

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

AVALIAÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E DO
SISTEMA DE TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO DE RIO CLARO/SP

Paulo Henrique dos Santos

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Rio Claro (SP)

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS

AVALIAÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS E DO SISTEMA DE TRATAMENTO DO
ESGOTO SANITÁRIO DE RIO CLARO/SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2022

S237a Santos, Paulo Henrique dos
Avaliação temporal da qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento do esgoto sanitário de Rio Claro/SP / Paulo Henrique dos Santos. -- Rio Claro, 2022
79 f. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Marcelo Loureiro Garcia

1. Controle de qualidade da água. 2. Rios. 3. Saneamento doméstico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS

AVALIAÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS E DO SISTEMA DE TRATAMENTO DO
ESGOTO SANITÁRIO DE RIO CLARO/SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia (orientador)

Perito André Corrêa de Toledo

Eng Ambiental e Sanitarista, Me. Jandir Pereira Blasius

Rio Claro, 08 de julho de 2022.



Paulo Henrique dos Santos



Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sua infinita bondade para comigo, por ter me dado forças, me capacitado e sustentado até aqui. Sem Ele nada poderia fazer.

Agradeço a minha amada esposa Letícia por todo apoio, incentivo e paciência, que mesmo nos momentos difíceis esteve ao meu lado me dando bom ânimo para vencermos mais essa etapa da vida.

Aos meus pais, Francisco e Neusa, e a minha irmã Juliana, por tudo o que já fizeram e ainda fazem por mim, pelo suporte, atenção e apoio de sempre. Ao meu cunhado Renan, e aos sogros Cláudio e Ana que estão sempre dispostos a ajudar.

Aos meus pastores e amigos Nilson, Valdêmia e Adolfo pelo alto preço que têm pagado pela minha vida, pelo apoio e direcionamento sempre pela vontade de Deus.

Aos amigos e amigas que a graduação me proporcionou, em especial a Luana e Giovanna que sempre estiveram presentes para me auxiliar nas dificuldades, obrigado pelos bons momentos que passamos nesse período.

A todos os professores que contribuíram para essa formação, agradeço pelos ensinamentos, conselhos e experiências compartilhadas, fundamentais para o meu crescimento profissional.

Aos meus colegas de trabalho do tempo de Bauminas, onde tudo começou nas longas madrugadas de peleja, e aos colegas de Akdeniz Chemson, pelo conhecimento e auxílio que têm me passado nessa empresa “onde os fracos não têm vez”.

A todos os familiares e amigos que direta ou indiretamente, fizeram parte dessa jornada na minha vida. O meu muito obrigado!

RESUMO

Considerando a importância da água para a sociedade como um todo e levando em conta a influência das ações antrópicas na degradação dos recursos hídricos, o presente trabalho avalia o padrão de qualidade das águas superficiais do município de Rio Claro (SP) (rios Corumbataí e Ribeirão Claro) no período de 2015 a 2020. A metodologia consistiu na avaliação de parâmetros de qualidade tais como condutividade elétrica, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, *Escherichia coli*, clorofila *a* e de metais potencialmente tóxicos de cinco pontos de amostragem, entre a montante da captação de água para abastecimento na cidade e a jusante do lançamento dos esgotos tratados no município. Os resultados indicaram que em praticamente todos os pontos de controle foram observadas concentrações de íons metálicos dissolvidos fora dos limites de conformidade segundo a Resolução CONAMA nº. 357/2005, principalmente para alumínio e ferro dissolvidos. Os parâmetros de DBO, *Escherichia coli* e fósforo total também apresentaram valores acima do especificado pela legislação, principalmente nos pontos à jusante do município. Se por um lado foram detectados alguns parâmetros não conformes, por outro lado, foi verificada na base da Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (ARES-PCJ) a conformidade à eficiência das estações de tratamento de esgoto dispostas no município de Rio Claro, visto o enquadramento do esgoto tratado às diretrizes ambientais determinadas pela Resolução CONAMA nº. 430/2011. Por fim, o Índice de Qualidade da Água (IQA) na maioria dos pontos de monitoramento foi classificado como bons, segundo a classificação da companhia regulatória. Neste sentido, este estudo pretende contribuir para a compreensão dos principais problemas encontrados nas águas do município de Rio Claro, e pode ser útil em estudos futuros que visem avaliar medidas de mitigação das disparidades.

Palavras-chave: Qualidade das águas. Corpos hídricos. Saneamento básico. CONAMA. Município de Rio Claro (SP). Rio Corumbataí. Ribeirão Claro.

ABSTRACT

Considering the importance of water to society as a whole and taking into account the influence of anthropic actions on the degradation of water resources, the present study evaluates the quality standard of surface water in the municipality of Rio Claro (SP) (Corumbataí and Ribeirão Claro rivers) in the period from 2015 to 2020. The methodology consisted in the evaluation of quality parameters such as electrical conductivity, turbidity, nitrate, ammoniacal nitrogen, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total phosphorus, *Escherichia coli*, chlorophyll a and potentially toxic metals from five sampling points, between upstream of the water abstraction for supply in the city and downstream of the discharge of treated sewage in the municipality. The results indicated that in almost all the control points concentrations of dissolved metal ions were observed outside the compliance limits according to the CONAMA Resolution n^o. 357/2005, especially for dissolved aluminum and iron. The BOD, *Escherichia coli* and total phosphorus parameters also presented values above the specified by the legislation, especially in the points downstream of the city. If on one hand some non-compliant parameters were detected, on the other hand, the compliance to the efficiency of the sewage treatment plants located in the municipality of Rio Claro was verified in the base of the Regulatory Agency of Sanitation Services for the watersheds of the Piracicaba, Capivari and Jundiaí Rivers (ARES-PCJ), seen the framework of the sewage treated to the environmental guidelines determined by CONAMA Resolution n^o. 430/2011. Finally, the Water Quality Index (WQI) in most of the monitoring points was classified as good, according to the regulatory company's classification. In this sense, this study aims to contribute to the understanding of the main problems found in the waters of the municipality of Rio Claro, and may be useful in future studies that aim to evaluate mitigation measures of the disparities.

Keywords: Quality of water. Hydric resources. Improved sanitation. CONAMA. Municipality of Rio Claro (SP). Corumbataí River. Ribeirão Claro river.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas médias de variação da qualidade das águas	23
Figura 2. Representação do funcionamento de um reator UASB.....	27
Figura 3. Divisão das UGRHI do estado de São Paulo	34
Figura 4. Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí	35
Figura 5. Localização do município de Rio Claro e dos corpos hídricos	37
Figura 6. Localização das ETAs e dos pontos de amostragem.....	42
Figura 7. Estações de Tratamento de Esgotos do município de Rio Claro	44
Figura 8. Resultados de Condutividade Elétrica.....	47
Figura 9. Resultados de Turbidez	48
Figura 10. Resultados de Nitrato.....	49
Figura 11. Resultados de Nitrogênio Amoniacal	49
Figura 12. Resultados de Oxigênio Dissolvido	50
Figura 13. Resultados da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	51
Figura 14. Resultados de <i>Escherichia coli</i>	52
Figura 15. Resultados de Fósforo	53
Figura 16. Resultados de Clorofila- <i>a</i>	53
Figura 17. Porcentagem de desconformidades do Manganês total	54
Figura 18. Porcentagem de desconformidades de ferro dissolvido.....	55
Figura 19. Porcentagem de não conformidades de Alumínio Dissolvido	56
Figura 20. IQA - Ponto 01	57
Figura 21. IQA - Ponto 02	57
Figura 22. IQA - Ponto 03	58
Figura 23. IQA - Ponto 04	58
Figura 24. IQA - Ponto 05	59
Figura 25. IAP - Ponto 01	60
Figura 26. IAP - Ponto 04.....	60
Figura 27. IET - Ponto 01	61
Figura 28. IET - Ponto 02	62
Figura 29. IET - Ponto 03	62
Figura 30. IET - Ponto 04	63
Figura 31. IET - Ponto 05.....	63
Figura 32. Relação DQO/DBO para ETE Flores	65
Figura 33. Relação DQO/DBO para ETE Conduta.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

ARES PCJ - Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETA - Estação de Tratamento de Água

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FEENA - Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade

IAP - índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IET - Índice de Estado Trófico

IQA - Índice de Qualidade da Água

ISTO - Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Águas superficiais e desafios no Brasil	14
3.2 Parâmetros de qualidade das águas	15
3.2.1 Condutividade elétrica	16
3.2.2 Turbidez	16
3.2.3 Nitrogênio amoniacal e nitrato	16
3.2.4 Oxigênio dissolvido	17
3.2.5 Demanda bioquímica de oxigênio	18
3.2.6 Fósforo total	18
3.2.7 Clorofila-a	18
3.2.8 <i>Escherichia coli</i>	19
3.2.9 Íons metálicos	19
3.3 Avaliação da qualidade das águas	20
3.3.1 Índice de Qualidade das Águas (IQA)	21
3.3.2 Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP)	24
3.3.3 Índice de Estado Trófico (IET)	25
3.4 Esgotamento sanitário	25
3.5 Legislação pertinente	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 Área de estudo	33
4.1.1 <i>Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí - PCJ</i>	33
4.1.2 <i>Sub-Bacia do Rio Corumbataí</i>	34
4.1.3 <i>Município de Rio Claro</i>	36
4.1.4 <i>Pedologia</i>	37
4.1.5 <i>Rio Corumbataí</i>	38
4.1.6 <i>Ribeirão Claro</i>	39
4.1.7 <i>Sistemas de tratamento de água</i>	39
4.2 Metodologia	40
4.3 Sistemas de tratamento de esgoto	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 Avaliação dos parâmetros de qualidade das águas	46
5.2 Avaliação dos índices de qualidade das águas	56
5.3 Avaliação do sistema de tratamento de esgoto	64
6. CONCLUSÕES	69
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
8. REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

A água é uma substância fundamental para a vida no planeta Terra, sendo considerado um recurso estratégico para a humanidade. De acordo com Shiklomanov (1998), aproximadamente 97,5% da água encontrada no Planeta está localizada nos oceanos, sendo que as águas doces correspondem a 2,5% do total. Da fração de água doce, a maior parte, 69,5%, constitui as calotas polares e geleiras, 29,9% às águas subterrâneas, 0,9% à umidade do solo e somente 0,3% do volume total de água doce corresponde às águas superficiais.

Segundo a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2014), conforme dados do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), a água possui grande importância para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas, tais como a irrigação que utiliza aproximadamente 73% deste recurso, o abastecimento industrial que faz uso de 21%, e o abastecimento humano e atividades de lazer que demandam de 6% da água doce.

A Organização das Nações Unidas (ONU) (2021) revelou que devido ao crescimento populacional, aos padrões de consumo e ao desenvolvimento econômico, atualmente o consumo de água tem aumentado em 1% ao ano, podendo ser ainda maior em um futuro próximo, tendo em vista a projeção de crescimento populacional para 8,6 bilhões de pessoas em 2030. O aumento da demanda por água tratada implica desafios à gestão sustentável desse recurso, pois as atividades realizadas nos centros urbanos são as principais responsáveis pela contaminação das águas superficiais já que os efluentes gerados nos mais variados processos trazem consigo agentes poluentes prejudiciais à qualidade das águas.

A poluição dos rios é descrita por Silva (2015) como decorrência da adição de substâncias que, direta ou indiretamente, alterem as características físicas, químicas ou biológicas de um corpo hídrico, de maneira que prejudique a utilização da água. Neste sentido, os esgotos urbanos e efluentes industriais lançados nos corpos hídricos podem colocar em risco a saúde e o bem-estar da população (VON SPERLING, 2005), além de causarem desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos e prejudicarem o desenvolvimento econômico-social.

A Lei Federal de nº 14.026 de 15 de julho de 2020 atualizou o marco legal do saneamento básico no país e definiu o esgotamento sanitário como as atividades que disponibilizam e mantêm infraestruturas e instalações operacionais pertinentes à coleta, transporte, tratamento e à disposição final adequada dos efluentes ao meio ambiente. Além disso, esta Lei definiu metas para que seja garantido até o final do ano de 2033 o atendimento de 90% da população brasileira com coleta e tratamento de esgotos (BRASIL, 2020).

Esse propósito se apresenta como um grande desafio, visto que dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), apontam que ao final de 2018, o índice de atendimento à rede de coleta de esgotos no país era de apenas 53,2%. A situação é mais crítica nas regiões Norte e Nordeste que dispunham, respectivamente, de somente 10,5% e 28,0% de sua população atendida. Dessa forma, como quase metade do efluente doméstico gerado no país não dispõe de gerenciamento adequado, pode-se destacar uma série de problemas ambientais e de saúde pública que estão vinculados à qualidade dos corpos hídricos brasileiros.

A Resolução nº 357 estabelecida em 2005 pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e alterada pela Resolução nº 430 de 2011, estipula as condições, padrões e diretrizes para a gestão de lançamento de efluentes em corpos de água receptores e classifica os corpos hídricos superficiais de acordo com parâmetros orgânicos e inorgânicos. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), órgão ambiental que dentre suas responsabilidades está o monitoramento dos principais corpos hídricos do estado, avalia periodicamente diversos parâmetros indicadores da qualidade das águas, tais como condutividade elétrica, turbidez, nitrogênio amoniacal, nitrato, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, clorofila-a, *Escherichia coli*, como também alguns compostos metálicos. Além disso, para o município de Rio Claro, a Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (ARES-PCJ) é a responsável pela fiscalização dos serviços de saneamento básico, e realiza o monitoramento dos corpos hídricos municipais.

Em contraste com a realidade do país, o município de Rio Claro/SP apresenta maior cobertura dos serviços de saneamento ambiental. A BRK Ambiental, concessionária responsável pela coleta e tratamento do esgoto sanitário do município indica que até o ano de 2019, 99,7% de todo o efluente gerado na área urbana foi coletado e desse montante, 92% recebiam tratamento adequado. Entretanto, somente uma investigação detalhada dos parâmetros de emissão de efluentes pode determinar se o esgoto tratado respeita os padrões de lançamento e desta forma é possível apontar as adequações necessárias para atendimento à legislação pertinente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento de esgoto do município de Rio Claro/SP durante o período de 2015 a 2020.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade da água dos rios Corumbataí e Ribeirão Claro perante o enquadramento dos corpos hídricos segundo a Resolução CONAMA n°. 357/2005;
- Analisar os Índices de Qualidade da Água (IQA), Índice de Qualidade da Água para fins de Abastecimento Público (IAP) e o Índice de Estado Trófico (IET) para o Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro;
- Avaliar a eficiência e a evolução temporal do desempenho do tratamento do esgoto sanitário do município de Rio Claro/SP.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Águas superficiais e desafios no Brasil

As águas superficiais são aquelas que escoam ou acumulam na superfície terrestre, como os rios, riachos, lagos, lagoas, veredas, brejos (SEMAD, 2008). De acordo com Ferreira (2017), as águas superficiais são as principais fontes de abastecimento de água no planeta, visto a sua facilidade de acesso.

Segundo dados do SNIS (2021), o Brasil dispõe de aproximadamente 12,0% da água doce superficial do mundo. Porém, a distribuição desse recurso no território brasileiro não é uniforme. Enquanto na região Norte do país, que detém apenas 8,8% da população, encontra-se a maior disponibilidade de água doce, nas regiões Sudeste e Nordeste, que somam 69,1% da população brasileira, o volume de água disponível para consumo não chega a um décimo do volume total de água doce do país.

Esse cenário alerta sobre a importância de mecanismos que possibilitem o atendimento aos padrões de qualidade da água, que atualmente têm como desafio a poluição associada principalmente aos centros urbanos. Neste sentido, TUCCI *et al.* (2000) destacam as concentrações urbanas como responsáveis pela contaminação dos rios por esgoto doméstico e industrial (poluição orgânica e química) que geram impactos ambientais negativos aos corpos hídricos. Ainda, Tundisi (2020), menciona que os múltiplos usos da água no país ocasionam impactos nos corpos hídricos, especialmente na região Sudeste, onde o grau de urbanização e a atividade industrial são mais concentrados.

O relatório sobre o Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil (ANA, 2012) indica que os esgotos domésticos constituem a principal ameaça sobre os recursos hídricos, devido à falta de coleta e tratamento, além do tratamento ineficiente do esgoto coletado. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021) apontam que do total de esgoto gerado no Brasil, apenas 50,8% são tratados, e da parcela de esgoto que é coletada, apenas 79,8% recebem tratamento.

A Resolução n°. 01/1986 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria resultante das

atividades humanas, e que direta ou indiretamente afetam a qualidade dos recursos ambientais, e por consequência, a saúde, a segurança e o bem-estar da população. Dessa forma, a falta de tratamento de esgoto adequado é um aspecto ambiental a ser tratado, pois quantidades significativas de carga orgânica doméstica são despejadas nos corpos hídricos, resultando na deterioração da qualidade da água.

A poluição das águas também pode ser proveniente de atividades industriais e mineradoras, cujos efluentes, se não tratados corretamente, têm capacidade de lançar cargas inorgânicas nos corpos hídricos (ANA, 2012). Os metais potencialmente tóxicos elevam os custos para o tratamento das águas destinadas ao abastecimento público.

Os principais elementos metálicos lançados na água proveniente das indústrias são: cobre, zinco, cromo, chumbo e o níquel (FALQUETO, 2008). Em relação às atividades agrícolas, as cargas de agrotóxicos e fertilizantes compostos de fósforo são responsáveis pela contaminação e eutrofização nos corpos hídricos, respectivamente, em especial em locais com ausência das matas ciliares (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020).

Neste sentido, através da Agenda 2030, a ONU estabeleceu o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº. 6 que tem como meta a garantia do acesso universal a água em padrões de qualidade adequados, através de ações que reduzam a poluição, eliminem despejo e minimizem a liberação de produtos químicos e materiais perigosos nas águas (ONU, 2022).

3.2 Parâmetros de qualidade das águas

A qualidade da água é resultante de condições naturais e de fatores antrópicos, como o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, baseada em parâmetros que indicam as características físicas, químicas e biológicas de corpos hídricos, das águas de abastecimento e das águas residuárias. Os principais parâmetros físicos indicadores de qualidade da água são cor, turbidez, sabor, odor e temperatura (VON SPERLING, 2007).

Os principais parâmetros químicos de qualidade da água são: potencial hidrogeniônico (pH), alcalinidade, acidez, dureza, íon ferro (Fe^{3+}) e íon manganês

(Mn⁴⁺), cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido (OD), matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos e micropoluentes orgânicos.

As características biológicas são avaliadas pela presença de bactérias, algas, fungos, protozoários, vírus e helmintos, dentre eles organismos patogênicos e organismos indicadores de contaminação fecal. (VON SPERLING, 2007).

3.2.1 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é um parâmetro físico que indica a capacidade que a água possui em conduzir corrente elétrica, indica a quantidade de sais existentes na amostra de água e é uma medida indireta da concentração de poluentes. Quanto maior a condutividade elétrica, maior é a quantidade de sólidos dissolvidos presentes na água. A condutividade elétrica possui unidade de medida expressa em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e geralmente, valores acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam águas poluídas ou com quantidade elevada de sais minerais (CETESB, 2020).

3.2.2 Turbidez

A turbidez representa o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a amostra de água e indica a presença de sólidos em suspensão como partículas inorgânicas provenientes de rocha, argila e silte, que não acarretam em inconvenientes sanitários diretos. Entretanto, a turbidez também pode estar associada ao despejo de esgotos domésticos e efluentes sanitários que apresentam potencial de carreamento de compostos tóxicos e patogenicidades (VON SPERLING, 2005).

Um corpo hídrico com turbidez elevada resulta na redução da taxa de fotossíntese das algas, a vegetação enraizada na água suprime a produtividade de peixes, e afeta a comunidade biológica aquática. Além disso, encarece o tratamento de água, com a necessidade de maiores doses de coagulantes e auxiliares (CETESB, 2020).

3.2.3 Nitrogênio amoniacal e nitrato

De acordo com a CETESB (2020), os esgotos urbanos geralmente constituem a principal fonte de nitrogênio amoniacal nas águas, ocorrida devido à hidrólise da ureia.

Entretanto, efluentes de indústrias petroquímicas, farmacêuticas, siderúrgicas, matadouros, assim como o escoamento de águas pluviais em áreas agrícolas também contribuem para a contaminação dos corpos hídricos com nitrogênio amoniacal.

O Nitrogênio é encontrado nos corpos hídricos em quatro formas: nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato, sendo as duas primeiras formas reduzidas e as demais, oxidadas. As formas de nitrogênio estão diretamente associadas com as etapas de degradação da poluição orgânica em um corpo hídrico, de forma que se em uma amostra de água prevalecer concentrações de nitrogênio orgânico ou amoniacal, significa que o foco da poluição está próximo, porém se a amostra predominar concentrações de nitrito ou nitrato, pode se inferir que a fonte de poluição está distante e o nitrogênio na forma reduzida já sofreu oxidação (CETESB, 2020).

