

Estatística experimental aplicada para determinar o par ideal da dosagem de coagulante e nível do pH de coagulação para tratamento de água de abastecimento público

Experimental statistics applied to determine the ideal combination of coagulant dosage and pH level for urban water supply

• **Data de entrada:**
10/11/2021

• **Data de aprovação:**
17/01/2023

Diego Gouveia Marques^{1*} | Valquíria Campos¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.004>

ORCID ID

Marques DG  <https://orcid.org/0000-0002-3402-9202>

Campos V  <https://orcid.org/0000-0001-6568-9935>

Resumo

O tratamento de água para abastecimento compreende diversos processos físico-químicos empregados na remoção de compostos de interesse sanitário. Dentre os processos, destaca-se a etapa de coagulação como essencial para o tratamento efetivo. A coagulação, por sua vez, atinge eficácia quando atrelada a diversos fatores, destacando-se o par “dosagem de coagulante e pH de coagulação”. Ensaios de *jar test* para a obtenção do par ideal referem-se a procedimentos consolidados como parte da rotina das estações de tratamento de água. Entretanto, as metodologias comumente utilizam como resultados apenas a porcentagem de remoção da turbidez na escolha das condições e dosagens, de forma que a ausência de verificação estatística pode acarretar na escolha de condições operacionais que implicam no maior gasto com reagentes. Este trabalho teve como objetivo utilizar-se da estatística experimental, como análise de variância, e teste de Tukey, no sentido de obter o par “dosagem de coagulante versus pH de coagulação” no tratamento de água para abastecimento público. Dentro do planejamento experimental foram utilizadas amostras de água bruta da represa Cachoeira do França, São Paulo, coletadas na ETA Vargem Grande. Os resultados revelam que quando utilizados somente os dados de menor turbidez remanescente, opta-se por cenários com maior gasto de reagente, especificamente o pH de 6,96 e a dosagem de coagulante de 15 mg L⁻¹. Entretanto, a partir dos testes estatísticos verifica-se que o contraste não significativo, a 5% de significância entre os tratamentos, pode indicar condições de operação mais econômicas e de redução de turbidez. Com relação ao parâmetro pH, a amostra com pH 6,46 obteve resultados sem contraste significativo a 5% com relação à amostra com pH 6,96, portanto ao optar-se pelo pH menor há menor necessidade de alcalinizante. Acerca da dosagem de coagulante, a turbidez remanescente da amostra em que se dosou 12 mg L⁻¹ não apresentou contrastes significativos a 5% de significância com a dosagem de menor média de turbidez de 15 mg L⁻¹, resultando na economia de 20% do reagente ao optar-se pela menor dosagem. O controle de reagentes nessa magnitude impacta na questão financeira e, do ponto de vista ambiental, o menor uso de reagente satisfaz princípios do desenvolvimento sustentável nas organizações.

Palavras-chave: Coagulante. pH. Estatística experimental. Tratamento de água.

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Ciência e Tecnologia – Sorocaba – São Paulo – Brasil.

* **Autor correspondente:** dieogm44@outlook.com.

Abstract

Water treatment for human supply consists of several physicochemical processes aimed at removing impurities to ensure its potability. Coagulation stands out among these processes because it is crucial for the effectiveness of water treatment. Several conditions must be met to ensure the effectiveness of the coagulation process, the most important of which are the correct combination of coagulant dosage and pH level. Jar testing, which is widely used to determine the best combination of coagulant dosage and pH level, is a routine test employed by water treatment plants (WTP). However, the results of various methodologies usually take into account only residual turbidity for the choice of conditions and levels. This absence of statistical validation may cause misinterpretation of the results, leading to the excessive use of chemical reagents. The purpose of this research was to apply experimental statistics such as analysis of variance and Tukey's test to determine the ideal combination of coagulant dosage and pH level in the treatment of urban water supply. The experimental design involved the use of water samples from Cachoeira do França reservoir, collected at the Vargem Grande WTP in the state of São Paulo, as a tool to underpin operational decisions aimed at reducing the amount of chemicals used in the process. The results indicate that when only the lowest residual turbidity data are used, the tendency is to employ larger amounts of reagents, specifically, at a pH level of 6.96 and coagulant dosage of 15 mg L⁻¹. However, based on the statistical analyses, the final choice considered ideal was a pH level of 6.46 and a coagulant dosage of 12 mg L⁻¹, due to nonsignificant contrasts between the treatment means in 5% of significance level. This choice reduced the requirements of both chemical reagents, i.e., the alkalinizing agent to adjust the pH level and the coagulant dosage. In terms of coagulant dosage, the choice based on Tukey's test would result in a 20% reduction in chemical reagents. Savings of this magnitude in chemical reagents provide a strong positive financial impact. Moreover, from an environmental standpoint, the use of smaller amounts of chemical reagents satisfies the principles of sustainable development in organizations.

