

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COAGULANTES E AUXILIARES VISANDO MELHORIAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA DO RIO PARNAÍBA E REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS

Shyrlane Torres Soares Veras⁽¹⁾

Bacharel e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Engenharia Civil na área de Tecnologia Ambiental (UFPE) e em Microbiologia pela Universidade Autônoma de Madri (UAM). Gestora Ambiental pela Faculdade Joaquim Nabuco. Atualmente, é Especialista em Eficiência Operacional na Águas de Teresina.

Max Vasconcelos Gomes⁽¹⁾

Técnico em Química pelo Centro Universitário FAESA e Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade Maurício de Nassau. Possui Especialização em Engenharia Química pela Faculdade UNYLEYA. Atualmente, está cursando Química pelo Centro Universitário UNIFATECIE e atua como Coordenador de Operações na Águas de Teresina.

Endereço⁽¹⁾: Av. Professor Camilo Filho, n° 1960, Todos os Santos, Teresina – PI. CEP: 64089-040 - Brasil.
E-mail: shyrlane.veras@aegea.com.br.

RESUMO

O uso de coagulantes é essencial no processo de tratamento da água. Para facilitar a sedimentação, são empregados produtos auxiliares, que aumentam o peso dos flocos. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho da remoção de turbidez e cor aparente usando dois coagulantes (cloreto de polialumínio férrico e sulfato de alumínio férrico) e quatro tipos de auxiliares, sendo dois tipos de polímeros catiônicos de baixa carga e dois de média carga. Os ensaios foram conduzidos usando um *jar test*. A concentração dos polímeros foi mantida fixa (0,1 mg/L) em todos os testes. A dosagem de coagulante variou conforme a turbidez da água do rio Parnaíba (70-100 NTU). Os resultados indicaram que a combinação do cloreto de polialumínio férrico com o polímero de média carga e alto peso molecular alcançou as melhores eficiências de remoção para turbidez (95,9±0,1%) e cor (95,1±0,2%). Já com o sulfato de alumínio férrico e o mesmo polímero, a remoção de turbidez foi similar, mas a de cor foi ligeiramente inferior (94,3±0,1%). Ao comparar os resultados com os testes de coagulação sem auxiliares, verificou-se uma possível redução de quase 5 mg/L de coagulante e um aumento de 4% na eficiência de remoção.

PALAVRAS-CHAVE: Indicador g/m^3 , polímeros catiônicos, qualidade da água.

INTRODUÇÃO

Na natureza, as características das águas superficiais e subterrâneas estão relacionadas aos locais por onde passaram e, conseqüentemente, às substâncias que se tornaram parte de sua composição. Sendo assim, o "grau de pureza" exigido está relacionado ao seu uso. Para o consumo humano, a água dita potável, apresenta uma variedade de componentes orgânicos e inorgânicos. No entanto, esses elementos devem estar presentes em concentrações que não ofereçam riscos aos consumidores. Atualmente, a definição dos parâmetros e valores máximos permitidos (VMP) é estabelecida pela Portaria de Consolidação n° 5/2017 – Anexo XX, alterada pela Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017; 2021; SILVA, 2022). Portanto, para garantir a qualidade da água, as empresas responsáveis pelo processo de tratamento e monitoramento devem seguir rigorosamente a legislação vigente.

A bacia hidrográfica do rio Parnaíba, genuinamente nordestina, estende-se pelos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, abrangendo uma área de aproximadamente 331.883 km² e englobando 282 municípios (CODEVASF, 2021). A cidade de Teresina, capital do Estado do Piauí, é o principal centro urbano da região hidrográfica do rio Parnaíba (MARÇAL, 2017). Nessa cidade, o abastecimento de água ocorre através de mananciais superficiais e subterrâneos (poços). Cerca de 89% do abastecimento de água da cidade é proveniente do rio Parnaíba, onde a água é tratada por duas Estações de Tratamento de Água (ETAs), uma na região Norte e outra na Sul. A ETA Sul contribui significativamente para o volume de água distribuída na cidade, com uma vazão total em torno de 11.500 m³/h, pouco mais de 10 vezes maior do que a vazão captada na ETA Norte (1.100 m³/h) (ÁGUAS DE TERESINA, 2022).