Dentre os problemas ocasionados pelas formas de nitrogênio está a eutrofização de corpos hídricos, já que esse nutriente é ideal para o crescimento de algas, que caso se multiplique exageradamente, degradam a qualidade da água. Além disso, o nitrogênio na forma de amônia livre é tóxico aos peixes, e algumas espécies não sobrevivem a concentrações acima de 5 mg/L. (VON SPERLING, 2005).

Por fim, o nitrato também é considerado tóxico, pois pode causar a doença letal “metahemoglobinemia infantil”. Por esse motivo, o nitrato é um parâmetro padrão de potabilidade da água e sua concentração máxima permitida é de 10 mg/L de acordo com estudos do Ministério da Saúde (CETESB, 2020).

3.2.4 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é de extrema importância para os organismos aeróbios, sendo também o principal parâmetro de dimensionamento da poluição das águas por despejos orgânicos (VON SPERLING, 2005). Em geral, pode-se dizer que as águas com alto grau de poluição tendem a apresentar baixa concentração de OD, enquanto águas limpas apresentam elevada concentração de OD (CETESB, 2020).

Nos corpos hídricos, a matéria orgânica é estabilizada pelas bactérias que utilizam o oxigênio para respiração. Diante disso, em locais onde são lançados efluentes orgânicos, há uma maior concentração de bactérias e estas consomem maior quantidade de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica. Dessa forma, a

concentração de oxigênio na água diminui e pode impactar os seres aquáticos que em concentração de OD igual a 2 mg/L é letal para praticamente todos os peixes (VON SPERLING, 2005).

3.2.5 Demanda bioquímica de oxigênio

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) está diretamente ligada ao parâmetro de OD, pois representa a quantidade de oxigênio necessária para que as bactérias aeróbias decomponham a matéria orgânica para uma forma inorgânica estável (CETESB, 2020). A DBO expressa de forma indireta o teor de matéria orgânica no corpo hídrico, sendo um parâmetro muito importante na caracterização da poluição das águas (VON SPERLING, 2005).

A análise de DBO adota um determinado período de tempo para quantificar o oxigênio consumido, sempre em temperatura constante de incubação. Geralmente, é utilizado o período de cinco dias e temperatura de incubação de 20°C, denominada de DBO_{5,20}. Os despejos de origem orgânica resultam no aumento da DBO das águas (CETESB, 2020), e no caso de lançamento de esgotos domésticos esse parâmetro apresenta concentração próxima a de 300 mg/L (VON SPERLING, 2005).

3.2.6 Fósforo total

Nos corpos d'água, o Fósforo é um parâmetro indicativo de matéria orgânica de esgotos sanitários, bem como do despejo de efluentes contendo surfactantes utilizados na produção de sabões e detergentes. Além disso, pode ser resultante de efluentes industriais dos ramos de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral e frigoríficos (CETESB, 2020).

Assim como o Nitrogênio, grandes concentrações de Fósforo acarretam na eutrofização dos corpos hídricos, ocasionado pelo crescimento de algas. No entanto, geralmente este elemento não gera problemas para as estações de tratamento de águas e esgoto (VON SPERLING, 2005).

3.2.7 Clorofila-a

O parâmetro biológico clorofila-a é a principal variável indicadora do estado trófico de ambientes aquáticos. É o pigmento responsável pelo processo de fotossíntese das algas e representa aproximadamente de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em algas planctônicas, e por isso, é considerado um indicador de biomassa de algas (CETESB, 2020).

As algas crescem em ambientes com disponibilidade de nitrogênio, fósforo e luz para realizarem fotossíntese. Sendo assim, as águas com baixo nível destes nutrientes possuem baixa concentração de clorofila-a, enquanto as águas que apresentam concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo tendem a apresentar maior teor de clorofila-a (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996).

3.2.8 *Escherichia coli*

A *Escherichia coli* é uma bactéria do subgrupo de coliformes termotolerantes, de origem exclusivamente fecal e está presente nas fezes humanas e de animais de sangue quente como os mamíferos e pássaros. Além disso, esta bactéria raramente é encontrada em ambientes que não sofreram contaminação fecal e, portanto, é considerada como o indicador deste parâmetro em corpos hídricos (CETESB, 2020).

3.2.9 Íons metálicos

Os metais encontrados nos corpos hídricos podem ser de origem natural, provenientes do intemperismo de rochas, ou de origem antrópica (ESTEVES, 1998). As indústrias são as principais responsáveis pelo lançamento de metais nas águas, seguido das atividades agrícolas que utilizam fertilizantes e agrotóxicos, e da mineração (FALQUETO, 2008). São considerados metais potencialmente tóxicos: alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, magnésio, manganês, mercúrio, níquel, zinco (CETESB, 2020).

Os metais são poluentes persistentes no ambiente aquático. Enquanto alguns elementos não se degradam, outros demandam tempo para a degradação completa (ZAGATTO E BERTOLETTI, 2006).

Os metais potencialmente tóxicos são considerados bioacumulativos ao longo das cadeias alimentares. Por exemplo, um peixe pode ingerir vegetação aquática

contaminada ou absorver elementos metálicos por difusão e posteriormente transferir a outro animal que se alimentar deste primeiro. Com isso, os peixes considerados de topo da cadeia trófica, como os carnívoros, tendem a portar maiores concentrações de metais potencialmente tóxicos em seus tecidos (PAIVA, 2020).

De acordo com Rodríguez (2001), os metais em corpos d'água se apresentam nas formas dissolvidas, coloidais e particuladas. A toxicidade dos metais está relacionada ao grau de oxidação do íon junto às formas nas quais ocorrem. Metais como o cobre, ferro e zinco são constituintes do metabolismo dos seres aquáticos, possuindo funções biológicas nesses organismos, mas que podem ser tóxicos, a depender da concentração no meio aquático (CORRÊA, 2006).

3.3 Avaliação da qualidade das águas

A Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas estabelece indicadores divididos pelas características físico-químicas, microbiológicas, biológicas e nutrientes. Dentre os parâmetros físico-químicos, são monitorados a condutividade elétrica, a temperatura, turbidez, OD, pH, sólidos totais dissolvidos e em suspensão, alcalinidade total, DBO e DQO.

O parâmetro microbiológico é representado pelo ensaio de coliformes termotolerantes, enquanto que o biológico abrange a concentração de clorofila-*a*. Já os nutrientes são monitorados através de análise de fósforo solúvel reativo, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total. (ANA, 2012).

No estado de São Paulo, a responsável por controlar, fiscalizar, monitorar e licenciar atividades geradoras de poluição é a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Tal órgão monitora a qualidade das águas superficiais doces no Estado com o intuito de avaliar a conformidade dos corpos hídricos em relação à legislação ambiental e identificar áreas prioritárias para o controle da poluição das águas, entre outros (CETESB, 2021). Para tal, dispõe de uma rede de monitoramento com amostragens trimestrais em 230 pontos de corpos hídricos no Estado, de modo a avaliar os ambientes aquáticos de acordo com os usos pretendidos.

O acompanhamento dos parâmetros de qualidade das águas de rios é um instrumento de gestão ambiental e, a compreensão do comportamento da qualidade

das águas durante determinado período sustenta as tomadas de decisões em relação aos múltiplos usos desse recurso, com a finalidade de ter maior assertividade na correção de problemas e com isso, melhorar a qualidade de vida da população (MARANHO, 2012).

A CETESB considera alguns índices que fornecem as condições gerais da qualidade das águas partindo da integração de diversas variáveis, tais como o Índice da Qualidade das Águas (IQA), Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP), e o Índice de Estado Trófico (IET). Estes índices constituem interessantes ferramentas para a análise integrada de um grupo específico de parâmetros que dão respostas direcionadas sobre a situação da qualidade das águas, em função de um interesse específico (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020).

3.3.1 Índice de Qualidade das Águas (IQA)

A CETESB adaptou um estudo realizado pela “*National Sanitation Foundation*” nos anos 1970 e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA) a partir de variáveis de qualidade que indicam o lançamento de efluentes sanitários nos corpos d’água (CBH-PCJ, 2020). Segundo a CETESB (2021), o IQA pode indicar a contribuição de efluentes industriais, desde que sejam de natureza orgânica biodegradável.

O cálculo do IQA é obtido por meio do produto ponderado de nove parâmetros considerados relevantes para avaliar a qualidade da água para o abastecimento público: OD, coliformes termotolerantes, pH, DBO, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais (ANA, 2012). A equação utilizada para o cálculo do índice de qualidade da água é demonstrada a seguir:

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi}$$

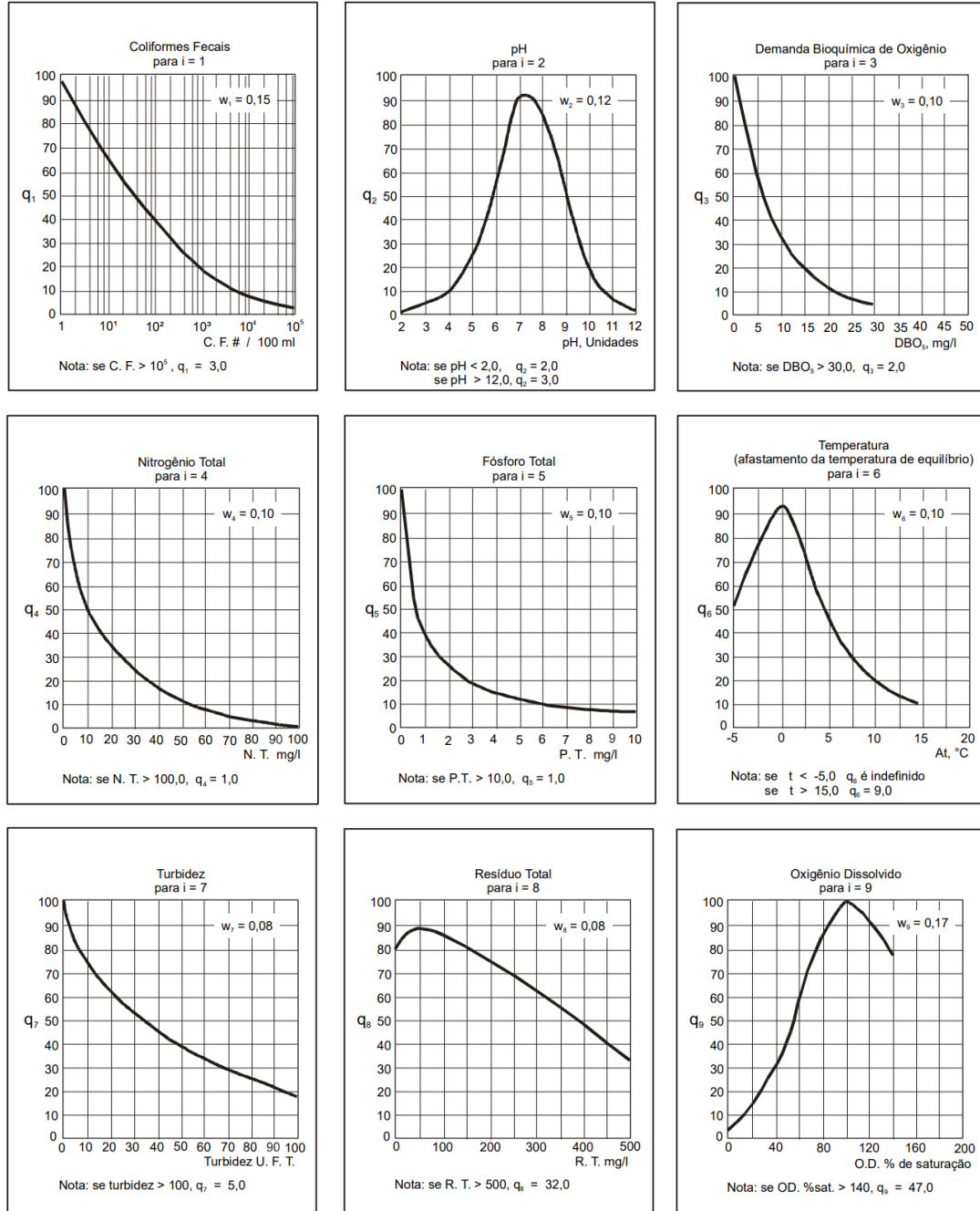
Sendo:

- IQA: Índice da Qualidade da água, dado em um número entre 0 e 100;

- n : número de variáveis consideradas no cálculo do IQA, ou seja, nove;
- q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, dado um número entre 0 e 100, obtido por meio da “curva média de variação da qualidade” em função de sua medida ou concentração;
- w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, dado em um número entre 0 e 1, atribuído de acordo com a sua importância para a conformação de qualidade.

Na Figura 1 é apresentado o conjunto de curvas médias de cada parâmetro, assim como o seu peso relativo correspondente.

Figura 1. Curvas médias de variação da qualidade das águas



Fonte: CETESB, 2021.

Na tabela 1 são indicadas as categorias de classificação do IQA.

Tabela 1. Classificação do IQA

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB, 2021.

Cabe ressaltar que o cálculo do IQA é inviabilizado na falta de alguma das nove variáveis que o constituem.

3.3.2 *Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP)*

O IAP considera os resultados obtidos pelos parâmetros do IQA e avalia os resultados do Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO). Este índice é calculado nos pontos de amostragem dos rios e reservatórios que são utilizados para abastecimento público. (CBH- PCJ, 2020).

Dentre as substâncias que indicam a presença de substâncias tóxicas estão as variáveis de potencial de formação de trihalometanos, número de células de cianobactérias, cádmio, chumbo, crômio total, mercúrio e níquel. Já as variáveis organolépticas compreendem os teores de ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco. O ISTO é formado pelo produto entre as variáveis de substâncias tóxicas e aquelas que alteram a qualidade organoléptica da água (CETESB, 2021).

Dessa forma, o IAP é calculado a partir do produto entre o IQA conhecido e o ISTO do corpo hídrico em questão, resultando em um número entre 0 a 100, expressando sua classificação conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do IAP

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < \text{IAP} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IAP} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IAP} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IAP} \leq 36$
Péssima	$\text{IAP} \leq 19$

Fonte: CETESB, 2021.

3.3.3 Índice de Estado Trófico (IET)

O IET é voltado para pontos de monitoramento para a proteção de vida aquática e tem a finalidade de classificar os corpos d'água em relação ao grau de trofia, isto é, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e ao potencial de crescimentos de algas e cianobactérias (CETESB, 2021).

As variáveis utilizadas para o cálculo do IET são referentes às concentrações de fósforo total e de clorofila-a no corpo hídrico. O fósforo total é um indicador do potencial de eutrofização das águas e a clorofila-a indica o nível de crescimento das algas de acordo com a disponibilidade de fósforo total no local de ocorrência (CETESB, 2021). A classificação dos rios de acordo com seu estado trófico é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do IET para rios

Categoria	Ponderação
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$

Fonte: CETESB, 2021.

3.4 Esgotamento sanitário

Os esgotos sanitários correspondem às águas provenientes de residências e edifícios comerciais que apresentam composição pouco variável e predomínio de matéria orgânica biodegradável, podendo conter microrganismos, nutrientes, óleos,

graxas e detergentes (REIS, 2019). Segundo Mara (2004), o esgoto não tratado causa danos ao meio ambiente e à saúde humana como a transmissão de doenças, a poluição da água e danos à biota aquática.

De acordo com Benini *et al.* (2019) o saneamento tem como objetivo manter elementos e processos ambientais de forma adequada para seu uso pelos seres humanos, incluindo as ações técnicas, econômicas e sociais que garantem a saúde pública e ambiental. Neste sentido, a Organização Mundial da Saúde (OMS) afirma que no ano de 2014 cada dólar investido em água e saneamento resultou na economia de 4,3 dólares em saúde no mundo. Esta afirmação demonstra a importância do tratamento de esgoto adequado, principalmente no Brasil onde a qualidade dos recursos hídricos é degradada pelo déficit de saneamento.

As estações de tratamento de esgoto (ETE) tratam o esgoto por meio da remoção de contaminantes e patógenos até um nível de depuração aceitável para o seu retorno ao ambiente ou para seu reuso imediato (SPELLMAN, 2014). Os sistemas de tratamento de esgoto sanitário são constituídos por conjuntos de unidades conectadas por canalizações, onde ocorrem a separação dos constituintes e processos para eliminar, diminuir a concentração ou converter os poluentes em compostos com maior facilidade de serem assimilados pelo ambiente. (FORESTI, 2019)

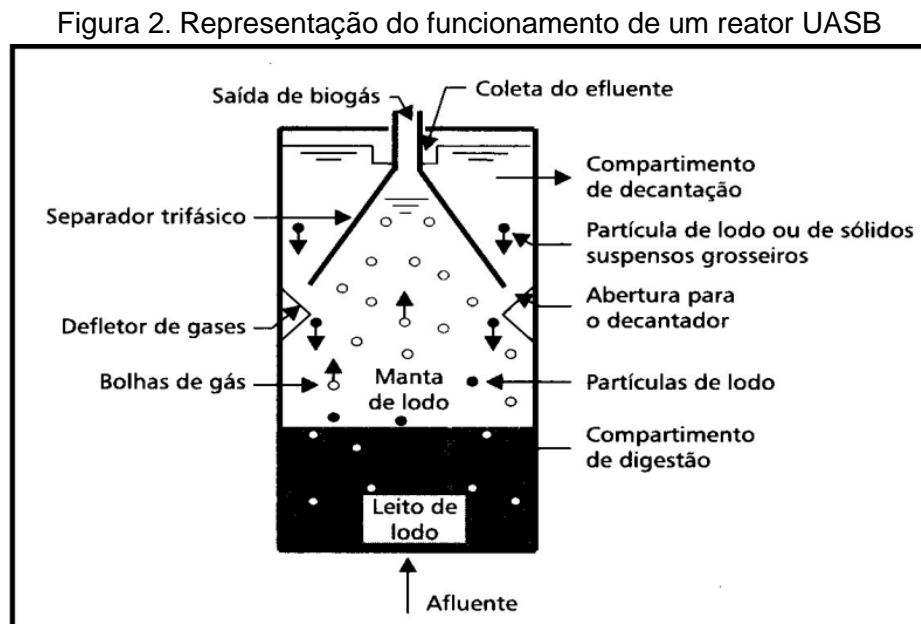
O tratamento de esgoto convencional utiliza quatro níveis de tratamento para a remoção de poluentes, sendo eles: preliminar, primário, secundário e terciário. No tratamento preliminar são utilizadas operações unitárias como o gradeamento e desarenadores para a remoção, respectivamente, de sólidos grosseiros em suspensão e areia que são carregados junto à rede coletora de esgoto.

No tratamento primário, o processo de sedimentação é empregado para a remoção de materiais flutuantes e sedimentáveis presentes nas águas residuais. O tratamento secundário aplica processos biológicos para a remoção da maior parte da matéria orgânica e de nutrientes, como tanques de aeração que fornecem oxigênio ao sistema por meio da injeção de ar, e facilitam o trabalho das bactérias aeróbicas no processo de degradação da matéria orgânica (METCALF; EDDY, 2003).

O tratamento terciário é pouco empregado e objetiva a remoção complementar de poluentes não removidos suficientemente nas etapas anteriores, assim como de

poluentes específicos, por exemplos: os organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais potencialmente tóxicos e sólidos inorgânicos dissolvidos (VON SPERLING, 2005).

Dentre os sistemas de tratamento secundário, os principais são: lagoas de estabilização, sistemas de disposição no solo, sistemas alagados construídos (conhecidos como *wetlands*), sistemas anaeróbicos, lodos ativados e os reatores aeróbios com biofilmes (VON SPERLING, 2005). Os sistemas anaeróbicos são compostos por reatores de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB, da sigla do inglês: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Nesse tipo de sistema a DBO é convertida por bactérias anaeróbicas contidas no reator, sendo a sua parte superior dividida em zonas de sedimentação que permitem a saída do efluente clarificado e o retorno do lodo ao sistema, além de direcionamento dos gases gerados à coleta, conforme demonstrado na Figura 2.



Fonte: ASSIS (2017) adaptado de CHERNICHARO (2016).

Os reatores UASB são amplamente utilizados no tratamento de esgotos, pois necessitam de menor área de instalação, menor consumo de energia e produzem menos lodo. Além disso, substituem os decantadores primários e tanques sépticos, e

possibilitam que o esgoto passe pelo tratamento secundário, sendo necessário apenas um pós-tratamento (VON SPERLING, 2005).

3.5 Legislação pertinente

No Brasil, a Lei nº 9.433/1997 estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e um de seus objetivos é garantir a disponibilidade de água à geração atual e às futuras, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997). Neste sentido, a Lei nº 14.026/2020 estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico e definiu o saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020). Essas ações representam promoção de saúde pública e manutenção de recursos naturais, entre eles os corpos hídricos onde é captada a água para abastecimento público. (SNIS, 2021).