Keywords: Coagulant. pH. Experimental statistics. Water treatment.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de águas superficiais ou subterâneas para abastecimento é composto por um conjunto de processos e operações unitárias, visando à remoção de componentes de interesse sanitário, garantindo a adequação da água tratada aos parâmetros de potabilidade definidos na legislação e propiciando o consumo seguro (DI BERNARDO et al., 2011). Existem diversas tecnologias que podem ser aplicadas para esse fim, entretanto a tecnologia mais consagrada no país e no mundo é denominada de convencional ou ciclo completo. Trata-se da tecnologia que possui a adição de coagulante em uma unidade de mistura rápida, floculação, sedimentação e filtração (LACERDA et al., 2019).

Uma das etapas de maior importância no tratamento de água é o processo de coagulação, uma vez que, não sendo efetiva, todas as etapas subsequentes serão prejudicadas, reforçando a necessidade de estudos para melhor entendimento do processo (CORDEIRO et al., 2016). Lopes et al. (2020) destacam que estudos de condições operacionais, como a dosagem de coagulante e pH de coagulação, são necessários para que ocorra boa eficácia no tratamento. Como descrito por Bartiko (2011), não existe uma dosagem ótima de coagulante ou pH de coagulação ótimo, e sim um par de valores para dosagem de coagulante versus pH de coagulação indicado para situações específicas. Uma prática consolidada é o ensaio de jarros ou *jar test*, possibilitando a comparação imediata de diferentes dosagens de reagentes e condições de operação como pH e gradientes

de agitação (SANTOS, 2011). A otimização do processo utilizando-se de ensaios de jarro serve para o menor gasto de reagentes e melhor remoção de partículas de interesse sanitário. A menor utilização de reagentes torna-se altamente pertinente no âmbito ambiental, como levantado no princípio 1 da ecoeficiência “redução de materiais utilizados nos bens e serviços” (WBCSD, 2000). A ecoeficiência, por sua vez refere-se ao conjunto de elementos empregados por ampla coligação internacional de empresas com foco no desenvolvimento sustentável, tornando-se referência em direcionamentos pautados em “produzir menos com mais” (ACHON, 2008).

Se de forma direta a redução na dosagem do coagulante é benéfica do ponto de vista econômico e ambiental, outras vantagens também são alcançadas com menores dosagens. Primeiramente, por se tratar de um reagente ácido, dosagens mais baixas resultam em menor necessidade de alcalinizante para a adequação do pH de operação. Com relação à formação de lodo, o principal resíduo de uma estação de tratamento de água (ETA), a quantidade de coagulantes, auxiliares de coagulação e alcalinizantes influencia diretamente na quantidade gerada (CARVALHO, 2016); sendo assim, o menor uso de coagulantes indiretamente resulta na redução de custos e impactos ambientais do resíduo do processo. Pereira et al. (2012) obtiveram, por exemplo, a influência de 10 a 30% dos produtos químicos adicionados no tratamento, na produção do resíduo sólido em estudo de caso utilizando banco de dados reais de uma ETA de Juiz de Fora, Minas Gerais.

Nota-se, entretanto, em alguns trabalhos, como os de Wimmer (2007) e Filho et al. (2011), que os resultados considerados como melhor par utilizam-se de apenas a porcentagem de remoção de turbidez de cada amostra, ou da média de turbidez final, caso ocorram repetições da condição, não sendo realizados os testes de significância estatística. Desse modo, podem ocorrer conclu-

sões imprecisas quanto às melhores dosagens de reagentes. Como opção de abordagem estatística, a análise de variância (ANOVA) é uma ferramenta empregada amplamente em estudos com grupos experimentais e grupos controle, de modo que o resultado pode indicar o contraste significativo em certo nível de significância de pelo menos um dos grupos, em relação aos outros. Quando indicado o contraste significativo pela ANOVA, adicionalmente, são empregados testes de comparação de média, sendo a técnica mais frequentemente empregada o teste de Tukey, cujo resultado especifica a diferença entre a média dos grupos. A indicação da diferença é feita por letras, e grupos que não possuem uma letra em comum possuem diferença significativa no nível de significância proposto (NANDA et al., 2021).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal obter valores de pH e dosagem de coagulante ideal, mediante delineamento inteiramente casualizado, ANOVA e teste de Tukey, em ensaios com água bruta da represa Cachoeira do França, Juquitiba, coletadas na ETA Vargem Grande, São Paulo.

