

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E DO SISTEMA DE
ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO/SP

Viviane Motta Scarlatti

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Rio Claro (SP)

2018

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

VIVIANE MOTTA SCARLATTI

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E
DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO
MUNICÍPIO 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 Engenheira Ambiental.

Rio Claro - SP
2018

S286a Scarlatti, Viviane Motta
 Avaliação da qualidade das águas superficiais e do sistema de
 esgotamento sanitário do município de Rio Claro/SP / Viviane
 Motta Scarlatti. -- Rio Claro, 2018
 57 f. : il., 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. Água Qualidade. 2. Parâmetros de qualidade. 3. Esgoto
 sanitário. 4. Saneamento. 5. Tratamento de esgoto. 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.

VIVIANE MOTTA SCARLATTI

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E
DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO
MUNICÍPIO 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 Engenheira Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia (orientador)

Dr. João Gabriel Thomaz Queluz

Dra. Lauren Nozomi Marques Yabuki

Rio Claro, 9 de novembro de 2018.

Viviane Motta Scarlatti

Marcelo Loureiro Garcia

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todas as oportunidades que me proporcionaram, por sempre me apoiarem, por todo o carinho e por terem aguentado a distância e a saudade no dia a dia.

À minha irmã por ter me incentivado a estudar longe de casa, ser sempre minha inspiração e por me fazer querer ser cada dia melhor e não desistir dos meus sonhos.

Ao Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia por ter aceitado me orientar e pela paciência.

Aos membros da banca examinadora, João e Lauren, por terem aceitado o convite.

À Cíntia, Dani, Eric, Natalia, Stephani e todas as meninas da Rep Da Vinci (Ana, Ane, Gabriela, Lana, Larissa e Luma) pela amizade e companhia ao longo desses 5 anos. A UNESP não teria sido a mesma coisa sem vocês.

A todos da EA14 pela convivência durante esses anos.

A todos os professores, desde o colégio até a UNESP, pois sem seus ensinamentos eu não teria chegado até aqui. Aprendi muito com todos.

A todos os funcionários da UNESP.

À Pró-Reitoria de Pesquisa da UNESP pelo financiamento da Iniciação Científica que resultou neste trabalho.

A todos que passaram de alguma forma pela minha vida durante esses 5 anos na UNESP e em Rio Claro, porque ninguém passa pela nossa vida por acaso.

E em especial, à minha avó Haydee, que faleceu na fase final de elaboração desse trabalho, por ter me apoiado muito durante toda a vida, nunca me esquecerei.

RESUMO

O lançamento de esgotos domésticos sem tratamento nas águas dos rios provoca problemas como a redução da qualidade das águas superficiais, o aumento da ocorrência de doenças e eutrofização. Assim, é necessário que as águas superficiais estejam dentro dos padrões de qualidade para garantir a segurança e saúde da população, além da proteção ao meio ambiente. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico das águas superficiais e do sistema de esgotamento sanitário do município de Rio Claro, interior de São Paulo. Para isso, foram analisados dados de parâmetros de qualidade das águas superficiais de cinco pontos de amostragem (localizados no rio Corumbataí e Ribeirão Claro). Além disso, foi avaliada a qualidade do efluente e a eficiência de duas estações de tratamento de esgoto do município. Finalmente, os dados coletados foram comparados com os valores estabelecidos na legislação ambiental. Em relação aos parâmetros de qualidade da água, os parâmetros fósforo, *Escherichia coli*, ferro dissolvido e alumínio dissolvido foram os que mais apresentaram valores fora dos limites estabelecidos pelas legislações ambientais. Além disso, em alguns pontos de amostragem, as concentrações de DBO e de oxigênio dissolvido estavam em desacordo com os valores indicados na legislação ambiental. Entretanto, o Índice de Qualidade da Água (IQA) foi classificado como bom em quase todos os pontos de amostragem, com exceção de um ponto classificado como regular. Quanto aos padrões de emissão de efluentes, os dados analisados estão de acordo com a legislação. Com os resultados, foi possível perceber que o ponto de amostragem que teve pior qualidade é o que se localiza a jusante do município.

Palavras-chave: Qualidade da água. Parâmetros de qualidade. Esgoto sanitário. Saneamento. Tratamento de esgoto.

ABSTRACT

The release of untreated domestic sewage into river waters causes problems such as reduced surface water quality, increased disease occurrence and eutrophication. Thus, it is necessary that the surface waters are within the quality standards to guarantee the safety and health of the population, besides the protection to the environment. In this context, the objective of this study was to perform a diagnosis of surface water and sewage system of the municipality of Rio Claro, State of São Paulo, Brazil. For this, data of surface water quality parameters of five sampling points (located on the Corumbataí and Ribeirão Claro rivers) were analyzed. In addition, the effluent quality and efficiency of two municipal sewage treatment plants were evaluated. Finally, the data collected were compared with the values established in environmental legislation. Regarding the parameters of water quality, the parameters phosphorus, *Escherichia coli*, dissolved iron and dissolved aluminum were the ones that presented the most values outside the limits established by the environmental legislations. Besides, at some sampling points, the BOD and dissolved oxygen concentrations were in disagreement with the values indicated in the environmental legislation. However, the Water Quality Index (WQI) was rated as good at almost all sampling points, except for a point classified as regular. Regarding the effluent emission standards, the data analyzed are in accordance with the legislation. With the results, it was possible to realize that the sampling point that had worse quality is what is located downstream of the municipality.

Keywords: Water quality. Quality parameters. Sanitary sewage. Sanitation. Sewage treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva média de variação da qualidade.....	22
Figura 2 - Esquema de um reator UASB.....	26
Figura 3 – Esquema de Reator UASB seguido por lodos ativados	27
Figura 4 – Mapa de localização do Município de Rio Claro - SP.....	31
Figura 5 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 05	32
Figura 6 – Mapa de Uso e Ocupação do solo de Rio Claro/SP.....	35
Figura 7 – Pontos de amostragem e estações de tratamento de esgoto	37
Figura 8 – Resultados do parâmetro Condutividade Elétrica	40
Figura 9 - Resultados do parâmetro Turbidez	41
Figura 10 – Resultados do parâmetro Nitrato.....	42
Figura 11 – Resultados do parâmetro Nitrogênio Amoniacal	42
Figura 12 – Resultados do parâmetro <i>Escherichia coli</i>	43
Figura 13 – Resultados do parâmetro DBO	44
Figura 14 – Resultados do parâmetro Oxigênio Dissolvido.....	44
Figura 15 – Resultados do parâmetro Fósforo	45
Figura 16 – Resultados do parâmetro Clorofila <i>a</i>	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do IQA	23
Tabela 2 – Classificação do IAP	23
Tabela 3 – Classificação do IET	24
Tabela 4 – Classificação dos corpos d'água	28
Tabela 5 - Valores médios dos parâmetros de qualidade de água registrados nos três pontos de amostragem localizados no Rio Corumbataí.	38
Tabela 6 - Valores médios dos parâmetros de qualidade de água registrados nos três pontos de amostragem localizados no Ribeirão Claro.	39
Tabela 7 - Porcentagem de resultados não conformes dos metais com os padrões de qualidade – Média 2010-2014 e Média de 2015.	46
Tabela 8 - Índice de Qualidade das Águas 2015.	47
Tabela 9 - IAP – Índice de qualidade de água para fins de abastecimento público 2015.	48
Tabela 10 - IET – Índice de Estado Trófico 2015.	49
Tabela 11 - Características físico-químicas do afluente e efluente da ETE Flores nos anos de 2015 e 2016.	50
Tabela 12 - Características físico-químicas do afluente e efluente da ETE Jardim Conduta nos anos de 2015 e 2016.	51

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 Jundiaí

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAAE - Departamento Autônomo de Água e Esgoto

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FEENA - Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IAP – Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público