Os corpos hídricos são classificados segundo os seus usos preponderantes, com intuito de assegurar às águas qualidade compatíveis com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes (BRASIL, 2007).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, sendo as águas doces divididas em cinco categorias: classe especial e classes 1, 2, 3 e 4 (CONAMA, 2005). No Quadro 1 são apresentadas as classes dos corpos d'água e os seus usos permitidos de acordo com o artigo 4º da Resolução CONAMA 357/2005.

Quadro 1. Classificação dos corpos hídricos e usos permitidos

Classe	Destinação
Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; • Proteção das comunidades aquáticas, dentro e fora de Terras indígenas; • Recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho; e <ul style="list-style-type: none"> • Irrigação de hortaliças que são comidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; <ul style="list-style-type: none"> • Proteção das comunidades aquáticas; • Recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho; • Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e <ul style="list-style-type: none"> • Aquicultura e atividade de pesca.
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; • Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; <ul style="list-style-type: none"> • Pesca amadora; • Recreação de contato secundário; e <ul style="list-style-type: none"> • Dessedentação de animais.
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação; e • Harmonia paisagística.

Fonte: adaptado da Resolução CONAMA nº. 357/2005

No Quadro 2 são indicados os parâmetros de qualidade para os corpos hídricos pertencentes à classe 2, como é o caso dos rios Corumbataí e Ribeirão Claro.

Quadro 2. Parâmetros de qualidade de águas para corpos hídricos classe 2

Parâmetro	Valores permitidos - CONAMA 357/2005
Turbidez	até 100 UNT
Nitrogênio Amoniacal	Se $\text{pH} \leq 7,5$: até $3,7 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ Se $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$: até $2,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ Se $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$: até $1,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ Se $\text{pH} > 8,5$: até $0,5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$
Nitrato	até $10 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$
Oxigênio Dissolvido	$> 5,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$, em qualquer amostra
Demanda Bioquímica de Oxigênio	até $5,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$, para DBO 5 dias a 20° C
Fósforo Total	Em ambientes lênticos: até $0,030 \text{ mg.L}^{-1}$ Em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos: até $0,050 \text{ mg.L}^{-1}$
Clorofila <i>a</i>	até $30,0 \mu\text{g.L}^{-1}$

Fonte: adaptado da Resolução CONAMA nº. 357/2005

Outros parâmetros importantes para a qualidade das águas não são contemplados pela Resolução CONAMA nº. 357/2005, como a condutividade elétrica e a *Escherichia coli*. Os valores permitidos dessas variáveis são descritos em outras Leis, conforme descrito no Quadro 3.

Quadro 3. Demais variáveis importantes para a qualidade das águas

Parâmetro	Valores permitidos - Legislação
Condutividade elétrica	Não possui legislação específica, entretanto, de acordo com a CETESB, valores acima de $100 \mu\text{S/cm}$ podem ser um indicativo de águas poluídas.
<i>Escherichia coli</i>	até $600 \text{ UFC.0,1 L}^{-1}$, de acordo com a Decisão de Diretoria N°112.2013/E

Fonte: adaptado de Scarlatti (2018)

Os metais potencialmente tóxicos também são avaliados na qualidade das águas. No Quadro 4 são apresentados os valores máximos permitidos de metais segundo a Resolução CONAMA nº. 357/2005.

Quadro 4. Metais potencialmente tóxicos para corpos hídricos classe 2

Parâmetro	Valores máximos permitidos - CONAMA 357/2005
Alumínio Dissolvido	0,1 mg.L ⁻¹ Al
Arsênio Total	0,01 mg.L ⁻¹ As
Bário Total	0,7 mg.L ⁻¹ Ba
Cádmio Total	0,001 mg.L ⁻¹ Cd
Chumbo Total	0,01 mg.L ⁻¹ Pb
Cobre Dissolvido	0,009 mg.L ⁻¹ Cu
Cromo Total	0,05 mg.L ⁻¹ Cr
Ferro Dissolvido	0,3 mg.L ⁻¹ Fe
Manganês Total	0,1 mg.L ⁻¹ Mn
Mercúrio Total	0,0002 mg.L ⁻¹ Hg
Níquel Total	0,025 mg.L ⁻¹ Ni
Zinco Total	0,18 mg.L ⁻¹ Zn

Fonte: adaptado da Resolução CONAMA nº. 357/2005

Em relação à qualidade do esgoto sanitário tratado, a Lei nº 11.445/2007 determina que a autoridade ambiental competente estabeleça metas progressivas para que a qualidade dos efluentes de unidades de tratamento de esgotos sanitários atenda aos padrões das classes dos corpos hídricos em que forem lançados, a partir dos níveis presentes de tratamento e considerando a capacidade de pagamento da população e dos usuários envolvidos (BRASIL, 2007).

Seguindo esse pretexto, a Resolução CONAMA nº 430 de 2011, que complementa a Resolução nº 357/2005, dispõe sobre as condições e aos padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água, no qual estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam a determinadas condições previstas nessa mesma resolução (CONAMA, 2011). Os padrões dos parâmetros de qualidade para o esgoto sanitário tratado são descritos no Quadro 5.

Quadro 5. Parâmetros de qualidade para o esgoto sanitário tratado

Parâmetro	Valores permitidos - CONAMA 430/2011
Faixa de pH	$5,0 \leq \text{pH} \leq 9,0$
Temperatura	Inferior a 40°C, sendo que a variação do corpo receptor não deve exceder a 3°C no limite da zona de mistura
Materiais sedimentáveis	até 1 mL.L ⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20})	até 120 mg.L ⁻¹ , sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
Óleos e graxas	até 100 mg.L ⁻¹

Fonte: Resolução CONAMA nº. 430/2011

Vale ressaltar que para o estado de São Paulo, o Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, é mais restritivo do que a legislação federal em relação ao parâmetro de DBO_{5,20}. Enquanto, o Decreto Estadual, exige como valor máximo de DBO_{5,20} de 60 mg.L⁻¹, a Resolução CONAMA nº. 430/2011 estabelece o valor de 120 mg.L⁻¹. Portanto, para o parâmetro de DBO deve-se obedecer prioritariamente a legislação estadual.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

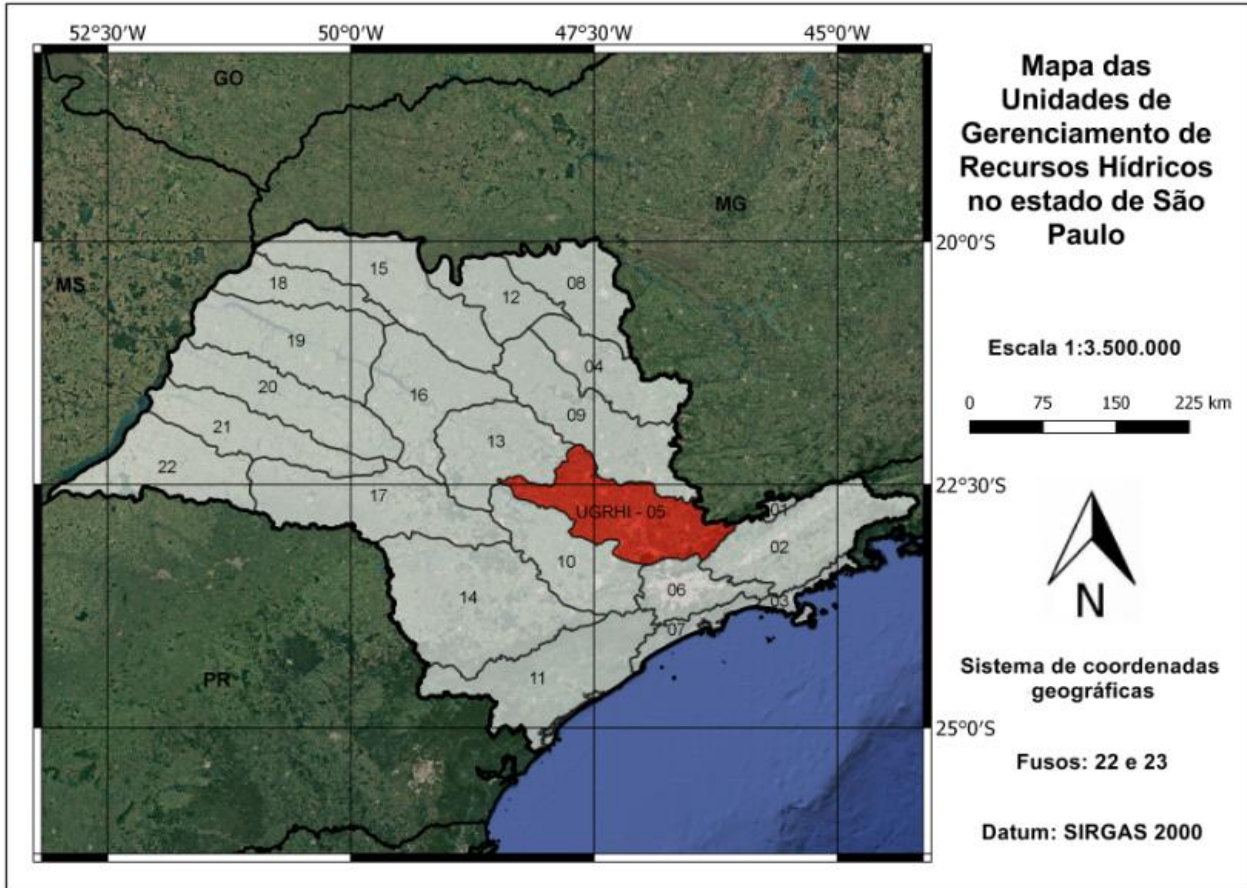
4.1.1 *Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí - PCJ*

A Lei Estadual nº 9.034/1994 de São Paulo dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos e dividiu o território paulista em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs), considerando o conceito de bacia hidrográfica onde os recursos hídricos convergem para um corpo d'água principal (SÃO PAULO, 1994). Com isso, a UGRHI nº 5 é constituída pela região das bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, também conhecida por Bacias Hidrográficas PCJ.

Conforme ilustrado na Figura 3, as Bacias PCJ estão localizadas entre os meridianos 46º e 49º W e as latitudes 22º e 23º S e compreendem uma área de 15.377,82 km², sendo 92,45% presente no Estado de São Paulo e 7,55% em Minas Gerais (CBH-PCJ, 2020). As Bacias PCJ englobam o território de 76 municípios, sendo 71 deles paulistas e 5 mineiros.

A região das Bacias PCJ está localizada em área que facilita o escoamento da produção para outras localidades do país. Neste sentido, os setores produtivos, industriais e rurais são atraídos para a região das Bacias PCJ visando novos empreendimentos, o que influencia no crescimento populacional e, conseqüentemente, no crescimento da demanda local por água em condições adequadas de consumo (CARVALHO, 2019).

Figura 3. Divisão das UGRHI do estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.1.2 Sub-Bacia do Rio Corumbataí

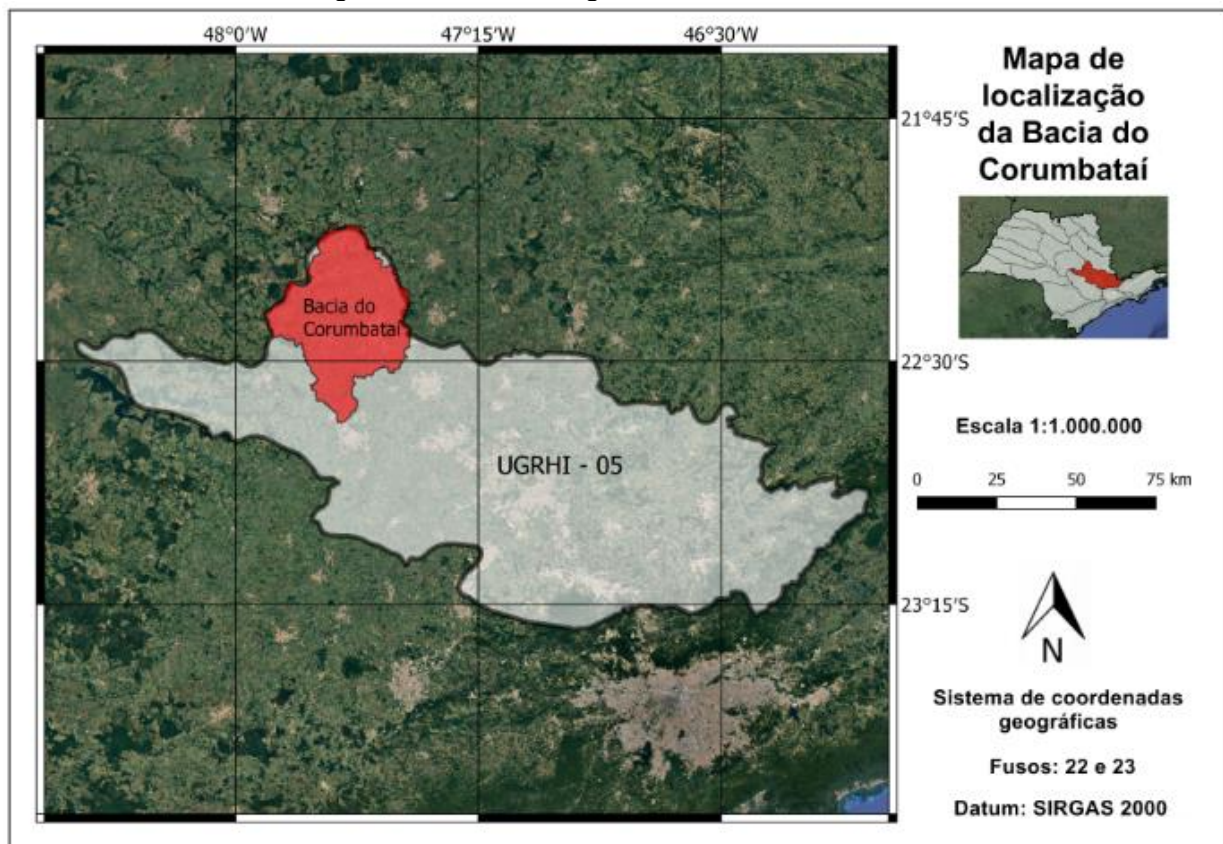
A bacia do Rio Piracicaba é constituída por cinco sub-bacias principais que correspondem aos rios Atibaia, Camanducaia, Corumbataí, Jaguari e Piracicaba. A sub-bacia do Rio Corumbataí situa-se na região centro-leste do Estado de São Paulo e possui área de 1.717,59 km² e abrange nove municípios: Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Itirapina, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes. (CBH-PCJ, 2020).

Com população estimada em 700 mil habitantes (IBGE, 2021), a bacia do Rio Corumbataí assume uma importante função regional no abastecimento doméstico e industrial de água para os municípios integrantes (CONCEIÇÃO; BONOTTO, 2002), além de compreender regiões com atividades agrícolas, que apresentam demanda elevada de água.

De acordo com a Fundação Agência das Bacias PCJ (2020), o abastecimento público é o principal usuário de água na Bacia do Rio Corumbataí com demanda total de 43,94%, seguido pela irrigação (31,82%), setor industrial (22,11%) e pela dessedentação animal (2,13%).

Os municípios de Piracicaba e Rio Claro destacam-se no contexto econômico e juntos representam mais de 85% do Produto Interno Bruto - PIB da bacia (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS - PCJ, 2020). As principais atividades econômicas em Piracicaba são as indústrias sucroalcooleiras e o setor metal-mecânico; em Rio Claro, as indústrias sucroalcooleiras; e em Santa Gertrudes e Cordeirópolis, são polos cerâmicos. (CBH- PCJ, 2020). A bacia hidrográfica do Rio Corumbataí é representada na Figura 4.

Figura 4. Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

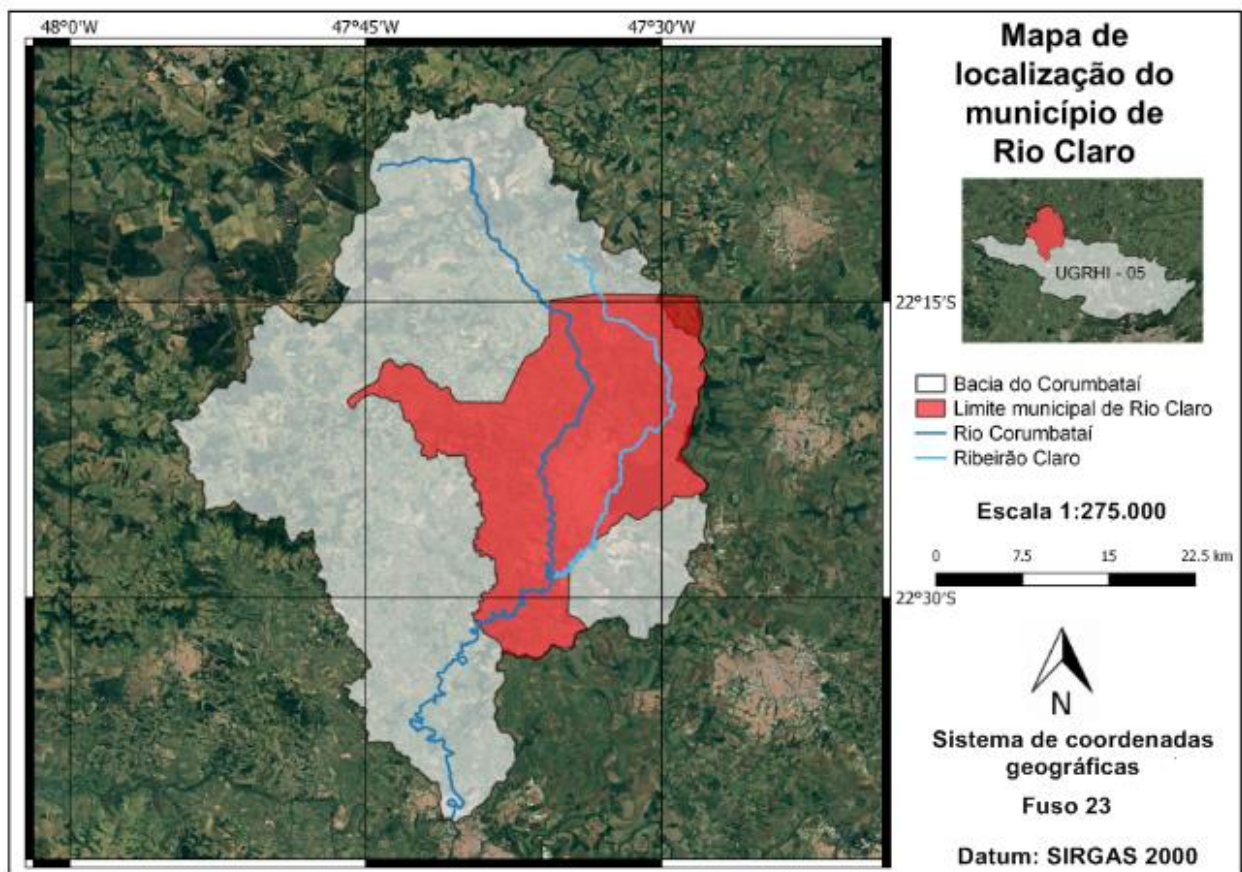
4.1.3 *Município de Rio Claro*

O município de Rio Claro está localizado no interior do estado de São Paulo, a 175 km da capital, entre as coordenadas 22°14' e 22°33' S, e 47°27' e 47°46' W. Possui área territorial de 498,42 km² e uma população estimada em 209.548 habitantes, conforme dados do IBGE (2021).

O município possui empreendimentos atuantes na produção de eletrônicos, fibras de vidro, termoplásticos, plásticos, cimento, cal, reagentes químicos, alimentos entre outros (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020). Além disso, junto a outras seis cidades da região: Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Limeira, Ipeúna, Itacemópolis e Piracicaba, constituem o maior polo cerâmico de revestimento das Américas e o segundo maior do mundo (ASPACER, 2016). O cultivo de cana-de-açúcar nas áreas rurais eleva o potencial de poluição em função do uso de herbicidas utilizados no controle de pragas.

Na Figura 5 é apresentada a localização do município de Rio Claro, a Bacia do Rio Corumbataí, além do percurso do Rio Corumbataí desde sua nascente até a foz no Rio Piracicaba, e o percurso do Ribeirão Claro.

Figura 5. Localização do município de Rio Claro e dos corpos hídricos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.1.4 Pedologia

A cidade de Rio Claro possui três tipos distintos de solos: argilossolos, latossolos e neossolos. O argilossolo está disposto na maior área do município e apresenta coloração vermelho-amarelado e textura de média a argilosa. Os rios Corumbataí e Ribeirão Claro estão localizados em regiões onde há maior incidência desse tipo de solo. Os latossolos de coloração vermelho escuro encontrados no município são de alta lixiviação por apresentarem boa drenagem e infiltração, o que caracteriza um solo rico em óxidos de ferro e de alumínio. Os neossolos, por sua vez, ocorrem em pequenas porções ao norte do limite municipal e são considerados pouco desenvolvidos e com baixa espessura (FERREIRA, 2021).

