

Análise da série histórica de turbidez de água bruta superficial na estação de tratamento de água de Garça-SP: correlações com a precipitação e a dosagem de coagulante

- **Data de entrada:** 07/01/2023
- **Data de aprovação:** 13/04/2023

Historical series analysis of surface water turbidity at Garça-SP water treatment plant: correlations with precipitation and coagulant dosage

Cristiane de Farias^{1*}

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.019>

ORCID ID

Farias C  <https://orcid.org/0000-0002-0301-9597>

Resumo

A qualidade da água de mananciais superficiais depende das características de sua bacia hidrográfica e do tipo de uso do solo. A remoção da mata nativa para usos como agropecuária e urbanização reduz a infiltração, eleva o escoamento superficial e promove perda de solo, exportando sedimentos para os corpos hídricos e aumentando a turbidez (T) da água. Em estações de tratamento de água (ETAs), valores elevados de T implicam maior custo de tratamento. Assim, este trabalho estudou a variabilidade da T na ETA de Garça-SP de 2012 a 2022. A T e precipitação apresentaram correlação ($p < 0,05$) de $r = 0,47$ na escala diária e $r = 0,56$ na escala mensal, com sazonalidade anual. Em 2022 a T média (45,3 uT) foi expressivamente superior à dos demais anos e o dobro da série histórica (22,9 uT), porém a persistência temporal de valores elevados de T não foi maior do que nos demais anos. A correlação entre o consumo de coagulante e T foi $r = 0,41$ ($p < 0,05$), podendo-se aprimorar a dosagem para reduzir custos.

Palavras-chave: Turbidez. PAC. Precipitação.

Abstract

Surface water quality depends on its watershed characteristics and type of land use. Harvesting native forest for agriculture and urbanization reduces infiltration, increases surface runoff, and promotes soil loss. Consequently, sediments export to water bodies and water turbidity (T) increases. In water treatment plants (WTPs), high turbidity leads to high treatment costs. Thus, this work studied turbidity variability at the Garça WTP, São Paulo, from 2012 to 2022. Turbidity and precipitation have a correlation coefficient ($p < 0.05$) of $r = 0.47$ on a daily scale and $r = 0.56$ on a monthly scale, with annual seasonality. In 2022, average T (45.3 uT) was significantly higher than in other years and the historical series (22.9 uT), but the temporal persistence of high T values was not higher than in other years. The correlation coefficient between coagulant consumption and T was $r = 0.41$ ($p < 0.05$), thus we can improve the dosage to reduce costs.

Keywords: Turbidity. PAC. Precipitation.

¹ Universidade Federal de São Carlos – São Carlos – São Paulo – Brasil.

* **Autora correspondente:** cristianedefarias2@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

A turbidez nos corpos hídricos tem como constituinte responsável os sólidos em suspensão. As partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos são fontes naturais, e os despejos domésticos, industriais, microrganismos e erosões fontes antropogênicas (Von Sperling, 2018). A turbidez está relacionada à concentração de coliformes totais e *E. coli* (Hamilton; Luffman, 2009), com o transporte de nutrientes como o fósforo (Cruz, 2019), e pode estar associada a compostos tóxicos de origem antropogênica (Von Sperling, 2018). Assim, a medição de turbidez é importante para verificar a qualidade da água, e pode ser utilizada como substituta das análises de sólidos suspensos, nutrientes e matéria orgânica (Chen; Chang, 2019).

Conforme Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2022), os corpos hídricos transportam cargas dissolvidas, em suspensão (detritos de granulometria reduzida suspensos pelo fluxo turbulento) e pelo leito (partículas maiores que se movem por saltação, deslizamento e rolamento). Durante precipitações, há uma tendência de movimentação das cargas no corpo hídrico e um aumento no aporte de sólidos devido à perda de solo pelo intemperismo.

A turbidez dos corpos hídricos sofre influência do tipo de uso do solo e das condições ambientais da bacia hidrográfica. Ocorrências hidrológicas extremas são influenciadas por interferências antrópicas como desmatamento, urbanização e degradação do solo (Oliveira; Quaresma, 2017). Durante precipitações em bacias com maior índice de urbanização ocorrem picos de turbidez mais rapidamente do que nas menos urbanizadas (Chen; Chang, 2019). Em bacias onde há erosões, a perda de solo pode gerar incremento na exportação de sedimentos pelos corpos hídricos, promovendo o assoreamento e a redução do volume útil de reservatórios à jusante (Cândido et al., 2014).

Em áreas onde há agropecuária, por vezes não são implementadas técnicas de conservação do

solo, tendo-se solo exposto e pisoteio de animais (IPT, 2022). Em bacias com cultivo de eucalipto o canal dos corpos hídricos foi identificado como principal fonte de sedimentos, seguido da área com talhões de eucalipto e das estradas não pavimentadas (Rodrigues et al., 2018; Valente et al., 2020). Isso mostra a importância dos ambientes terrestres para proteção dos ambientes aquáticos e sua influência sobre a exportação de sólidos para a rede de drenagem à jusante.

Em municípios que utilizam mananciais superficiais para abastecimento público, a elevação da turbidez nos corpos hídricos aumenta os custos com o tratamento de água. Maiores valores de turbidez fazem com que seja necessário aumentar a dosagem de coagulantes e demandam uma maior eficiência da estação de tratamento de água (ETA). Além disso, mais lodo é gerado, exigindo maior frequência na limpeza de filtros e decantadores e aumentando os custos com tratamento e disposição final dos resíduos. Outro impacto é decorrente do assoreamento do corpo hídrico, que reduz o volume armazenado em barramentos e demanda a realização de dragagens.