IET – Índice de Estado Trófico

IQA – Índice de Qualidade da Água

ISTO - Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas

OD – Oxigênio Dissolvido

pH - potencial hidrogeniônico

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Águas superficiais	13
3.2 Parâmetros de Qualidade da Água	14
3.2.1 <i>Turbidez</i>	14
3.2.2 <i>Oxigênio Dissolvido</i>	14
3.2.3 <i>DBO</i>	15
3.2.4 <i>pH</i>	16
3.2.5 <i>Condutividade elétrica</i>	16
3.2.6 <i>Nitrato e Nitrogênio Amoniacal</i>	17
3.2.7 <i>Fósforo</i>	18
3.2.8 <i>Escherichia coli</i>	18
3.2.9 <i>Clorofila a</i>	19
3.2.10 <i>Metais</i>	19
3.3 Índices de Qualidade	20
3.3.1 <i>IQA</i>	20
3.3.2 <i>IAP</i>	23
3.3.3 <i>IET</i>	23
3.4 Esgotamento sanitário	24
3.5 Legislações	27
4 METODOLOGIA	31
4.1 Área de estudo	31
4.2 Águas superficiais	36
4.3 Esgotamento sanitário	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Águas Superficiais	38
5.2 Esgotamento Sanitário	50
6 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2015, países se reuniram e tiveram a oportunidade de adotar a nova agenda de desenvolvimento sustentável e chegar a um acordo global sobre a mudança climática. As ações tomadas resultaram nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, baseados nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Entre eles, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Dessa maneira, tem como uma de suas metas até o ano de 2030, a melhoria da qualidade da água, com a redução da poluição, além de reduzir à metade a proporção de águas residuais que não passam por tratamento (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015).

No Brasil, o saneamento básico é definido na Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07) como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas. Essa lei estabelece diretrizes para o saneamento, que envolvem o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, porém, mesmo assim, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2016, 83,3% da população é atendida por abastecimento de água, 51,9% da população do país é atendida por coleta de esgoto e somente 44,9% do esgoto gerado é tratado. É importante destacar que os índices de coleta e tratamento de esgoto variam dependendo da região do país, sendo que o Estado de São Paulo possui o melhor índice. Estimativas realizadas em 2017 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) sugerem que 88 e 64% dos esgotos gerados no Estado são, respectivamente, coletados e tratados (CETESB, 2018).

Esse cenário é alarmante, o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento nas águas superficiais reduz sua qualidade, restringe seus usos e coloca em risco a saúde da população. Adicionalmente, o excesso de matéria orgânica nos rios pode causar a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido, causando odores e prejuízos ao ecossistema.

Para assegurar a qualidade das águas superficiais, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) classifica os corpos d'água, dá diretrizes ambientais sobre seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes por meio da Resolução 357/2005, complementada pela Resolução 430/2011. São estabelecidas condições de qualidade por meio de parâmetros como materiais flutuantes não naturais, óleos e graxas, sabor e odor, corantes de fontes antrópicas, toxicidade, Demanda Bioquímica de Oxigênio

(DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), substâncias orgânicas, metais totais e dissolvidos, coliformes, turbidez (CETESB, 2016).

No Estado de São Paulo, a qualidade das águas superficiais é avaliada pela CETESB. Devido à seca histórica ocorrida entre 2013 e 2014, a CETESB ampliou e intensificou o monitoramento da qualidade das águas dos principais mananciais que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo (CETESB, 2016).

Ainda segundo a Política Nacional de Saneamento Básico, os municípios devem responder pelo planejamento, regulação e fiscalização dos serviços de saneamento básico, sendo também responsáveis pela prestação desses serviços, tanto por meios próprios, ou por meio da contratação de terceiros. Estas atividades são distintas e devem ser exercidas de forma autônoma, por quem não acumula a função de prestador desses serviços, sendo necessária, a criação de órgão distinto, no âmbito da administração direta ou indireta. Desse modo, a Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (ARES-PCJ) foi criada para suprir a demanda de vários municípios, entre eles o de Rio Claro, local de estudo deste projeto.

Tendo em vista o cenário apresentado, é importante que as águas superficiais estejam em boa qualidade e para tanto é necessário que as águas sejam avaliadas e monitoradas quanto a sua qualidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo realizar um diagnóstico das águas superficiais e do sistema de esgotamento sanitário do município de Rio Claro, interior de São Paulo.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar se os parâmetros de qualidade da água estão de acordo com as legislações estaduais e federais;
- Calcular a eficiência de duas estações de tratamento de esgoto com relação à remoção de DBO e DQO;
- Verificar se os efluentes das estações de tratamento de esgoto estão de acordo com os padrões de lançamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Águas superficiais

As águas superficiais são aquelas que não penetram no solo, acumulando-se na superfície, escoando e originando os rios, riachos, lagoas e córregos (ANA, 2012). De acordo com Jorge e Uehara (1998), são aquelas que se encontram em rios e lagos de diversos tamanhos e nas variadas formas de ocorrências das massas de gelo e neve.

A água é necessária para a sobrevivência de todos os organismos, sendo um dos recursos naturais mais utilizados, cobrindo por volta de 70 % da superfície do planeta. Dessa forma, é importante que sua disponibilidade seja suficiente, de modo que disponibilidade de água significa que a água está presente em quantidade e também qualidade adequadas (BRAGA et al., 2002).

De acordo com Von Sperling (2005), a qualidade de uma água é função das condições naturais do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, devido a condições naturais como escoamento superficial e infiltração, e também devido à interferência antrópica. Essa qualidade pode ser analisada por meio de alguns parâmetros relacionados com suas características físicas, químicas e biológicas. Segundo Tucci (2001) as ações antrópicas que possuem maior chance de influenciar a qualidade da água são: o lançamento de cargas nos sistemas hídricos; a alteração do uso do solo rural e urbano e modificações no sistema fluvial. A qualidade das águas superficiais determina a sua disponibilidade para seus múltiplos usos, além de possuir alto impacto na saúde pública e assim, na qualidade de vida da população (ANA, 2017).

As características físicas e químicas de corpos hídricos são ainda influenciadas pelo clima, pela geomorfologia e condições geoquímicas, além do intemperismo das rochas que varia com a geologia e com a intensidade das entradas por outras vias, entre elas a precipitação pluviométrica e a poluição (RODRIGUES, 2008).

Segundo Meybeck e Helmer (1996), a qualidade de um meio aquático pode ser definida pelas concentrações e especiações de substâncias orgânicas ou inorgânicas, pela composição e estado da biota aquática no corpo hídrico e pela descrição das variações temporais e espaciais por conta de fatores internos e externos.

A avaliação da qualidade da água é o processo global de avaliação dos aspectos físicos, químicos e biológicos da água em relação à qualidade natural, aos efeitos humanos e aos usos, principalmente aqueles usos que podem afetar a saúde humana e do próprio meio aquático. Enquanto isso, o monitoramento da qualidade da água é a coleta de informações em locais definidos e em intervalos regulares com o intuito de fornecer dados que possam ser

utilizados para definir as condições atuais e estabelecer tendências (MEYBECK; HELMER, 1996).

3.2 Parâmetros de Qualidade da Água

Os parâmetros de qualidade da água são classificados em físicos, químicos e biológicos. Entre os parâmetros físicos de qualidade da água estão: Cor, Turbidez, Sabor e Odor e Temperatura. São parâmetros químicos: pH, Alcalinidade, Acidez, Dureza, Ferro e Manganês, Cloretos, Nitrogênio, Fósforo, Oxigênio Dissolvido, Matéria Orgânica, Micropoluentes Orgânicos e Micropoluentes Inorgânicos (VON SPERLING, 2005).

Nos parâmetros biológicos são considerados microrganismos, tais como bactérias, algas, fungos, protozoários, vírus e helmintos. No tratamento biológico dos esgotos, os microrganismos atuam como responsáveis pelas reações de conversão da matéria orgânica e inorgânica. Além disso, existem organismos indicadores de contaminação fecal, principalmente os do grupo de coliformes, que podem determinar de maneira indireta o potencial de uma água transmitir doenças (VON SPERLING, 2005).