O regime pluviométrico exerce influência sobre as características da água a ser tratada. Em Teresina, esse regime é caracterizado por períodos chuvosos, que vão do verão ao outono, e por períodos secos, que ocorrem no inverno e primavera (SOARES, 2019). Durante o período chuvoso, há um aumento do arraste de componentes suspensos e dissolvidos, resultando em maiores valores de cor e turbidez. Isso acarreta implicações operacionais, incluindo o uso de maiores dosagens de produtos químicos e, conseqüentemente, maiores custos. No contexto corporativo, os termos "CAPEX" (*Capital Expenditure*) e "OPEX" (*Operational Expenditure*) são indicadores financeiros relevantes para avaliar os gastos com investimentos e operação, respectivamente. Na capital do Piauí, a Águas de Teresina, concessionária de saneamento integrante do Grupo AEGEA, é a responsável pela captação, tratamento, distribuição e monitoramento da qualidade da água.

O tratamento nas ETAs Norte e Sul é realizado de forma convencional, compreendendo as etapas de pré-oxidação (não frequente), coagulação (mistura rápida), floculação, decantação, filtração e desinfecção. Conforme relatado na literatura, a etapa de coagulação desempenha um papel fundamental no processo de clarificação da água. Nessa etapa, um produto químico é adicionado (coagulante) com o objetivo de "capturar" as impurezas: partículas dissolvidas (< 1 nm), que conferem cor; partículas suspensas (> 1 nm), que afetam principalmente a turbidez; e partículas coloidais (entre 1 e 1.000 nm). Em seguida, na etapa posterior, esses aglomerados (flocos) aumentam de tamanho e densidade o suficiente para serem removidos por sedimentação. Paralelamente, é possível adicionar produtos auxiliares que facilitam a sedimentação, permitindo a formação de flocos maiores (SILVA, 2022). Essa combinação coagulante-auxiliar permite aplicação de menores dosagens de coagulante e, dependendo do preço, é possível reduzir não somente a dosagem, mas também custos.

Portanto, para aprimorar a qualidade da água tratada, é fundamental adotar uma rotina contínua de testes com diferentes combinações de coagulantes e auxiliares, visando alcançar maior eficiência na remoção de cor e turbidez, mesmo diante das intensas variações nas características da água bruta. Com o resultado desses esforços, é possível reduzir os custos operacionais, melhorando o desempenho financeiro da empresa.

OBJETIVO

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho de dois tipos de coagulantes em combinação com diferentes polímeros catiônicos, buscando melhorar a eficiência na remoção de cor e turbidez da água bruta, além de reduzir a dosagem de produtos químicos e, conseqüentemente, os custos operacionais (OPEX) na aplicação prática.

METODOLOGIA

Os ensaios foram conduzidos no laboratório de operação, localizado na ETA Sul, Teresina -PI. Parte da água captada do rio Parnaíba era bombeada por um duto e conduzida até o laboratório de operação da ETA Sul, sendo armazenada em um recipiente de 50 L. Posteriormente, a água era analisada para determinação de turbidez, cor e pH (APHA/AWWA/WEF, 2017). Durante todos os testes, a temperatura da água foi mantida próxima a 31 ± 2 °C. Os coagulantes utilizados foram o sulfato de alumínio férrico (densidade absoluta = $1,33 \pm 0,01$ g/m³) e o cloreto de polialumínio férrico (densidade absoluta = $1,26 \pm 0,03$ g/m³), que estão em uso na operação das ETAs da concessionária de saneamento. Como auxiliares, foram testados polímeros catiônicos de: (i) baixa carga e alto peso molecular; (ii) baixa carga e altíssimo peso molecular; (iii) média carga e alto peso molecular; e (iv) média carga e altíssimo peso molecular.