Compreender as variações de turbidez na água bruta e suas consequências sobre o processo de tratamento pode auxiliar a decidir quais ações implementar na bacia de captação. Estudar as alterações em mananciais é importante para a produção de água segura e para o princípio de múltiplas barreiras dos planos de segurança da água (Brasil, 2012). A ETA de Garça, município localizado no centro-oeste paulista, está sofrendo as consequências da alteração nos valores de turbidez da água captada no manancial superficial mais importante para o abastecimento público. Entre os operadores há a percepção empírica de que a turbidez da água captada no córrego da Cascata aumentou ao longo dos anos, e que o tempo que a turbidez permanece elevada após a ocorrência de uma precipitação está maior do que em anos anteriores. Assim, este trabalho visa analisar a

série histórica de turbidez da ETA e verificar a veracidade de tais hipóteses.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é buscar tendências sobre a variabilidade de turbidez na água bruta captada para abastecimento em Garça-SP. De forma específica, objetiva-se avaliar a influência da precipitação e da sazonalidade sobre a turbidez, a relação da variação da turbidez com o consumo de coagulante na ETA, e se houve alteração no padrão de persistência de valores de turbidez elevados nos anos da série histórica.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo

Garça está localizada na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, apresenta clima Cwa conforme a classificação de Köppen-Geiger e cerca de 1.400 mm de precipitação anual (Garça, 2022). A ETA Garça é responsável pelo tratamento da água que abastece mais de 90% dos 44.429 moradores do município (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021). A água bruta é captada de quatro diferentes fontes e conduzida à ETA por meio de duas adutoras. A primeira adutora conduz a água captada no ribeirão Tibiriçá ($20 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$) em uma bacia hidrográfica extremamente urbanizada com $3,5 \text{ km}^2$ de extensão, que produz água de baixa turbidez e é utilizada somente em horários de pico de consumo. A segunda adutora conduz a água captada da represa Cascata ($20 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$), de galerias de infiltração ($25 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$) e do córrego da Cascata ($90 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$). Uma vez que os dados de turbidez utilizados para controle operacional da ETA são amostrados da água afluyente da segunda adutora, e a variação de turbidez observada é essencialmente devida à turbidez do córrego da Cascata, a bacia hidrográfica dessa fonte será descrita em maiores detalhes.

A bacia hidrográfica da captação do córrego da Cascata possui cerca de $31,1 \text{ km}^2$ de extensão, com

formações vegetais do bioma da Mata Atlântica. Estudo realizado pelo IPT (2022) concluiu que os solos da área têm alto potencial de erodibilidade (predominantemente latossolos vermelho-amarelos/vermelho argissólicos, argissolos vermelho-amarelos abrupáticos e neossolos litólicos), o que é intensificado pela declividade elevada de algumas regiões. Os principais tipos de uso e ocupação do solo são pastagens (sem e com conservação), vegetação nativa e de reflorestamento, culturas perenes, culturas temporárias e áreas urbanas. Apenas 42,5% das áreas de preservação permanente (APPs) estão ocupadas com vegetação arbórea e cerca de 30% estão ocupadas com pastagens ou agricultura.

Com base no tipo de uso do solo e na densidade de drenagem, cerca de 40% da área da bacia foi classificada pelo IPT (2022) como zona de alta ou muito alta capacidade de produção de sedimentos. Há processos erosivos ativos e fatores de degradação como pisoteio de animais, assoreamento do canal, alagamento das áreas marginais por interferências no curso hídrico, descarga de enxurrada e solo exposto. A principal erosão da bacia é uma ravina de grandes dimensões, causada pelo rompimento de rede de drenagem de um bairro do município. Imagens de satélite (Google Earth Pro, 2022) mostram que o processo erosivo teve início entre 2013 e 2015 e avança de jusante para montante desde então. A área de cabeceira da ravina praticamente dobrou entre maio de 2021 e maio de 2022, passando a abranger mais de 1.000 m^2 .

3.2 Coleta e tratamento de dados

As informações desta pesquisa são registros operacionais de uma ETA de ciclo completo em que é utilizado cloreto de polialumínio (PAC) como coagulante. Foram coletados dados de turbidez horária (TH, uT) da água aduzida à ETA e o volume aduzido diariamente (VD, m^3). Também foram coletados dados diários de precipitação (PD, mm), do Posto Pluviométrico D06-018 do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2022) localizado na área da ETA. Por fim, foi obtido

o consumo mensal de PAC, que para fins de comparação foi dividido pelo volume total afluente à ETA (C, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Foram consolidados dados de janeiro de 2012 a novembro de 2022. As informações de TH, VD e PD foram registradas pelos operadores da ETA em cadernetas de papel até novembro de 2020, e a partir de então passaram a ser registradas em software computacional. Todas as informações foram digitalizadas e sistematizadas em uma planilha eletrônica, na qual foi realizado tratamento dos dados para remoção de anomalias. As informações de C foram obtidas de planilhas eletrônicas do setor financeiro, que recebem e registram tal informação mensalmente a partir do que é reportado pelo operacional.

Foi estimada a turbidez média diária (TD, uT) por meio de média aritmética dos valores de TH, e a turbidez média diária mensal (TM, uT), ponderando-se TD com VD como fator. Utilizando a mesma ponderação, calculou-se a turbidez média diária de toda a série histórica (TS, uT) e a turbidez média diária anual (TA, uT) de cada período. A precipitação mensal (PM, mm) foi obtida pela soma dos valores de PD de cada mês.

Foi calculado o número de horas que TH superou o valor de TS em cada ano. Para cada episódio em que TH superou TS até retornar a um valor inferior, foi contabilizada uma “ocorrência”, registrando-se o número de ocorrências em cada ano. O tempo que TH passou acima de TS após tê-la superado é chamado “duração da ocorrência” (DO, h), que mede a persistência temporal da TH. Assim, classificou-se o número de ocorrências em função da DO, em classes de até 5 h, 10 h, 20 h, 50 h e 350 h.

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, a partir dos quais foram elaborados gráficos para a etapa de estatística descritiva. As análises estatísticas inferenciais foram realizadas no software Past 4.03 (Hammer; Harper;

Ryan, 2001), com $\alpha = 0,05$. Utilizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, bem como o teste de tendência central de Kruskal-Wallis e o teste post-hoc de Dunn, indicados para conjuntos de dados não paramétricos independentes. Também foi realizada análise de Autocorrelação para verificar a persistência da TH ao longo do tempo. Foi considerada autocorrelação significativa coeficientes $r > 0,5$ ($p < 0,05$).