3.2.1 Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, gerando uma aparência turva. Quando é de origem natural não gera problemas sanitários diretamente, e quando de origem antropogênica pode ser associada a compostos tóxicos e patogênicos (VON SPERLING, 2005). Conforme Ritcher (2009), a turbidez é decorrente da presença de partículas em suspensão que variam de tamanho e natureza, podendo vir de argila e silte, matéria orgânica, material proveniente de descargas de esgoto doméstico e industrial, além de galerias de água pluvial, bactérias, algas e outros microrganismos incluindo bolhas de ar.

3.2.2 Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido é essencial para os organismos aeróbios. Na estabilização da matéria orgânica, as bactérias utilizam oxigênio em seus processos respiratórios, podendo reduzir a sua concentração no meio, o que dependendo da magnitude pode causar a morte de seres aquáticos e caso seja totalmente consumido o oxigênio, as condições serão anaeróbias resultando em maus odores. O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (VON SPERLING, 2005).

Para Richter e Azevedo Netto (1991), o valor de oxigênio nas águas superficiais é dependente do tipo e da quantidade da matéria orgânica contida na água, sendo que as águas superficiais que são relativamente límpidas encontram-se saturadas de oxigênio dissolvido, mas este pode ser rapidamente consumido pela demanda de oxigênio de esgotos domésticos.

A matéria orgânica é a principal causadora do consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. A determinação em laboratório dos diversos componentes da matéria orgânica é muito difícil devido à multiplicidade de formas e compostos que a matéria orgânica se apresenta. Por conta disso, são utilizados métodos indiretos para a quantificação da matéria orgânica. Os principais métodos são: medição do consumo de oxigênio (Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO; Demanda Química de Oxigênio – DQO) e a medição do carbono orgânico (Carbono Orgânico Total- COT). A DBO e a DQO são os parâmetros de maior importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água e retratam indiretamente o teor de matéria orgânica em corpos d'água ou nos esgotos, indicando o potencial do consumo de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005).

3.2.3 DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio é a medida de quantidade de oxigênio necessária ao metabolismo das bactérias aeróbias que destroem a matéria orgânica (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Esse parâmetro pode ser interpretado como a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação ou estabilização de uma determinada quantidade de matéria orgânica em um determinado tempo, sendo normalmente fixado um período de cinco dias. As reações de oxidação resultam da atividade biológica dos microrganismos e também dependem da temperatura e dos nutrientes do meio (PALMA-SILVA, 2006).

O lançamento de esgotos com elevada DBO, em corpos hídricos, causa um grande crescimento de bactérias com a função de estabilizar a matéria orgânica. Essas bactérias são aeróbias, necessitando do oxigênio dissolvido para sobreviver. Assim, quanto maior a quantidade de matéria orgânica, mais intensa será a atividade das bactérias, levando à redução da concentração de oxigênio dissolvido. Essa redução pode causar a morte de organismos aeróbios, além de aumentar a toxicidade de vários elementos. Entretanto, cada corpo hídrico possui uma determinada capacidade assimiladora, ou seja, pode receber determinada quantidade de DBO sem atingir condições de poluição. Por isso, alguns corpos d'água podem receber o lançamento de esgotos domésticos sem muitos prejuízos. Essa capacidade do meio

restabelecer seu equilíbrio após impactos decorrentes do lançamento de cargas poluidoras é chamado de autodepuração (BRASIL, 2006).

3.2.4 pH

O pH é o potencial hidrogeniônico e representa a concentração de íons hidrogênio H⁺, indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, numa faixa de pH que varia de 0 a 14. Um pH baixo pode causar corrosão nas tubulações e peças das águas de abastecimento enquanto que um pH elevado pode causar incrustações nessas tubulações e peças (VON SPERLING, 2005). As condições ácidas aumentam conforme o valor do pH decresce, enquanto que as condições alcalinas são encontradas em pH elevados (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Muitas reações químicas ocorridas no meio ambiente são afetadas de maneira intensa pelo pH, o que torna esse parâmetro importante. Para que os organismos de sistemas biológicos não sofram muitos danos, o meio deve ter um pH entre 6,5 e 8,5. O valor do pH pode sofrer alterações significativas devido a substâncias decorrentes de atividades antrópicas, como a deposição ácida proveniente de poluição atmosférica. Enquanto isso, entre as substâncias de fontes naturais que podem alterar o pH está o gás carbônico que quando se dissolve na água forma ácido carbônico, reduzindo o pH, sendo que uma água saturada com gás carbônico possui pH igual a 5,6 (RODRIGUES, 2008).

3.2.5 Condutividade elétrica

De acordo com CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2007), a condutividade elétrica é uma medida da capacidade de uma solução aquosa conduzir uma corrente elétrica por conta da presença de íons. A condutividade sofre alterações com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon. Além disso, depende exclusivamente da temperatura.

Como a corrente elétrica é transportada por íons em solução, a condutividade aumenta conforme a concentração de íons aumenta. Por conta disso, a condutividade elétrica pode ser utilizada para medir a concentração dos sólidos dissolvidos totais (METCALF; EDDY, 2003).

As águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto que em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (BRASIL, 2006). Para Silva (2007), mesmo com o fato da legislação

não determinar um valor específico para esse parâmetro, quando os valores são elevados, fatores como o uso de fertilizantes e insumos agrícolas podem estar influenciando.

Porém, segundo Gasparotto (2011) altos valores de condutividade nem sempre correspondem a amostras de água muito contaminadas. Em sua avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba/SP, ele avaliou que algumas nascentes apresentaram valores médios mais altos que os do rio Piracicaba, porém concluiu que esse fato não indica necessariamente uma elevada contaminação química, podendo ser apenas um reflexo da natureza e composição das rochas e do solo que entram em contato com as águas em estudo, determinando suas propriedades.

3.2.6 Nitrato e Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio se constitui como um dos elementos mais importantes para o metabolismo de ecossistemas aquáticos devido, principalmente, a participar da formação das proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. As principais fontes naturais de nitrogênio são, principalmente, a chuva, e matéria orgânica e inorgânica de origem externa. Ademais, o nitrogênio se encontra presente no meio aquático em diferentes formas, tais como: nitrato, nitrito, amônia, íon amônio, óxido nitroso, nitrogênio molecular, entre outros (ESTEVES, 1998).

O nitrato é um nutriente essencial para plantas aquáticas e suas variações sazonais são causadas pelo crescimento e decaimento das plantas. Em condições anaeróbias o íon nitrato pode ser bioquimicamente reduzido para nitrito pelo processo de desnitrificação. Entre as fontes naturais de nitrato nas águas superficiais estão as rochas ígneas, a drenagem da terra e os detritos de plantas e animais, enquanto que o uso de fertilizantes inorgânicos de nitrato podem ser uma fonte em áreas rurais e suburbanas (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996).

O nitrogênio amoniacal pode ser encontrado nas formas de íon amônio ou amônia. Altas concentrações do íon amônio podem influenciar na concentração de oxigênio dissolvido do meio (ESTEVES, 1998). Pelo fato do nitrogênio seguir um ciclo que o conduz à mineralização total sob a forma de nitritos, ele permite avaliar o grau e a distância de uma poluição pela quantidade e forma de apresentação dos derivados nitrogenados (BRAGA et al., 2001). Dessa forma, as águas que possuem predominantemente nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por uma descarga de esgoto próxima, enquanto águas com altas concentrações de nitratos indicam uma poluição distante, já que os nitratos são o produto final de oxidação do nitrogênio (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

3.2.7 Fósforo

O fósforo é essencial para o crescimento de algas e de outros organismos biológicos (METCALF; EDDY, 2003). Ele se apresenta na água nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico (VON SPERLING, 2005). As fontes naturais de fósforo são principalmente o intemperismo das rochas com fósforo e a decomposição da matéria orgânica. Além disso, o que também contribui para níveis elevados de fósforo nas águas superficiais são os esgotos domésticos, principalmente os que contêm detergente, efluentes industriais e o escoamento de fertilizantes (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996).