4.1.5 *Rio Corumbataí*

O Rio Corumbataí é o principal afluente do Rio Piracicaba e possui extensão de 110 km. Nasce no município de Analândia a aproximadamente 1.058 m de altitude e tem como afluentes o Rio Passa Cinco e o Ribeirão Claro e desagua na margem direita do Rio Piracicaba a 470 m de altitude, próximo ao bairro de Santa Terezinha, no município de Piracicaba (Fundação Agência das Bacias - PCJ, 2020).

De acordo com a declividade e influências antrópicas, Falqueto (2008) dividiu o Rio Corumbataí em três partes: alto curso, médio curso e baixo curso. O alto curso se refere ao trecho da nascente do rio Corumbataí no município de Analândia até o distrito de Ferraz, numa região com declividade acentuada na qual predominam pastagens e pequenas comunidades.

O médio curso compreende a região de Ferraz, distrito ao norte do município de Rio Claro, até o distrito de Assistência, ao sul de Rio Claro e engloba atividades industriais, agriculturas, extração de minérios, entre outras atividades antrópicas e é nessa porção do Rio Corumbataí que se encontra o município de Rio Claro. Por fim, o baixo curso do Rio Corumbataí vai desde o distrito de Assistência até a foz no rio Piracicaba, na qual predomina principalmente o cultivo de cana-de-açúcar.

O Rio Corumbataí é um corpo receptor de esgotos domésticos e industriais nas áreas urbanas e também recebe a contribuição de riachos acima da bacia, que sofrem com a influência da matriz de agricultura. O despejo de efluentes leva ao aumento da concentração de metais e pesticidas na água ou no sedimento do rio (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

A carga orgânica lançada no Rio Corumbataí tem aumentado com a expansão do município de Rio Claro, o que é percebido pela alteração da turbidez, cor, matéria orgânica, presença de alguns metais e sedimentos, e tem gerado aumento de consumo de produtos químicos, e conseqüentemente no custo para o tratamento da água (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

Segundo estudos realizados pela Prefeitura Municipal de Rio Claro (2014), a maioria dos recursos hídricos presentes no território da cidade possuem não possuem área de mata ciliar em tamanho adequado, o que interfere em processos de assoreamento dos rios e compromete a qualidade das águas para abastecimento

humano. O Rio Corumbataí está enquadrado na Classe 2 de acordo com o Decreto Estadual nº 10.755/77, sendo suas águas destinadas ao abastecimento urbano, às atividades agropecuárias e a recepção de esgotos (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

4.1.6 Ribeirão Claro

A bacia do Ribeirão Claro apresenta 13,98 km de largura por 34,04 Km de comprimento, perfazendo uma área de 270 km² dentro dos municípios de Corumbataí, Rio Claro, Araras e Santa Gertrudes. (FONSECA, 2008). O Ribeirão Claro percorre aproximadamente 43 km desde sua nascente, com altitude de 720 m, até sua foz no Rio Corumbataí, com altitude de 520 m. (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020).

De acordo com Borges (2012), o Ribeirão Claro nasce no município de Corumbataí, percorre apenas áreas rurais até sua entrada no setor leste do perímetro urbano de Rio Claro, atravessa a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) onde tem suas águas represadas para o fornecimento de água para abastecimento urbano através da Estação de Tratamento de Água - ETA I. Adiante ao ponto de captação, recebe o esgoto tratado da ETE do Jardim Conduta. Após, continua seguindo na divisa com o município de Santa Gertrudes, onde recebe o esgoto tratado e as águas do córrego Santa Gertrudes e por fim, desemboca poucos quilômetros abaixo da área urbana de Rio Claro, no rio Corumbataí (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2002).

A contribuição do afluente Ribeirão Claro, que transporta efluentes da cidade de Rio Claro e Santa Gertrudes, é provavelmente uma das fontes de contaminação industrial e de elementos químicos no rio Corumbataí (FALQUETO, 2008).

4.1.7 Sistemas de tratamento de água

O Decreto Estadual de nº 8.468 de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no Estado de São Paulo, considera fontes de poluição todas as atividades, instalações, empreendimentos, processos e operações que, direta ou indiretamente, causem ou possam causar poluição ao meio ambiente (SÃO PAULO, 1976).

Dados do IBGE (2021) apontam que em 2017 o volume de água consumido diariamente no município de Rio Claro foi de aproximadamente 34.500 m³. O abastecimento público é composto por dois sistemas principais de captação de água superficial, que juntos tratam até 644 L/s de água. Um dos sistemas de abastecimento fornece água para a região norte e oeste da área urbana e para o distrito de Ajapi, localizado a 10 km ao norte da sede municipal (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS-PCJ, 2020). Neste sistema, a água é captada do Rio Corumbataí numa vazão média de 382 L/s, e é tratada na “ETA Rio Claro II”.

O segundo sistema capta água do Ribeirão Claro numa vazão média de 262 L/s, que tratada na “ETA Rio Claro I”. Este sistema abastece a região sul do município e também o distrito de Assistência, que fica a aproximadamente 7 km ao sul da sede municipal. Ambas as ETAs fazem uso de sistemas convencionais de tratamento de água e juntas possuem capacidade máxima de tratar até 1000 litros de água por segundo. A localização das ETAs do município de Rio Claro são apresentadas na Figura 6.

4.2 Metodologia

Neste estudo foram utilizadas informações divulgadas pela CETESB por meio dos relatórios anuais de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Foram analisados dados do período de 2015-2019 e do ano de 2020 com abordagem dos parâmetros de condutividade elétrica, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal, OD, DBO, fósforo total, *Escherichia coli*, clorofila *a*, e de metais potencialmente tóxicos (manganês total, alumínio e ferro dissolvidos).

Os resultados foram comparados aos estudos de Scarlatti (2018) e Moraes *et al.* (2021), que realizaram levantamentos para os mesmos parâmetros de qualidade das águas, respectivamente, nos períodos de 2010 a 2014 e 2013 a 2017. Também foi verificada a conformidade dos resultados em relação aos limites impostos pela Resolução CONAMA nº. 357/2005 para rios classe 2.

Além disso, dentre os resultados disponibilizados pela CETESB também foram analisados índices tais como o IQA, IAP e IET, para o período de 2015-2020.

Cabe ressaltar que os resultados utilizados para cada parâmetro são referentes às médias das análises de monitoramento realizadas durante cada ano em questão. Neste sentido, as informações contidas neste estudo não fazem distinção do monitoramento apenas para períodos chuvosos ou de seca, mas sim uma média anual das amostras coletadas pelo CETESB.

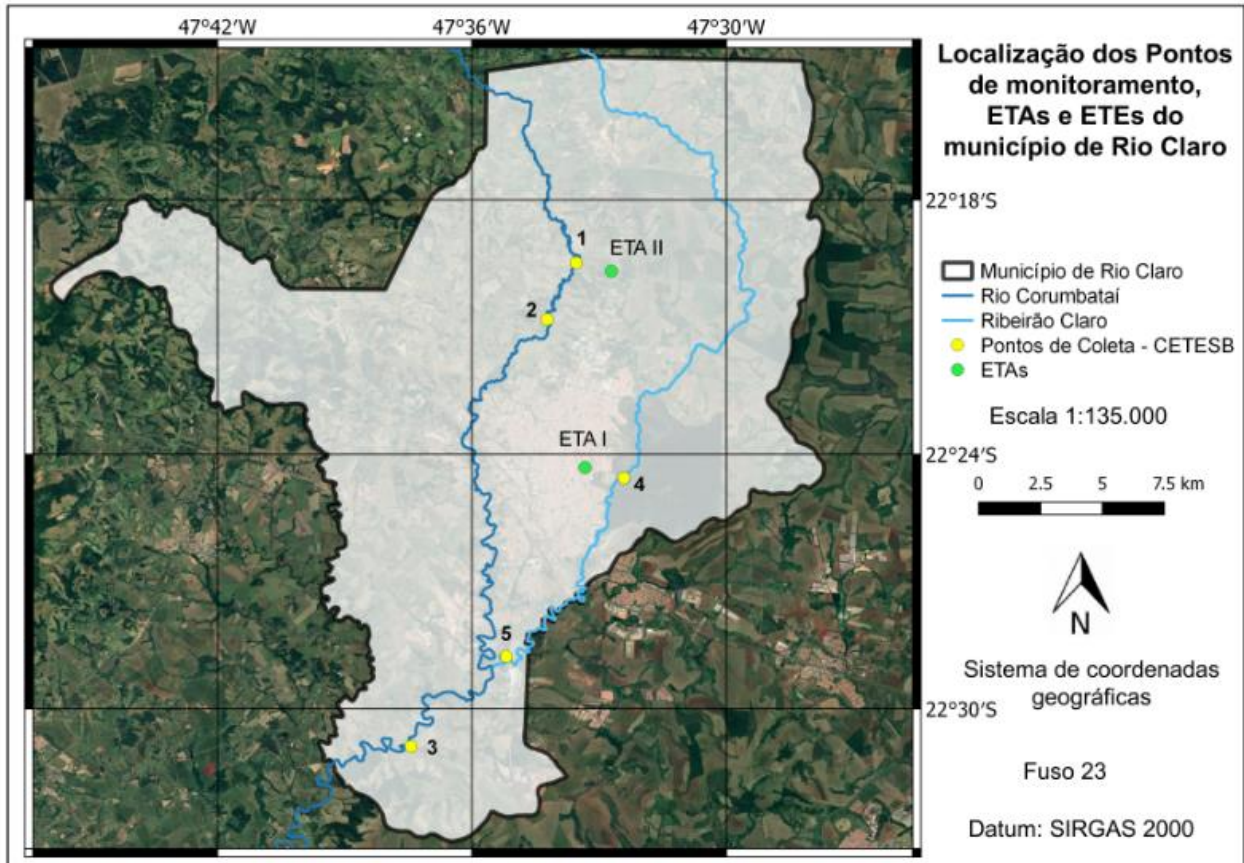
Os dados coletados para a realização do estudo correspondem a cinco pontos de coleta e monitoramento das águas superficiais no município de Rio Claro, sendo três deles dispostos no Rio Corumbataí e dois no Ribeirão Claro, de forma a englobar localidades à montante e à jusante da área urbana do município. Os pontos denominados de número 1 e 4 referem-se aos pontos de captação de água para abastecimento. A identificação e localização de tais pontos são informadas, respectivamente, no Quadro 6 e na Figura 6.

Quadro 6. Descrição dos pontos de amostragem

Corpo Hídrico	Ponto de coleta	Código da CETESB	Localização	Coordenadas geográficas
Rio Corumbataí	1	CRUM02080	Captação da ETA II	22°19'29"S; 47°33'32"W
	2	CRUM02100	Ponte na Rodovia São Pedro/Araras, próximo ao Distrito Industrial de Rio Claro	22°20'49"S; 47°34'12"W
	3	CRUM02200	Ponte na Estrada Assistência/Paraisolândia, em Rio Claro	22°30'54"S; 47°37'26"W
Ribeirão Claro	4	LARO02500	Captação da ETA I, próximo ao Horto Florestal	22°24'33"S; 47°32'25"W
	5	LARO02900	Ponte próxima à foz do Ribeirão Claro com o Rio Corumbataí, no distrito de Assistência	22°28'46"S; 47°35'11"W

Fonte: elaborado pelo autor (2022) a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 6. Localização das ETAs e dos pontos de amostragem



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) a partir de dados da CETESB (2021).

É importante salientar que em 2020, devido à situação de pandemia COVID-19, a CETESB reduziu o número de pontos de monitoramento e a frequência de coleta. Dessa forma, o monitoramento teve como prioridade pontos localizados nos principais corpos hídricos e captações do Estado, bem como nos trechos que sofrem maior impacto pelo lançamento de fontes poluidoras. Isso fez com que houvesse um déficit de dados da qualidade das águas no Estado, já que do total de 514 pontos previstos para coleta e análise, somente 230 foram analisados.

Dessa forma, os pontos de coleta 2 e 5 não apresentam dados de nenhum dos parâmetros para o ano de 2020 e para tais pontos somente foi possível diagnosticar a qualidade das águas em períodos anteriores.

Além disso, o estudo utilizou dados da Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - ARES-PCJ para demonstrar a realidade das estações de tratamento de esgoto dispostas no município

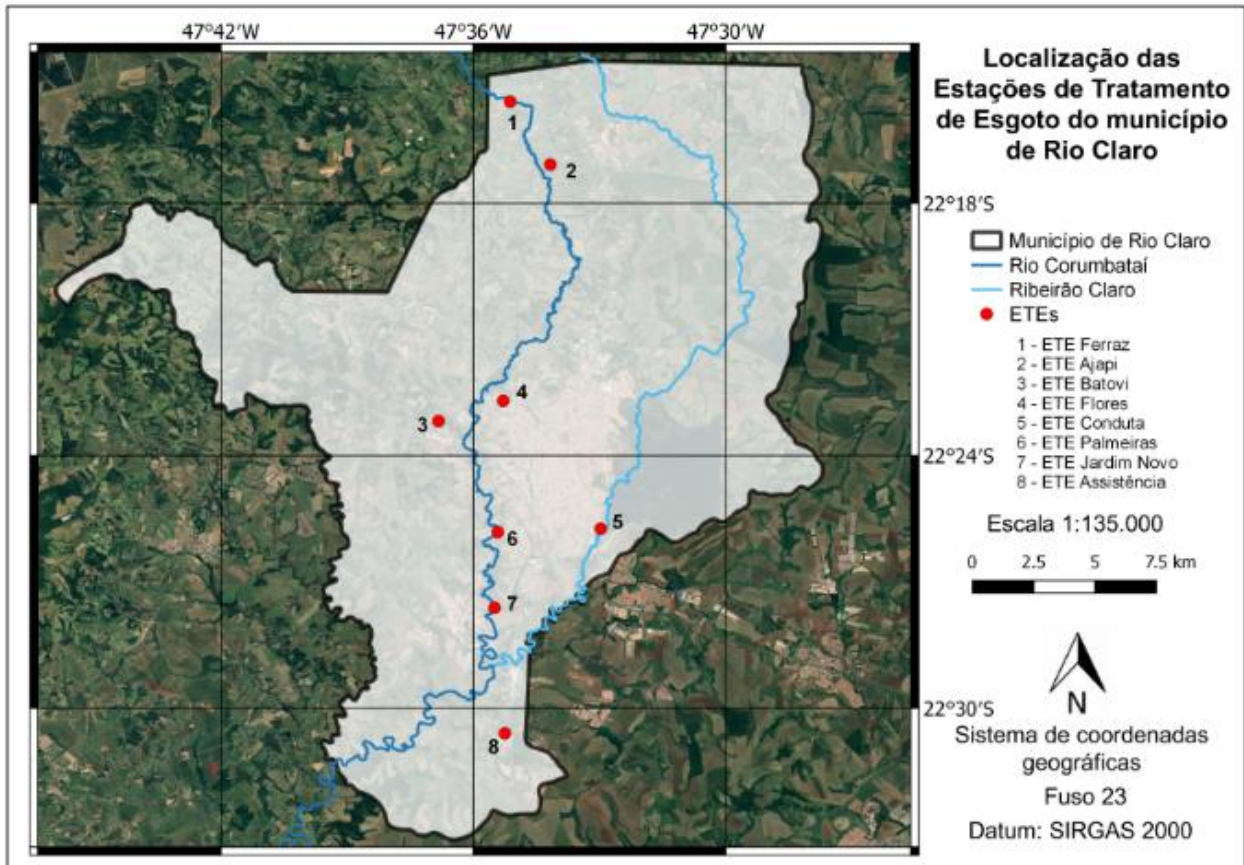
de Rio Claro, em especial às ETEs Flores, Conduta e Jardim Novo, durante o período de 2015 a 2019. Para tanto, foram abordados parâmetros de DBO, DQO, pH e sólidos sedimentáveis, bem como feito um levantamento em relação à eficiência de remoção de DBO em cada uma dessas ETEs. Os dados foram comparados com a Resolução CONAMA nº. 430/2011 e com o Decreto Estadual 8.468/1976.

4.3 Sistemas de tratamento de esgoto

A sede de Rio Claro e seus distritos dispõem de oito estações para tratar e lançar os efluentes tratados nos corpos hídricos, de maneira a potencializar os processos naturais de depuração e evitar a degradação da qualidade das águas.

Na Figura 7 é apresentada a disposição das ETEs de Rio Claro. Na sede estão dispostas as ETEs Jardim Novo, Conduta, Flores, Palmeiras e Batovi. No norte, os distritos de Ajapi e Ferraz são atendidos por duas ETEs de mesmo nome, e o distrito de Assistência, ao sul, também possui a sua própria ETE. Todas as ETEs possuem eficiência de tratamento superior a 90%. (FUNDAÇÃO AGÊNCIAS DAS BACIAS PCJ, 2020).

Figura 7. Estações de Tratamento de Esgotos do município de Rio Claro



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) a partir de dados da Agência das Bacias PCJ (2020).

No Quadro 7 são apresentados os processos de tratamento empregados nas ETEs de Rio Claro.

Quadro 7. Processos de tratamento das ETEs do município de Rio Claro

Número	ETE	Processo de tratamento	Vazão de projeto (L/s)	Despejo
1	Ferraz	Fossa séptica + Reator anaeróbio + Vala de filtração	3	Rio Corumbataí
2	Ajapi	Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação	20	Rio Corumbataí
3	Batovi	Fossa séptica + Reator anaeróbio UASB + Filtro aeróbio submerso + Desinfecção	2	Rio Corumbataí
4	Flores	Reator anaeróbio + Lodos ativados	91	Rio Corumbataí
5	Conduta	Reator anaeróbio (UASB) + Lodos ativados + Desinfecção UV	161	Ribeirão Claro
6	Palmeiras	Reator anaeróbio + Lagoa aerada + Lagoa de maturação	17,25	Rio Corumbataí
7	Jardim Novo	Sistema Nereda	272	Rio Corumbataí
8	Assistência	Fossa séptica + Filtro aeróbio submerso + Desinfecção	6,3	Rio Corumbataí

Fonte: Elaborado pelo autor (2022) a partir de dados da Agência das Bacias PCJ (2020).

Como forma de avaliar o serviço de esgotamento sanitário do município, foram utilizadas informações das principais ETEs: Flores, Conduta e Jardim Novo, que atendem a aproximadamente 80% da população e tratam, respectivamente, o esgoto gerado por 41.403, 52.993 e 76.475 pessoas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação dos parâmetros de qualidade das águas

Nos Quadros 8 e 9 são apresentados os valores médios encontrados para os parâmetros de qualidade de água durante o período de 2015 a 2019 e no ano de 2020 em relação aos três pontos de amostragem em estudo no Rio Corumbataí e aos dois pontos de amostragem do Ribeirão Claro.

Quadro 8. Resultados médios dos parâmetros de qualidade de água do Rio Corumbataí

Parâmetros	Pontos de amostragem do Rio Corumbataí					
	1		2		3	
	2015 - 2019	2020	2015 - 2019	2020	2015 - 2019	2020
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	54	62	52	-	205	272
Turbidez (UNT)	67	49	76	-	100	101
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,86	0,79	0,87	-	1,1	1,1
Nitrogênio Amoniacal ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,4	0,53	0,38	-	1,5	0,67
Oxigênio Dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	7,4	6,8	7,8	-	6,4	6,3
DBO (5,20) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,3	5,5	2,3	-	5	7,7
Fósforo ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,16	0,17	0,1	-	0,36	0,43
Escherichia coli (UFC. 100 mL^{-1})	2580	2611	2072	-	17633	2706
Clorofila-a ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,9	6,1	1,8	-	2,2	3,7

Fonte: elaborado pelo autor (2022) a partir de dados da CETESB (2021).