Foram feitos testes estatísticos para verificar a correlação: i) entre PD e TD; ii) entre PM e TM; e iii) entre C e TM. Para a análise estatística utilizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e o teste de correlação de Spearman, indicado para conjuntos de dados não paramétricos. O efeito da sazonalidade foi avaliado comparando-se os resultados de correlação de PD e TD e PM e TM dos meses de menor precipitação (abril a setembro, período de seca) aos resultados dos meses com maior precipitação (outubro a março, período de chuva). Além disso, tal efeito foi avaliado por meio do gráfico da análise de autocorrelação com o conjunto de dados de TH, TD e TM de toda a série histórica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período avaliado foram obtidos 79.286 registros de TH, distribuídos ao longo dos anos conforme Tabela 1. Em alguns períodos a operação da ETA não foi documentada, por isso há diferença entre o número de registros anuais. A principal discrepância pode ser observada no primeiro ano da série, em que o registro dos dados ocorreu de forma consistente somente a partir de setembro. Os valores médios e máximos registrados para TH, PM e C são apresentados na Tabela 2. Há uma ampla faixa de variação nos valores de TH registrados, passando de 1.000 NTU. Isso se reflete nos valores de C, que em períodos de turbidez média elevada foram mais do que o dobro do valor médio. No mês com a maior precipitação acumulada (janeiro de 2022), C foi $0,104 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, atingindo o segundo maior valor registrado na série histórica.

Tabela 1 – Número de registros de turbidez horária da água bruta afluyente à ETA Garça no período de 2012 a 2022.

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Número de registros de turbidez	2.397	8.284	8.488	8.286	8.345	7.505	7.138	6.494	7.286	8.286	6.777

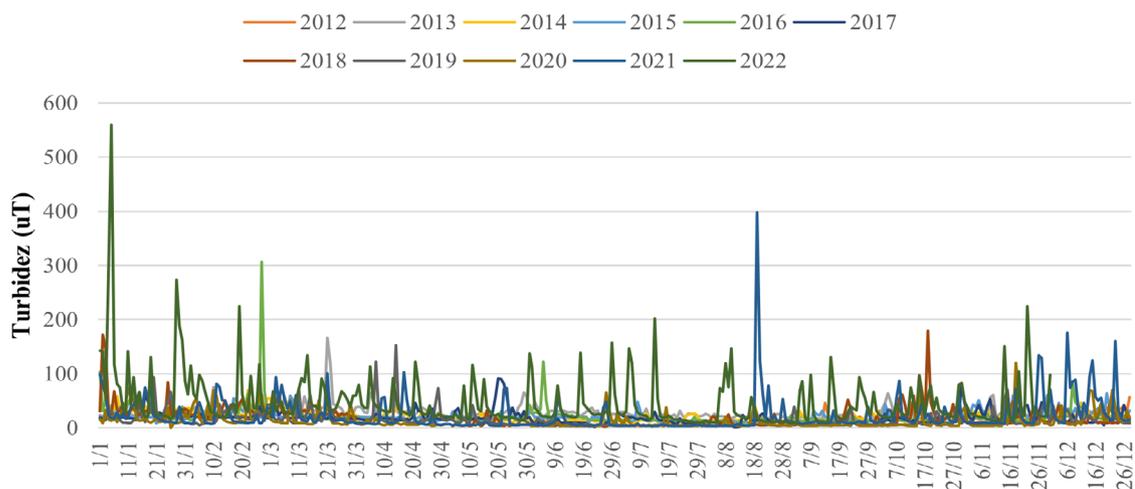
Tabela 2 – Valor médio e máximo para a turbidez horária, precipitação mensal e consumo de PAC registrados na ETA Garça no período de 2012 a 2022.

Parâmetro	Valor médio	Valor máximo
Turbidez horária (uT)	22,8	1.251
Precipitação mensal (mm)	127,9	457,4
Consumo de PAC (kg.m ⁻³)	0,054	0,116

A Figura 1 apresenta a variação de TD ao longo do ano. Os dados de TD não apresentaram distribuição normal e são significativamente diferentes quando comparados anualmente entre si ($p < 0,05$). A maior parte dos valores são inferiores a 100 uT, mas ao longo do ano observam-se picos de TD, principalmente em 2022. Em cinco de janeiro de 2022 ocorreu a maior TD da série histórica, de 560 uT. Nesse dia foi registrada TH superior a 800 uT por mais de oito horas de operação.

Nesse sentido, a Figura 2 mostra que em todos os meses de 2022, inclusive em julho quando não ocorreu precipitação, a TM foi maior do que a de

todos os demais anos ($p < 0,05$), não apresentando diferença estatisticamente significativa apenas em relação à 2012 em que há menos dados para comparação ($n=4$, $p > 0,05$). A maior discrepância entre a PM de um mês de 2022 e a PM do mesmo mês dos demais anos ocorreu em janeiro, quando a TM de 2022 foi 94,4 uT e a segunda maior TM foi de 39,9 uT, registrada em 2018. Cabe destacar que embora janeiro de 2022 tenha tido a maior PM da série histórica, de 457,4 mm, janeiro de 2018 teve a segunda maior PM, de 432,4 mm. Assim, nota-se que não há discrepância expressiva entre os valores de precipitação que justifique a diferença entre os valores de TM.