O transporte de fósforo de solos para ambientes aquáticos, por meio de escoamento superficial e sub-superficial tem a capacidade de criar condições nutricionais para o crescimento além do normal de fitoplâncton, zooplâncton e plantas aquáticas superiores, ocasionando um aumento na demanda biológica de oxigênio, além de alterar o pH, a turbidez da água e liberar toxinas (LOURES et al., 2006).

O fósforo raramente é encontrado em altas concentrações nas águas doces, porém concentrações elevadas podem indicar a presença de poluição e também são responsáveis pela eutrofização das águas superficiais, além de limitar sua produtividade (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996; ESTEVES, 1998).

3.2.8 *Escherichia coli*

A *Escherichia coli* é uma bactéria do grupo coliforme, usada como indicadora de poluição fecal. Os coliformes fecais normalmente vivem no organismo humano e no de animais de sangue quente, em grande número nas fezes. Como a *Escherichia coli* se reproduz no interior do intestino ou em meios de cultura especiais a temperaturas adequadas, isso significa que ela só é encontrada na água quando teve a introdução de material fecal, sendo a sua quantidade proporcional à concentração dessa matéria (BRAGA et al., 2002). Para Richter e Azevedo Netto (1991), a presença de coliformes indica a possibilidade de contaminação da água por esgotos domésticos, mas nem toda água com coliformes é contaminada e veicula doenças de transmissão hídrica.

Em relação ao tratamento de esgotos, os organismos indicadores de origem fecal são utilizados como indicadores da eficiência de remoção de patógenos no processo de tratamento de esgotos (VON SPERLING, 2005).

3.2.9 *Clorofila a*

A clorofila é um pigmento verde presente na maioria dos organismos fotossintéticos que fornece uma medida indireta da biomassa de algas e indica o estado trófico de um corpo hídrico. Existe nas formas de clorofila a, b e c. O crescimento de algas planctônicas em um corpo de água está relacionado à presença de nutrientes, principalmente nitratos e fosfatos, temperatura e luz. A clorofila pode ainda indicar a quantidade aproximada de material suspenso na água. Assim, corpos hídricos com baixos níveis de nutrientes possuem baixos níveis de clorofila, enquanto águas com alta quantidade de nutrientes possuem altos níveis de clorofila (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996).

A clorofila *a* é uma substância fundamental para a captura da luz e a fotossíntese. É utilizada como medida de fitoplâncton na água, de modo que quanto maior sua quantidade, mais elevada é a quantidade de algas (RITCHER, 2009).

3.2.10 *Metais*

Metais como cádmio, cromo, cobre, ferro, chumbo, manganês, mercúrio, níquel e zinco, em concentrações traço, são constituintes importantes da maioria das águas (METCALF; EDDY, 2003). Os metais podem estar presentes nos corpos hídricos nas formas dissolvidas, coloidais e particuladas e a proporção dessas formas depende do metal e das condições dos corpos hídricos. A toxicidade desses metais é dependente do grau de oxidação do íon do metal e das formas em que ocorre. Em concentração traço, são importantes para as condições fisiológicas de organismos e para a regulação de processos bioquímicos, porém, em altas concentrações um metal pode causar sérios efeitos toxicológicos aos organismos que vivem ou utilizam o corpo d'água (RODRÍGUEZ, 2001).

Os metais pesados têm origem, em geral, de processos industriais, do uso de fertilizantes e de agrotóxicos. Nos lançamentos de efluentes industriais, a ocorrência de metais pesados é mais concentrada, tornando-se mais significativa e preocupante a sua presença. Os metais pesados também interferem de maneira prejudicial nos processos biológicos de tratamento de esgotos, devendo, portanto, serem parcialmente removidos em pré-tratamento antes dos efluentes industriais serem lançados na rede pública coletora (BRASIL, 2006).

O Ferro e Manganês são encontrados com frequência associados e são constituintes naturais das rochas e do solo, sendo que o ferro é encontrado com maior frequência. O ferro pode ser encontrado em minerais de silicatos de rochas ígneas, na forma de óxidos como a magnetita, a hematita e a limonita, podendo ser encontrado também em minerais sulfurados e carbonatados como a pirita (RICHTER, 2009; BARROS, 2001).

Nas águas superficiais o ferro geralmente se apresenta associado à matéria orgânica (RICHTER, 2009). Em concentrações naturais, esses elementos não causam prejuízo à saúde humana, mas provocam problemas estéticos, como manchas em roupas ou podem prejudicar alguns usos industriais da água. Esses elementos são encontrados em concentrações elevadas em locais onde há ausência de oxigênio dissolvido, como em águas subterrâneas ou em camadas mais profundas de lagos (BRASIL, 2006). A presença desses elementos em águas superficiais é causada por interações da água com o solo, enquanto que, em vários casos, metais como o níquel, o zinco, o mercúrio, o cádmio, o cobre, e o chumbo, surgem de despejos industriais e atividades agrícolas (BARROS, 2001).

O cobre, em concentrações elevadas, é causado pela corrosão de tubulações, por efluentes industriais e pelo uso dos seus compostos no controle de plâncton. Ademais, esse elemento não é considerado cumulativo como o mercúrio e o chumbo e quando ingerido é eliminado pelo corpo, retendo uma pequena quantidade (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, estando presente em todas as águas superficiais, sendo que a exposição humana a esse metal é inevitável, visto que ele está presente em vários produtos e é utilizado em diversas áreas. Existe uma preocupação quanto a ele, quando ingerido, pois, nas águas ele tem maior potencial de biodisponibilidade e pode ser absorvido pelo trato gastrointestinal (ROSALINO, 2011).

3.3 Índices de Qualidade

Com o aumento da preocupação social com os aspectos ambientais, os índices e indicadores ambientais foram criados e se tornaram fundamentais em processos decisórios de políticas públicas. Entre suas vantagens estão a facilidade na comunicação com o público leigo, além de fornecer uma avaliação integrada da qualidade da água. Entretanto, possui como desvantagem a perda de informação das variáveis individuais, não sendo possível substituir uma avaliação detalhada da qualidade das águas (CETESB, 2016). Entre os índices, pode-se citar o Índice de qualidade das águas (IQA), Índice de Qualidade das águas para fins de Abastecimento Público (IAP) e Índice de Estado Trófico (IET).

3.3.1 IQA

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi criado no ano de 1970 pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, tendo sido adaptado pela CETESB em 1975 (ANA,

2012). Esse índice é uma média harmônica ponderada de um conjunto de indicadores específicos (BRAGA et al., 2002). Esses indicadores são variáveis de qualidade que refletem, principalmente, a contaminação devido a lançamento de esgotos domésticos nos corpos d'água (CETESB, 2016).

Esse índice possui algumas limitações, visto que considera sua utilização apenas para o abastecimento público, além de não contemplar variáveis como os metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de trihalometanos (CETESB, 2016). São nove as variáveis consideradas, sendo elas: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais (ANA, 2012).