Inicialmente, os testes foram realizados utilizando o equipamento *jar test* (marca ETHIK Technology) com 6 cubas, cada uma com capacidade de 2 litros. Soluções de 2% e 0,025% foram preparadas para os coagulantes e polímeros, respectivamente. Em todos os testes, a concentração de polímero adicionada em cada cuba foi de 0,1 mg/L. Os ensaios com o *jar test* foram conduzidos para avaliar o desempenho da remoção de cor e turbidez em três cenários distintos:

- Cenário 1: Testes com o cloreto de polialumínio férrico + Polímeros
- Cenário 2: Testes com sulfato de alumínio férrico + Polímeros
- Cenário 3: Testes comparativos entre o cloreto de polialumínio férrico e o sulfato de alumínio férrico + Polímero dos ensaios com melhores resultados.



Para os cenários 1 e 2, as séries de ensaios com o *jar test* foram realizadas mantendo a concentração de ambos os coagulantes em torno de 36 mg/L. Esse valor foi definido após um teste preliminar de coagulação, em que a água bruta apresentou turbidez, cor e pH em torno de 70 NTU, 190 uC e 7, respectivamente. O terceiro cenário foi realizado em um mês diferente dos demais, e, portanto, a água bruta apresentou turbidez próxima a 100 NTU e cor aparente em torno de 260 uC. Como consequência, uma dosagem maior foi utilizada para ambos os coagulantes. As condições aplicadas no equipamento *jar test* estão resumidas na **Tabela 1**. Posteriormente, a avaliação foi feita com base no percentual de remoção dos parâmetros cor e turbidez.

Tabela 1 – Condições operacionais aplicadas durante o *jar test*

Agitação (rpm)	Tempo de mistura (unidade)
300	30 (segundos)
90	3 (minutos)*
60	3 (minutos)
40	3 (minutos)
20	4 (minutos)
0	10 (minutos)

* Adição de polímero.

RESULTADOS OBTIDOS

Na **Figura 1**, estão apresentados os dados obtidos durante os ensaios para avaliar o desempenho na remoção de cor e turbidez utilizando o cloreto de polialumínio férrico em combinação com cada um dos quatro polímeros catiônicos testados. Nesse dia, os testes foram realizados com turbidez, cor aparente e pH iniciais de 75 NTU, 187 uC e 7,3, respectivamente. Além disso, para garantir maior confiabilidade dos resultados, duas séries de ensaios foram realizadas em triplicata, totalizando 12 cubas de teste, cujos valores médios estão representados na **Figura 1**. As **Figuras 2a** e **2b** ilustram o início e o final do primeiro ensaio, e os flocos formados estão apresentados na **Figura 2c**.

Figura 1 – Desempenho dos testes com cloreto de polialumínio e polímeros (cenário 1)