**Figura 1** – Turbidez média diária ao longo do ano, de 2012 a 2022.

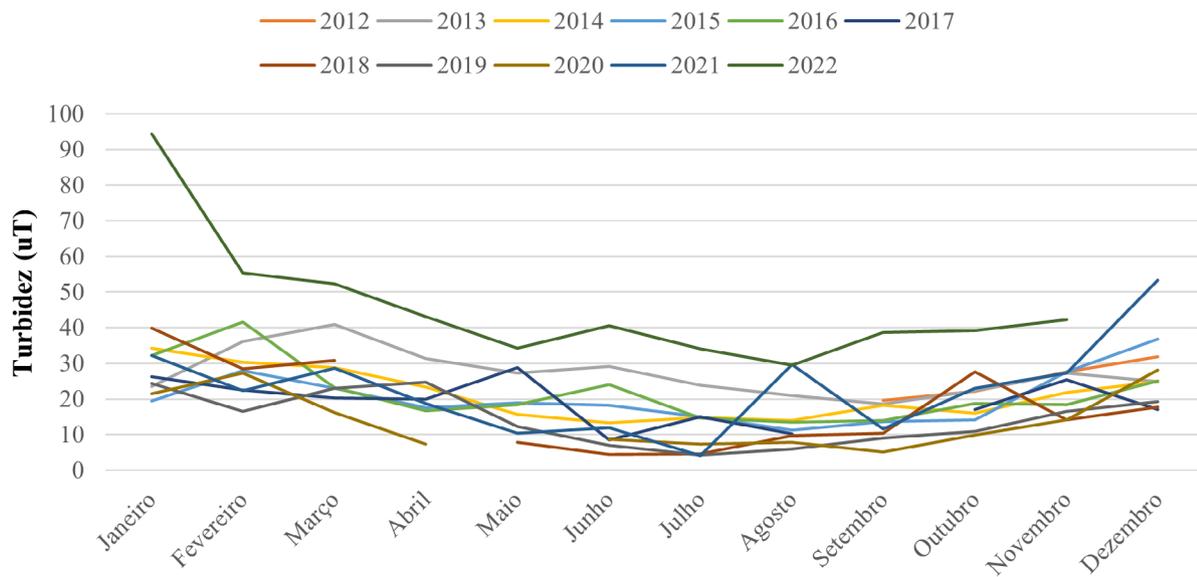


Figura 2 – Turbidez média mensal de 2012 a 2022.

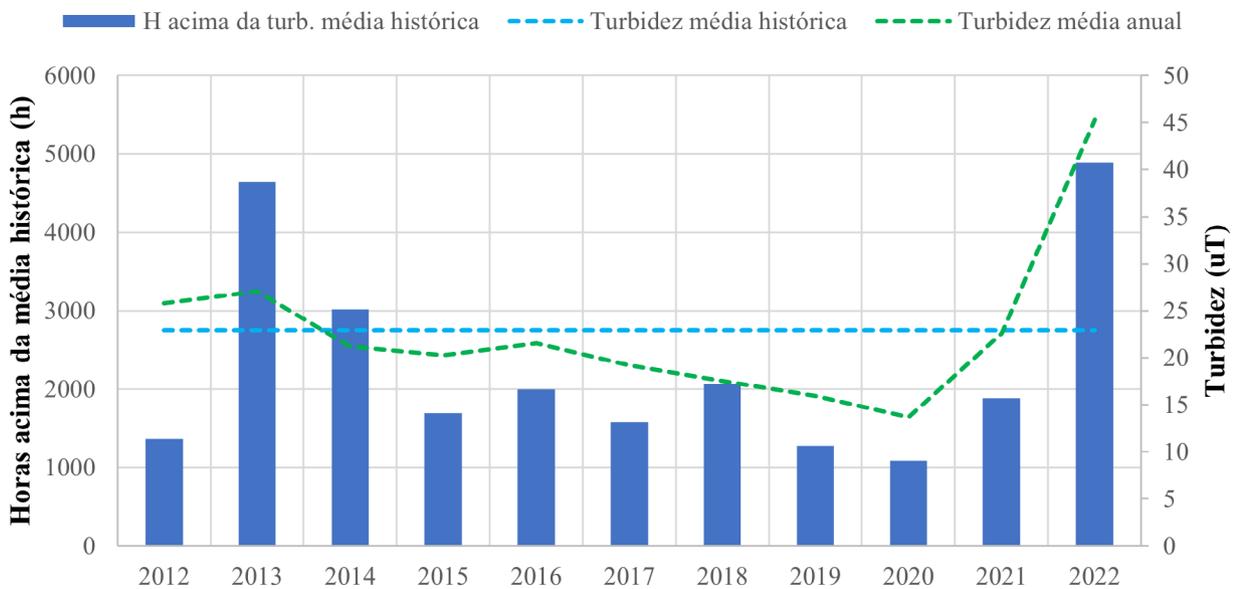


Figura 3 – Turbidez média histórica, turbidez média anual e tempo que a turbidez permaneceu acima da média histórica de 2012 a 2022.

Observa-se na Figura 3 que a TA de 2022 (45,3 uT) é expressivamente superior à dos demais anos e à TS (22,9 uT). Além de 2022, superaram o valor de TS as TAs de 2012 (25,8 uT) e 2013 (27,1 uT). A mesma figura mostra que em 2013 e 2022 a ETA recebeu

água bruta com TH superior à TS pela maior quantidade de tempo, 4.645 h e 4.886 h, respectivamente. Logo, nesses anos a bacia hidrográfica exportou mais material para o corpo hídrico, o que se refletiu em maiores valores de turbidez.

A análise estatística mostrou que os valores de DO não apresentam distribuição normal, e que há diferenças significativas entre a maior parte dos anos. Porém, entre 2021 e 2022 especificamente não houve diferenças significativas ($p > 0,05$). Assim, não é possível afirmar que há uma tendência de crescimento da DO média dentre todos os anos da série histórica, conforme mostra a Figura 4 (a). De 2012 a 2022, a DO média foi 22,5 h, a mediana 10h e a conforme dados da Figura 4 (b) a média do lag de autocorrelação dos dez anos ($r > 0,5$, $p < 0,05$) foi 10,8 h. Assim, a análise de autocorrelação mostrou que há uma persistência da TH, e que em média o sistema leva um pouco menos da metade de um dia para se recuperar completamente à uma elevação da TH.

Em 2014 foi registrada a maior DO média (36,3 h), e de forma semelhante a análise de autocorrelação mostra que uma TH observada em 2014 está significativamente correlacionada ($r > 0,5$ e $p < 0,05$) com as observações das 40 horas anteriores. Logo, em 2014 a elevação da turbidez causada por alguma ocorrência na bacia hidrográfica persistiu por mais de um dia e meio, e foi cerca de quatro vezes maior do que a observada para os demais anos.

Considerando os anos de 2020, 2021 e 2022, observa-se na Figura 4 (a) que houve um crescimento gradual do número de ocorrências que causaram a elevação da turbidez para valores acima da média (64, 130 e 169, respectivamente). Isso ocorreu para DO entre 1h e 5h (19, 58 e 90), entre 6h e 10h (11, 16 e 19), entre 21h e 50h (12, 15, 20) e acima de 50h (4, 9, 17), não tendo sido o caso para DO entre 11h e 20h (18, 32 e 23).

