL, H. B. The efficiency assessment of Poly-Aluminium Chloride (PAC) in water treatment plant process: a case study at Sultan Iskandar Water Treatment Plant, Johor. **Journal of Sustainable Civil Engineering & Technology (JSCET)**, v. 1, n. 2, p. 18-16, 2022.

BORRI, R. B.; FREIRE, R.; BOINA, W. L. O. Remoção da turbidez da água usando Aloe Vera como coagulante natural. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Diário Oficial [da] União**, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 190, 2017. Disponível em: https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 6 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. **Diário Oficial [da] União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 6 jun. 2024.

CHIDIAC, S.; EL NAJJAR, P.; OUAINI, N.; EL RAYESS, Y.; EL AZZI, D. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 22, n. 2, p. 349-395, 2023.

CORDER, G. W.; FOREMAN, D. I. **Nonparametric statistics: A step-by-step approach**. 2nd. ed. New Jersey: Wiley, 2014.

DEGROOT, M. H. **Probability and statistics**. 2nd. ed. United States of America: Addison-Wesley Publishing Company, 1986.

DUTTA, M. K. Energy and water conservation by coagulant change over from aluminum sulfate to poly aluminum chloride (PAC) at a conventional water treatment plant. **Petroleum and Chemical Industry International**, v. 3, n. 1, p. 6-9, 2020.

FITRIANTO, A.; MUHAMAD, W. Z. A. W.; KRISWAN, S.; SUSETYO, B. Comparing outlier detection methods using boxplot generalized extreme studentized deviate and sequential fences. **Aceh International Journal of Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 38-45, 2022.

GONÇALVES, G. M. A. C. **Aprendizagem de Testes de Hipóteses por Alunos do Ensino Superior Politécnico**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências da Educação, Especialidade em Educação Matemática) – Universidade do Minho, Portugal, 2017.

GOOGLE. **Google Maps**. [S. l.]: Google, 2023. Disponível em: <https://nlink.at/googlemapsETAdoSeminaro>. Acesso em: 2 abr. 2023.

KULANUWAT, L.; CHANTRAPORNCHAI, C.; MALEEWONG, M.; WONGCHAIWAT, P.; WIMALA, S.; SARINNAPAKORN, K.; BOONYA-AROONNET, S. Anomaly detection using a sliding window technique and data imputation with machine learning for hydrological time series. **Water**, v. 13, n. 13, p. 1862, 2021.

KUMAR, N.; BALASUNDARAM, N. Efficiency of PAC in water treatment plant & disposal of its sludge. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 12, n. 12, p. 3253-3262, 2017.

MARTINS, A. A.; OLIVEIRA, R. M. S. de; GUARDA, E. A. Potencial de uso de compostos orgânicos como, coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de água e efluentes. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, p. 168-183, 2014.

NACHAR, N. The Mann-Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution. **Tutorials in Quantitative Methods for Psychology**, v. 4, n. 1, p. 13-20, 2008.

PANDEY, P.; KHAN, F. Moringa oleifera Plant as potent alternate to Chemical Coagulant in Water Purification. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 58, 2022.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE MARIANA (SAAE). **Estações de Tratamento: ETA Seminário**. c2023. 1 fotografia. Disponível em: <https://saaemariana.mg.gov.br/saneamento/>. Acesso em: 7 jun. 2023.

SHRESTHA, J. P-Value: A true test of significance in agricultural research. **SSRN**, 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4592804. Acesso em: 12 ago. 2024.

TRIFIRÒ, F.; ZANIRATO, P. Water purification: physical, mechanical, chemical and biological treatments. **Mathews Journal of Pharmaceutical Science**, v. 8, n. 3, p. 42, 2024.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Thais Mayara Rodrigues Gomes:

Curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, redação - rascunho inicial, redação – revisão crítica, revisão e edição final.

Elton Santos Franco:

Concepção e design do estudo, investigação, metodologia, redação - revisão crítica e supervisão.

Rafael Genaro:

Concepção e design do estudo, análise formal, metodologia, redação - revisão crítica e supervisão.

Jairo Lisboa Rodrigues:

Metodologia, redação - revisão crítica e supervisão.

Núbia Aparecida de Aguiar:

Curadoria de dados, investigação e redação - revisão crítica.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Thais Mayara Rodrigues Gomes, Elton Santos Franco, Rafael Genaro, Jairo Lisboa Rodrigues e Núbia Aparecida de Aguiar**, declaramos que o manuscrito intitulado "**Avaliação da remoção de turbidez na ETA Seminário: análise comparativa entre os coagulantes PAC e sulfato de alumínio**":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.
-