O IQA é calculado da seguinte forma:

$$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i}$$

Onde:

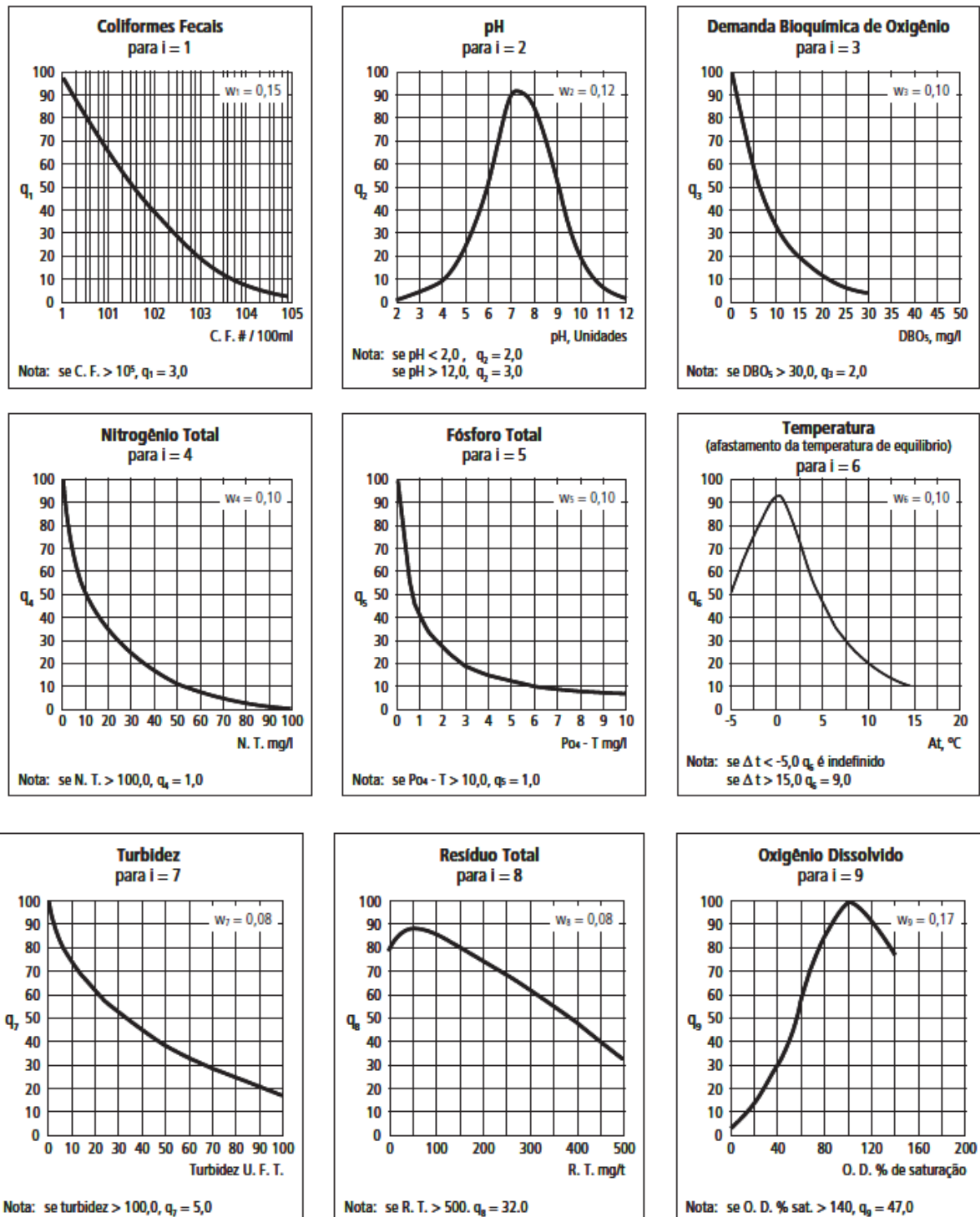
N: número de parâmetros utilizados no cálculo do índice;

qi: qualidade do parâmetro i em uma escala de 0 a 100, obtido através da respectiva curva média de variação de qualidade, em função de sua medida ou concentração;

wi: peso atribuído ao parâmetro i, sendo um número entre 0 e 1.

A Figura 1 apresenta as curvas médias de variação de qualidade para cada parâmetro. Após a realização do cálculo, pode-se classificar a água, numa escala de 0 a 100, de acordo com a Tabela 1.

Figura 1 – Curva média de variação da qualidade



Fonte: CETESB, 2016.

Tabela 1 – Classificação do IQA

Classificação	Ponderação
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB, 2016

3.3.2 IAP

O IAP é calculado nos pontos de amostragem que são utilizados para captação de águas de abastecimento e indica as condições de qualidade das águas para fins de abastecimento público. São consideradas as mesmas variáveis do IQA, além de substâncias tóxicas e variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água. O cálculo consiste no produto da ponderação dos resultados atuais do IQA e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), índice composto por dois grupos: um de variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas (Potencial de Formação de Trihalometanos, Número de Células de Cianobactérias, Cádmio, Chumbo, Cromo Total, Mercúrio e Níquel) e outro de variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água, ou seja, Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre e Zinco (CETESB, 2016). A classificação é feita conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do IAP

Classificação	Ponderação
Ótima	$79 < IAP \leq 100$
Boa	$51 < IAP \leq 79$
Regular	$36 < IAP \leq 51$
Ruim	$19 < IAP \leq 36$
Péssima	$IAP \leq 19$

Fonte: CETESB, 2016

3.3.3 IET

O Índice do Estado Trófico classifica os corpos hídricos em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água conforme o enriquecimento por nutrientes e pelo crescimento excessivo das algas e cianobactérias. O cálculo considera os parâmetros Clorofila *a* e Fósforo Total, sendo feita uma média aritmética dos IET dessas variáveis (CETESB, 2016).

Os processos que influenciam no grau de eutrofização de um corpo hídrico possuem variações sazonais, resultando em alterações no processo de eutrofização ao longo do ano,

sendo às vezes mais intenso e outras mais limitado. De modo geral, no início da primavera o processo é mais intenso devido ao aumento da temperatura da água, à maior disponibilidade de nutrientes e às boas condições para a penetração de luz na água, enquanto que no inverno o processo é menos intenso (CETESB, 2016).

O IET é classificado de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do IET

Classificação	Ponderação
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

Fonte: CETESB, 2016.

3.4 Esgotamento sanitário

Esgoto pode ser definido como a água de abastecimento de uma comunidade, após ela ter sido utilizada em diferentes aplicações (METCALF; EDDY, 2003). É o termo que caracteriza os despejos oriundos de diversos usos da água, como o doméstico, agrícola, industrial, de estabelecimentos públicos, entre outros. Os esgotos sanitários são os despejos líquidos compostos pelos esgotos domésticos e industriais lançados na rede pública e por águas de infiltração (BRAGA et al., 2002).

Quando não tratados, os esgotos podem contaminar a água, os alimentos, o solo, além de que a matéria orgânica presente no esgoto pode levar o oxigênio dissolvido dos corpos hídricos à exaustão. Também se pode acrescentar que algumas doenças podem ser causadas pela disposição inadequada dos esgotos, tais como verminoses (BRAGA et al., 2002). Os esgotos contêm muitos microrganismos patogênicos que habitam no trato intestinal humano, além de conter nutrientes que podem estimular o crescimento de plantas aquáticas e podem conter compostos tóxicos (METCALF; EDDY, 2003). Dessa forma, é de extrema importância a existência de um sistema de esgotamento sanitário.

Um sistema de tratamento de esgoto tem a função de remover os poluentes presentes no esgoto, que se encontram na forma de matéria particulada ou dissolvida. É um conjunto de tanques interligados por canalizações de transporte de líquidos, em que cada tanque possui uma função, nos quais ocorrem as operações de separação das fases sólida, líquida e gasosa. O nível ou o grau de tratamento é estabelecido com base na composição do esgoto e nas concentrações

que seus principais constituintes podem apresentar para que o efluente tratado possa ser lançado nos corpos hídricos. Para que essas concentrações estejam em valor adequado é necessário que o sistema de tratamento remova frações consideráveis de sólidos totais, sólidos em suspensão, matéria orgânica (DQO, DBO, sólidos dissolvidos voláteis e sólidos voláteis em suspensão), nitrogênio, fósforo, coliformes, óleos e graxas (FORESTI, 2013).

O tratamento de esgotos é classificado pelos seguintes níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar tem a função de remover os sólidos grosseiros em suspensão, é feito geralmente por meio de grades e deve existir em todas as estações de tratamento de esgoto. O tratamento primário tem o objetivo de remover os sólidos sedimentáveis e, conseqüentemente, uma parte da matéria orgânica. Por sua vez, o tratamento secundário visa remover a matéria orgânica e nutrientes (fósforo e nitrogênio), por meio de mecanismos biológicos. Já o tratamento terciário tem o objetivo de remover nutrientes, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes. Assim, o nível do tratamento de uma determinada estação de tratamento é definido em relação ao maior nível existente na estação (VON SPERLING, 2005).