Uma vez que o número absoluto de registros (Tabela 1) tem interferência na quantidade de ocorrências acima da TS, a Figura 5 apresenta o percentual acumulado de ocorrências em cada categoria nos anos avaliados. Em 2022 houve o maior percentual relativo de ocorrências com DO até 5 h (53%) e até 10 h (64%). O ano de 2021 teve o maior percentual de ocorrências com DO de até

20 horas (82%), e 2019 o maior percentual com DO de até 50 horas (97%). Assim, embora 2022 tenha tido maior número de ocorrências do que 2020 e 2021, mais da metade das ocorrências do ano tiveram eventos com DO de até 5h, enquanto 2020 e 2021 tiveram 30% e 45%, respectivamente, mostrando maior persistência nas ocorrências.

As análises realizadas permitem concluir que o tempo que a TH permanece elevada após a ocorrência de uma precipitação não foi maior em 2022 do que em anos anteriores. A média das DOs de 2022 é igual a de 2018 e menor do que a de 2014. Por outro lado, observa-se que há um maior número de ocorrências em que a turbidez apresenta valores superiores à TS em 2022 do que em todos os demais anos, exceto 2013. Além disso, os valores de TD e TM em 2022 foram significativamente superiores aos registrados nos demais anos, ou seja, o corpo hídrico exportou mais sedimentos no período.

Tais fatos indicam que a bacia hidrográfica pode ter sofrido alguma alteração que tenha elevado a produção de sólidos em 2022. Uma possibilidade aventada pelos operadores é que o avanço da maior ravina da bacia possa estar intensificando a perda de solo e conseqüentemente aumentando a quantidade de sólidos transportados pelo corpo hídrico. No entanto, é preciso estudos mais aprofundados e coletas locais no corpo hídrico para obter uma relação de causa e efeito.

Na Figura 6 observa-se que os gráficos de autocorrelação da TH, TD e TM apresentaram comportamento sinuoso com período de um ano, o que é característico de dados influenciados pela sazonalidade. Os coeficientes de autocorrelação mostraram que a TH, a TD e a TM de determinado período estão significativamente correlacionadas ($r > 0,5$ e $p < 0,05$), com a TH de oito horas anteriores, a TD de um dia anterior e a TM de dois meses anteriores, respectivamente. Assim, existe um efeito na variação de turbidez que pode ser sentido em períodos subsequentes.

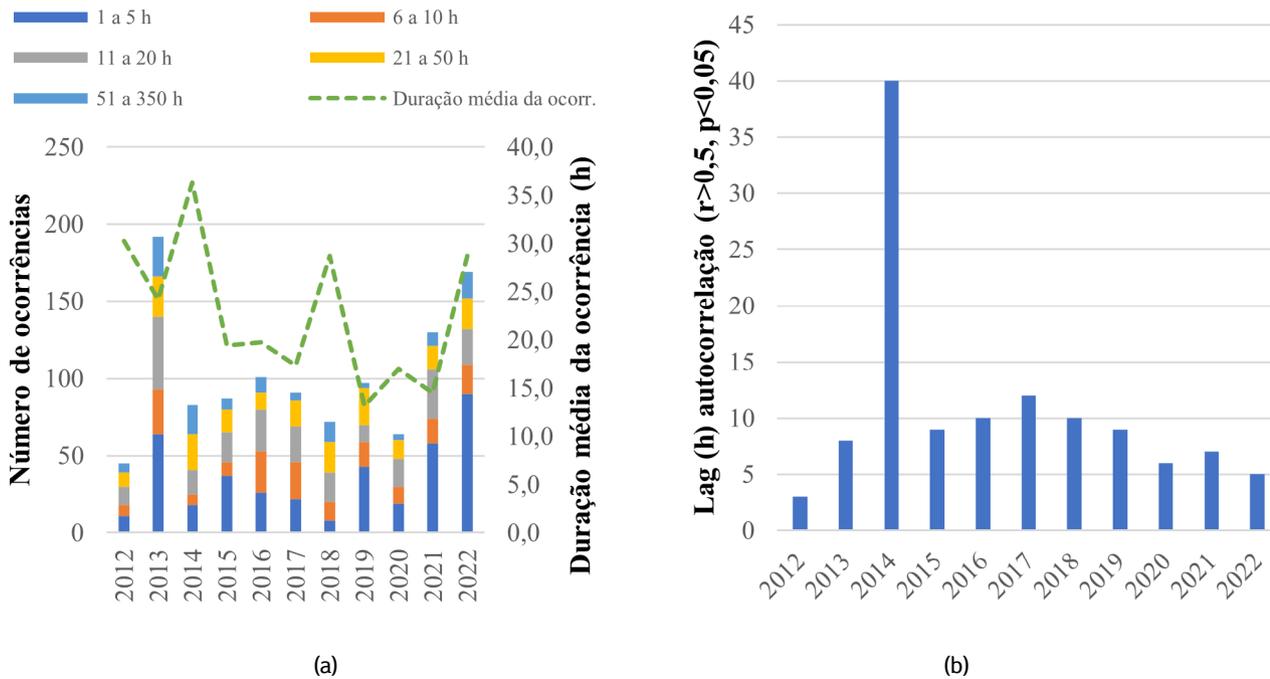


Figura 4 – (a) Número de ocorrências que provocaram o aumento da turbidez horária da água bruta registrada na ETA para valores acima da média histórica, categorizado pela duração da ocorrência, e duração média da ocorrência em cada ano, de 2012 a 2022. **(b)** Lag de autocorrelação em horas para $r > 0,5$ e $p < 0,05$, de 2012 a 2022.

