

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS (POÇOS DE CALDAS/MG)

ASSESSMENT OF IMPACT OF THE TREATED DOMESTIC SEWAGE ON THE WATER QUALITY OF RIBEIRÃO DAS ANTAS (POÇOS DE CALDAS/MG)

Douglas Augusto Godoi^a, Érica Daniely Santos^a, Mariana Gama Ferreira^a,
Antonio Donizetti Gonçalves de Souza^a

^aUniversidade Federal de Alfenas - (UNIFAL-MG)

*douglas.godoi@sou.unifal-mg.edu.br, erica.santos@sou.unifal-mg.edu.br, mariana.ferreira@sou.unifal-mg.edu.br,
adonizetti@unifal-mg.edu.br*

Submissão: 20 de junho de 2023

Aceite: 31 de maio de 2024

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas do Ribeirão das Antas após receber efluentes tratados da Estação de Tratamento de Esgoto III (ETE-III) no município de Poços de Caldas (MG). Para a realização deste estudo, foram estabelecidos cinco pontos de amostragem e medidas as seguintes variáveis: temperatura, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais suspensos e fósforo total. As coletas foram realizadas em dois períodos sazonais (estiagem e chuvoso). Os dados obtidos foram analisados segundo as variações espaciais e temporais e empregada a técnica de análise fatorial dos componentes principais (ACP). Com os resultados de fósforo total foi aplicado o índice de estado trófico (IET). Com relação ao padrão ambiental, o valor de fósforo total encontrado no ponto P2 foi superior ao limite preconizado na Resolução Conama nº 357/2005 para rios Classe 2, indicando que o lançamento provoca desconformidade no trecho estudado. Neste ponto de amostragem, no período de estiagem, o valor foi superior ao limite preconizado na normativa legal. A aplicação do IET classificou os pontos em mesotróficos, exceto o ponto P2, o qual foi classificado como eutrófico. O estudo pode subsidiar o estabelecimento de uma rede de monitoramento a ser implementada para acompanhar as tendências da qualidade da água e o cumprimento legal do lançamento no corpo hídrico.

Palavras-chave: qualidade da água; esgoto doméstico; estação de tratamento de esgoto; poluição hídrica.

Abstract

The present study aimed to assessment the water quality of Ribeirão das Antas after receiving treated effluents from Sewage Treatment Station III (ETE-III) at the Poços de Caldas (MG). To carry out this study, five sampling points were established and the following variables were measured: temperature, pH, conductivity, total dissolved solids, turbidity, dissolved oxygen, total suspended solids and total phosphorus. The collections were carried out in two seasonal periods (dry and rainy). The data obtained were analyzed according to spatial and temporal variations and the technique of factorial analysis of principal components (PCA) was used. With the results of total phosphorus, the TSI (Trophic State Index) was applied. With regard to the environmental standard, the total phosphorus value found at point P2 was higher than the limit recommended in CONAMA Resolution nº 357/2005 for Class 2 rivers, indicating that the discharge causes non-compliance in the stretch studied. At this sampling point, during the dry season, the value was higher than the limit established in the legal regulations. The application of the TSI classified the points as mesotrophic, except for point P2, which was classified as eutrophic. The study can subsidize the establishment of a monitoring network to be implemented to monitor trends in water quality and legal compliance with of the water body.

Keywords: water quality; domestic sewage; sewage treatment station; water pollution.

1 INTRODUÇÃO

Os estudos relacionados à qualidade da água em rios e córregos têm grande importância para medidas preventivas e corretivas a serem adotadas, pois refletem as diferentes condições naturais e atividades antrópicas existentes na bacia hidrográfica. A poluição hídrica pode ser entendida como qualquer modificação das características de um ambiente aquático, de modo a torná-lo impróprio às formas de vida ali existentes.

Para Von Sperling (2014), a poluição da água configura-se na adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, altera a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos. Segundo Crizel e Lara (2020), os efluentes domésticos e industriais são os principais responsáveis pela redução do oxigênio dissolvido, aporte de sólidos, nutrientes e micro-organismos patogênicos.

A capacidade de diluição de um corpo receptor deve considerar as condições iniciais da qualidade da água e a variação do regime hidrológico, impedindo o lançamento de cargas poluidoras que ultrapassem a sua capacidade de autodepuração (Marçal e Silva, 2017). No caso de efluentes domésticos, o tratamento e posterior lançamento em corpos receptores são realizados por Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

Para Alves (2020), as ETEs são responsáveis pela recepção e aplicação de diversos tratamentos no efluente coletado para que o mesmo atinja os parâmetros adequados de lançamento e diluição no corpo receptor, respeitando a carga máxima da sua capacidade de autodepuração, evitando, assim, impactos ambientais.

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento segundo usos preponderantes. O normativo estabeleceu 13 classes de qualidade, sendo 5 classes para corpos de água doce (classes Especial, 1, 2, 3 e 4). A resolução determina um conjunto de padrões ambientais a serem mantidos ou alcançados nos trechos de rios e córregos segundo o enquadramento efetivado. Com relação ao

lançamento de efluentes, o CONAMA estabeleceu a Resolução nº 430/2011, que indica as condições e padrões para as fontes poluidoras aos corpos hídricos (Brasil, 2005, 2011).

Nesse contexto, estudos de avaliação de lançamento de efluentes tratados em corpos receptores são importantes para investigar os impactos ambientais nestes locais, bem como verificar o atendimento ao cumprimento legal e desconformidades que podem estar ocorrendo sugerimos ocorrer na qualidade da água do corpo d'água. No município de Poços de Caldas (MG), a bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas configura-se em um dos principais cursos d'água da região, pois drena áreas rurais, industriais e parte da zona urbana da cidade, tendo seu exutório na Represa Bortolan, um importante polo de recreação e lazer do município.

O Ribeirão das Antas recebe os efluentes tratados da ETE-III (Estação de Tratamento de Esgoto III), responsável por cerca de 12% do esgoto doméstico gerado no município. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto do lançamento de efluentes provenientes da ETE-III na qualidade da água do Ribeirão das Antas localizado em Poços de Caldas (MG).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Von Sperling (2014), os usos das águas são múltiplos e correspondem aos devidos fins a que elas servem, sendo os principais: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação; dessedentação de animais, aquicultura, preservação da flora e fauna, recreação e lazer, harmonia paisagística, e geração de energia elétrica.

A qualidade da água é um aspecto que assegura e determina seu uso, ou conjunto de usos e é representada por características, geralmente mensuráveis, de natureza física, química e biológica. Essas características, se mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinado uso. Esses limites constituem os critérios, ou padrões da qualidade da água. Os padrões devem refletir adequadamente os objetivos, a tecnologia e as condições econômicas da sociedade no decorrer de seu desenvolvimento, visto que eles não são imutáveis, visando à saúde pública (Derisio, 2013).

Em condições naturais, a qualidade da água em uma bacia hidrográfica é afetada pelo escoamento superficial, infiltração e interação água-rocha/solo, resultantes da precipitação atmosférica. Em condições antrópicas, a qualidade da água pode ser afetada pelos despejos domésticos, industriais e/ou agrícolas, por meio da aplicação de fertilizantes, defensivos agrícolas e materiais particulados presentes na atmosfera (Libânio; Sardinha, 2020). Em termos de atividades antrópicas que influenciam a qualidade das águas, a poluição se destaca, pois

coloca em risco os requisitos de qualidade, bem como, limita o uso deste recurso.