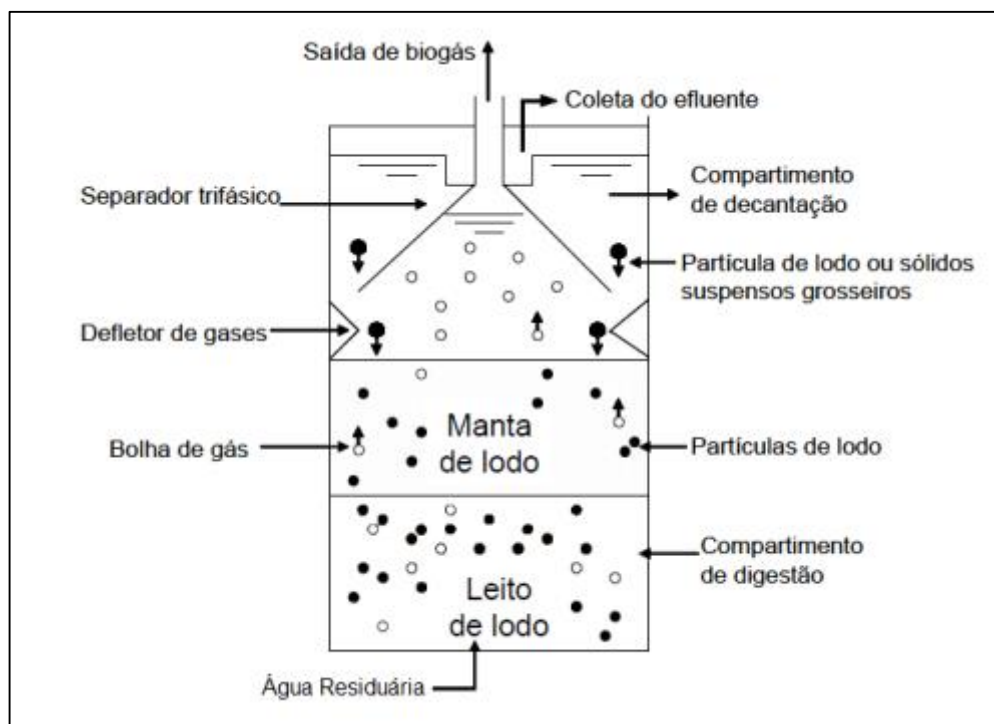
Os óleos e graxas são removidos de maneira parcial nos decantadores, com sua remoção completada nas unidades de tratamento secundário. Já os cloretos e outros sais solúveis tem sua remoção feita por troca iônica ou osmose reversa, em unidades de tratamento avançado que se destinam a produzir água para usos mais exigentes em relação aos íons. Em relação aos coliformes, estes podem ser removidos por meio da cloração, da ozonização, da radiação ultravioleta e da aplicação de ultrassom, de modo que é necessário o tratamento físico-químico pois a remoção de patógenos em reatores biológicos é considerada, geralmente, pouco significativa (FORESTI, 2013).

Entre os principais sistemas de tratamento de esgotos em nível secundário, pode-se citar as lagoas de estabilização, disposição no solo, os sistemas anaeróbios, que inclui o reator UASB, os lodos ativados, e os reatores aeróbios com biofilmes (VON SPERLING, 2005).

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), o reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo, surgiu na Holanda, no final dos anos 70, com o objetivo de tratar efluentes industriais. Esse reator é formado por um tanque no qual em sua parte superior são acoplados um decantador e um defletor dos gases formados. O afluente entra pelo fundo do reator e o percorre em fluxo ascendente, de modo que o efluente é descartado pelo topo do decantador. O afluente atravessa uma camada de lodo biológico de alta atividade, onde a matéria orgânica presente é transformada em biogás. Esse biogás é transportado para uma

região isolada do reator, onde é coletado (SOUZA; VIEIRA, 1986). Um esquema de funcionamento desse reator é mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de um reator UASB



Fonte: CRUZ (2013) adaptado de CHERNICHARO (2007)

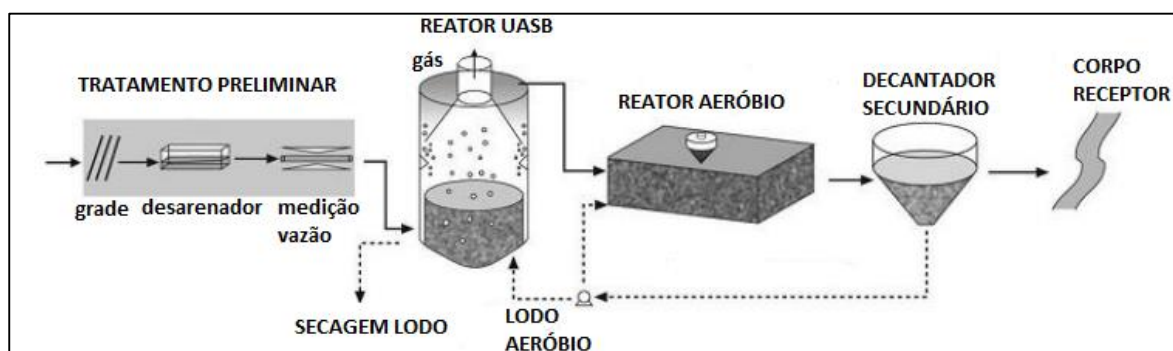
Uma das principais características do reator UASB é a formação do lodo biológico granulado, que possui elevada atividade metanogênica e rápida sedimentação. As vantagens do reator UASB em relação aos lodos ativados são: custo e simplicidade operacional, além de não consumir energia para aeração. Enquanto isso, às vantagens em relação às lagoas de estabilização são: menor área requerida e geração de biogás (SOUZA; VIEIRA, 1986).

No entanto, os reatores UASB, de modo geral, não tem um efluente que se adeque à maioria dos padrões de lançamento. Dessa maneira, é necessária a utilização de um pós tratamento, podendo ser biológico (aeróbio ou anaeróbio) ou físico-químico (com a adição de coagulantes) (VON SPERLING, 2005).

Os sistemas de lodo ativado são utilizados, principalmente, quando se almeja uma elevada qualidade do efluente com baixos requisitos de área, podendo ser utilizados como pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (VON SPERLING, 2005). Nesses sistemas, a agitação mecânica feita pelos aeradores superficiais faz com que a biomassa fique em suspensão, além de introduzir o oxigênio na massa líquida. A matéria orgânica passa por

processo aeróbio, enquanto o lodo primário e secundário por processo anaeróbio (FORESTI, 2013). Quando utilizados como pós-tratamento de reatores UASB, o reator anaeróbio está presente no lugar do decantador primário e o lodo aeróbio formado em excesso no sistema de lodos ativados retorna ao reator UASB, onde passa por adensamento e digestão com o lodo anaeróbio (VON SPERLING, 2005). O esquema desse processo é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema de Reator UASB seguido por lodos ativados



Fonte: VON SPERLING, 2005.

3.5 Legislações

De acordo com o artigo 225 da Constituição Federal de 1988 “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

No que se refere à legislação sobre as águas, no Brasil, a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tem como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997) e como um de seus instrumentos o “enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água” (BRASIL, 1997).

Nesse contexto, a Resolução CONAMA 357 de 2005, complementada pela Resolução 430 de 2011, “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”. Segundo essas resoluções o enquadramento dos corpos de água não deve se basear necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para

atender às necessidades da comunidade. Na Tabela 4, são apresentadas as classes e suas respectivas destinações. No Quadro 1 são apresentados os parâmetros de qualidade e seus valores referentes à classe 2.