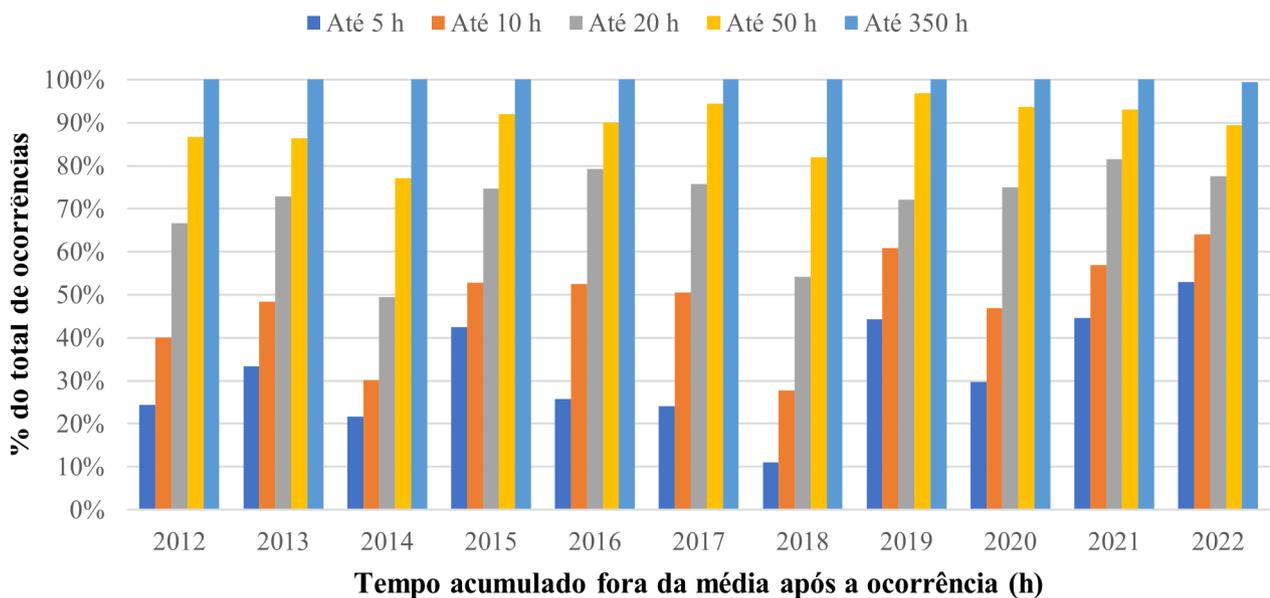


Figura 5 – Percentual do número de ocorrências que provocaram o aumento da turbidez da água bruta registrada na ETA para valores acima da média histórica, categorizado pela duração da ocorrência, de 2012 a 2022.

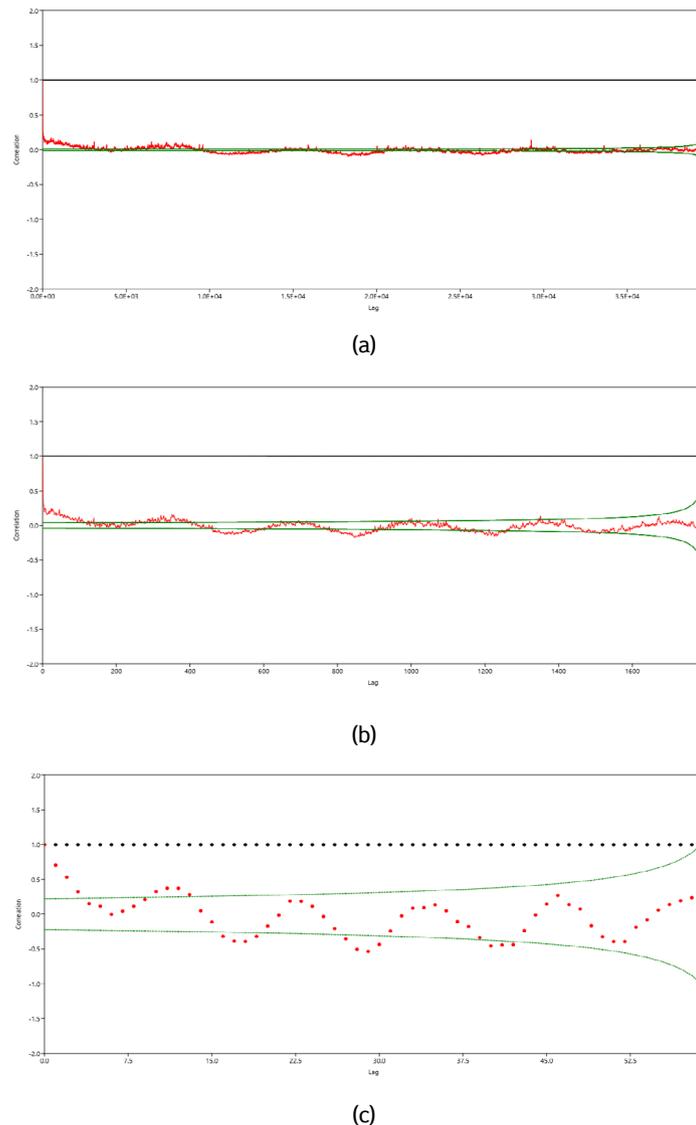


Figura 6 – Autorrelação da (a) turbidez horária, (b) turbidez diária e (c) turbidez mensal.

Nota: Em vermelho estão os valores de autocorrelação e em verde a linha de 95% de confiança.

A correlação entre a PD e TD é fraca ($r=0,47$, $p<0,05$), e foram observados dias com valores elevados de TD, mas que não houve precipitação, conforme Figura 7 (a). A correlação entre a PM e a TM é maior, porém moderada ($r=0,56$, $p<0,05$), conforme Figura 7 (b). Efeito semelhante foi obtido por Göransson (2013), que concluiu que a avaliação em períodos maiores suaviza as variações e aumenta os coeficientes de corre-

lação entre turbidez e precipitação, tendo obtido $r=0,55$ ($p=0,07$) para a PM e $r=0,12$ ($p<0,05$) para PD. O mesmo autor indicou que há um maior impacto da duração da chuva do que da intensidade, sendo necessária uma certa quantidade de precipitação para observar uma resposta na turbidez, que possivelmente está relacionado ao tempo de concentração da bacia hidrográfica. A baixa correlação obtida para este estudo pode

estar relacionada com a distância do pluviômetro ao corpo hídrico, uma vez que ele está localizado na ETA a cerca de 4,5 quilômetros da captação de água superficial.