O aumento vertiginoso da população e da industrialização nas últimas décadas, assim como o surgimento de situações de escassez hídrica em regiões densamente povoadas, conduziram a um cenário no qual grande parte das atividades antrópicas tem levado, invariavelmente, à poluição de águas naturais superficiais e subterrâneas (Sodré, 2012). Os principais poluentes das águas estão representados no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais agentes poluidores da água

Constituinte	Principais parâmetros representativos	Possíveis efeitos poluidores
<i>Sólidos em suspensão</i>	Sólidos em suspensões totais	Problemas estéticos Depósitos de lodo Adsorção de poluentes Proteção de patogênicos
<i>Matéria Orgânica Biodegradável</i>	Demanda Bioquímica de Oxigênio	Consumo de oxigênio Mortandade de peixes Condições sépticas
<i>Nutrientes</i>	Nitrogênio Fósforo	Crescimento excessivo de algas Toxicidade aos peixes (amônia) Doença em recém-nascidos (nitrato) Poluição da água subterrânea
<i>Organismos patogênicos</i>	Coliformes	Doenças de veiculação hídrica
<i>Matéria orgânica não biodegradável</i>	Pesticidas Alguns detergentes Produtos farmacêuticos Outros	Toxicidade (vários) Espumas (detergentes) Redução da transferência de oxigênio (detergentes) Biodegradabilidade reduzida ou inexistente Maus odores (ex.: fenóis)
<i>Metais</i>	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn etc)	Toxicidade Inibição do tratamento biológico dos esgotos Problemas na distribuição do lodo na agricultura Contaminação da água subterrânea
<i>Sólidos inorgânicos dissolvidos</i>	Sólidos dissolvidos totais Condutividade elétrica	Salinidade excessiva – prejuízo às plantações (irrigação) Toxicidade a plantas (alguns íons) Problemas de permeabilidade do solo (sódio)

Fonte: Von Sperling (2014).

No Brasil existem duas resoluções do CONAMA que versam sobre os padrões ambientais referentes aos corpos receptores e padrões de lançamento. Os padrões ambientais são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (Brasil, 2005). Os padrões de lançamento são determinados pela Resolução CONAMA nº 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (Brasil, 2011).

Nesse contexto, pode-se dizer que o país adota um sistema dual de controle da poluição, estabelecendo padrões para o corpo receptor e para a fonte poluidora, sendo que os dois normativos devem ser respeitados quando há lançamento de qualquer tipo de efluente aos corpos hídricos. Um dos maiores problemas de poluição em sistemas aquáticos naturais no Brasil é o lançamento de efluentes domésticos *in natura* sobre os rios e córregos.

Para Mendonça, Petreca e Souza (2020), este problema é bastante comum nos municípios brasileiros, onde o tratamento de esgoto doméstico se mostra precário ou simplesmente inexistente. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) constatou que, embora 83,3% dos municípios brasileiros contarem com o abastecimento de água, a coleta de esgoto sanitário não atinge cerca de 50% dos municípios e apenas 42,7% destas localidades possuem algum tipo de tratamento do esgoto gerado (Brasil, 2023).

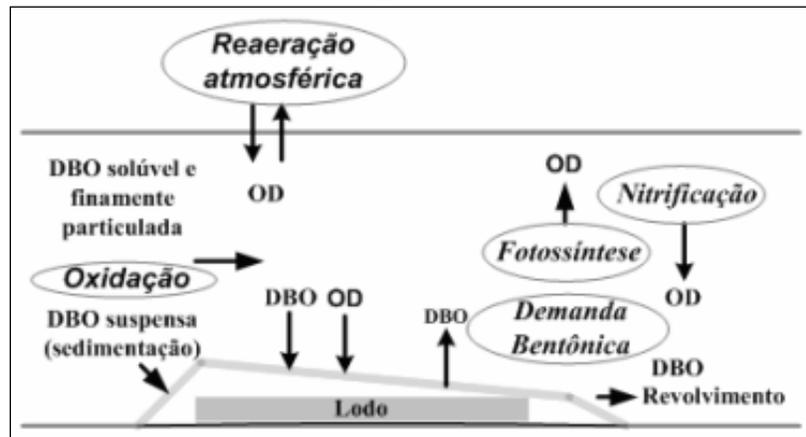
Os esgotos domésticos têm sua origem em residências e edificações públicas e comerciais que

concentram aparelhos sanitários. O tratamento adequado destes efluentes é essencial para a proteção ambiental e para saúde pública (Braga *et al.* 2005). Cerca de 70% da fração sólida dos esgotos domésticos é constituída por matéria orgânica, principalmente proteínas, carboidratos e gorduras (Brasil, 2004).

O lançamento de efluentes domésticos sem tratamento em rios e córregos gera uma série de impactos sobre estes corpos hídricos. Um dos principais impactos se refere à oxigenação da água, pois quando há o lançamento de uma alta quantidade de matéria orgânica, ocorre a redução de oxigênio dissolvido, influenciando diretamente na vida aquática, e isso acontece devido à respiração de micro-organismos aeróbios (São Paulo, 2023).

A assimilação da matéria orgânica nos corpos hídricos é denominada de autodepuração, que pode ser entendida como a capacidade de receber certa quantidade de resíduos, degradá-los e convertê-los em produtos não nocivos ou benéficos (Teodoro, 2010). O equilíbrio entre as fontes de consumo e produção de oxigênio ocorre durante o fenômeno de autodepuração, já que os processos de reaeração atmosférica e fotossíntese são responsáveis pela oxigenação. A oxidação da matéria orgânica, a nitrificação e a demanda de oxigênio por sedimentos são responsáveis pela desoxigenação (Mendonça; Petreca; Souza, 2020). A Figura 1 apresenta um esquema dos principais elementos do balanço de oxigênio dissolvido nos corpos d'água.

Figura 1 - Fenômenos integrantes do balanço do oxigênio dissolvido em corpos hídricos



Fonte: Von Sperling (2007).

A autodepuração é um fenômeno que se caracteriza pelo restabelecimento do equilíbrio no meio aquático após alterações provocadas pelo lançamento de efluentes. Este processo visa retornar gradativamente as características anteriores relacionadas à concentração de matéria orgânica e ao oxigênio dissolvido na água (Von Sperling, 2007).

Para Paula (2011), a autodepuração pode ser entendida como um processo da capacidade dos cursos de água se recuperarem após o lançamento de cargas poluidoras. Isto não significa, necessariamente que as águas voltarão às condições anteriores, mas que, o ecossistema pode alcançar o equilíbrio com outras particularidades, sem desenvolver ou trazer qualquer problema ambiental. O processo de autodepuração ao longo de um corpo hídrico, onde houve o lançamento de matéria orgânica, delimita cinco regiões características: a montante do lançamento tem-se a zona de águas limpas; a jusante do despejo ocorrem as zonas de degradação, de decomposição ativa, de recuperação e águas limpas. Estas regiões estão descritas a seguir, segundo Von Sperling (2014):

i) zona de águas limpas (anterior ao lançamento de matéria orgânica), que é a região geralmente de águas limpas, com alta concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática superior (supondo que não haja poluição anterior), e pode ser entendida como não constituinte do processo de autodepuração em si;

ii) zona de degradação, a jusante do ponto de lançamento do poluente, com diminuição do oxigênio dissolvido, sedimentação de material sólido, e menor biodiversidade superior, porém aumento na quantidade de bactérias;

iii) zona de decomposição ativa, região onde a concentração de oxigênio dissolvido atinge seu valor mínimo, podendo chegar a anoxia, com redução generalizada na quantidade de organismos aeróbicos;

iv) zona de recuperação, local onde a reaeração começa a sobressair a desoxigenação, com a concentração de oxigênio dissolvido aumentando e retorno da vida aeróbia, marcada por uma tendência de proliferação de algas;

v) zona de águas limpas, região onde os níveis de oxigênio dissolvido, DBO_5 e organismos aeróbicos retornam à valores aceitáveis, porém não necessariamente significa a eliminação dos

organismos patogênicos.