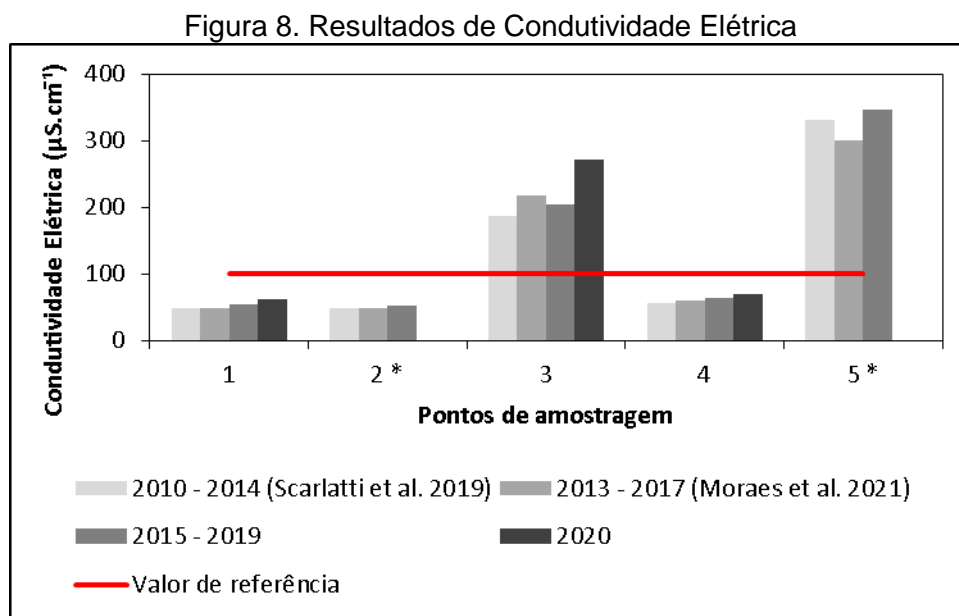
Quadro 9. Resultados médios dos parâmetros de qualidade de água do Ribeirão Claro

Parâmetros	Pontos de amostragem do Ribeirão Claro			
	4		5	
	2015 - 2019	2020	2015 - 2019	2020
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	63	69	347	-
Turbidez (UNT)	27	24	53	-
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,4	0,36	2,56	-
Nitrogênio Amoniacal ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,42	0,5	1,36	-
Oxigênio Dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6,6	5,8	7,3	-
DBO (5,20) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,2	4,2	3,6	-
Fósforo ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,04	0,06	0,49	-
Escherichia coli (UFC. 100 mL^{-1})	409	353	1234	-
Clorofila-a ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	1	1	4,5	-

Fonte: elaborado pelo autor (2022) a partir de dados da CETESB (2021).

Pela falta de valor de referência para o parâmetro condutividade elétrica em águas de classe 2, de acordo com a CETESB, foi adotado o valor de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sendo que acima desse valor é um indicativo de águas poluídas.

Dessa forma, ao comparar os resultados de condutividade elétrica dispostos na Figura 8, é possível notar que os pontos de monitoramento 3 e 5 apresentam os maiores valores em toda a série histórica. Uma explicação para esses números é que os pontos com maiores valores de condutividade elétrica se encontram à jusante da área urbana do município de Rio Claro, e com isso trazem consigo uma quantidade maior de sólidos dissolvidos provenientes das atividades antrópicas, como da indústria cerâmica de revestimentos ou da atividade agrícola realizada pelas plantações de cana-de-açúcar nas áreas rurais.

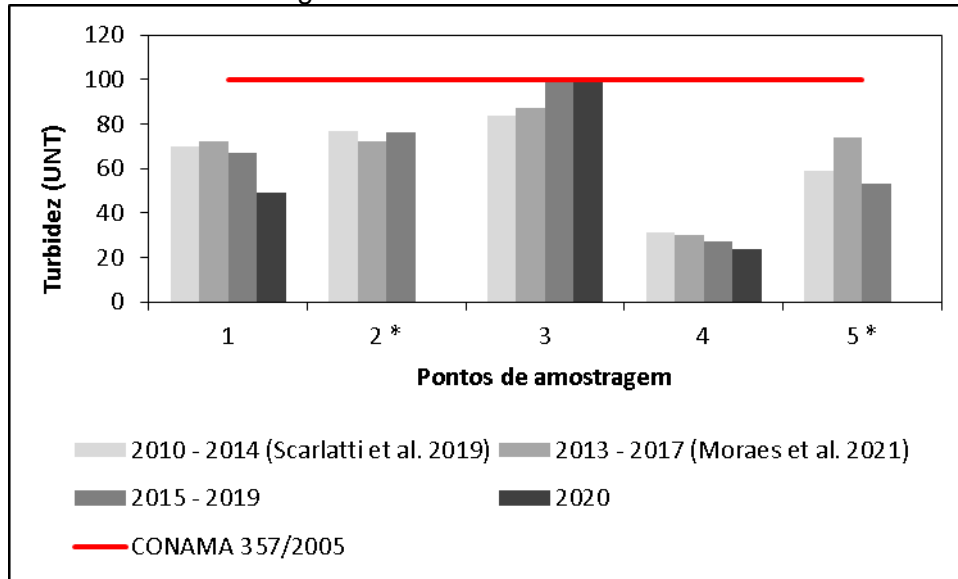


*Pontos não monitorados no ano de 2020 em vista da situação de Pandemia da Covid-19.
 Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

Na Figura 9 são apresentados os resultados do parâmetro turbidez. Em todos os pontos e durante o período monitorado os valores médios se encontram dentro da faixa limite estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005, de 100 UNT. Este comportamento representa um resultado positivo, uma vez que a turbidez pode

acarretar na redução da fotossíntese da vegetação aquática e afetar todo um ecossistema que já está adaptado às condições naturais.

Figura 9. Resultados de Turbidez

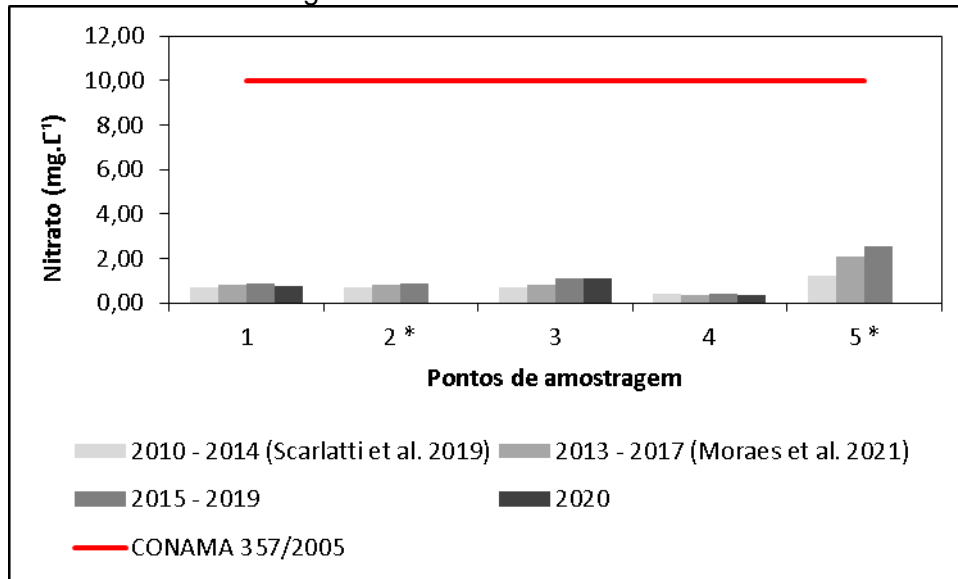


Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

A Figura 10 indica os resultados do parâmetro nitrato. Os pontos monitorados apresentam valores abaixo de 10 mg.L^{-1} , conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº. 357/2005.

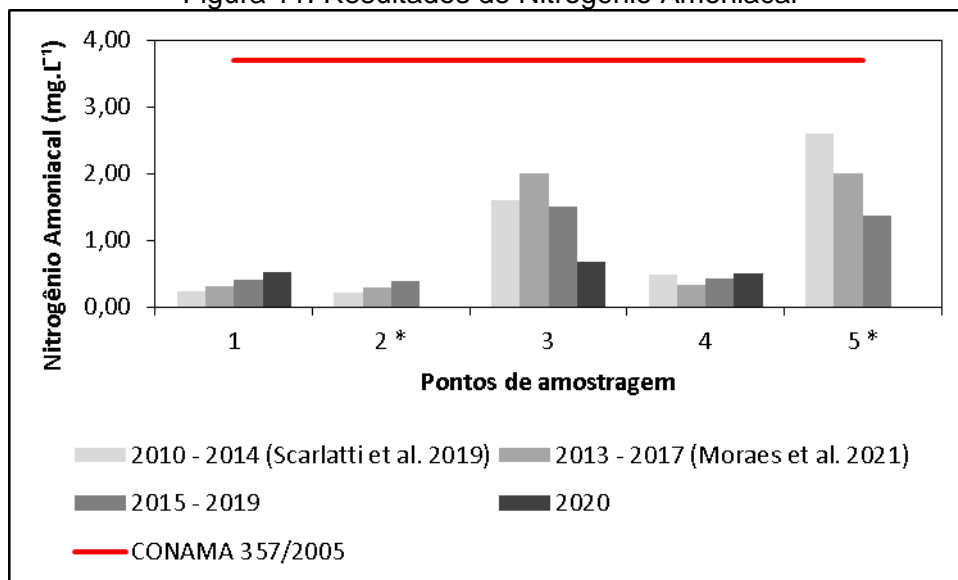
O mesmo comportamento foi observado para o parâmetro nitrogênio amoniacal, apresentado na Figura 11, que se compreende abaixo da faixa de $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$, segundo valor estabelecido pela mesma Resolução. Os maiores valores da série histórica apontam para os pontos 3 e 5, que são pontos à jusante da área urbana da cidade. É possível inferir que próximo aos pontos de amostragem não são encontradas fontes de poluição ou se existentes, encontram-se distantes dos pontos monitorados.

Figura 10. Resultados de Nitrato



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

Figura 11. Resultados de Nitrogênio Amoniacal



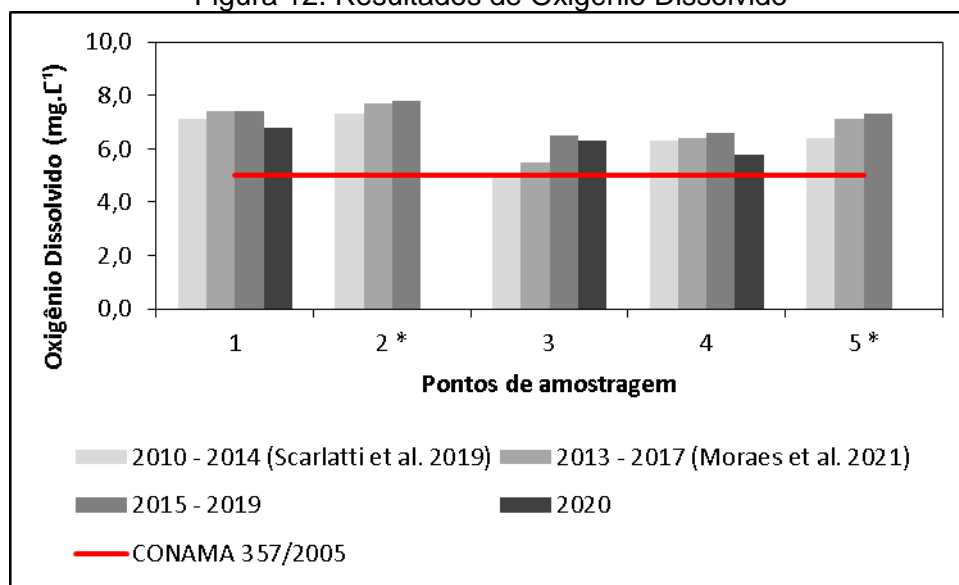
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

Todos os pontos monitorados apresentam índice de OD acima do valor mínimo estipulado na Resolução CONAMA nº. 357/2005 (Figura 12). Isso infere que a água

apresenta baixa concentração de matéria orgânica pois segundo Reis (2019), parte do oxigênio é consumido na estabilização da matéria orgânica.

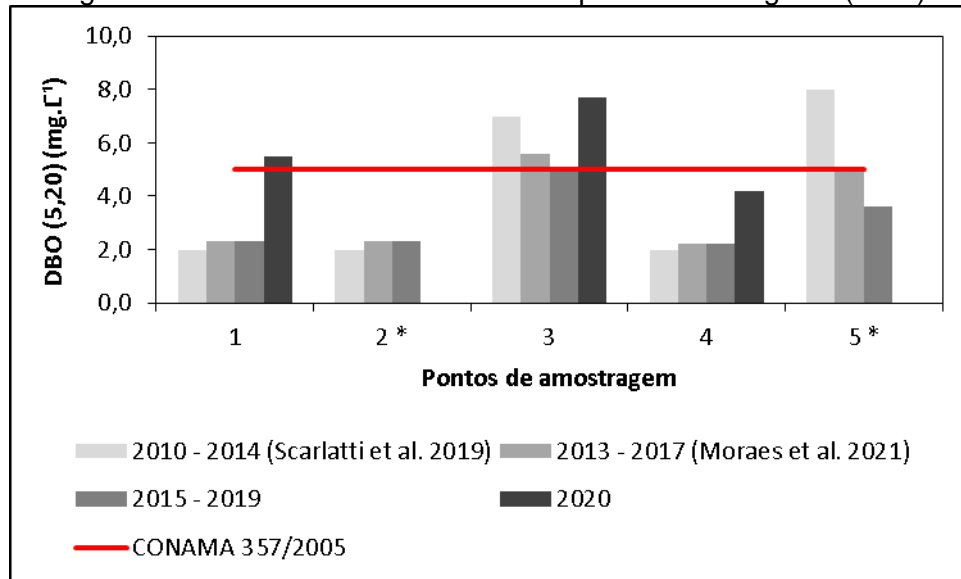
Já o parâmetro de DBO, expresso na Figura 13, os pontos 3 e 5, à jusante da área urbana no município, apresentaram valores superiores ao estabelecido pela legislação ($5,0 \text{ mg.L}^{-1}$). Provavelmente, este comportamento pode ser atribuído aos prováveis despejos clandestinos de matéria orgânica. Entretanto, o ponto 1, mesmo à montante da área urbana do município, em 2020 também apresentou valores acima do índice padrão. Uma hipótese é atribuída ao despejo de altas concentrações de matéria orgânica ou lançamentos clandestinos de insumos agropecuários que podem ter sido lançados à montante deste ponto.

Figura 12. Resultados de Oxigênio Dissolvido



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

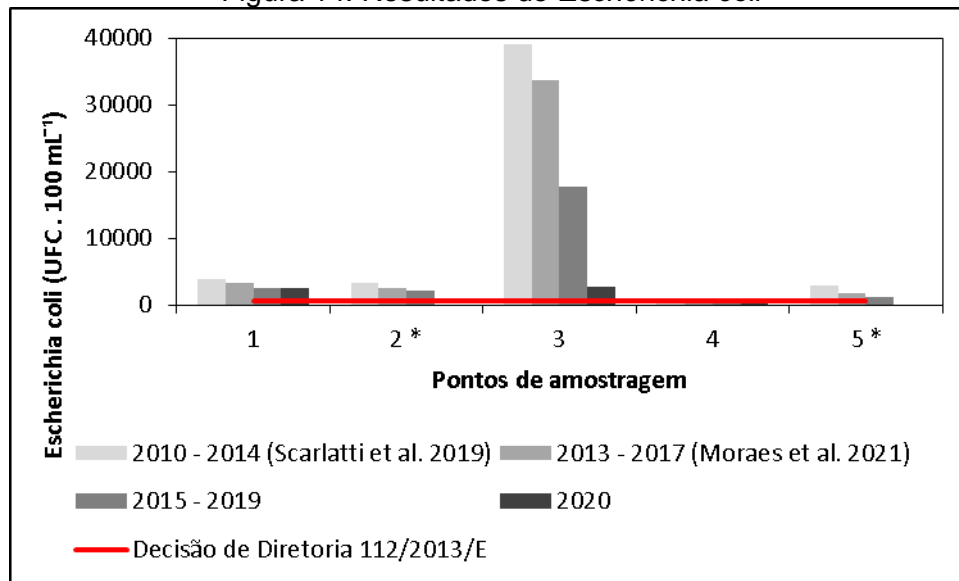
Figura 13. Resultados da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

O parâmetro de *Escherichia coli* é considerado um indicador da contaminação de corpos hídricos por poluentes de origem fecal e durante a análise da série histórica sempre apresentou valores acima das 600 UFC.mL⁻¹ para os pontos de monitoramento em estudo, conforme apresentado na Figura 14. Isto indica que em praticamente todos os trechos das águas superficiais do município de Rio Claro existe indícios de contaminação fecal. No ponto 3, à jusante da área urbana, a concentração desse parâmetro é mais elevada, demonstrando que podem existir fontes de lançamento clandestino de esgoto à jusante das ETEs.

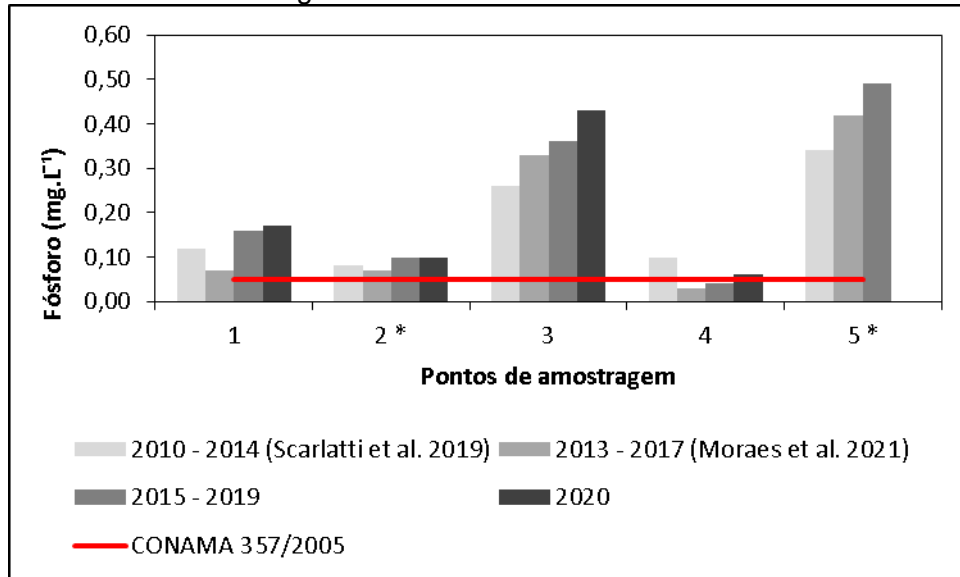
Entretanto, é importante citar que no ponto 3, mesmo acima da concentração estabelecida pela Decisão de Diretoria 112/2013/E, os índices têm apresentado melhoria já que o valor desse parâmetro para o ano de 2020 é o menor se comparado com as médias anteriores, o que pode ser um resultado positivo da instalação da ETE Jardim Novo, que iniciou as atividades em 2018.

Figura 14. Resultados de *Escherichia coli*

Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

Na Figura 15 são apresentados os resultados do parâmetro fósforo. Em todos os pontos de monitoramento foram encontrados valores acima de $0,050 \text{ mg.L}^{-1}$, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº. 357/2005. O lançamento de esgotos e as atividades humanas podem ser causadoras do fósforo nas águas, entretanto, os fertilizantes utilizados nas áreas de cana-de-açúcar na área rural do município são a principal responsável por esse poluente nos corpos hídricos, já que mesmo à montante da área urbana são identificados valores acima do permitido.

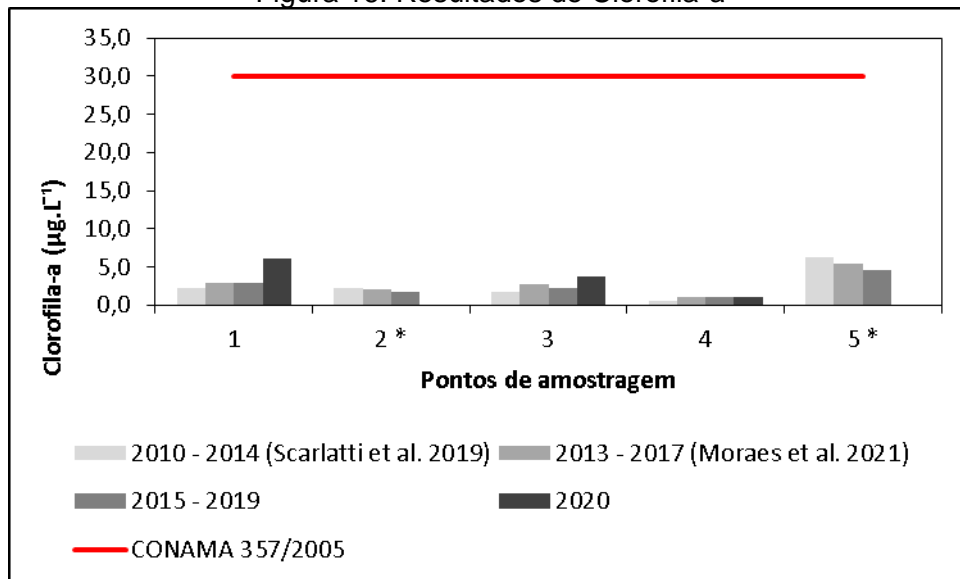
Figura 15. Resultados de Fósforo



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

Já o parâmetro de clorofila-a, representado na Figura 16, todos os pontos de monitoramento mantiveram-se abaixo dos valores permitidos durante a análise da série histórica, o que indica que o estado trófico das águas é considerado baixo.