Tabela 4 – Classificação dos corpos d’água

Classe	Destinação
Classe Especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
Classe 2	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 3	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais
Classe 4	a) à navegação; e b) à harmonia paisagística

Fonte: Adaptado de BRASIL (2005)

Quadro 1 – Limites dos parâmetros de qualidade da água para a classe 2

Parâmetro	Limite	Legislação
Condutividade elétrica	Não possui	Não possui
Turbidez	até 100 UNT	CONAMA 357/2005
Nitrato	10 mg/L N	CONAMA 357/2005
Nitrogênio Amoniacal	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5	CONAMA 357/2005
Oxigênio Dissolvido	não inferior a 5 mg/L O ₂	CONAMA 357/2005
DBO	até 5 mg/L O ₂	CONAMA 357/2005
Fósforo Total	a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico	CONAMA 357/2005
<i>Escherichia coli</i>	600 UFC/100 mL	Decisão de diretoria Nº 112/2013/E
Clorofila <i>a</i>	até 30 µg/L	CONAMA 357/2005
Faixa de pH	6,0 a 9,0	CONAMA 357/2005
Alumínio Dissolvido	0,1 mg/L Al	CONAMA 357/2005
Ferro Dissolvido	0,3 mg/L Fe	CONAMA 357/2005
Manganês Total	0,1 mg/L Mn	CONAMA 357/2005
Cádmio Total	0,001 mg/L Cd	CONAMA 357/2005
Chumbo Total	0,01mg/L Pb	CONAMA 357/2005
Cobre Dissolvido	0,009 mg/L Cu	CONAMA 357/2005
Mercúrio Total	0,0002 mg/L Hg	CONAMA 357/2005
Níquel Total	0,025 mg/L Ni	CONAMA 357/2005
Zinco Total	0,18 mg/L Zn	CONAMA 357/2005

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

O Quadro 2 apresenta os padrões para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários de acordo com a legislação federal (CONAMA 430 de 2011) e à legislação estadual (Decreto Estadual 8468 de 76).

Quadro 2 – Padrões de lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários

Parâmetro	Limite Federal	Limite Estadual
DQO	Não tem	Não tem
DBO	Máximo de 120 mg/L, 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.	Máximo de 60 mg/L. Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de DBO do despejo em no mínimo 80%.
Óleos e graxas	até 100 mg/L	até 100 mg/L
pH	entre 5,0 e 9,0	entre 5,0 e 9,0
Sólidos sedimentáveis	até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff.	até 1,0 mL/L em teste de uma hora em cone Imhoff.
Temperatura	inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;	inferior a 40°C

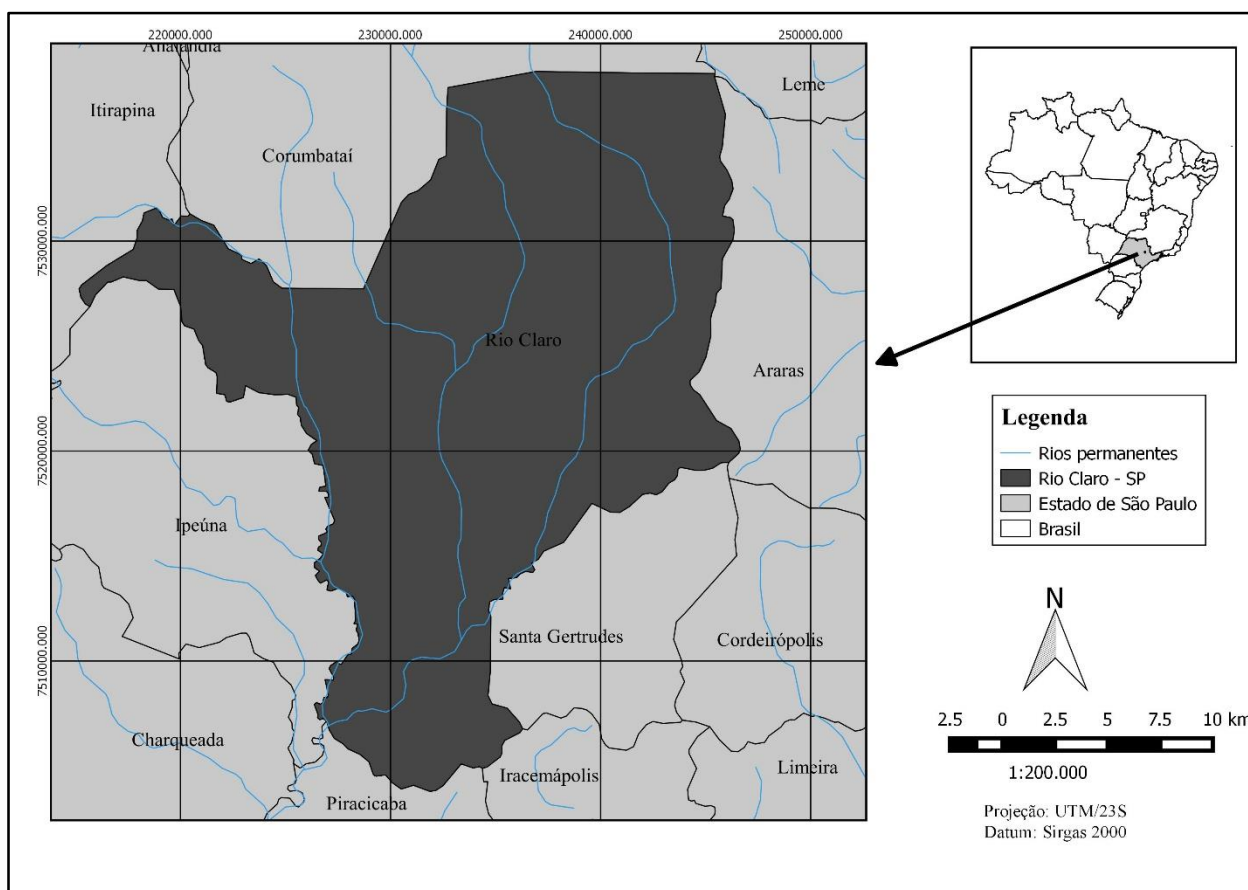
Fonte: Elaborado pela autora (2018)

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O município de Rio Claro (Figura 4) está localizado no interior do Estado de São Paulo. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população estimada do município no ano de 2017 era de 202.952 habitantes. Além disso, o município pertence a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 05 (UGHRI – 05), composta pelas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, bacias afluentes do Rio Tietê. A UGHRI 05 (Figura 5) tem como característica estar em processo de industrialização.

Figura 4 – Mapa de localização do Município de Rio Claro - SP



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Os principais corpos hídricos da área de estudo são o Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro (afluente do Rio Corumbataí), ambos enquadrados como rios de classe 2, que de acordo com a Resolução CONAMA 357 de 2005 são águas que, além de outras finalidades, podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional. Esses corpos hídricos fazem parte do sistema de abastecimento de água, sendo pontos de captação de água superficial para as estações de tratamento de água (ETA) I e II.

O Rio Corumbataí possui uma extensão de aproximadamente 120 km e nasce na Serra de Santana, a 800 m de altitude, desaguando no Rio Piracicaba na cota de 470 m, no município de Piracicaba. Sua vazão média anual é de 22 m³/s e sua vazão mínima é de 5 m³/s (ZAINÉ, 1994). Segundo Palma-Silva (2006), o rio Corumbataí recebe alguns impactos, tais como: a mineração, a disposição desordenada de rejeitos e a degradação da paisagem em seu alto curso, num trecho de 35 km; a matéria orgânica proveniente do município de Rio Claro, em seu médio curso, num trecho de 41 km; a monocultura da cana-de-açúcar e as agroindústrias, próximo à foz, em seu baixo curso, em trecho de 45 km. De acordo com Mori et al. (2016), toda a área urbanizada do município se encontra na porção média da bacia do rio Corumbataí, entre os rios Corumbataí e Ribeirão Claro, sendo que essa área causa alta impermeabilização do solo, além do lançamento de escoamento superficial com resíduos sólidos, óleos e produtos de veículos automotores, causando impactos nos rios da bacia. De acordo com Borges (2012), o rio Ribeirão Claro tem sua nascente no município de Corumbataí e em seu caminho até a chegada na parte urbana do município de Rio Claro passa por áreas rurais apenas. Após isso, percorre a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA), em que suas águas são represadas para a captação de água da ETA I. Seguindo, recebe o efluente tratado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Jardim Conduta. Por fim, recebe o efluente tratado do município de Santa Gertrudes, além das águas do córrego Santa Gertrudes, desaguando no rio Corumbataí.