A Figura 2 apresenta o perfil longitudinal das três principais variáveis (matéria orgânica, bactérias decompositoras e oxigênio dissolvido) ao longo das zonas de depuração do corpo receptor (Von Sperling, 2014).

Para minimizar os efeitos do lançamento de esgotos domésticos em corpos hídricos devem ser construídas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Estas obras tratam os efluentes sanitários de forma a reduzir a matéria orgânica, organismos presentes no esgoto e outros elementos potencialmente poluidores e tóxicos ao corpo receptor. Segundo a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR, 2010), os sistemas de tratamento de esgotos sanitários se fazem necessários, pois melhoram a qualidade de vida da população, reduzem a mortalidade infantil e têm como finalidade proteger da contaminação os afluentes, preservando o meio ambiente e dirimindo problemas de ordem sanitária e várias doenças. A captação, o tratamento e a distribuição de água, assim como a coleta, o afastamento e o tratamento de esgoto, são essenciais para a promoção da saúde da população e para minimizar o impacto do descarte de águas residuárias em corpos hídricos (Urban; Isaac; Morita, 2019).

Um importante aspecto também a ser estudado se refere a avaliação dos impactos do lançamento dos esgotos tratados em ETEs nos corpos receptores. Há vários estudos que avaliaram a qualidade da água de corpos receptores após o lançamento de esgotos tratados provenientes de ETEs, tais como Marçal e Silva (2017), Bertocco (2019), Corrêa, Araújo e Silva (2015), Moraes *et al.* (2021) e Válio *et al.* (2013). Estudos desse tipo podem, de fato, contribuir para o entendimento do real impacto desses sistemas de tratamento sobre os ecossistemas aquáticos.

3 METODOLOGIA

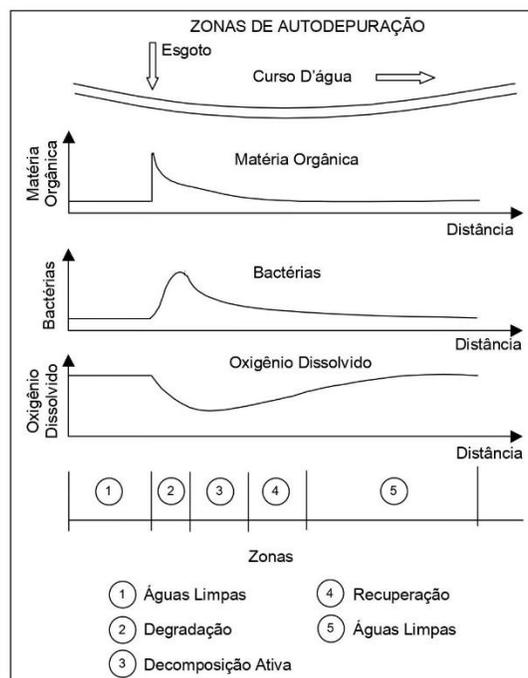
3.1 Área de Estudo

O município de Poços de Caldas está localizado ao sul do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas 21°50'20" S e 46°33'53" W, com uma população estimada de 169.838 habitantes e uma área de 547,061 km² (IBGE, 2021). O clima de Poços de Caldas, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwb mesotérmico, com inverno seco e verão

brando. O clima é marcado pela ocorrência de duas estações distintas: verão chuvoso, de outubro a março, caracterizado pelas temperaturas e precipitações elevadas, temperatura média de 20,3 °C e precipitação total de 1.430 mm no período;

inverno seco, nos meses de abril a setembro, marcado por temperaturas e índices pluviométricos baixos, temperatura média de 15 °C e 315 mm de totais de chuvas no período (Sardinha *et al.* 2016).

Figura 2 - Perfil longitudinal dos três principais parâmetros ao longo das cinco zonas de autodepuração



Fonte: Von Speling (2014).

O município apresenta uma zona urbana de 85 km², o restante da área, caracteriza-se como zona rural, onde são desenvolvidas atividades primárias, apresentando baixa densidade demográfica (Poços de Caldas, 2011).

A bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, objeto deste estudo, ocupa aproximadamente 70% da área total do Planalto de Poços de Caldas, possui uma área de 455 km² (Alberti, 2008). A Estação de Tratamento III (ETE-III) está situada à margem direita do Ribeirão das Antas, que é o corpo receptor final dos efluentes, imediatamente a jusante do cruzamento deste com a rodovia Geraldo Martins Costa, nas coordenadas geográficas 21°50'06"S e 46°36'02"S (Figura 3). No trecho do lançamento, o rio corresponde à classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, pois não há enquadramento efetivado.

A ETE-III é composta basicamente pelo tratamento preliminar, sendo quatro reatores de

manta de lodo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), por um sistema de desidratação e mistura do lodo com cal e por um sistema de queima de gases. A estação trata 65,9 L/s (12,4 % do total gerado no município) com uma eficiência média de 60% de remoção (DMAE, 2013).

3.2 Dados pluviométricos

Os dados de pluviometria do local foram obtidos com o Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), que possui uma estação de medida localizado no terreno da ETE-III. Foram compilados os dados de precipitação mensal total (mm) dos anos de 2019 e 2020. Para os meses de coleta (setembro/2019 e março/2020) foram tabelados os dados diários de precipitação.

As coletas foram realizadas no mês de setembro/2019, representando o fim do período de

estiagem, e no mês de março/2020, representando o fim do período chuvoso.

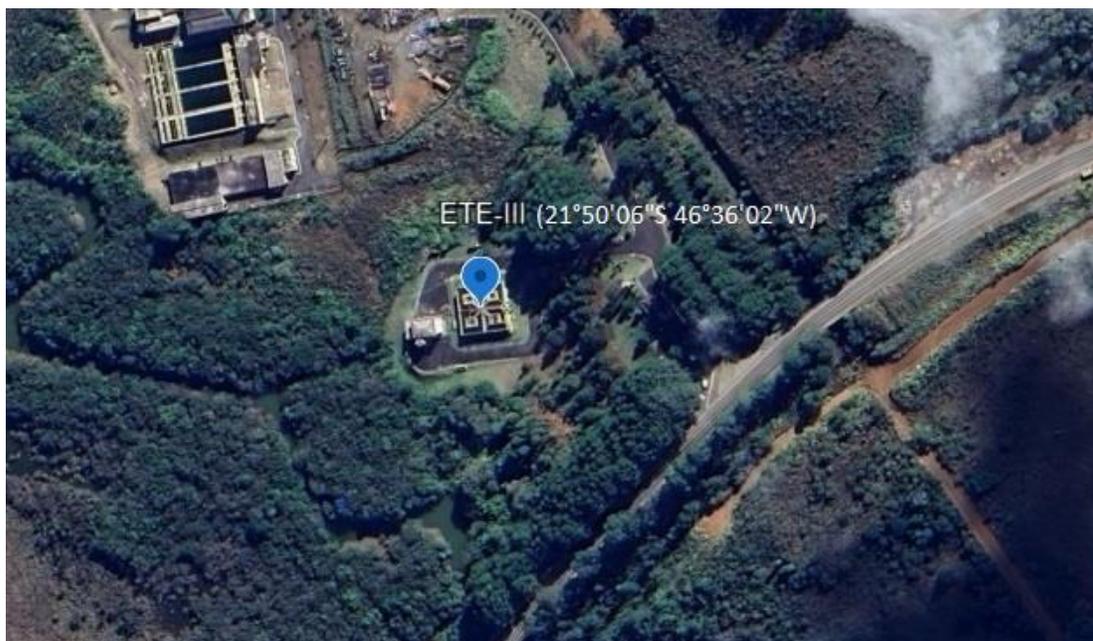
3.3 Avaliação da Qualidade da Água

Para a avaliação da qualidade da água foram estabelecidos cinco pontos de amostragem no trecho de lançamento do esgoto doméstico tratado pela ETE-III. A Tabela 1 e a Figura 4 apresentam a localização e a caracterização dos pontos. Os pontos de amostragem P2 a P5 estão localizados a

jusante do lançamento e na abrangência da zona de mistura do efluente e copo hídrico.