Como objetivos específicos foram comparados os resultados obtidos com o par ideal “dosagem de coagulante versus pH” indicado pela média simples dos resultados, observando oportunidades de economia de reagente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo utilizou-se água bruta superficial da represa Cachoeira do França, Juquitiba, São Paulo, utilizada no abastecimento da região metropolitana de São Paulo (RMSP), aduzida por bombas da represa e coletada no laboratório da ETA Vargem Grande, em Vargem Grande Paulista, São Paulo. O manancial em questão está classificado como classe 1, e o Índice de Qualidade das Águas (IQA)

indica classificação “Boa” para a qualidade das águas, segundo aferições periódicas da CETESB (ENCIBRA e PRIME ENGENHARIA, 2011).

O policloreto de alumínio (PAC) comercial foi utilizado na fase experimental e apresenta, segundo o fabricante, densidade $1,21 \text{ g cm}^{-3}$, teor de alumínio de 9,49% e concentração 369 g cm^{-3} , posteriormente sendo diluído à concentração de 1% em massa. Também foi utilizado leite de cal (Ca(OH)_2) 1,2 % em massa produzido em extintor de cal virgem na ETA.

Para a série experimental utilizou-se equipamento de *jar test* (PoliControl), contendo cinco jarros com capacidade de 2 L cada um, que apresenta agitação máxima de pá em 300 rpm gerando gradiente de agitação de 600 s^{-1} , como estimado por Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011). Para as análises da água bruta e da água decantada após o ensaio de *jar test* foram utilizados um turbidímetro HACH TU5200 para o parâmetro de turbidez e um potenciômetro Thermo Union Dual Star para medição dos valores de pH.

4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia empregada foi adaptada de Wimmer (2007) e Di Bernardo et al. (2011). A dosagem de PAC utilizada baseou-se na dosagem utilizada para tratamento na ETA, no momento da coleta. Em seguida, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) aplicado, normalmente, em sistemas com homogeneidade (CUNHA, 2018). A série experimental resume-se em: i) obtenção de pH ideal de coagulação a partir de uma dosagem fixa inicial e; ii) obtenção de dosagem ideal de coagulante a partir do pH fixado na etapa anterior. A avaliação dos dados foi efetuada a partir da ANOVA e teste Tukey. Esses testes estatísticos verificaram a significância a 5% de algum tratamento quanto à variável resposta, avaliando a variação natural por meio de resíduos e a com-

paração entre tratamentos, respectivamente. As condições hidráulicas aplicadas na série experimental são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempos e gradientes hidráulicos empregados nos ensaios de *jar test*

Parâmetros hidráulicos	Valores
Gradiente de agitação da mistura rápida	600 s^{-1}
Tempo de mistura rápida	20 s
Gradiente de agitação da floculação	35 s^{-1}
Tempo de floculação	15 min
Gradiente de sedimentação	$2,5 \text{ cm min}^{-1}$

Para a obtenção de pH ideal foi utilizado o valor de dosagem de PAC empregado na ETA no momento de coleta, no valor de 13 mg L^{-1} , empregando-se cinco valores de pH, um em cada jarro e com distribuição casualizada, e com quatro repetições. Em seguida, foram realizados cálculos referentes à ANOVA e teste de Tukey no nível de 5% de significância, para a obtenção do valor ideal para redução de turbidez e menor uso de reagente.

Por sua vez, empregando o valor de pH ideal obtido, variou-se de 1 em 1 mg L^{-1} a dosagem de PAC, com a dosagem inicial de 13 mg L^{-1} na posição central e realizando-se, novamente, ensaios com cinco jarros, em quatro repetições. Em seguida foram empregados cálculos do delineamento inteiramente casualizado para significância a 5% a partir de ANOVA e teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água bruta coletada na ETA Vargem Grande foi analisada com relação às propriedades físico-químicas e os valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físico-químicas da água bruta

Parâmetros	Valores
Turbidez (NTU)	7,76
pH	6,76

A dosagem inicial utilizada nos ensaios foi de 13 mg L⁻¹ conforme dados da ETA Vargem Grande. A faixa de pH utilizada nos testes com *jar test* compreende valores dentro do diagrama de coagulação, para os sais de alumínio de

Amirtharajah e Mills (1982), com valores entre 6 e 8, especificamente, os valores 6,03; 6,46; 6,69; 7,30; 7,73.

Os resultados dos ensaios de pH ideal de coagulação são expressos na Tabela 3, Fig.1 e Fig. 2.