Figura 16. Resultados de Clorofila-a



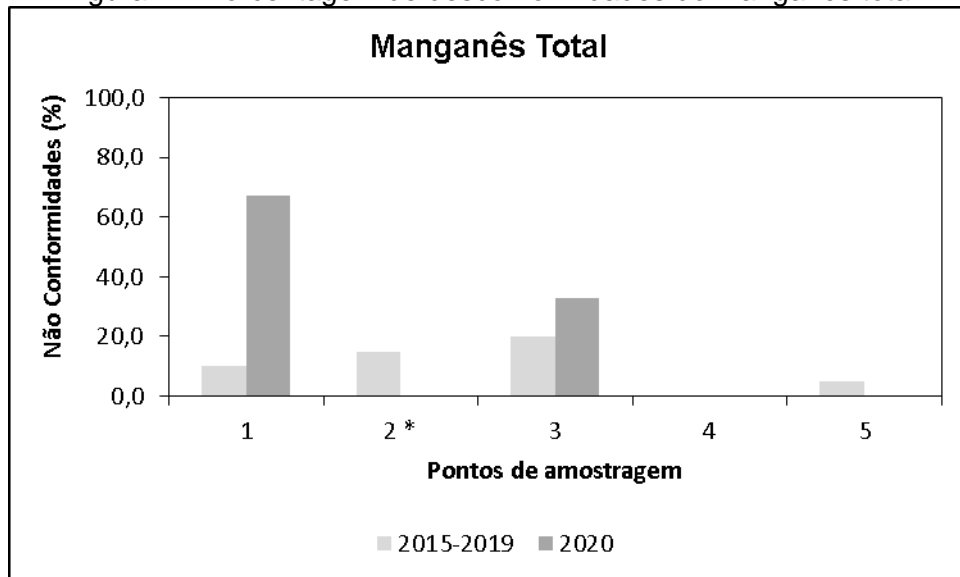
Fonte: Elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlati (2019), Moraes *et al.* (2021) e CETESB (2021).

Em relação aos íons metálicos, este estudo deu ênfase para três elementos: o manganês total, ferro e alumínio dissolvidos (Figuras 17, 18 e 19, respectivamente), que apresentam resultados mais significativos para os corpos hídricos estudados em comparação com os padrões dispostos pela Resolução CONAMA nº. 357/2005.

Quanto ao parâmetro de manganês total, observa-se que há um histórico de conformidade com os padrões impostos pela legislação, com poucas exceções, sendo uma delas a correspondente ao ponto 1 que no ano de 2020 apresentou aproximadamente 67% de não conformidade entre todas as amostras analisadas. Segundo a CETESB (2021), fertilizantes utilizados em áreas agrícolas são uma das fontes de manganês em corpos hídricos, o que pode explicar o aumento de não conformidades para o ponto 1, localizado à montante da sede do município e mais próximo às áreas rurais.

O ponto 4 apresentou os melhores índices de conformidade para o parâmetro de manganês total, com 100% das amostras analisadas resultando em valores abaixo do estabelecido na Resolução CONAMA nº. 357/2005.

Figura 17. Porcentagem de desconformidades do Manganês total



*Ponto 2 não monitorado no ano de 2020 em vista da situação de Pandemia da Covid-19.

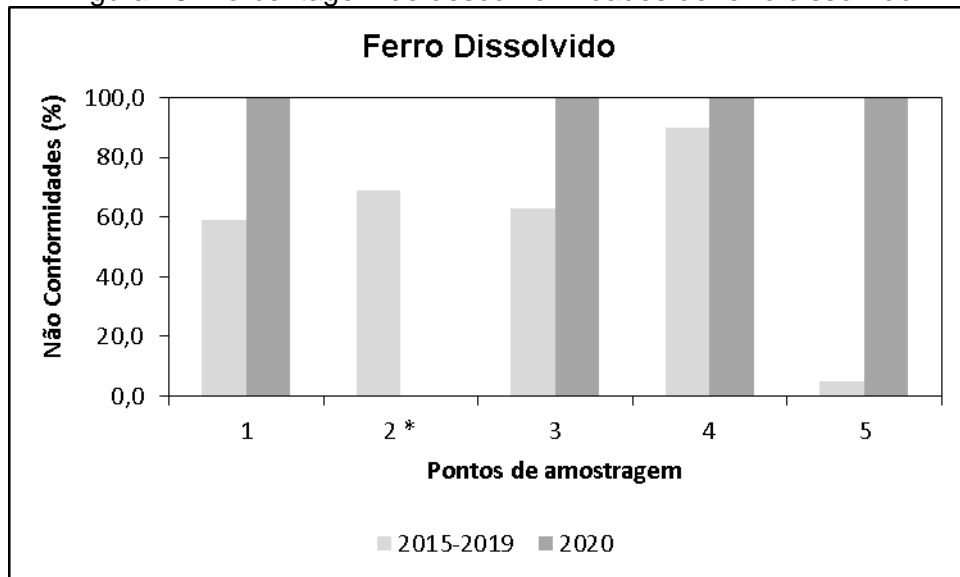
Fonte: Elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Em relação ao parâmetro ferro dissolvido, durante os anos de 2015 a 2019 foram observadas desconformidades, com média próxima a 60% para os pontos 1, 2 e 3,

sendo que o ponto 4 já apresentava maiores índices de desconformidade e o ponto 5 raramente apresentava valores fora dos limites estabelecidos. Entretanto, para o ano de 2020, observa-se que todos os pontos apresentaram desconformidade da concentração de ferro dissolvido.

Nas ETAs, o ferro ocasiona dificuldades para a floculação, pois acarreta na formação de flocos pequenos e com velocidade de sedimentação baixa. Para evitar esse problema, nas águas com altos teores desse elemento é realizada uma pré-cloração, através da adição de cloro que oxida o ferro, fazendo com que os flocos sejam maiores no processo de floculação. Entretanto, a CETESB (2021) indica que a pré-cloração deve ser evitada nas etapas de tratamento de águas, pois caso existam compostos orgânicos precursores, pode ocorrer a formação dos trihalometanos, que é um composto cancerígeno.

Figura 18. Porcentagem de desconformidades de ferro dissolvido

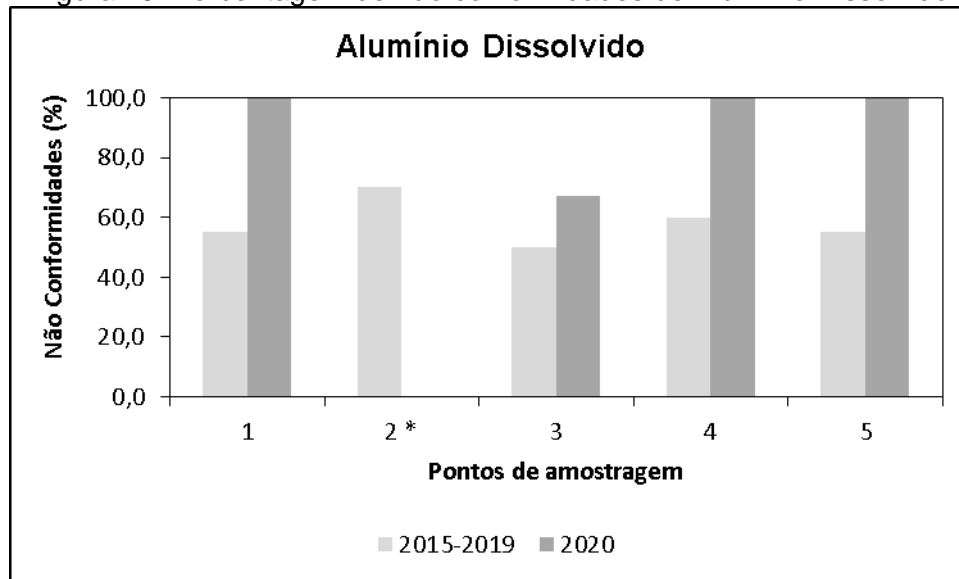


Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Assim como o ferro, a análise temporal do alumínio dissolvido também apresentou desconformidades em relação ao valor de referência disposto pela Resolução CONAMA nº. 357/2005, e metade dos resultados apresentaram valores acima do permitido. Nos pontos 1, 4 e 5 foram observados índices de 100% de desconformidades. Entretanto, uma explicação plausível para este comportamento é

que de acordo com a CETESB, e tendo em vista que o local estudado apresenta clima subtropical, esse parâmetro está associado aos períodos de chuvas que são concentradas entre outubro e março (ARES-PCJ, 2019).

Figura 19. Porcentagem de não conformidades de Alumínio Dissolvido

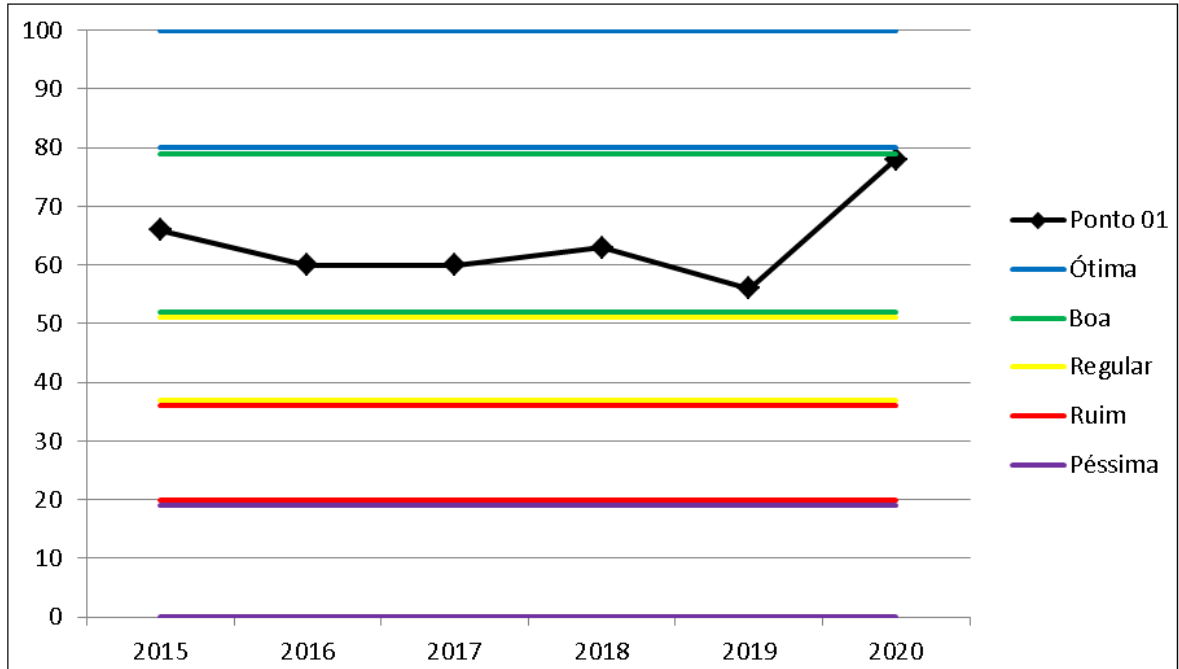


Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

5.2 Avaliação dos índices de qualidade das águas

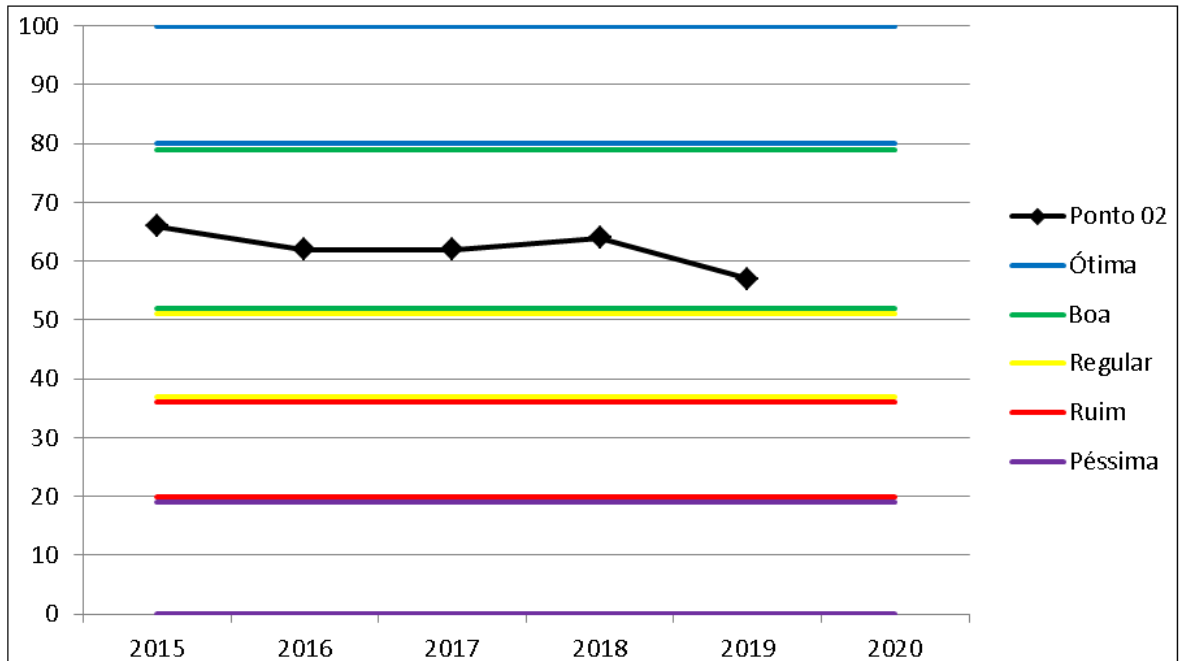
As Figuras 20 a 24 apresentam os resultados do IQA calculado para os pontos de monitoramento entre 2015 e 2020.

Figura 20. IQA - Ponto 01



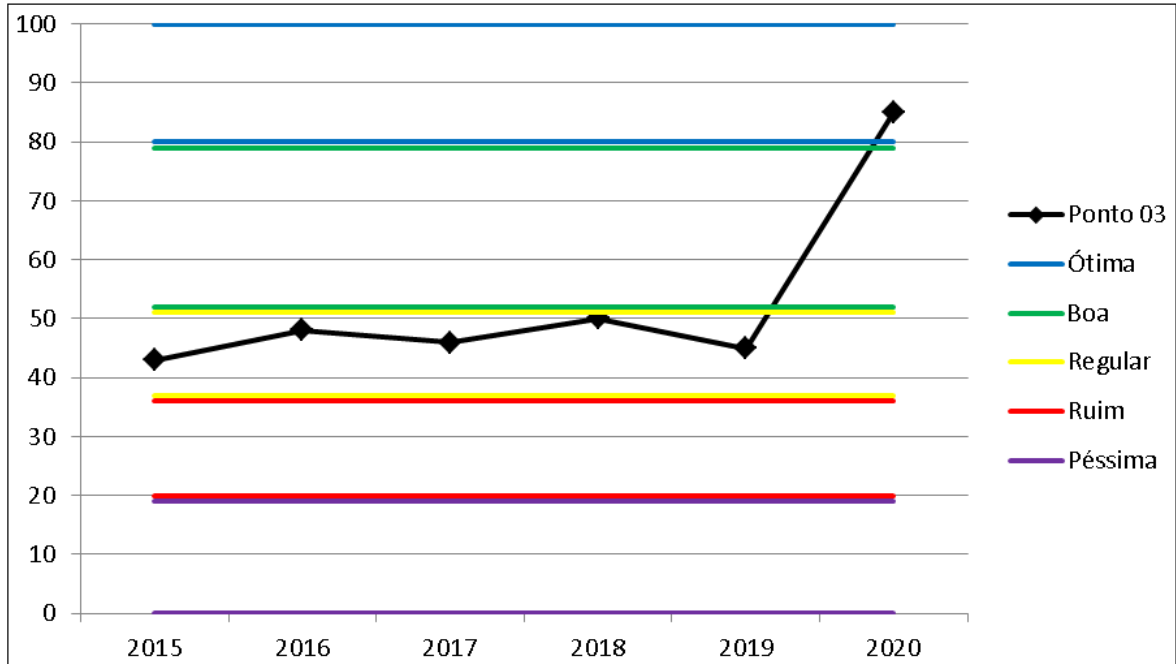
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 21. IQA - Ponto 02



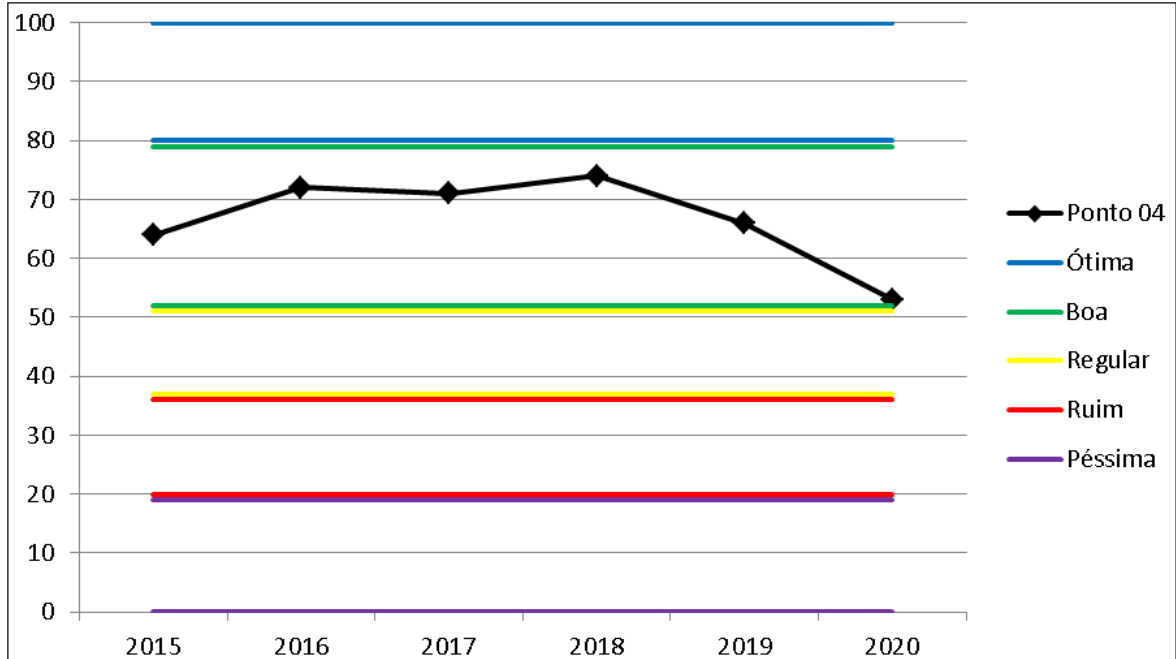
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 22. IQA - Ponto 03



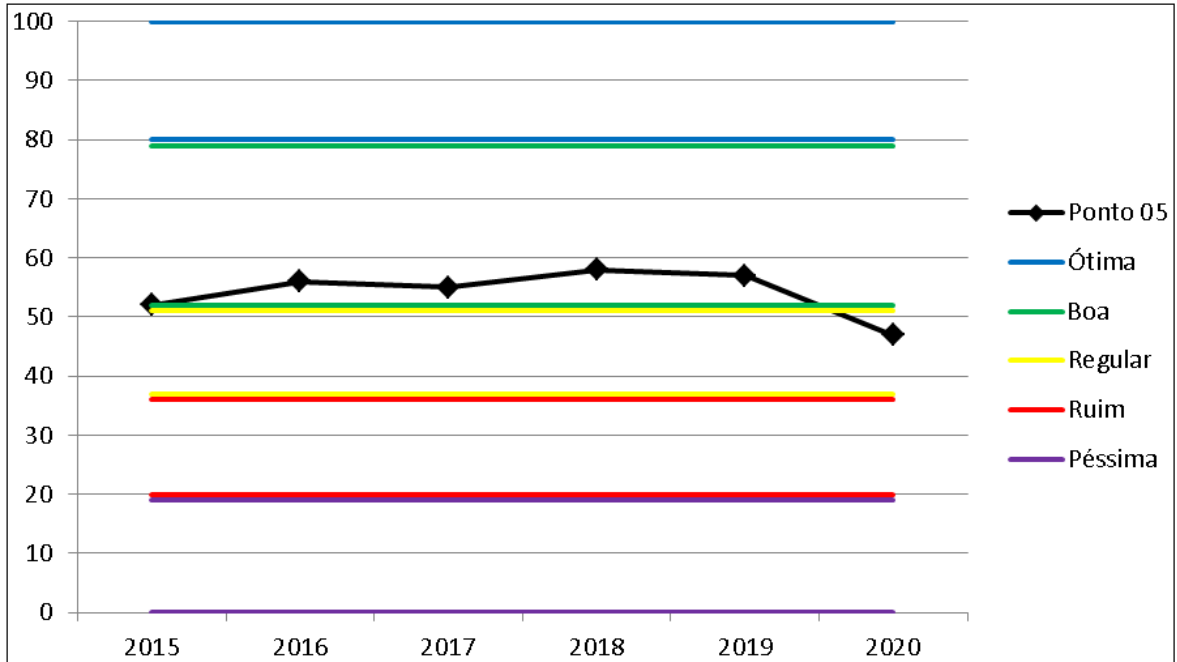
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 23. IQA - Ponto 04