Para os meses de seca a correlação entre a PD e a TD foi menor ($r=0,36$, $p<0,05$) do que para os meses de chuva ($r=0,49$, $r<0,05$), e de forma semelhante a correlação entre PM e TM foi menor nos meses de seca ($r=0,37$, $p<0,05$) do que nos meses de chuva ($r=0,50$, $r<0,05$). Cruz (2019) observou em um corpo hídrico no nordeste do Brasil que o efeito da sazonalidade foi significativo sobre a turbidez, que aumentou em períodos chuvosos devido à menor deposição de sedimentos causada pela turbulência da água captada. A sazonalidade sobre valores de turbidez pode se dever à falta de cobertura do solo (Göransson, 2013), que foi observado em cerca de 17% da área da bacia de captação, em áreas com culturas temporárias, áreas urbanas em consolidação e especificamente de solo exposto (IPT, 2022).

Além disso, não foi observada diferença significativa nos valores de PD e PM entre os diferentes anos ($p>0,05$), mostrando que os valores elevados de TH e TM em 2022 não se amparam de forma consistente em valores de precipitação significativamente maiores no período. Com isso, reforça-se a hipótese de que a bacia hidrográfica está mais suscetível à exportação de solo, uma vez que tem sofrido mais com a precipitação, mesmo que esta tenha se mantido estatisticamente equivalente entre os anos da série histórica.

Observa-se na Figura 8 (a) que há uma tendência à linearidade entre a TD e C, porém a correlação é fraca ($r=0,41$, $p<0,05$). Na Figura 8 (b) é possível visualizar um efeito gráfico dos picos de turbidez sobre os picos de consumo de PAC, mostrando que estão relacionadas de alguma forma. No período de seca a correlação é menor ($r=0,24$, $p=0,07$) do que nos meses de chuva ($r=0,33$, $r<0,05$), e os valores também não foram expressivos.

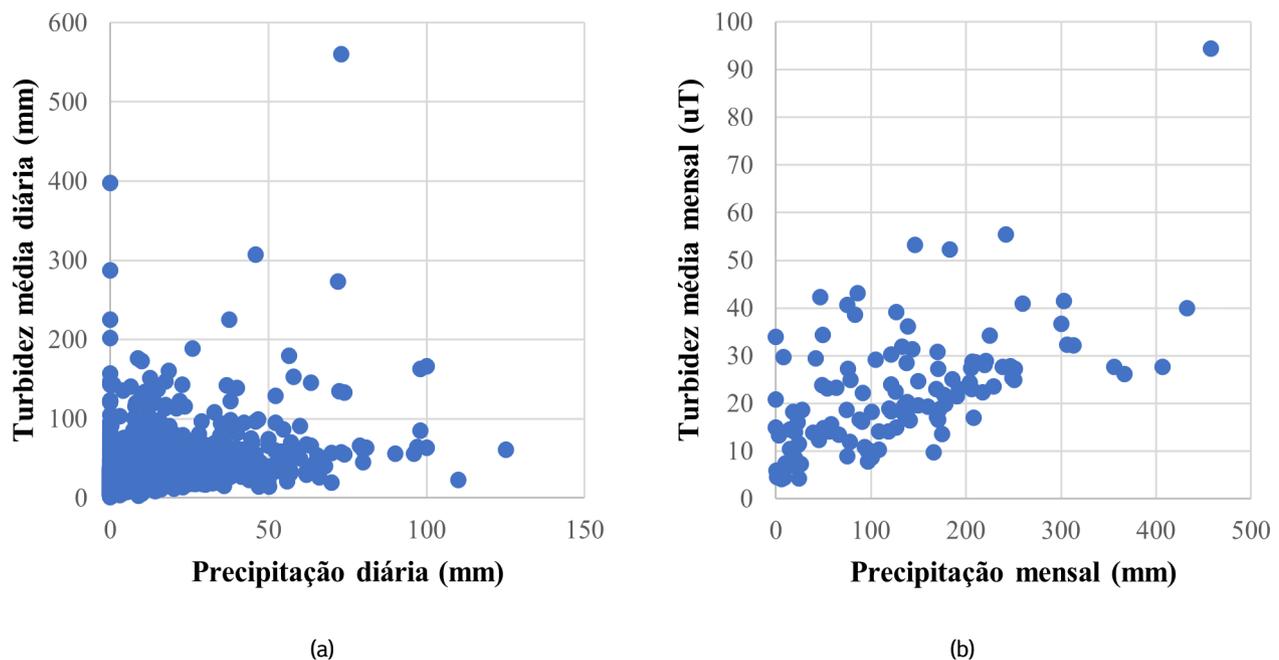


Figura 7 – Dispersão da (a) turbidez média diária em função da precipitação diária e da (b) turbidez média mensal em função da precipitação mensal.