Tabela 3 - Resultados obtidos nos ensaios de pH ideal com dosagem de 13 mg L⁻¹ em *jar test*

Repetição/ Tratamentos (pH)	1 Turbidez (NTU)	2 Turbidez (NTU)	3 Turbidez (NTU)	4 Turbidez (NTU)	Média de turbidez (NTU)	Desvio Padrão
T1= 6,03±0,06	8,38	7,34	8,21	6,8	7,68	0,74
T2= 6,46±0,14	5,95	3,94	3,42	5,29	4,65	1,17
T3= 6,69±0,03	4,14	3,31	3,54	3,3	3,57	0,39
T4= 7,30±0,10	4,4	4,52	3,37	3,27	3,89	0,66
T5= 7,73±0,13	4,39	4,53	3,7	4,9	4,39	0,52

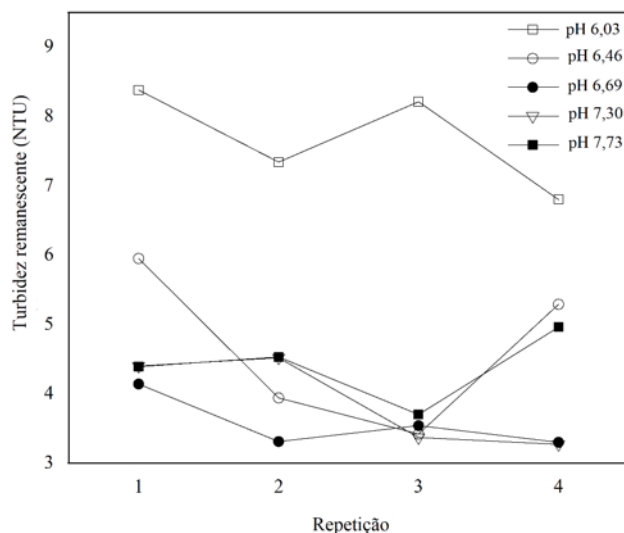


Figura 1 - Turbidez remanescente nos ensaios de pH ideal com dosagem de 13 mg L⁻¹ em *jar test*.

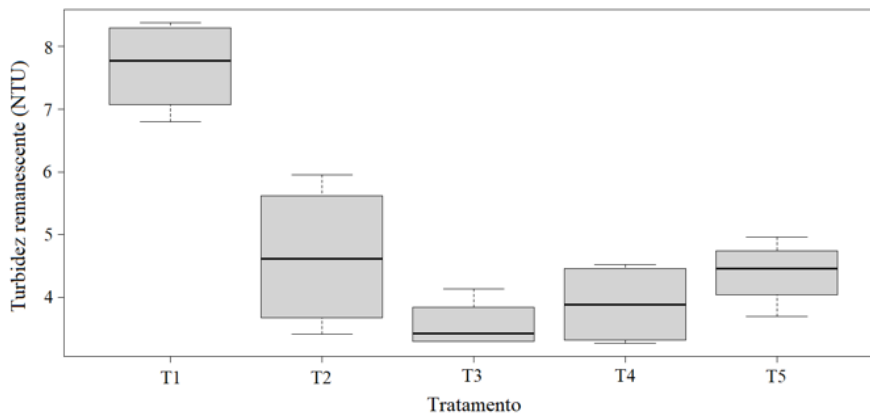


Figura 2 - Boxplot da turbidez remanescente nos ensaios de pH ideal com dosagem de 13 mg L⁻¹ em *jar test*.

A Fig. 2 indica um comportamento em que o tratamento T1 possui valores visivelmente maiores de turbidez remanescente em relação aos demais tratamentos. Observa-se, ainda, que os valores obtidos e expressos no boxplot para o tratamento não cruzam com os demais, sendo o único tratamento a possuir tal condição no experimento realizado. Analisando-se isoladamente os valores de média de turbidez remanescente,

nota-se que os resultados para o tratamento T3, ou pH 6,69, de turbidez remanescente de $3,57 \pm 0,39$ NTU, foram os que apresentaram os menores valores, e, portanto, seria a escolha de pH ideal caso fossem analisadas apenas as médias de turbidez.

A partir dos dados presentes na Tabela 3, realizou-se a ANOVA mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 - ANOVA para os ensaios de pH ideal

FV	GL	SQ	QM	Valor F	p-valor
Tratamento	4	43,39	10,823	19,38	$8,63 \times 10^{-6}$
Resíduo	15	8,38	0,558		

FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios.

A partir do resultado apresentado de que o p-valor < 0,05, conclui-se que ocorrem contrastes significantes em nível de 5% nos tratamentos e, para verificar qual tratamento é o mais indicado, foi realizado o teste de Tukey. Os resultados

obtidos pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância são expressos na Tabela 5 e no gráfico de barras expresso na Fig. 3. A Fig. 4, por sua vez, mostra a diferença entre a média dos tratamentos no nível de 5% de significância.