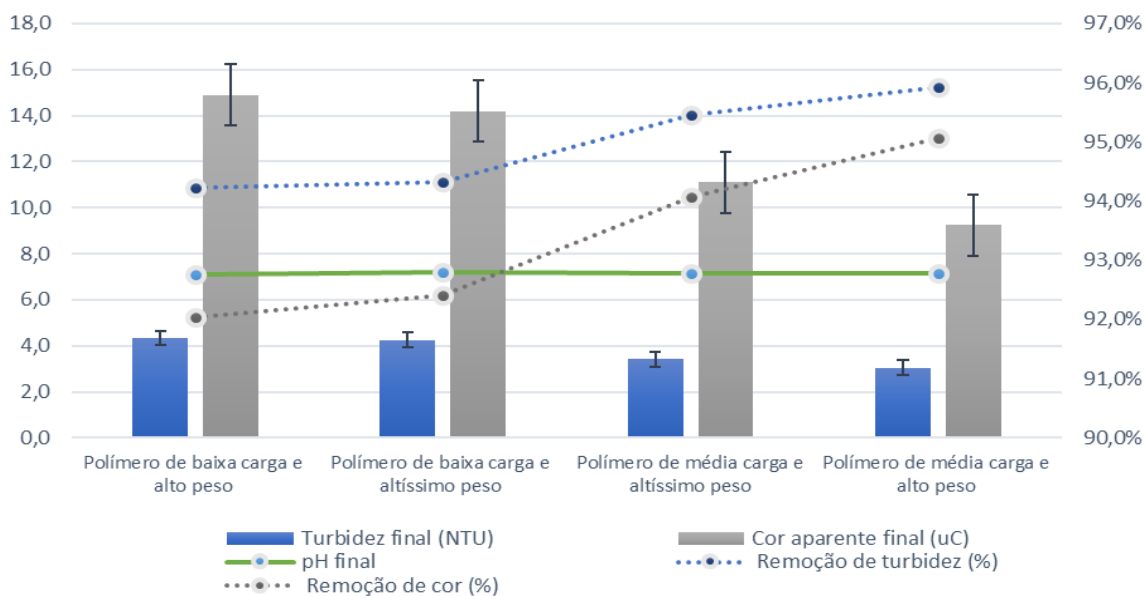
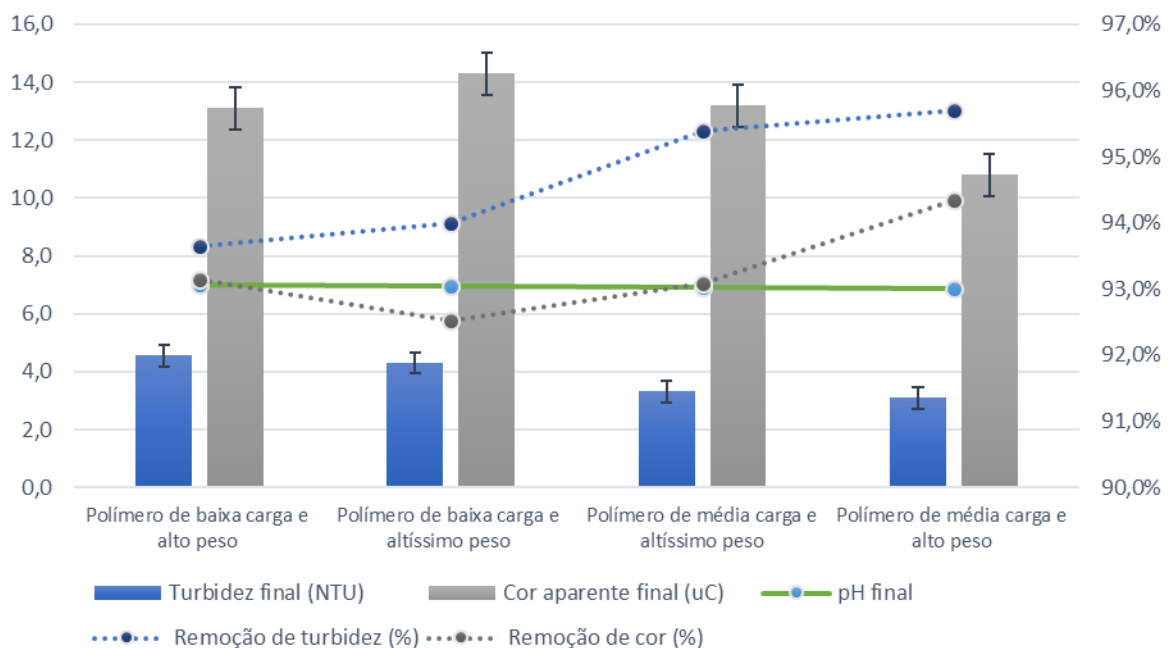


Figura 2 – Imagens do (a) início, (b) final do ensaio e (c) flocos formados durante o primeiro ensaio (cenário 1)



Na **Figura 3**, encontram-se os resultados dos ensaios realizados com o sulfato de alumínio férrico em combinação com cada um dos quatro polímeros. Nesse dia, a água bruta coletada apresentou turbidez, cor aparente e pH de 71,7 NTU, 191 uC e 7,26, respectivamente.