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 24. IQA - Ponto 05

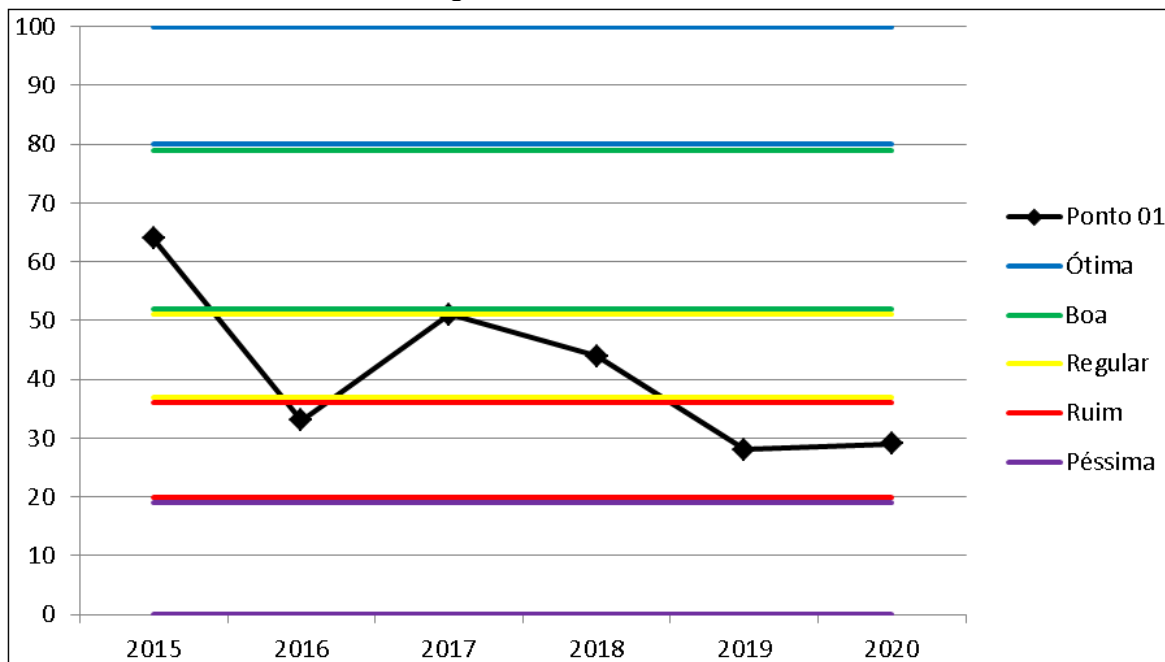


Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

De acordo com a classificação do IQA, os pontos 1, 2 e 4 apresentam bons índices no período de 2015 a 2020 e mantiveram-se na classe boa. O ponto 5 apresentou uma queda de desempenho no ano de 2020, visto que passou para a classe regular, enquanto no período de 2015 a 2019 foi enquadrado na classe boa. Isso pode indicar problemas oriundos da poluição proveniente do despejo de esgotos clandestinos no Ribeirão Claro. Por outro lado, o ponto de monitoramento 3, à jusante do município, se manteve na classe regular durante os anos de 2015 e 2019, e em 2020 passou a ser considerado como ótimo, que representa um resultado positivo e pode ser indicativo da melhora dos serviços de tratamento de esgoto do município.

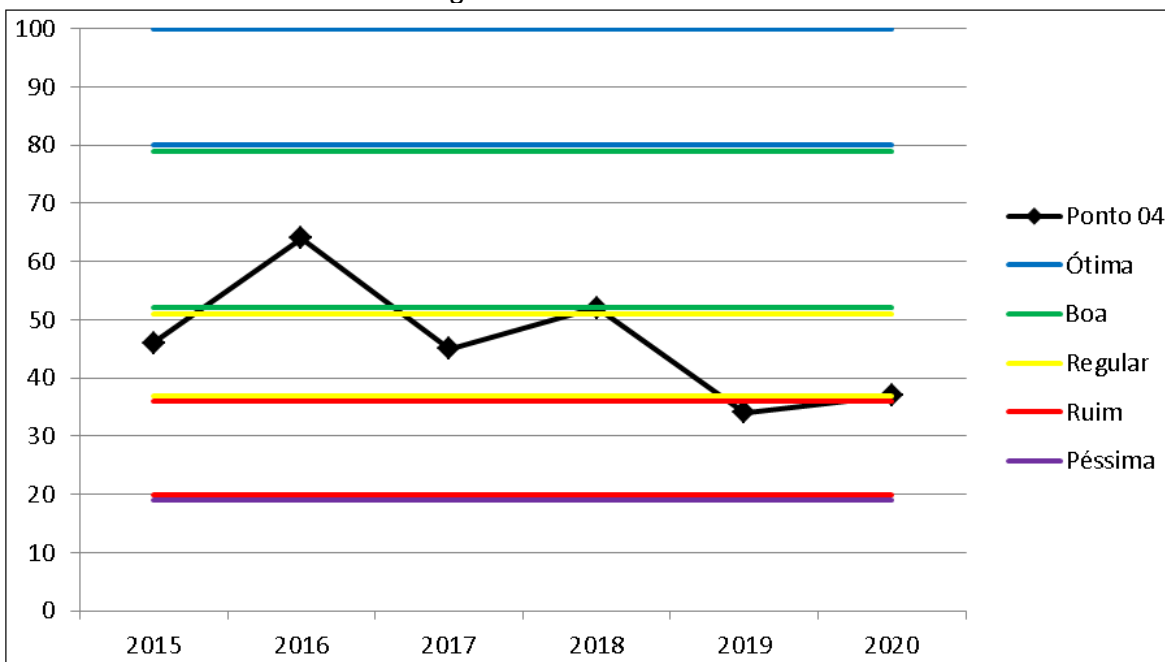
Os resultados do IAP são expressos nas Figuras 25 e 26 que representam, respectivamente, os pontos 1 e 4.

Figura 25. IAP - Ponto 01



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 26. IAP - Ponto 04



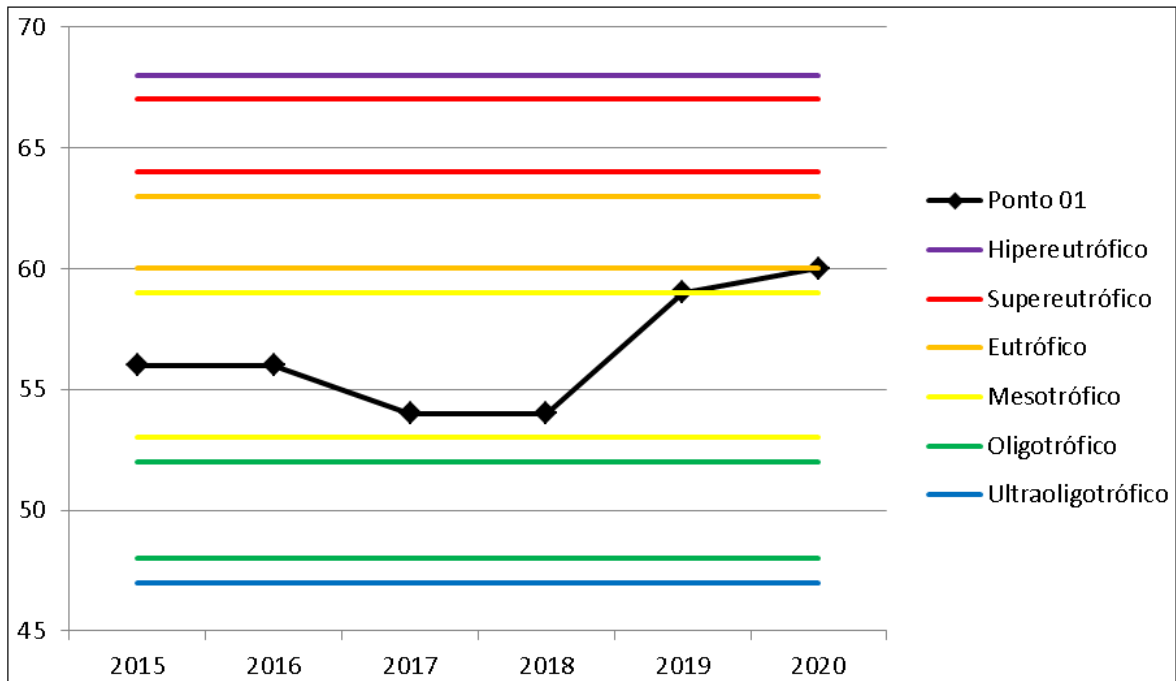
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Segundo o índice IAP, no período de 2015 a 2018 as águas utilizadas para abastecimento público tanto do Rio Corumbataí quanto o Ribeirão Claro apresentaram qualidade entre boa e regular. Entretanto, em 2019, estes corpos hídricos passaram a

apresentar água com qualidade ruim, fato que se manteve para o ponto 1, cuja captação ocorre no Rio Corumbataí, enquanto o ponto 4 elevou sua classificação para regular.

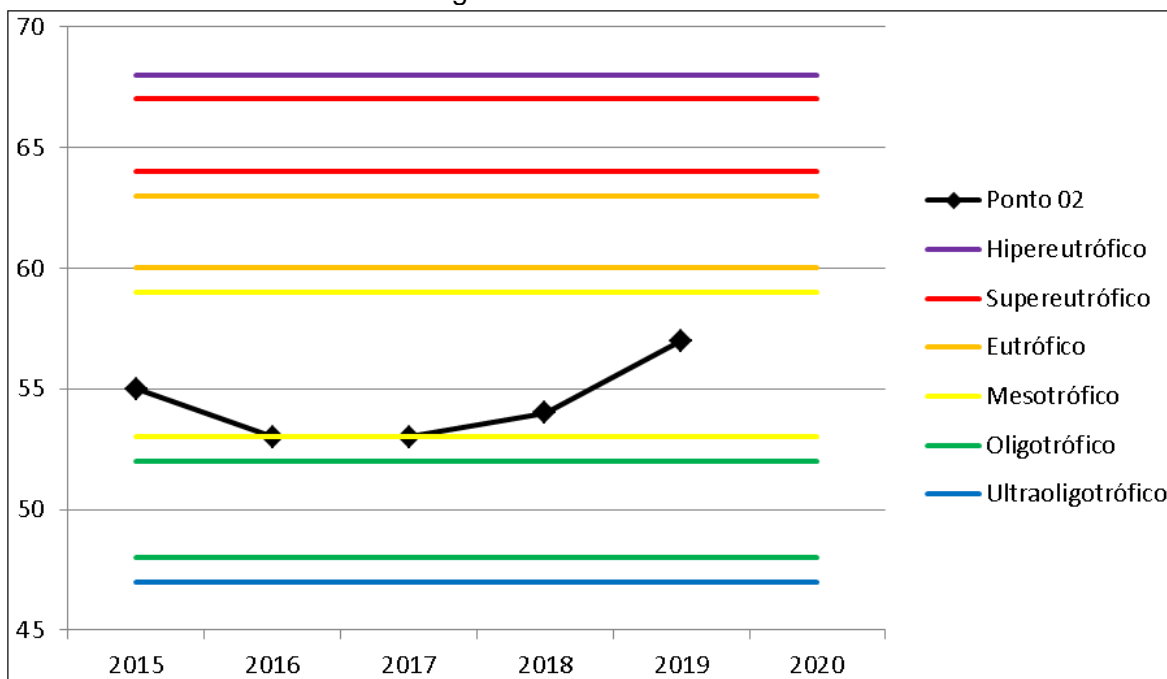
Dados do IET são apresentados nas Figuras 27 a 31 para os pontos de monitoramento entre 2015 e 2020.

Figura 27. IET - Ponto 01



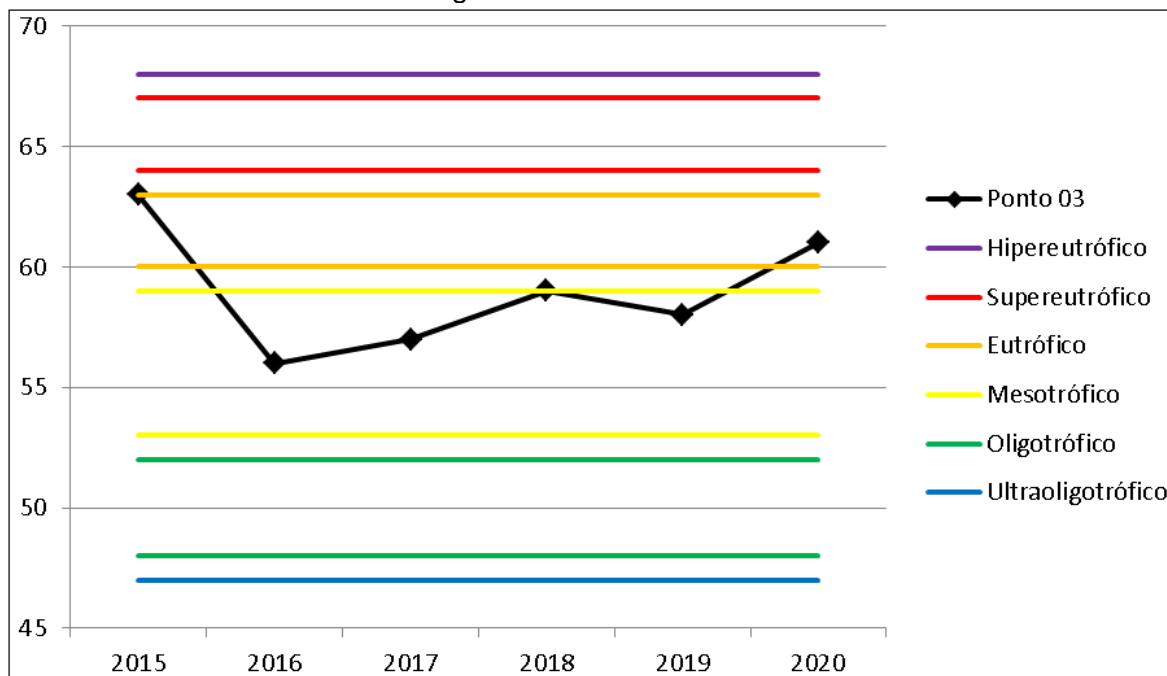
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 28. IET - Ponto 02



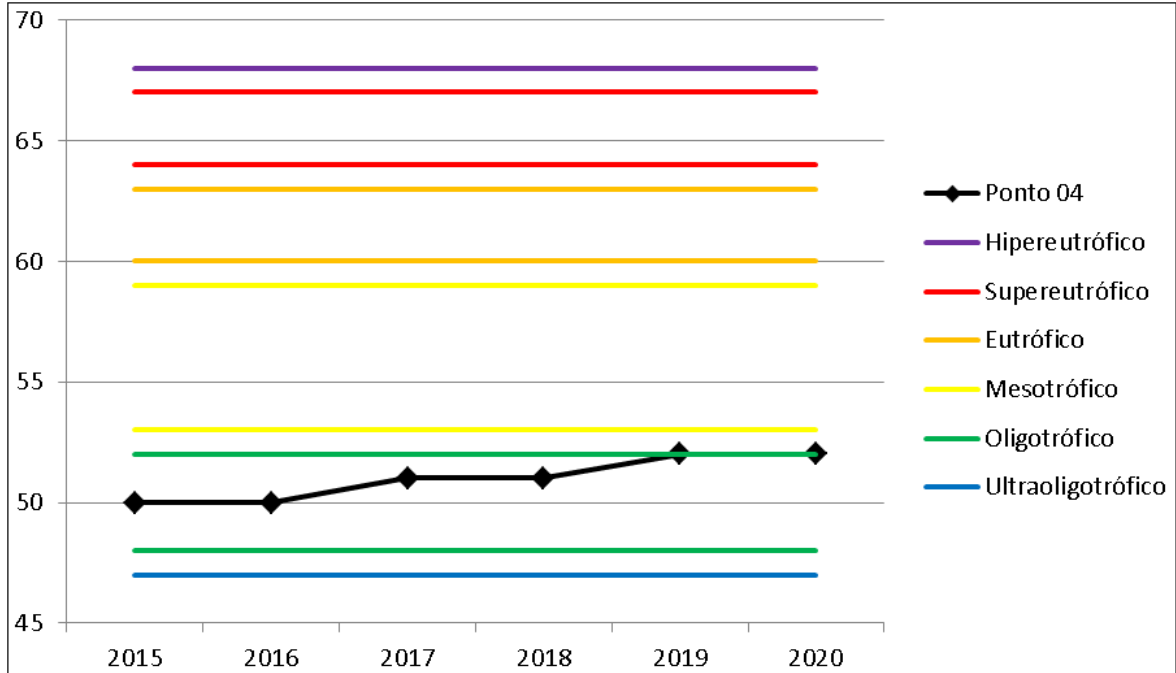
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 29. IET - Ponto 03



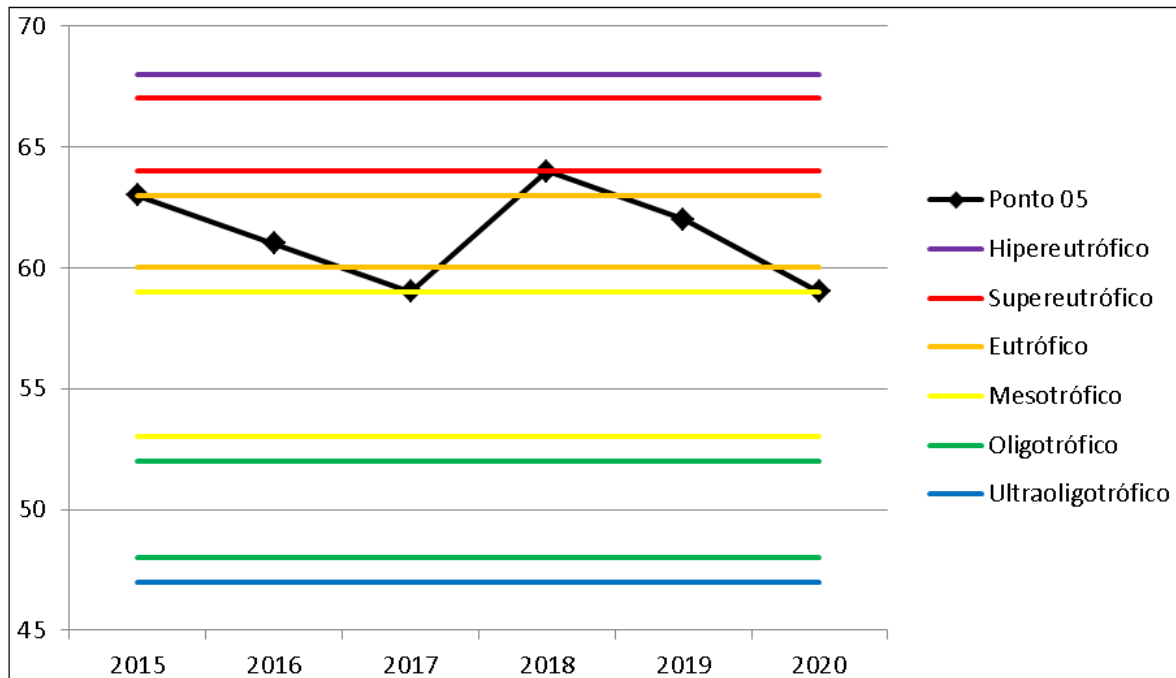
Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 30. IET - Ponto 04



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Figura 31. IET - Ponto 05



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados da CETESB (2021).

Em 2020 os pontos 1 e 3 foram classificados como eutróficos, e o ponto 5, como mesotrófico. Estes pontos apresentam maiores nível de eutrofização entre os pontos

analisados. Esse resultado já era esperado, visto que os teores de clorofila-*a* e de fósforo total apresentaram maiores concentrações nos pontos 1, 3 e 5, indicando que são locais com maior disponibilidade de nutrientes e, portanto, maior propensão a desenvolverem condições de eutrofização.

5.3 Avaliação do sistema de tratamento de esgoto

No Quadro 10 são apresentados os resultados das análises do afluente e efluente da ETE Flores, para os anos de 2015 a 2019.

Quadro 10. Características físico-químicas do afluente e efluente da ETE Flores

ETE Flores										
Parâmetro	2015		2016		2017		2018		2019	
	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef
DBO (mg.L ⁻¹)	363	45	297	30	327,8	12,4	315,3	14,1	208,1	4
DQO (mg.L ⁻¹)	753	84	575	63	639,6	54,9	657,9	66,3	426,9	< 10
pH	-	7,5	-	-	7,3	7,3	7,3	7,4	-	-
Sólidos sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	-	< 0,5	-	-	3,5	0,1	5	0,2	-	-

Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlatti (2019), Moraes *et al.* (2021) e ARES-PCJ (2022).