Tabela 5 - Comparação de médias dos ensaios de pH ideal a partir do teste de Tukey

Variável	pH					EPM
	T1	T2	T3	T4	T5	
Turbidez remanescente média	7,68 ^b	4,65 ^a	3,57 ^a	3,89 ^a	4,39 ^a	0,37

EPM = Erro padrão da média

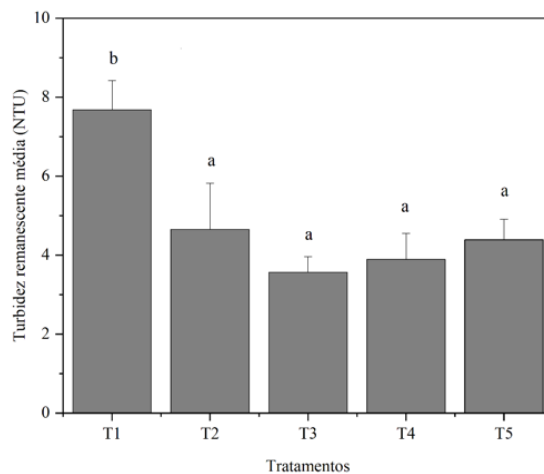


Figura 3 - Médias de turbidez remanescente dos tratamentos para o ensaio de pH ideal e indicação do resultado do teste de Tukey

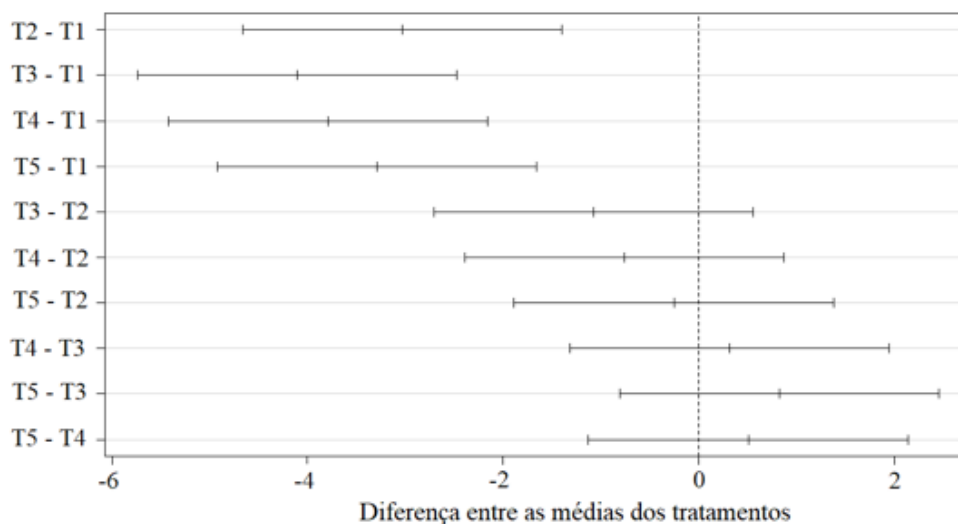


Figura 4 - Comparação das médias do ensaio de pH ideal pelo teste de Tukey a 95% de confiança

Nota-se que a diferença da média do tratamento 1 e os demais tratamentos é sempre diferente de 0, enquanto a comparação entre a média dos tratamentos 2 a 5 entre si engloba o ponto de diferença inexistente. O comportamento descrito no gráfico ilustra os resultados obtidos na Tabela 5, de que o tratamento T1 difere de todos os outros significativamente a 5%, enquanto os tratamentos T2 a T5 não diferem significativamente entre si no nível de 5% de significância.

Depois de obtidos os resultados presentes na Tabela 5 e adotando a abordagem de menor gasto

de reagente, utilizou-se como valor de pH ideal 6,46, ou T2, como referência para os ensaios subsequentes.

Em seguida, foram realizados ensaios para obtenção de dosagem ideal PAC. Os tratamentos foram divididos variando a dosagem de 1 em 1 mg L⁻¹ e com valor inicial como valor no ponto médio, de forma que as dosagens foram 11 mg L⁻¹; 12 mg L⁻¹; 13 mg L⁻¹; 14 mg L⁻¹; 15 mg L⁻¹. Os resultados estão expressos na Tabela 6 e Fig. 4 e Fig. 5.