Em campo foram medidas as seguintes variáveis de qualidade da água: temperatura (°C), pH, turbidez (NTU), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido (mg/L) e sólidos totais dissolvidos (mg/L). Estas variáveis foram medidas com analisador multiparâmetro da marca HORIBA, modelo U-52G. Foram coletadas amostras de água para análises em laboratório das variáveis sólidos totais suspensos (mg/L) e fósforo total (mg/L).

Figura 3 - Local de lançamento do esgoto tratado da ETE-III no Ribeirão das Antas



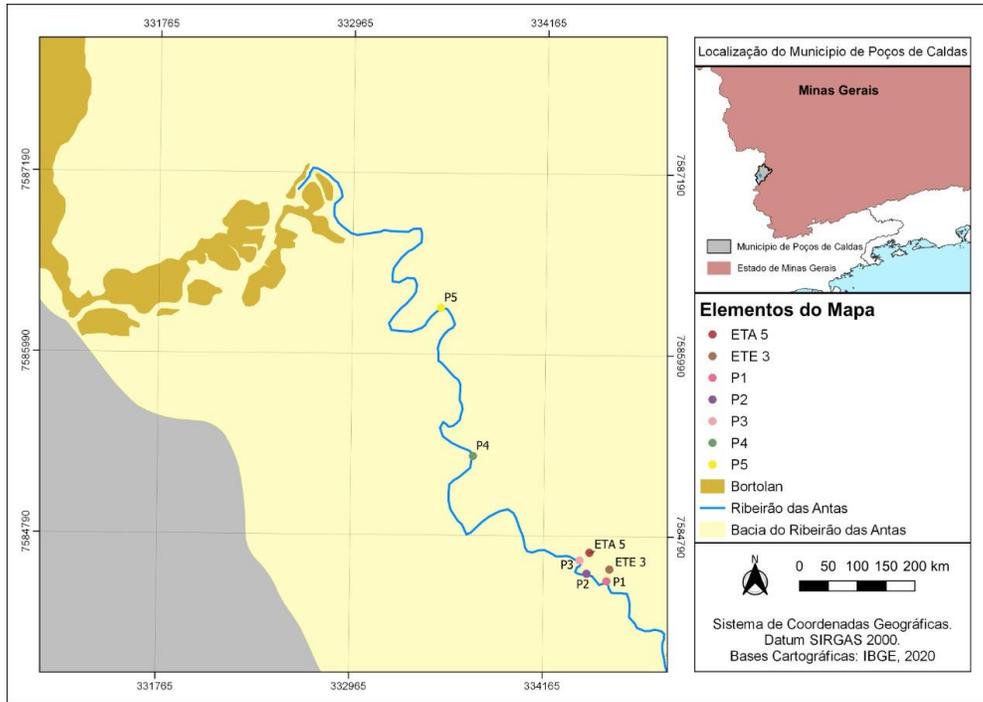
Fonte: Google Earth. Data da imagem: 02/07/2020.

Tabela 1 - Pontos de coleta das amostras no Rio Ribeirão das Antas

Pontos	Latitude	Longitude	Distribuição Espacial
P1	21°50'09" S	46°36'03" O	160 m montante do lançamento
P2	21°50'07" S	46°36'07" O	10 m jusante do lançamento
P3	21°50'04" S	46°36'09" O	160 m jusante do lançamento
P4	21°49'42" S	46°36'32" O	1750 m jusante do lançamento
P5	21°49'10" S	46°36'39" O	3120 m jusante do lançamento

Fonte: autores 2020.

Figura 4 - Localização dos pontos de amostragem no trecho de estudo



Fonte: autores (2020).

A determinação de sólidos totais suspensos foi realizada segundo técnica de filtração e gravimetria. As amostras foram filtradas membranas (47mm e 1,2 µm de porosidade) pré-aquecidas a 105° C e pesadas (P_i). Após a filtração, as membranas foram novamente aquecidas a 105° C e pesadas (P_f). Os sólidos suspensos totais foram determinados segundo equação 1.

$$STS = \frac{P_f - P_i}{V} \quad (1)$$

Onde:

STS: Sólidos totais suspensos (mg/L);
P_f: Massa final da membrana (mg);
P_i: Massa inicial da membrana (mg);
V: Volume filtrado (L).

O fósforo total foi determinado segundo Strickland e Parsons (1960) e Valderrama (1981), que consiste na digestão oxidativa da amostra com persulfato de potássio em autoclave a 120° C e posterior reação com molibdato de amônia e ácido ascórbico. Após construção da curva-padrão, realizou-se leitura do fósforo total em espectrofotômetro a 882 nm.

Os resultados da qualidade da água foram analisados de forma espacial e temporal. Além disso, foi empregada a Análise Fatorial de Componentes Principais (ACP) que permitiu uma análise comparativa e ordenação dos pontos de coleta segundo as interferências existentes. Com os resultados obtidos de fósforo total (PT), foi aplicado o Índice de Estado Trófico (IET) para rios segundo Lamparelli (2004), conforme a equação 2.

$$IET_{PT} = 10 \times \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \times \ln PT}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (2)$$

Onde:

IET_{PT}: Índice do Estado Trófico.
PT: Concentração de fósforo total (µg/L).

O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias. Neste índice, os resultados correspondentes ao fósforo total, IET_{PT}, devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o

agente causador do processo (São Paulo, 2023).

No presente estudo, o IET foi calculado apenas com os resultados do fósforo total (IET_{PT}); desta

forma, para a classificação da trofia, foram utilizados os valores equivalentes, segundo Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação trófica segundo equivalências das concentrações de fósforo total (PT) para rios

Classificação	PT (mg/L)
Ultraoligotrófico	PT ≤ 0,013
Oligotrófico	0,013 < PT ≤ 0,035
Mesotrófico	0,035 < PT ≤ 0,137
Eutrófico	0,137 < PT ≤ 0,296
Supereutrófico	0,296 < PT ≤ 0,640
Hipereutrófico	PT > 0,640

Fonte: Lamparelli (2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 apresenta a precipitação pluviométrica dos totais mensais nos anos de 2019 e 2020 (até o mês de novembro). Os dados permitem confirmar a sazonalidade existente entre os meses mais chuvosos (outubro a março) e mais secos (abril a setembro).