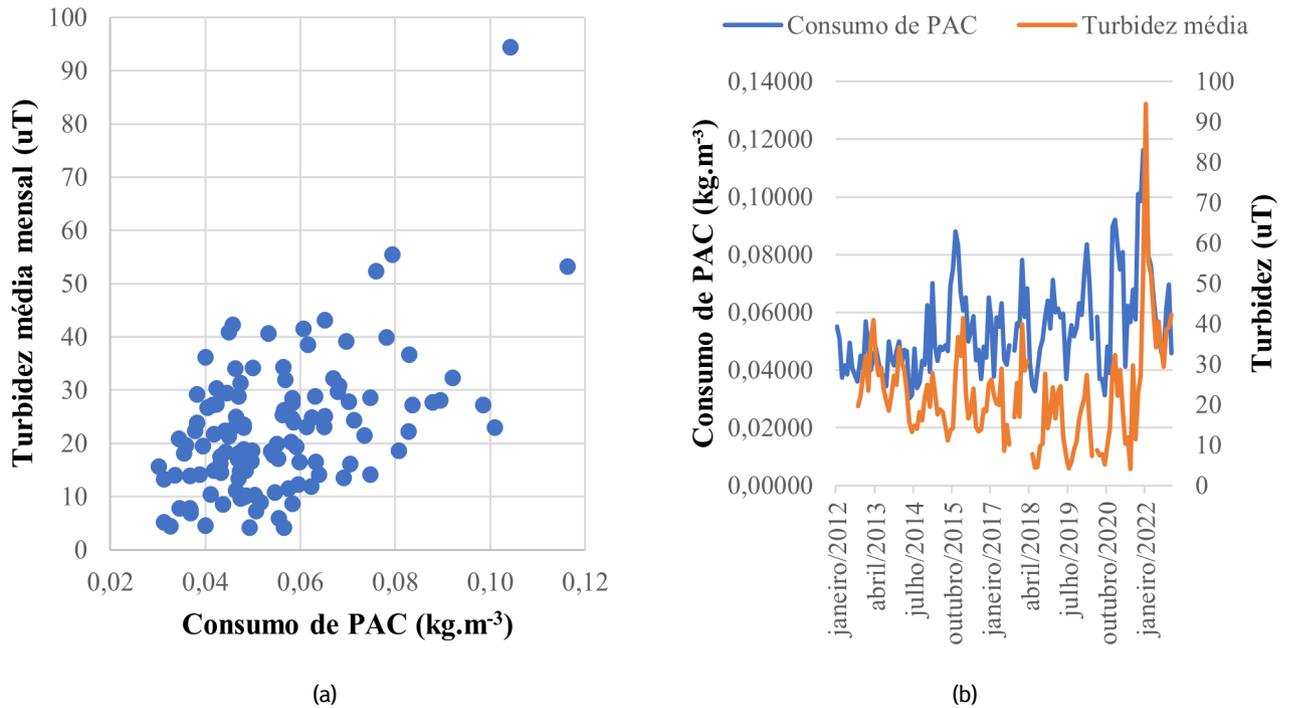


Figura 8 – (a) Dispersão da turbidez média mensal versus o consumo de PAC; (b) Consumo de PAC e turbidez em função do tempo.

A baixa correlação se deve ao fato de que a dosagem de PAC na ETA é alterada manualmente, baseada essencialmente na experiência dos operadores. Assim, observa-se que há espaço para melhorias no processo de dosagem de coagulante para adequar o consumo de PAC à turbidez afluente. Atualmente, o custo com produtos químicos é de cerca de 6% do faturamento anual do SAAE Garça, sendo o PAC o produto de maior custo total. Logo, pode ser interessante estudar a implantação de dosagem automática ou realizar treinamentos com os responsáveis por alterar a dosagem aplicada.

5 CONCLUSÕES

As análises realizadas neste estudo permitiram observar uma correlação de fraca a moderada entre a precipitação e a turbidez da água captada na ETA Garça, o que pode ser verificado de forma mais expressiva na escala mensal do que na escala diária. Quanto à sazonalidade, a turbidez varia

em um padrão anual na escala horária, diária e mensal, e em períodos chuvosos há uma maior correlação entre a turbidez e a precipitação do que em períodos de seca.

Em relação aos valores nominais, fica claro que a turbidez da água captada em 2022 foi maior do que a observada nos demais anos da série histórica. Porém, a hipótese de que o tempo que a turbidez permanece elevada após a ocorrência de uma precipitação está maior do que em anos anteriores não foi confirmada. Há um maior número de ocorrências em que os valores de turbidez estão acima do valor médio, porém mais da metade leva até cinco horas para que o sistema se recupere, o que é proporcionalmente mais rápido do que o observado para os demais anos. Fica clara a necessidade de conter processos erosivos e realizar a proteção da bacia hidrográfica do córrego da Cascata, para melhorar a qualidade da água captada.

Quanto ao consumo de PAC para o tratamento de água, há espaço para melhorar a dosagem de forma a obter uma melhor correlação entre a dosagem e a turbidez. No entanto, também é preciso levar em consideração outras características da água bruta, como a cor, o pH e a existência de outras substâncias que interfiram no processo de coagulação. Recomenda-se estudos mais aprofundados para automatizar a dosagem ou treinar os operadores para maior eficiência na aplicação do produto utilizado.

6 REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde – Um olhar do SUS**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2012. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_seguranca_agua_qualidade_sus.pdf. Acesso em: 5 nov. 2022.
- CÂNDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BATISTA, P. V. G. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1565-1575, 2014.
- CHEN, J.; CHANG, H. Dynamics of wet-season turbidity in relation to precipitation, discharge, and land cover in three urbanizing watersheds, Oregon River. **Research and Applications**, Londres, n. 35, p. 892- 904, 2019.
- CRUZ, M. A. S.; GONÇALVES, A. D.; DE ARAG O, R. et al. Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil. **Environmental Earth Sciences**, Berlim, v. 78, n. 68, p. 78-68, 2019.
- GARÇA. **Plano Municipal de Saneamento B sico e Gest o Integrada de Resíduos Sólidos**. Garça, SP, 2022. Disponível em: < https://drive.google.com/file/d/13ExVHrJKuUO4gKb-fpNbPMzQMn3-GTmm1/view?usp=share_link>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- GOOGLE EARTH PRO. Garça, SP. Coordenadas 22 12'06.1"S 49 38'36.4"W. 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3HnABel>. Acesso em: 5 nov. 2022.
- G RANSSON, G.; LARSON, M.; BENDZ, D. Variation in turbidity with precipitation and flow in a regulated river system – river G ta  lv, SW Sweden. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 17, p. 2529-2542, 2013.
- HAMILTON, J. L.; LUFFMAN, I. Precipitation, pathogens, and turbidity trends in the Little River, Tennessee. **Physical Geography**, v. 30, n. 3, p. 236-248, 2009.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Garça. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/garca/panorama>. Acesso em: 5 nov. 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Relatório Técnico 166 386-205 SDE**. Preven o e controle dos processos erosivos na bacia hidrográfica do Córrego da Cascata, Garça, SP. São Paulo: IPT, 2022.
- OLIVEIRA, K. S. S.; QUARESMA, V. D. S. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. **Journal of South American Earth Sciences**, Berlim, v. 78, p. 101-115, 2017.
- PORTAL DO DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de dados hidrológicos**: Posto pluviométrico D6-018. 2022. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 5 nov. 2022.
- RODRIGUES, M. F. et al. Coarse and fine sediment sources in nested watersheds with eucalyptus forest. **Land Degradation and Development**, Londres, v. 29, n. 8, p. 2237-2253, 2018.
- VALENTE, M. L. et al. Quantification of sediment source contributions in two paired catchments of the Brazilian Pampa using conventional and alternative fingerprinting approaches. **Hydrological Processes**, Londres, v. 34, n. 13, p. 2965-2986, 2020.
- VON SPERLING, M. **Introdu o à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018.