Tabela 6 - Resultados obtidos nos ensaios de dosagem de PAC ideal com pH 6,46 em jar test

Repetição/ Dosagem de PAC (mg L ⁻¹)	1 Turbidez (NTU)	2 Turbidez (NTU)	3 Turbidez (NTU)	4 Turbidez (NTU)	Média de turbidez (NTU)	Desvio Padrão
T1 = 11	5,21	4,43	4,6	5,29	4,88	0,14
T2 = 12	3,87	4,6	3,69	3,19	3,83	0,51
T3 = 13	3,66	3,91	3,26	2,81	3,41	0,42
T4 = 14	4,78	4,02	4,03	3,07	3,97	0,68
T5 = 15	3,2	3,64	3,03	3,21	3,27	0,23

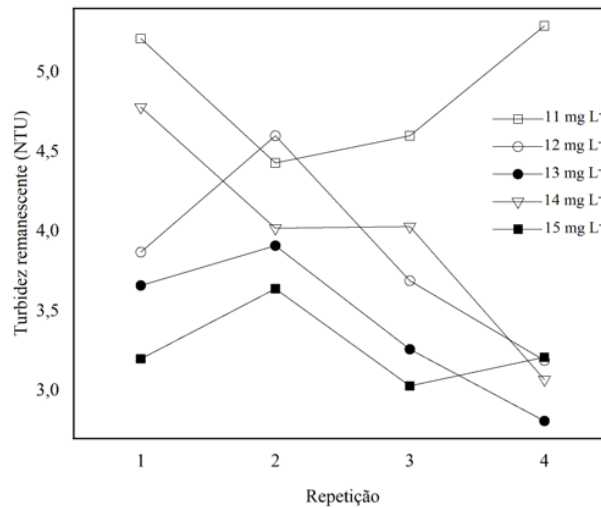


Figura 5 - Turbidez remanescente nos ensaios de dosagem de PAC ideal com pH 6,46 em jar test.

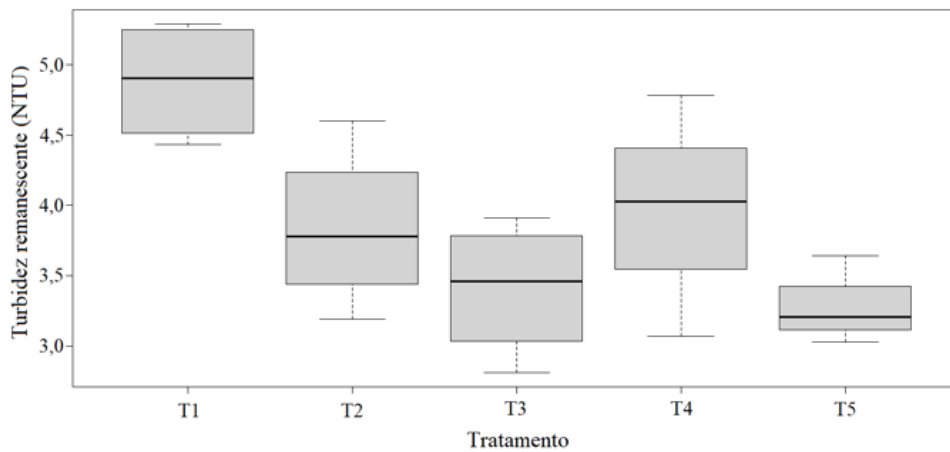


Figura 6 - Boxplot da turbidez remanescente nos ensaios de dosagem de PAC ideal com pH 6,46 em jar test.

Nota-se na Fig. 6 que, novamente, o tratamento T1 resultou em valores de turbidez remanescente maiores, entretanto o boxplot indica, também, que o ponto mínimo do tratamento T1 está contido dentro do máximo dos tratamentos T2 e T4, enquanto os tratamentos T3 e T5 não possuem valores em comum com o tratamento T1 em sua dispersão de dados.

Analogamente ao realizado no experimento de pH ideal, analisando-se isoladamente os valo-

res de média de turbidez remanescente, nota-se que os resultados para o tratamento T5, de dosagem de 15 mg L⁻¹, com turbidez remanescente de 3,27±0,23, foram os que resultaram no menor valor de média de turbidez, e, portanto, essa seria a escolha de melhor dosagem caso fossem analisadas apenas as médias.

A partir dos dados presentes na Tabela 6, realizou-se novamente a ANOVA, e os resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - ANOVA para os ensaios de dosagem de coagulante ideal

FV	GL	SQ	QM	Valor F	p-valor
Tratamento	4	6,435	11,6087	6,107	0,00402
Resíduo	15	3,951	0,2634		

FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios.

Como obtido p-valor < 0,05, obteve-se que o efeito de tratamento é significativo a 5%, sendo realizado, então, o teste de Tukey para a obtenção da dosagem ideal de coagulante. Os resul-

tados do teste Tukey com nível de 5% de significância são expressos na Tabela 8 e na Fig. 7, e a Fig. 8 apresenta a comparação das médias por meio do teste Tukey a 5% de significância.