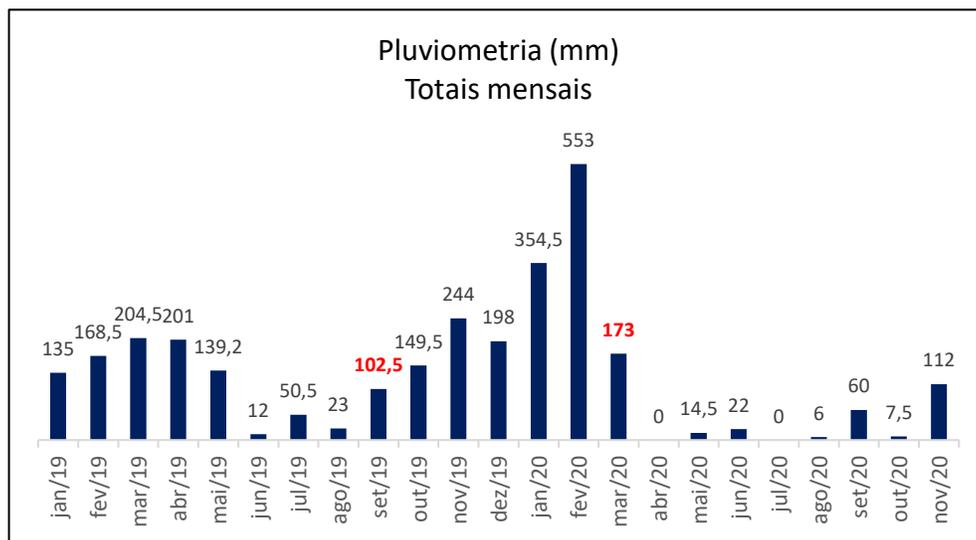
As Figuras 6 e 7 referem-se aos índices pluviométricos registrados diariamente nos meses do estudo, sendo que setembro/2019 representa o final do período de estiagem e março/2020, o final do

período chuvoso.

Pode-se observar que no final do período de estiagem, foram registrados sete dias sem precipitação antes da realização da coleta, enquanto para o fim do período chuvoso, três dias. As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados obtidos nos pontos de coleta para o período de estiagem (setembro/2019) e chuvoso (março/2020).

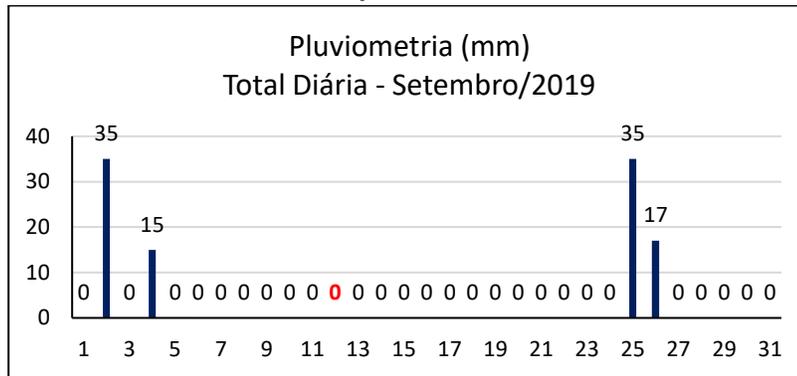
As Figuras 8 a 11 representam a variação espacial e temporal dos resultados obtidos nos cinco pontos de amostragem.

Figura 5 - Pluviometria total mensal durante o período de estudo. Em destaque os meses de coleta



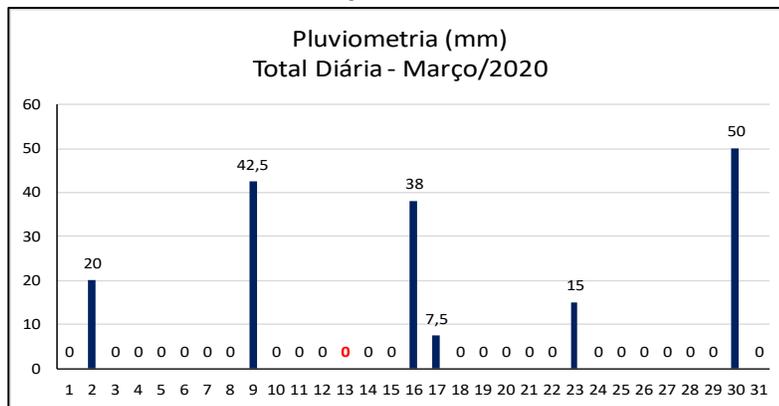
Fonte: DMAE (2020).

**Figura 6 - Pluviometria total diária em setembro de 2019.
Em destaque o dia de coleta**



Fonte: DMAE (2019).

**Figura 7 - Pluviometria total diária em março de 2020.
Em destaque o dia de coleta**



Fonte: DMAE (2020).

Tabela 3 - Resultados registrados nos pontos de amostragem para o período de estiagem

Pontos	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)	OD (mg/l)	STS (mg/L)	Fósf. Total (mg/L)
P1	19,64	7,45	108,00	70,00	8,50	8,37	4,23	0,05
P2	19,48	7,47	128,00	83,00	17,20	7,64	23,93	0,21
P3	19,88	7,03	96,00	63,00	8,90	7,58	8,00	0,07
P4	19,38	7,42	124,00	80,00	1,00	6,23	8,70	0,07
P5	19,55	7,02	125,00	81,00	16,20	5,67	6,62	0,07

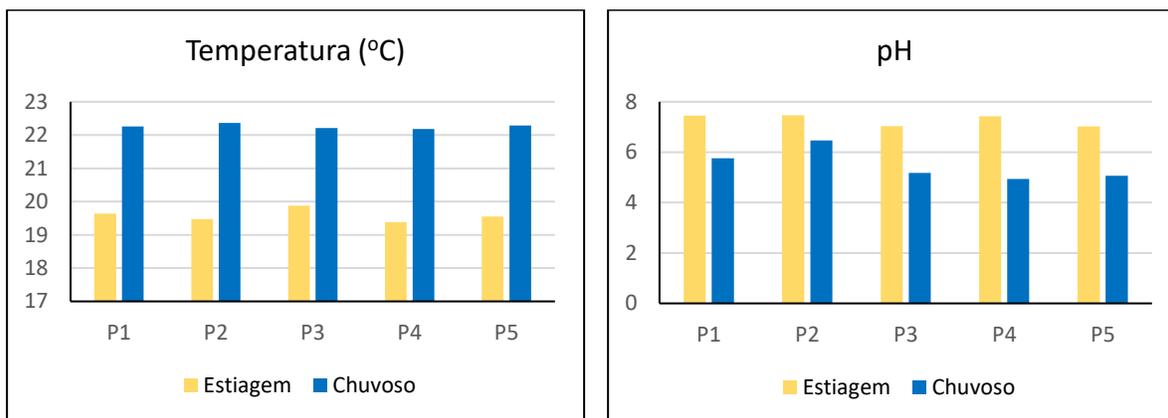
Fonte: autores (2020).

Tabela 4 - Resultados registrados nos pontos de amostragem para o período chuvoso

Pontos	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (µS/cm)	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)	OD (mg/l)	STS (mg/L)	Fósf. Total (mg/L)
P1	22,26	5,76	80,00	52,00	5,50	7,74	15,35	0,06
P2	22,36	6,46	94,00	61,00	7,00	7,24	17,47	0,08
P3	22,21	5,18	79,00	51,00	6,20	7,48	15,87	0,06
P4	22,18	4,94	83,00	54,00	7,90	9,71	15,95	0,07
P5	22,29	5,06	84,00	55,00	5,50	8,24	11,12	0,08

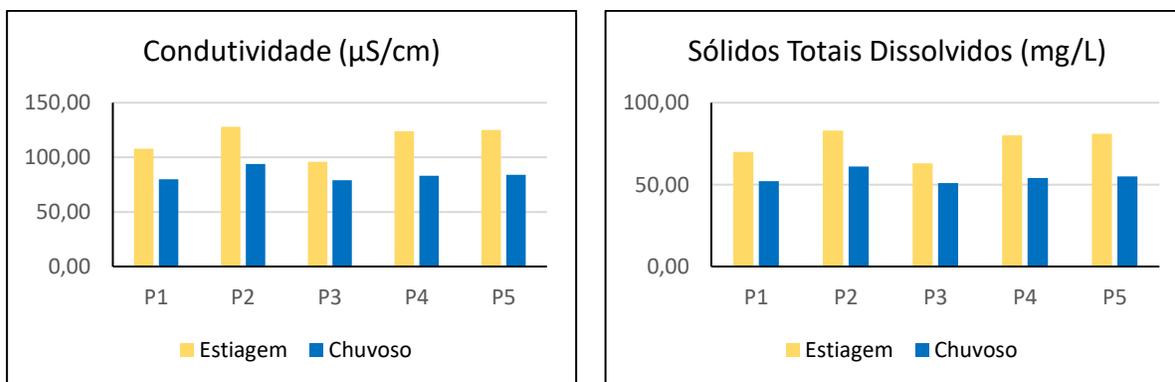
Fonte: autores (2020).