Figura 3 – Desempenho dos testes com sulfato de alumínio férrico e polímeros (cenário 2)

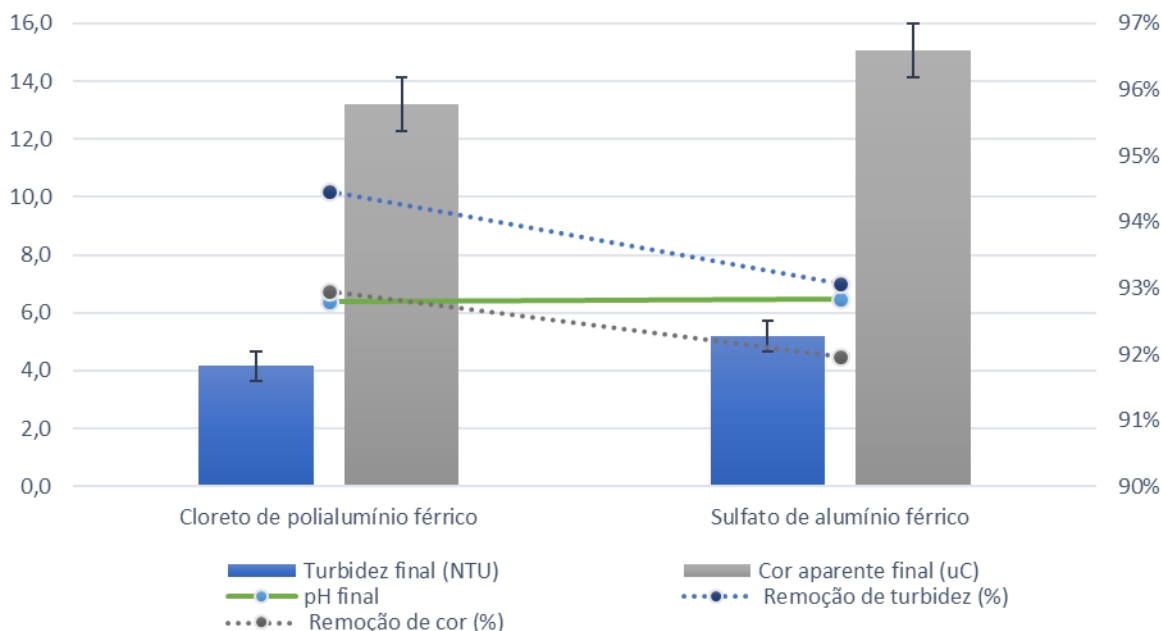


Com base nos melhores percentuais de remoção de cor e turbidez dos cenários 1 e 2, o terceiro cenário foi conduzido utilizando os coagulantes em conjunto com o polímero catiônico de média carga e alto peso molecular (**Figura 4**). No momento dos testes, a turbidez, cor aparente e pH da água bruta eram iguais a 106 NTU, 261 uC e



6,71, respectivamente. Devido aos maiores valores de cor e turbidez, o teste de coagulação apontou a necessidade de aumentar a dosagem. Portanto, a concentração dos coagulantes foi mantida em 48 mg/L.

Figura 4 – Desempenho dos coagulantes com o polímero de média carga e alto peso molecular (cenário 3)



ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao analisar a **Figura 1**, é possível observar percentuais de remoção de cor aparente e turbidez acima de 92 e 94%, respectivamente, em todos os testes com o cloreto de polialumínio férrico. No entanto, o uso dos polímeros catiônicos de média carga se destacou em relação aos demais. Dentro deste grupo, apesar da pequena diferença, os ensaios com o polímero de média carga e alto peso molecular permitiram maiores percentuais na remoção de turbidez ($95,9 \pm 0,1\%$) e cor aparente ($95,1 \pm 0,2\%$).

Por outro lado, o uso do sulfato de alumínio férrico na mesma concentração (36 mg/L) apresentou percentuais levemente inferiores (**Figura 3**), porém seguindo comportamento semelhante. O melhor desempenho foi observado com o uso do polímero catiônico de média carga e alto peso molecular ($95,7 \pm 0,1\%$ e $94,3 \pm 0,1\%$, para turbidez e cor, respectivamente). Conforme observado nos gráficos (**Figuras 1, 3 e 4**), o pH final diminuiu em relação ao inicial, mas se manteve muito próximo a 7 na maioria dos testes.

Em termos práticos, os resultados dos cenários 1 e 2 permitem uma certa flexibilidade para a operação. Isso ocorre porque os polímeros de média carga apresentaram remoção de turbidez em torno de 96%, com uma diferença de apenas 1 a 2% entre os melhores percentuais de remoção para a cor aparente. Dessa forma, dependendo dos preços dos insumos, seria possível buscar melhorias na qualidade da água com menores despesas operacionais.