Tabela 8 - Teste Tukey para os ensaios de dosagem de coagulante ideal

Variável	Tratamentos					EPM
	T1	T2	T3	T4	T5	
Turbidez remanescente média	4,88b	3,83ba	3,41a	3,97ba	3,27 ^a	0,72

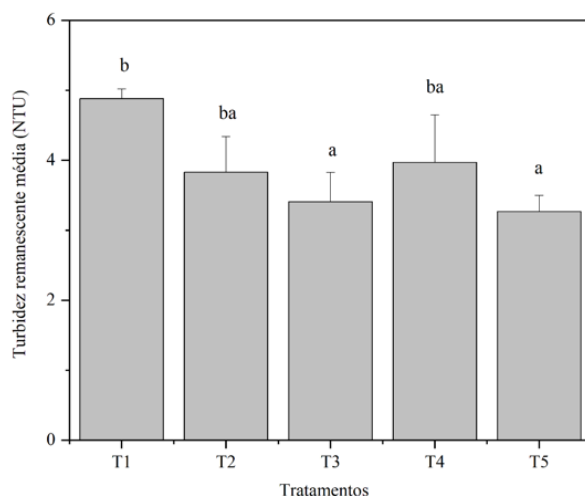


Figura 7 - Médias de turbidez remanescente dos tratamentos para o ensaio de dosagem de PAC ideal e indicação do resultado do teste de Tukey

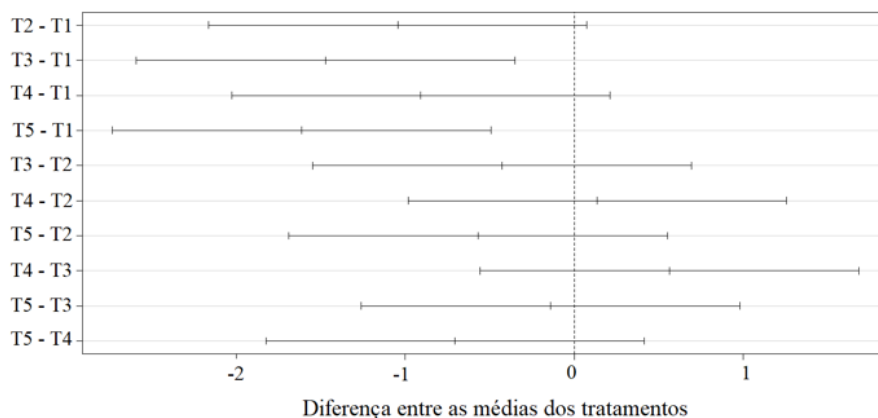


Figura 8 - Comparação das médias do ensaio de dosagem de PAC ideal pelo teste de Tukey a 95% de confiança.

Observa-se, pela Fig. 8, que as médias diferem de 0 a 5% de significância, apenas na comparação entre os tratamentos T3 e T1 e T5 e T1, ilustrando o obtido na Tabela 8 de que os tratamentos T3 e T5 possuem contraste significativo a 5% em relação ao T1, enquanto o tratamento T1 não possui diferença significativa a 5% com T2 e T4.

Nota-se que, nos ensaios para a obtenção de pH ideal, caso fosse utilizado apenas o valor de menor média de turbidez remanescente, optar-se-ia pelo tratamento T3, de pH de 6,69. Entretanto, realizando a ANOVA e teste Tukey, os resultados mostram que o tratamento T2, de pH 6,46, por sua vez, não possui contraste significativo com o tratamento T3, de pH de 6,69, sendo, então, a opção recomendada quando observada a busca por menores dosagens. Analogamente, nos ensaios para obtenção de melhor dosagem de coagulante, se observada apenas a média de turbidez remanescente, optar-se-ia pelo tratamento T5, de dosagem de 15 mg L⁻¹, enquanto a partir do teste de Tukey observa-se que o tratamento T2, de dosagem de 12 mg L⁻¹, não possui contraste significativo com a dosagem de 15 mg L⁻¹. Desse modo, optando-se pela dosagem ideal indicada pelo teste Tukey, a economia de coagulante foi de 20%. Uma vez que, segundo Francisco e Arica (2018), o gasto com produtos químicos é o segundo maior custo da uma ETA, a economia da magnitude apresentada nos resultados referentes à dosagem de coagulante torna-se importante.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que, ao utilizar testes de significância estatística como ANOVA e teste de Tukey e a abordagem o delineamento inteiramente casualizado para a obtenção do par “dosagem de coagulante e pH ideal”, é possível obter menores dosagens de reagentes químicos para tratamentos com remoção de turbidez sem diferença sig-

nificativa a 5% de nível de significância. A dosagem de 12 mg L⁻¹ de coagulante e o pH de 6,46 indicados pelos testes estatísticos representam menores dosagens de reagentes do que os tratamentos que resultaram nas menores médias de turbidez remanescente. Desse modo, essa abordagem resultou na escolha de condições de operação que resultam em vantagens econômicas, a partir da redução no gasto de reagentes e, principalmente, em benefício ambiental, de modo que a redução de reagentes no processo de coagulação atende ao que preconiza o princípio da ecoeficiência referente à redução de materiais empregados nos bens e serviços. Indiretamente, o menor uso de coagulante e alcalinizante implica na menor geração de lodo, fato esse que agrega aos benefícios ao meio ambiente.