Figura 8 - Resultados obtidos para a temperatura e pH



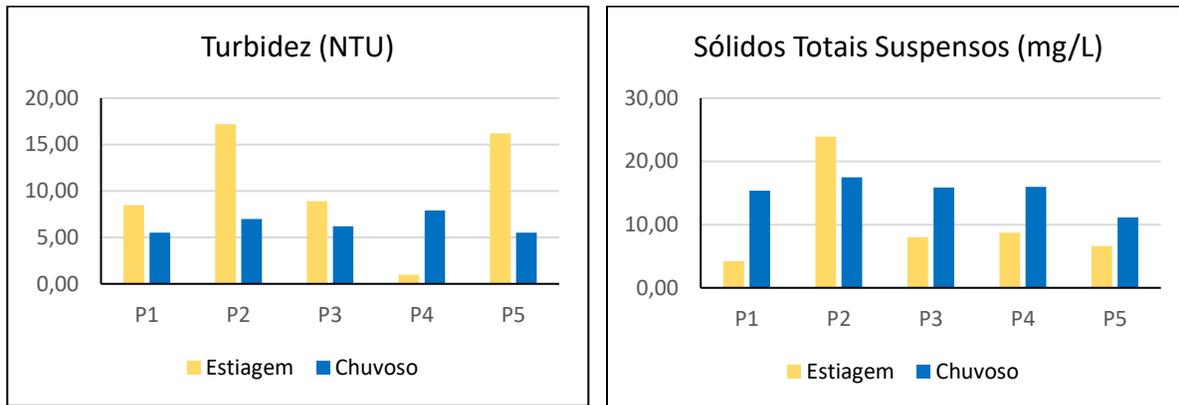
Fonte: autores (2020).

Figura 9 - Resultados obtidos para a condutividade e sólidos totais dissolvidos



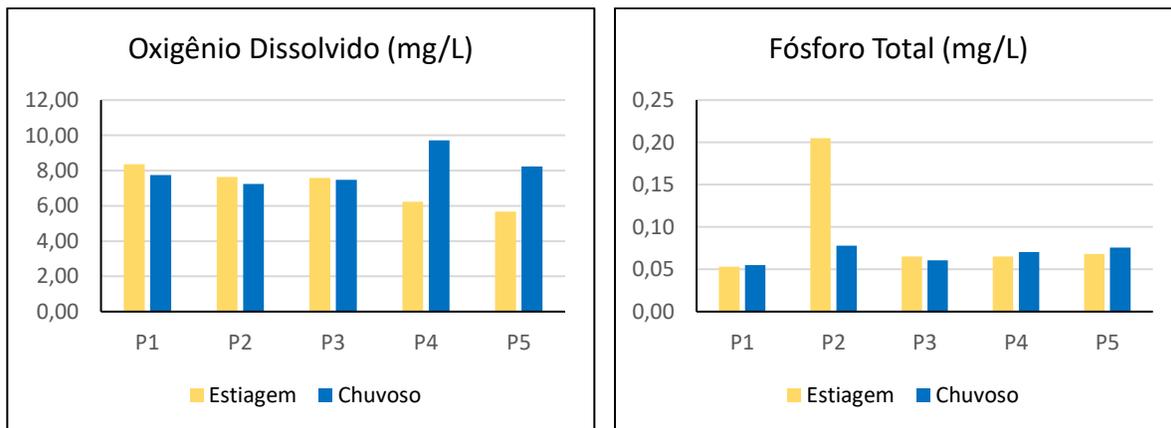
Fonte: autores (2020).

Figura 10 - Resultados obtidos de turbidez e sólidos totais suspensos



Fonte: autores (2020).

Figura 11 - Resultados obtidos para o oxigênio dissolvido e o fósforo total



Fonte: autores (2020).

Os maiores valores de temperatura da água ocorreram no período chuvoso, acompanhando a sazonalidade e o clima da região. Os pontos de amostragem indicaram uma variação de cerca de 3,0° C entre o período de estiagem (inverno) e chuvoso (verão).

Os resultados de pH registraram os menores valores em todos os pontos de amostragem para o período de chuva. No período chuvoso, com exceção do ponto P2, todos os pontos apresentaram valores abaixo do limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005, que preconiza valores na faixa de pH entre 6,0 e 9,0 para rios de classe 2.

Os baixos valores de pH no período chuvoso podem ter relação com o efeito de carreamento de material de entorno ao trecho estudado ocasionado pela pluviometria. O trecho estudado apresenta ocupação por matas ciliares, que podem ter

contribuído com material em decomposição, ocasionando menores valores de pH durante a época chuvosa. Lopes e Magalhães Jr. (2010) também encontraram valores baixos de pH em locais associados às condições naturais sob influência de vegetação nativa em estudo realizado no rio Ribeirão de Carrancas (MG).

A condutividade elétrica está relacionada à concentração de íons dissolvidos no corpo d'água, pois quanto maior a concentração de íons, maior o valor da condutividade elétrica. Para Steffens *et al.* (2015), a condutividade não fornece informações sobre quais íons específicos estão presentes em uma amostra de água; em vez disso, é uma indicação da quantidade de íons na amostra, indicando possíveis impactos causados pela descarga de efluentes industriais e domésticos.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não

estabelece limites para a condutividade elétrica. No entanto, enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Von Sperling, 2014). Nos resultados obtidos no presente estudo foram observados valores mais elevados no período de estiagem, variando de 96,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ponto P3 e 128,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ponto P2. Na estação chuvosa, o menor valor também foi no ponto P3 (79,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e o maior no ponto P2 (94,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Comparando-se o ponto P1, antes do lançamento, com os demais pontos de jusante, observa-se um gradiente de aumento da condutividade, refletindo provavelmente, o início da influência do lançamento de esgoto proveniente da ETE-III no corpo hídrico. Oliveira, Nogueira e Sartori (2014), em seu estudo sobre rios no estado de São Paulo, também registraram valores elevados de condutividade em estações de coleta próximas a lançamento de esgoto domésticos. No presente estudo, embora ocorra lançamento de esgoto tratado, o gradiente de aumento observado pode estar relacionado com conteúdo iônico residual do tratamento.

Os valores de sólidos totais suspensos mantiveram o mesmo padrão de variação encontrado para a condutividade, pois são variáveis correlacionadas. Os resultados de turbidez, para os dois períodos de amostragem, mantiveram-se abaixo dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (100,0 NTU). Os maiores valores de turbidez foram obtidos no período de estiagem, com destaque para o ponto P2 (17,20 NTU), localizado no lançamento do esgoto tratado. Este valor pode estar relacionado ao impacto do efluente lançado.