Ao comparar o desempenho dos coagulantes com o polímero catiônico de média carga e alto peso molecular em uma turbidez mais alta (~100 NTU), um comportamento semelhante foi observado. O cloreto de polialumínio mostrou percentuais de remoção levemente superiores (94 e 93% para turbidez e cor, respectivamente) em relação ao sulfato de alumínio férrico, diferindo em apenas 1%.

Durante a realização dos testes descritos no cenário 3, foi feita uma comparação com os dados aplicados na ETA em caráter preliminar e visando incentivar estudos futuros. Com base nos dados obtidos dos ensaios de coagulação sem polímeros, seria possível aumentar a qualidade da água em 4% e diminuir a dosagem em 4,9 mg/L. Em 2022, ano da realização deste estudo, o cloreto de polialumínio férrico e o sulfato de alumínio férrico custavam, em média, 1,59 e 1,43 R\$/kg. O polímero catiônico de média carga e alto peso molecular chegou a 22,55 R\$/kg. Em primeiro momento, pode parecer inviável comparar os valores dos coagulantes com o polímero, mas o custo deste último

representa apenas 3% do custo operacional total com insumos químicos devido à sua baixa dosagem. Dessa forma, é interessante realizar mais estudos.

Por último, é válido reforçar que os ensaios com o *jar test* permitem uma simulação do que pode ser aplicado em escala real, mas não retornam valores precisos quando a dosagem real é utilizada (SILVA, 2022). Portanto, recomenda-se a realização de mais testes, principalmente em condições distintas de cor e turbidez, visto que o rio apresenta oscilações decorrentes das precipitações pluviométricas ao longo do ano.

CONCLUSÕES

Os dois coagulantes apresentaram melhor desempenho com o uso do polímero catiônico de média carga, demonstrando maiores percentuais de remoção de cor aparente e turbidez, especialmente quando combinados com o polímero de alto peso molecular. Com esse auxiliar, a remoção de turbidez atingiu 96%. Em relação à remoção de cor, o cloreto de polialumínio férrico obteve percentuais levemente maiores ($95,1 \pm 0,2\%$) em comparação com o sulfato de alumínio férrico ($94,3 \pm 0,1\%$). O pH se manteve, em sua maioria, próximo a 7, e a diminuição observada no início e final de todos os ensaios não ultrapassou 0,5. Além disso, um comportamento semelhante foi observado ao utilizar uma água bruta com turbidez próxima a 100 NTU, com um desempenho ligeiramente superior para o cloreto de polialumínio férrico. Embora os resultados sejam promissores, é importante realizar mais testes e ampliar o espectro de possibilidades para a aplicação prática, buscando melhorias na qualidade da água com a aplicação de despesas operacionais menores.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua sincera gratidão à concessionária Águas de Teresina, em especial à atual Diretoria Executiva representada pelo Sr. Renee Câmara, bem como às Gerências de Operações e Tratamento, representadas pelos Srs. Murilo Formiga e Alexandre de Oliveira. Gostaríamos de agradecer pela valiosa oportunidade concedida e pelos recursos disponibilizados, os quais foram fundamentais para o avanço das melhorias na área de tratamento de água e para o contínuo compromisso com o bem-estar das pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/ AWWA/ WEF. *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 23nd ed. American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 2017.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html> Acesso: 10/05/2023.
3. CODEVASF, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Piauí. Parnaíba. Informações publicadas e atualizadas por Nascimento, R. L. X. em 24 de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/parnaiba>> Acesso: 13/05/2023.
4. MARÇAL, D. A.; SILVA, C. E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 4, p. 761-772, jul/ago 2017.
5. SILVA, F. N. *Sistemas de abastecimento e tratamento de água para técnicos*. 2ª ed. Campinas, SP: UICLAP. 266p. 2022.
6. SOARES, R. D. B.; CRUZ, R. W. L.; SILVA, C. E. A influência da precipitação na variabilidade da qualidade da água do rio Parnaíba. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 9, p. 16643-16672, set 2019.