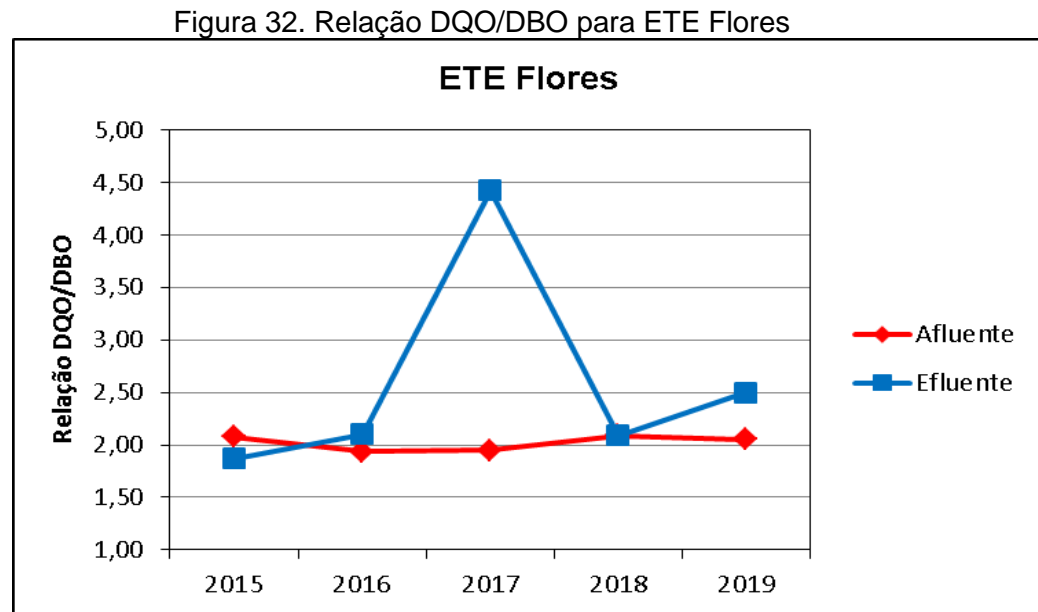
Os resultados apontaram que o efluente tratado da ETE Flores apresentou conformidade com a Resolução CONAMA nº. 430/2011, para os parâmetros de DBO, pH e sólidos sedimentáveis.

Apesar de não possuir um padrão de qualidade para a DQO, a relação entre a DQO e a DBO indica o quão biodegradável é o esgoto que chega às ETES e com isso é possível indicar o tratamento mais adequado (VON SPERLING, 2005).

Valores de DQO/DBO abaixo de 2,5 indicam esgoto com elevada fração biodegradável e neste caso o tratamento biológico é a melhor opção. Já valores de superiores a 4,0 indicam que a fração biodegradável do esgoto é baixa e o tratamento físico-químico do esgoto é mais adequado. Geralmente efluentes domésticos

apresentam a relação de DQO/DBO variando entre 1,7 a 2,2 enquanto os esgotos industriais podem apresentar maior variação.

Na Figura 32 são apresentados os resultados da relação DQO/DBO do afluente e efluente da ETE Flores no período de 2015 a 2019.



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlatti (2019), Moraes *et al.* (2021) e ARES-PCJ (2022).

O afluente da ETE Flores apresentou relação DQO/DBO próxima ao valor de 2, o que indica que o esgoto que chega à estação de tratamento possui características de origem doméstica. O mesmo comportamento ocorreu para o efluente tratado, que se manteve na faixa de 2, com exceção do ano de 2017 no qual a relação DQO/DBO aumentou 2,5 vezes em relação ao afluente. De acordo com Von Sperling (2005) o ocorrido é indicio do aumento da fração não biodegradável do efluente durante os processos de tratamento.

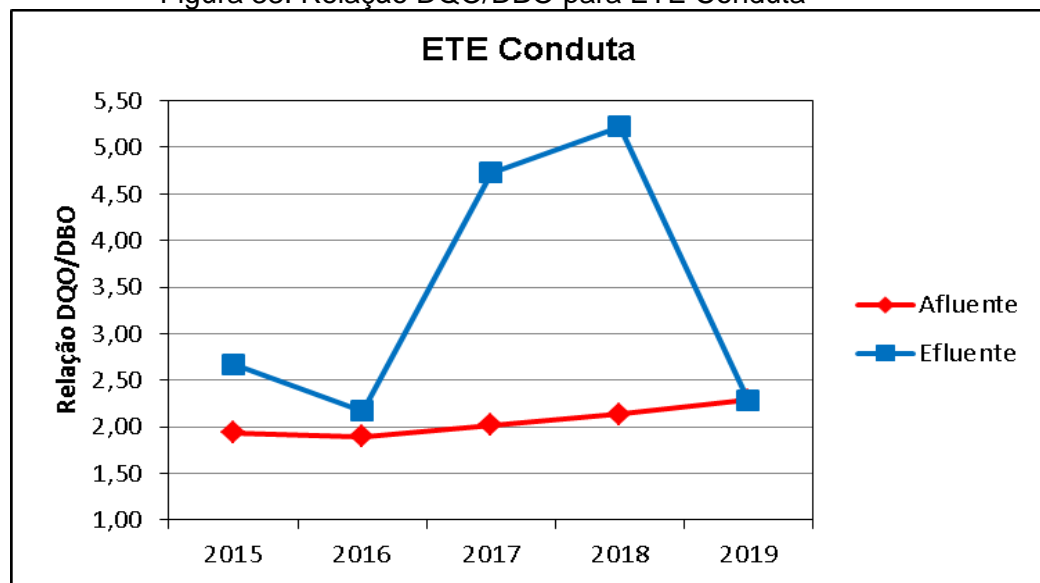
No Quadro 11 e na Figura 33 são mostrados os resultados obtidos na ETE Conduta, localizada próxima ao Ribeirão Claro.

Quadro 11. Características físico-químicas do afluente e efluente da ETE Conduta

ETE Conduta										
Parâmetro	2015		2016		2017		2018		2019	
	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef
DBO (mg.L ⁻¹)	361	< 3	334	65	273	9,2	285,1	10,8	159,9	10
DQO (mg.L ⁻¹)	700	< 8	632	141	550,7	43,5	608	56,4	365,6	22,8
pH	-	6,9	-	-	7,2	6,7	7,1	6,9	-	-
Sólidos sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	-	0,5	-	-	2,8	0,1	4,8	0,2	-	-

Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlatti (2019), Moraes *et al.* (2021) e ARES-PCJ (2022).

Figura 33. Relação DQO/DBO para ETE Conduta



Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlatti (2019), Moraes *et al.* (2021) e ARES-PCJ (2022).

As análises do afluente e efluente da ETE Conduta mostraram que os padrões de lançamento de esgoto tratado estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 430/2011 foram atendidos. Entretanto, quanto à relação DQO/DBO na maioria dos anos os valores de efluente estão acima dos valores do afluente, com destaque para 2017 e 2018 no qual esse valor ultrapassou a marca de 4,5. Provavelmente, a elevada

concentração de fração não biodegradável no efluente após o tratamento pode ser fruto dos insumos agrícolas utilizados ao longo das áreas rurais cortadas pelo Ribeirão Claro.

O Quadro 12 aponta a eficiência de remoção da DBO das ETEs Flores e Conduta entre os anos de 2015 e 2019, e demonstra que o sistema de tratamento adotado apresentou resultados positivos. Além disso, o aumento da eficiência da remoção de DBO durante os anos acompanhou o aumento da relação DQO/DBO nas ETEs, conforme demonstrado nas Figuras 26 e 27. Tal comportamento corresponde ao argumento de Moraes *et al.* (2021), que em tratamentos biológicos como aqueles ocorridos em reator UASB, à eficiência de remoção de DBO é diretamente proporcional à relação DQO/DBO.

Quadro 12. Eficiência da remoção de DBO para as ETEs Flores e Conduta

Eficiência da remoção de DBO (%)					
	2015	2016	2017	2018	2019
ETE Flores	87,6	89,9	95,7	95,5	98,1
ETE Conduta	99,0	80,5	96,6	96,2	93,8

Fonte: elaborado pelo autor (2022), a partir de dados de Scarlatti (2019), Moraes *et al.* (2021) e ARES-PCJ (2022).

A ETE Jardim Novo iniciou suas operações na cidade de Rio Claro no ano de 2018, utilizando de um sistema de tratamento inovador, denominado sistema NEREDA, tecnologia desenvolvida na Holanda que utiliza bactérias aeróbicas e que não necessita da adição de produtos químicos. Nesse sistema de tratamento, o lodo é convertido em grânulos que são decantados com facilidade, não sendo necessário o uso de decantadores primários. A tecnologia NEREDA tem como vantagem a emissão de menor quantidade de gases atmosféricos e a diminuição do consumo de energia em até 25% (BRK Ambiental, 2022).

Com a ETE Jardim Novo, Rio Claro passou a ser a segunda cidade no país e a primeira no estado de São Paulo a operar com a tecnologia NEREDA, de acordo com a ARES-PCJ (2019). A inauguração da ETE Jardim Novo permitiu que o tratamento do esgoto global na cidade de Rio Claro se elevasse de 55% para 92%, visto que passou a tratar o maior volume de esgoto do município, atendendo aproximadamente 40% da

população do município, com ótima qualidade do efluente e resultado de remoção da DBO superior a 94%, para o ano de 2019, segundo a ARES-PCJ (2019).

6. CONCLUSÕES

A análise temporal dos recursos hídricos superficiais estudados apresentaram desconformidades dos parâmetros: DBO, *Escherichia coli*, fósforo total, e dos teores de alumínio e ferro dissolvidos em relação à Resolução CONAMA nº. 357.2005. Este comportamento foi nos pontos de monitoramento 3 e 5, localizados à jusante do município devido à poluição causada pelas atividades econômicas desenvolvidas no município.

Ainda, o monitoramento de alumínio e ferro dissolvidos apresentaram desconformidades em todos os pontos investigados, o que pode ser proveniente da composição do solo do município visto que os latossolos são ricos em óxidos de alumínio e ferro. Uma explicação para a contaminação das águas superficiais pode ser os processos de assoreamento das margens dos rios.

Os sistemas de tratamento de esgotos no município apresentaram conformidade às legislações pertinentes, com resultados de eficiência da remoção de DBO acima dos 90% para todas as ETEs analisadas. Isto sinaliza os métodos empregados (reatores anaeróbicos UASB, lodo ativado e sistema NEREDA) têm apresentado desempenho satisfatório às necessidades do tratamento de esgoto municipal.

O IQA demonstrou que em geral, os pontos de monitoramento da cidade são classificados como bons, com exceção dos pontos 3 e 5 que no ano de 2020 foram classificados como ótimo e regular, respectivamente. Entretanto, o IAP apresentou uma queda gradativa na qualidade das águas destinadas para o abastecimento público, sendo que as águas captadas no Rio Corumbataí foram classificadas como ruins e do Ribeirão Claro, como regulares. Já o IET indicou que os pontos 1, 3 e 5 possuem maior probabilidade de desenvolverem eutrofização nas águas, enquanto que no ponto 4 esta ação é de menor potencial, dentre os pontos investigados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado que este estudo apontou resultados anuais dos parâmetros de qualidade, para entender melhor o impacto da sazonalidade de chuvas na qualidade das águas, seria relevante o levantamento de dados pertinentes a períodos chuvosos e posterior comparação com os dados de períodos de seca de forma a relacionar a sazonalidade das chuvas e observar as diferenças encontradas.

Além disso, seriam necessários estudos adicionais para entender as disparidades do parâmetro *Escherichia coli* com relação à alta taxa de remoção da DBO nas ETEs do município, já que a desconformidade desse parâmetro junto a Resolução CONAMA n°. 357/2005 não condiz com a realidade encontrada nas ETEs do município, que apresentam ótimos resultados no tratamento do esgoto sanitário.

Como um ponto de melhoria fica a sugestão para a inclusão de métodos de remoção de metais pesados, como a adsorção por carvão ativado ou osmose reversa em ao menos uma das principais ETEs do município, de modo a mitigar a concentração de íons metálicos dispostos nas águas.

8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Bacias PCJ**. Localização. 2019. Disponível em: <<https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/localizacao/>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das águas superficiais do Brasil**. 2012. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Panorama_Qualidade_Aguas_Superficiais_BR_2012.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

ASPACER - Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento. Polo Cerâmico de Santa Gertrudes em pauta. **ASPACER**, 2016. Disponível em: <<http://www.aspacer.com.br/2016/06/01/polo-ceramico-de-santa-gertrudes-em-pauta/>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

ASSIS, I. F. **Eficiência de uma estação compacta de tratamento de esgoto composta por reator UASB seguido de biofiltro aerado submerso**. Natal. UFRN, 2016.

BORGES, M. B. N. **Análise ambiental simplificada no entorno de águas superficiais na bacia do rio Corumbataí (SP)**. 2012. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2012.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Brasília, 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 02 abr. 2022.

BRASIL. **Lei nº 11445, de 05 de janeiro de 2007**. Brasília, 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 02 abr. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020**. Brasília, 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art6>. Acesso em: 02 abr. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Diagnóstico temático. Serviços de água e esgoto. Ano de referência 2020. 2021. Disponível em: <http://snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISA_O_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>>. Acesso em: 02 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do 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. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do 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. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

BRK Ambiental. Avanço no saneamento básico de Rio Claro contrasta com a realidade do país, de acordo com dados do IBGE. **BRK Ambiental**. 2019. Disponível em: <<https://www.brkambiental.com.br/rio-claro/avanco-no-saneamento-basico-de-rio-claro-contrasta-com-a-realidade-do-pais-de-acordo-com-dados-do-ibge#:~:text=T%C3%A9cnicos%20de%20todo%20o%20Brasil,do%20esgoto%20em%20Rio%20Claro>>. Acesso em: 31 mar. 2022.

BRK Ambiental. Saneamento em pauta. Confira os avanços no tratamento de esgoto com a tecnologia Nereda. . 2022. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/tecnologia-nereda/>>. Acesso em: 30 mai 2022.

CARVALHO, G. B. **Diagnóstico do uso de águas subterrâneas na bacia do rio Corumbataí**: uma contribuição para a gestão sustentável. 2019. 50 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2019.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. Selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. **Water quality assessment - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. 2. ed. Cambridge University Press, 1996. p. 74-133.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Relatório de situação de corpos hídricos 2020**: ano base 2019; versão simplificada. Piracicaba. Agência das Bacias PCJ, 2021. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio_situa%C3%A7%C3%A3o-2020-2019.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Águas interiores. **Programa de monitoramento**. CETESB. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/programa-de-monitoramento/#:~:text=As%20informa%C3%A7%C3%B5es%20obtidas%20por%20meio,27%20de%20dezembro%20de%201994.>>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Águas interiores. **O problema da escassez de água no mundo**. CETESB. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resultados do monitoramento - 2020**. São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-L-Resultados-do-Monitoramento-2020.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em: <

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-C-Significado-ambiental-e-sanitario-das-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos-metodologias-analiticas-e-de-amostragem.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2022.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n. 1, p. 1, 2002.

CORRÊA, T. L. **Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica**. 2006. 157 f.

DATAGEO. **Sistema Ambiental Paulista**. Disponível em: <<https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/#>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

DIGITAL WATER. **Condutividade Elétrica**: Guia definitivo. Disponível em: <<https://www.digitalwater.com.br/condutividade-eletrica-guia-definitivo/#:~:text=A%20unidade%20de%20medida%20comumente,iguais%20a%201%20mS%2Fcm.>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO. ONU diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030. **Agência Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-06/onu-diz-que-populacao-mundial-chegara-86-bilhoes-de-pessoas-em-2030#:~:text=Novas%20proje%C3%A7%C3%B5es%20demogr%C3%A1ficas%20da%20ONU,de%20pessoas%20em%2013%20anos.>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

FALQUETO, M. A. **Avaliação do índice de qualidade da água (IQA) e dos elementos químicos nas águas e nos sedimentos do rio Corumbataí, SP**. 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

FERREIRA, J. C. P. **Evolução espaço-temporal de erosões lineares no município de Rio Claro/SP**. 2021. 77 f. Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2021.

FERREIRA, R. **Conheça os diferentes tipos de água**. 2017. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2017/03/conheca-os-diferentes-tipos-de-agua/#:~:text=%C3%81guas%20superficiais%3A%20como%20o%20pr%C3%B3prio,fonte%20de%20abastecimento%20do%20planeta.>>. Acesso em: 21 maio 2022.

FONSECA, W. C. **Ajuste do modelo QUAL2K e simulação de cenários para o Ribeirão Claro**. 2008. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008.

FORESTI, E. Tratamento de esgoto. In: CALIJURI, M. C; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 2 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. p. 363-380.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Estudo do uso dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí**. Relatório Final. Volume I. Tomo I. Piracicaba, 2020. Disponível em: <<https://www.agenciapcj.org.br/docs/gestao/contrato-48-2018-estudo-v1-t1.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Estudo do uso dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí**. Relatório Final. Volume I. Tomo II. Piracicaba, 2020. Disponível em: <<https://www.agenciapcj.org.br/docs/gestao/contrato-48-2018-estudo-v1-t2.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério de Planejamento. Orçamento e Gestão. Brasília: **IBGE**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rio-claro/panorama>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério de Planejamento. Orçamento e Gestão. Brasília: **IBGE**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rio-claro/pesquisa/30/84366>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MARA, D. **Domestic wastewater treatment in developin countries**. Londres: Earthscan, 2004. 293 p.

MARANHO, L. A. **Avaliação da qualidade da água do rio Corumbataí (SP) por meio de variáveis bióticas e abióticas**. 2012. 107 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MINAS GERAIS. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD. **Glossário de termos relacionados à gestão de recursos hídricos**. 2008. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/download/GESTAO%20HIDRICA/leitura%20anexa%202.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

MORAES *et al.* Avaliação da qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento do esgoto sanitário do município de Rio Claro/SP. **Revista Holos Environment**, v. 21, n. 1, p. 83-104, 2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Agências da ONU lançam Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. **Organização das Nações Unidas**, 2021. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/123077-agencias-da-onu-lancam-relatorio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. **Organização das Nações Unidas**, 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. OMS, **Investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities**. Geneva, 2014.

PAIVA, R. S. **Relatório parcial de monitoramento do rio cateté das terras indígenas dos Xikrins - dezembro de 2019 a março de 2020**. UFPA, 2020. Disponível em: <<https://apublica.org/wp-content/uploads/2020/06/relat-fev-20-novas-evidencias-2-1.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Diagnóstico ambiental e desenvolvimento de sistemas de implantações de projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água**. Volume I - Levantamento básico do município. Fehidro, 2014. Disponível em: <<https://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumelLevantamento.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

REIS, L. F. R. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. In: CALIJURI, M. C; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 2 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. p. 197-214.

RODRÍGUEZ, M. P. **Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas**. 2001. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Infraestrutura e Meio Ambiente. **Lei Estadual nº 9034, de 27 de dezembro de 1994**. Dispõe sobre o Plano

Estadual de Recursos Hídricos - PERH. 1994. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/legislacao/1994/12/lei-estadual-n-9-034/>>. Acesso em 02 abr. 2022.

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Infraestrutura e Meio Ambiente. **Decreto Estadual nº 8.468, de 08 de setembro de 1976**. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2022.

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Infraestrutura e Meio Ambiente. **Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores e dá providências correlatas. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/arquivos/enquadramento/Dec_Est_10755.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2022.

SCARLATTI, V. M; QUELUZ, J. G. T.; YABUKI, L. N. M.; GARCIA, M. L. Avaliação da qualidade das águas superficiais do município de Rio Claro/SP. **Revista Geociências UNESP**, v. 38, n. 3, p. 741-754, 2019.

SHIKLOMANOV, I. **World Water Resources: a New Appraisal and Assessment for the 21st Century**". IHP, Unesco, 1998.

SILVA, L. P. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2015. 330 p.

SPELLMAN, F. R. **Handbook of water and wastewater treatment plant operations**. 3. Ed. Boca Raton, FL: CRC Taylor & Francis Group, 2014. 861 p.

TECNAL. DBOvsDQO. 2022. Disponível em: <https://tecnal.com.br/pt-BR/blog/214_dqo_vs_dbo>. Acesso em 30 mai. 2022

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. Cenários para a Gestão da Água no Brasil: Uma contribuição para a "visão mundial da água". **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.3, p. 31-43, jul/set. 2000.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **A água**. São Carlos: Editora Scienza, p. 17-58. 2020.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios:** princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 1 ed. Volume 7. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos:** princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 4 ed. Volume 1 - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.