Quanto aos sólidos totais suspensos (STS), as concentrações durante o período chuvoso foram maiores que as do período de estiagem, exceto no ponto P2, onde se obteve o maior valor (23,93 mg/L). Este pico de concentração pode ter relação com o lançamento do esgoto tratado neste ponto, como ocorreu com o valor elevado de turbidez no mesmo local de amostragem.

Os níveis de oxigênio dissolvido (OD) demonstraram, de forma geral, os maiores valores no período de chuva. Em todos os pontos e nos dois períodos de coleta, os valores se mantiveram acima

do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, $\text{OD} \geq 5,0$ mg/L.

Os valores mais elevados de OD no período chuvoso indicam a influência da precipitação no corpo hídrico, causando maior vazão e reaeração nessa época do ano. Os resultados de OD também indicam que a eficiência de remoção da matéria orgânica realizada pela ETE-III foi adequada, pois não causou depleção do OD no trecho estudado.

O fósforo é caracterizado como um dos principais nutrientes para os processos biológicos e é exigido em grandes quantidades pelas células biológicas, sendo assim é parâmetro imprescindível na caracterização de efluentes que se pretende tratar por estes processos (São Paulo, 2017).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite para a classe 2 deve ser de até 0,1 mg/L de fósforo total para ambientes lóticos (rios). O ponto P1, que está localizado a montante do lançamento, apresentou os valores mais baixos, sendo 0,05 mg/L no período de estiagem e 0,06 mg/L no período de chuva.

Para os dois períodos de amostragem, os valores enquadraram-se na classe 2, com exceção do ponto P2 no período de estiagem que apresentou o maior valor obtido para esta variável (0,21 mg/L). O valor encontrado no ponto P2 indica, provavelmente, a influência direta do lançamento do esgoto tratado na ETE-III.

Fonseca e Tibiriçá (2021) avaliaram o lançamento de esgoto tratado no rio São Domingos, em Catanduva (SP), e observaram que não houve redução significativa das concentrações de fósforo total no curso d'água, visto que a estação estudada não possuía tratamento terciário e a remoção desse elemento é limitada. Isto pode estar ocorrendo, em menor grau, no ponto P2 amostrado neste estudo. A Tabela 5 apresenta os Índices de Estado Trófico encontrados para os pontos nas duas campanhas de coleta e suas respectivas classificações para o fósforo total (PT), segundo Lamparelli (2004).

Com exceção do ponto P2 no período de estiagem, todos os pontos classificaram-se como mesotróficos, que indicam corpo d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis. O ponto P2, que tem localização mais próxima do lançamento da ETE-III, foi o único classificado como Eutrófico. Este resultado indica a influência da

concentração de fósforo do esgoto tratado do curso d'água.

Tabela 5 - Classificação da trofia dos pontos de amostragem

Pontos	Períodos	PT (mg/L)	Classificação Equivalente IET
P1	Estiagem	0,05	Mesotrófico
	Chuvoso	0,06	Mesotrófico
P2	Estiagem	0,21	Eutrófico
	Chuvoso	0,08	Mesotrófico
P3	Estiagem	0,07	Mesotrófico
	Chuvoso	0,06	Mesotrófico
P4	Estiagem	0,07	Mesotrófico
	Chuvoso	0,07	Mesotrófico
P5	Estiagem	0,07	Mesotrófico
	Chuvoso	0,08	Mesotrófico

Fonte: autores (2020).

Tabela 6 - Análise Fatorial de Componentes Principais
Cargas fatoriais das variáveis distribuídas nos Fatores 1 e 2

Variáveis	Estiagem		Chuvoso	
	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2
Temperatura	-0,932	-0,152	0,795	-0,552
pH	0,260	0,497	0,767	-0,489
Condutividade	0,947	0,302	0,995	0,037
STD	0,942	0,316	0,986	0,044
Turbidez	0,043	0,581	0,374	0,855
OD	-0,729	0,492	-0,299	0,881
STS	0,261	0,907	0,399	0,147
Fósforo Total	0,244	0,947	0,738	0,354
Autovalores	3,380	2,758	4,114	2,201
%Explicação	42,253	34,477	51,430	27,515

Fonte: autores (2020).

Os resultados da análise fatorial de componentes principais (ACP) estão representados na Tabela 6, onde podem ser observadas as cargas fatoriais de cada variável da qualidade da água distribuídas nos fatores extraídos.

No período de estiagem, os dois fatores extraídos representaram uma explicabilidade de 72,72%, sendo 42,25% para o Fator 1 e 34,47% para o Fator 2. No Fator 1, as variáveis mais

correlacionadas positivamente foram condutividade e sólidos totais dissolvidos (STD). O oxigênio dissolvido (OD) e a temperatura demonstraram altas correlações negativas neste fator. No Fator 2 foi influenciado positivamente por sólidos totais suspensos (STS) e fósforo total.

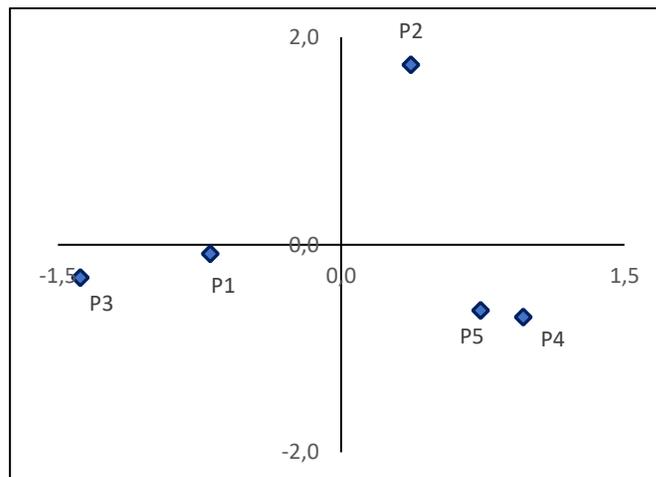
As cargas fatoriais indicam que para o período de estiagem, o Fator 1 está relacionado ao conteúdo iônico da água, enquanto o Fator 2 representa o

carreamento de materiais e oxigenação do trecho estudado. Para o período chuvoso, os dois fatores extraídos representaram uma explicabilidade de 78,94%, sendo 51,43% para o Fator 1 e 27,51% para o Fator 2. No primeiro fator, as variáveis mais correlacionadas positivamente foram temperatura, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD) e fósforo total. O segundo fator foi influenciado

positivamente pela turbidez e oxigênio dissolvido (OD).

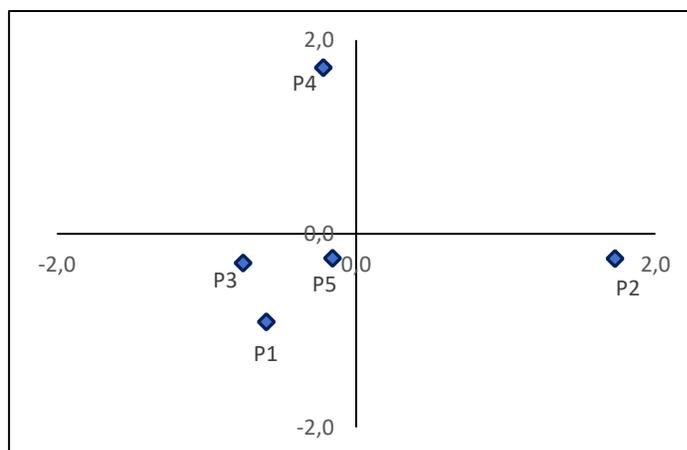
As cargas fatoriais do período chuvoso demonstraram que o Fator 1 novamente representa a influência da composição iônica da água e o Fator 2, o carreamento de sólidos e oxigenação. As Figuras 12 e 13 apresentam a distribuição dos pontos de amostragem nos Fatores 1 e 2 para os períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente.