7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Marques DG; **Metodologia:** Marques DG; **Investigação:** Marques DG; **Redação - Primeira versão:** Marques DG, Campos V; **Redação - Revisão & Edição:** Marques DG, Campos V; **Recursos:** Marques DG, Campos V; **Supervisão:** Campos V.

8 REFERÊNCIAS

ACHON, C. L. **Ecoeficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14001**. 2008. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. <https://doi.org/10.11606/T.18.2008.tde-08012009-172718>. Acesso em: 10-12-2020.

BARTIKO, D. **Avaliação da influência de diferentes gradientes de velocidade e tempos de quebra sobre a potencialidade de recrescimento de flocos, empregado um equipamento de monitoramento contínuo da floculação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica). Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São Jose dos Campos, 2015.

CARVALHO, M. H. **Apostila Lodo – ETA escola**. São Bernardo do Campo, 2018.

- CORDEIRO, J. S. E. S.; MOREIRA, F. N. C.; MONTEIRO, J. C. M.; JUNIOR, D. J. P. C.; CUNHA, M. V. P. O. **Análise comparativa de coagulantes com auxiliar de coagulação para tratamento de água para abastecimento público em jar-test**. 10º simpósio internacional de qualidade ambiental. Porto Alegre, 2016.
- CUNHA, L. S. **Estatística experimental**. Londrina, 2018. Disponível em: [uel.br/pessoal/lscunha/pages/arquivos/uel/Especialização/DIC\(1\).pdf](http://uel.br/pessoal/lscunha/pages/arquivos/uel/Especialização/DIC(1).pdf). Acesso em: 13-06-2021.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. Ed. LDiBe. São Carlos, 2011.
- ENCIBRA S. A.; PRIME ENGENHARIA. **Estudo de Concepção – Sistema Produtor São Lourenço – Relatório Síntese**. São Paulo, 2011. Disponível em http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/ppp_sao_lourenco/estudo_concep%C3%A7%C3%A3o_SPSL.pdf. Acesso em: 1-11-2020
- FILHO, O. S.; WIECHETECK, G. K.; FILHO A. G. A.; DÖLL, M. M. R. Otimização de parâmetros de clarificação de água do sistema de tratamento de Ponta Grossa (PR). **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.3, n.2. Ponta Grossa, 2011.
- FRANCISCO, L. E. S.; ARICA, G. M. Contribuição para análise dos custos no tratamento de água utilizando programação linear fuzzy: um modelo para o gerenciamento do abastecimento do município de Campos (RJ). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n.4. Rio de Janeiro, 2018.
- 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: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n6-2104>
- LOPES, V. S.; SILVA, L. M. A.; MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, A. L. Estudo da coagulação/floculação de água com turbidez moderada na sedimentação e flotação por ar dissolvido. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.4, Rio de Janeiro, 2020.
- NANDA, A.; MOHOPATRA, B. B.; MAHAPATRA, A. P. K.; MAHAPATRA, A. P. K.; A P. K. Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error. **International Journal of Statistics and Applied Mathematics**, v.6, n.1, p. 59-65, 2021.
- OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. **Revista eletrônica Nutritime**, v. 5, n.6, p. 777-788, Belo Horizonte, 2008.
- PEREIRA, T. M.; GOMES, M. H. R.; PEREIRA, R. O. Estimativa final da produção de lodo em estações de tratamento de água: estudo de caso. In: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa, 2012. **Anais...**
- SANTOS, G. R. **Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2011.
- WIMMER, A. C. S. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Metalurgia). Pontifícia Universidade Católica – PUC. Rio de Janeiro, 2011.
- WBCSD. VERFAILLIE, H. A.; BIDWELL, R. **Medir a Eco-eficiência: um guia para comunicar o desempenho da empresa**. Monsanto Company, Environmental Resources Management. Londres, 2000. Disponível em <https://bcspportugal.org/publicacao/medir-a-eco-eficiencia-guia-para-comunicar-o-desempenho-da-empresa> . Acesso em: 1-11-2020.