Figura 12 - Distribuição dos pontos de coleta ao longo dos Fatores 1 e 2 para o período de estiagem



Fonte: autores (2020).

Figura 13 - Distribuição dos pontos de coleta ao longo dos Fatores 1 e 2 para o período chuvoso



Fonte: autores (2020).

No período de estiagem, o ponto P3 foi o mais fortemente correlacionado negativamente com o Fator 2, indicando valores baixos de condutividade e sólidos totais dissolvidos. O ponto P2 apresentou alta correlação positiva com o Fator 2, refletindo os índices mais elevados de sólidos totais suspensos e fósforo total. Os pontos P4 e P5 obtiveram correlações negativas com o Fator 2, indicando níveis mais baixos de sólidos totais suspensos e fósforo total.

Para o período chuvoso, o ponto P2 apresentou alta correlação positiva com o Fator 1, demonstrando impactos relacionados a valores elevados do conteúdo iônico e fósforo total, como já registrado para o período de estiagem. O ponto P4 obteve cargas positivas com o Fator 2, refletindo altos valores de turbidez e oxigênio dissolvido.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o impacto do lançamento de esgoto doméstico tratado sobre a qualidade da água no Ribeirão das Antas. A análise fatorial de componentes principais confirmou a influência do lançamento do efluente tratado no ponto P2 com valores elevados de condutividade, sólidos suspensos totais, turbidez e fósforo total.

Com relação ao padrão ambiental, o valor de fósforo total encontrado no ponto P2 foi superior ao limite preconizado na Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios Classe 2, indicando que o lançamento provoca desconformidade no trecho estudado. Desta forma, este estudo recomenda que novos estudos devem ser realizados abrangendo os dois períodos sazonais (estiagem e chuvoso) e com maior número de variáveis para confirmar, bem como investigar novas possíveis desconformidades, visando à adoção de medidas corretivas pelo gestor municipal da Estação de Tratamento de Esgoto.

O estudo pode subsidiar o estabelecimento de uma rede de monitoramento a ser implementada para acompanhar as tendências da qualidade da água e o cumprimento legal do lançamento do corpo hídrico.

6 REFERÊNCIAS

ALBERTI, H. L. C. **Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geociências) -

Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2008.

ALVES, E. M. S. **Avaliação do impacto do lançamento do efluente de uma estação de tratamento de esgoto doméstico no rio Cuiá.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa (PB), 2020.

BERTOCCO, J. C. **Avaliação da qualidade do esgoto tratado e seus impactos no curso hídrico: o caso da ETE norte do município de Presidente Venceslau - São Paulo - Brasil.** 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente, 2019.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília: CONAMA, 2011.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** 3. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático - Serviços de água e esgoto.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e->

programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis. Acesso em: 24 mai. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ.

Processo de tratamento de esgoto. 2010.

Disponível em: www.sanepar.com.br. Acesso em: 27 mai. 2024.

CORRÊA, T. S.; ARAÚJO, R.R.; SILVA, M. A.

Capacidade autodepurativa do córrego do Limoeiro após lançamento de efluente tratado. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã (SP), v.11, n.6, p. 310-325, 2015.

CRIZEL, M. G.; LARA, A. C. Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes instalada em uma universidade federal: questão de gestão ambiental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, p. 54-70, 2020.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

FONSECA, W. C.; TIBIRIÇÁ, C. E. J. A. **Avaliação da influência da estação de tratamento de efluente de Catanduva (SP) na qualidade da água do rio São Domingos.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 1, p. 181-191, jan./fev. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População - 2021.** Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2021. Acesso em: 5 jun. 2023.

LAMPARELLI, M. C. Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIBÂNIO, C. R.; SARDINHA, D. S. Transporte anual de sedimentos e nutrientes do rio Muzambo, tributário do reservatório de Furnas (MG). **Revista Mineira de Recursos Hídricos**. Belo Horizonte, v.1, n.1, p. 1-18. jan./jun. 2020.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR., A. P. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de

qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 134-147, jul./dez. 2010.

MARÇAL, C. 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.

MENDONÇA, T. P.; PETRECA, W. L.; SOUZA, A. D. G. Autodepuração de corpos hídricos: estudo do lançamento de esgoto doméstico no rio Lambari (Poços de Caldas/MG). **Geoambiente on-line**. n. 36, p. 85-103, jan./abr. 2019.

MORAES, R. X. L.; YABUKI, L. N. M.; QUELUZ, J. G. T.; GARCIA, M. L. Avaliação da qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento do esgoto sanitário do município de Rio Claro/SP. **Holos Environment**, v. 21, n. 1, p. 83-104, 2021.

OLIVEIRA, P. C. R.; NOGUEIRA, M. G.; SARTORI, L. P. Differential environmental impacts on small and medium size rivers from center of São Paulo State, Brazil, and regional management perspectives. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 4, p. 404-419, 2014.

PAULA, L. M. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do rio Jordão, Araguari, MG.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

POÇOS DE CALDAS. **Geografia de Poços de Caldas.** 2011. Disponível em: <https://pocosdecaldas.mg.gov.br/noticias/geografia/>. Acesso em: 6 jun. 2023.

POÇOS DE CALDAS. Departamento Municipal de Água e Esgoto. **Relatório Anual Pluviométrico ETA 5 - 2019.** Poços de Caldas: DMAE, 2019.

POÇOS DE CALDAS. Departamento Municipal de Água e Esgoto. **Relatório Anual Pluviométrico ETA 5 - 2020.** Poços de Caldas, DMAE, 2020.

POÇOS DE CALDAS. Departamento Municipal de Água e Esgoto. **Plano diretor de Esgotamento**

Sanitário do Município de Poços de Caldas/MG.

Hydros Engenharia Ltda – Relatório Geral, n. DM615.RE.PC102, 2013.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp>. Acesso em: 6 mai. 2020.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2022**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 24 mai. 2024.

SARDINHA, D. S.; PENA, Y. T. L.; TIEZZI, R. O.; ALMEIDA, M. C. J. Base de dados de desastres naturais no município de Poços de Caldas/MG: ferramenta para o planejamento e a gestão territorial. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 8, n. 3, p. 318-331, set./dez. 2016.

SODRÉ, F. F. Fontes difusas de poluição da água: características e métodos de controle. **Artigos Temáticos do AQQUA**, n. 1, p. 9-16, 2012.

STEFFENS, C.; KLAUCK, C. R.; BENVENUTI, T.; SILVA, L. B.; RODRIGUES, M. A. S. **Water quality assessment of the Sinos River** – RS. Brazil. *Brazilian Journal Biology*, v. 75, n. 4, p. 62-67, 2015.

STRICKLAND, J.D.; PARSONS, T.R. **A manual of seawater analysis**. Bull. Fihs. Res. Bel. Can., v.125, p.1-185, 1960.

TEODORO, A. **Estudo da capacidade de autodepuração e diluição de efluentes no Rio Taquarizinho**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010.

URBAN, R. C.; ISAAC, R. L; MORITA, D. M. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. **Revista DAE**, n. 219, v. 67, out./dez. 2019.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. **Marine Chemistry**, v. 10, p.109-122, 1981.

VALIO, V. M.; TAU-K-TONISIELO, S. M.; MALAGUTTI, E. N.; MORAIS, E. B.; GONÇALVES, F. A. M.; ALCANTARA, A. L. **Holos Environment**, v. 13, n. 2, p. 224-242, 2013.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, v. 7, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, 2014.