O abastecimento de água tratada possui em sua operação por volta de 915 km de redes de distribuição, 55 reservatórios, 3 estações elevatórias de água, 2 ETAs, duas captações superficiais, duas captações subterrâneas e aproximadamente 78.736 ligações de água, de acordo com dados do Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE).

Em relação ao sistema de esgotamento sanitário, o município possui tratamento de esgoto de 95 % e oito estações de tratamento de esgoto (ETE), sendo que três estão localizadas na sede do município: 1) ETE Jardim Flores que utiliza em seu tratamento reator UASB seguido de lodos ativados e está localizada a 700 metros do Rio Corumbataí, onde seu efluente tratado é lançado; 2) ETE Jardim Palmeiras que realiza seu tratamento com reator UASB, seguido de lagoa de aeração e decantação. O efluente tratado é lançado no rio Corumbataí, localizado a

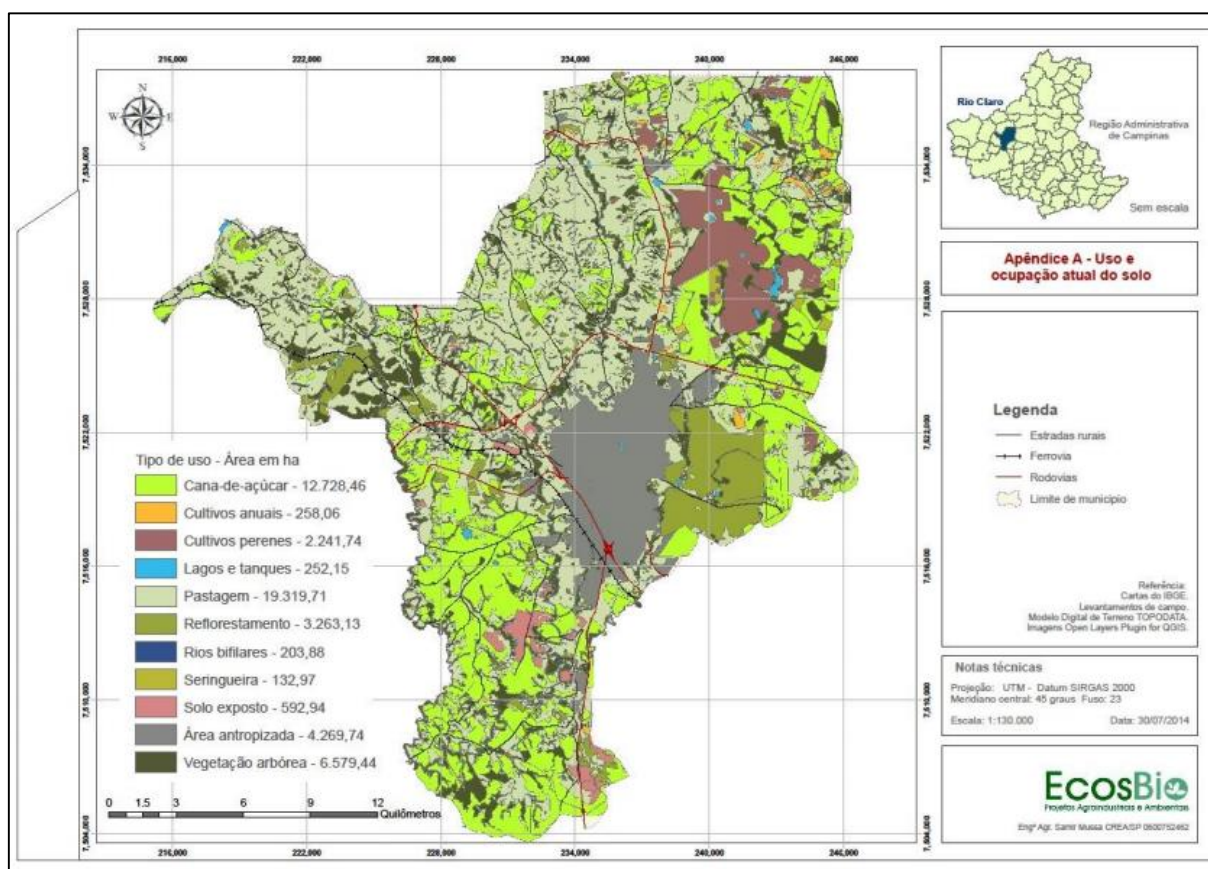
500 metros do local; e 3) ETE Jardim Conduta que faz o tratamento utilizando o reator UASB seguido de lodo ativado e lança seu efluente tratado no Ribeirão Claro, distante 89 metros do local. O município possui também 10 estações elevatórias de esgoto e a coleta de esgoto é de aproximadamente 100% em relação ao total de ligações de água.

No contexto geológico, a área se localiza no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, representada por rochas sedimentares e vulcânica das eras Paleozóica (Grupo Itararé, formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos recentes) (ZAINÉ, 1994).

Quanto à pedologia, os solos que predominam no município são o solo argissolo vermelho-amarelo, seguido pelo latossolo vermelho-amarelo, que são ambos bem drenados, com alta ocorrência de lixiviação e infiltração, são ácidos, pobres em matéria orgânica, sendo pouco adequados para agricultura e são originados das formações Pirambóia, Botucatu e Rio Claro. Na proximidade os corpos d'água são encontrados solos hidromórficos, que se caracterizam por apresentarem um horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade e ocuparem as várzeas dos rios, de modo que a proximidade com o nível freático restringe o crescimento do sistema radicular das plantas (ZAINÉ, 2000). Os solos argissolos vermelho-amarelos possuem teores elevados de alumínio, enquanto os latossolos possuem caulinita, óxido de ferro e alumínio (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO, 2014).

No que se refere ao Uso e Ocupação do solo (Figura 6), o município tem seu solo ocupado, principalmente, por pastagem e pelo cultivo da cana-de-açúcar (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO, 2014).

Figura 6 – Mapa de Uso e Ocupação do solo de Rio Claro/SP



Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO, 2014

Quanto às condições climáticas da região, se destaca a ocorrência de duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa no período de Outubro a Março, com precipitação entre 1000 e 1200 mm, e outra seca, no período de Abril a Setembro, com precipitação entre 150 e 200 mm (MEDEIROS, 2012). Esse tipo de clima é considerado como subtropical úmido (Cwa) pela classificação de Koeppen, sendo que ‘C’ refere-se a média do mês mais frio com médias variando entre 3°C e 18°C, ‘w’ relaciona-se com a seca ocorrida no inverno e ‘a’ ao mês mais quente com temperatura média superior a 22°C (MONTEIRO, 1973).

4.2 Águas superficiais

A partir do banco de dados do Relatório de Qualidade das águas superficiais da Cetesb, foram selecionados e organizados os dados referentes a área de estudo. Foram selecionados dados de Índices de qualidade das águas (IQA), Índice de Qualidade das águas para fins de Abastecimento Público (IAP) e Índice de Estado Trófico (IET) para o ano de 2015, além de dados do período de cinco anos de 2010 a 2014 e do ano de 2015 dos parâmetros de qualidade da água condutividade elétrica, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal, OD, DBO, fósforo, *Escherichia coli* e clorofila *a*. Além disso, também foram avaliados dados da porcentagem de resultados não conformes com os padrões de qualidade para os parâmetros de Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Manganês Total, Cádmi Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, Mercúrio Total, Níquel Total, Zinco Total e Toxicidade Crônica. Os dados referentes ao ano de 2015 constituem uma média de coletas realizadas a cada dois meses durante o ano, nos meses de Janeiro, Março, Maio, Julho, Setembro e Novembro.

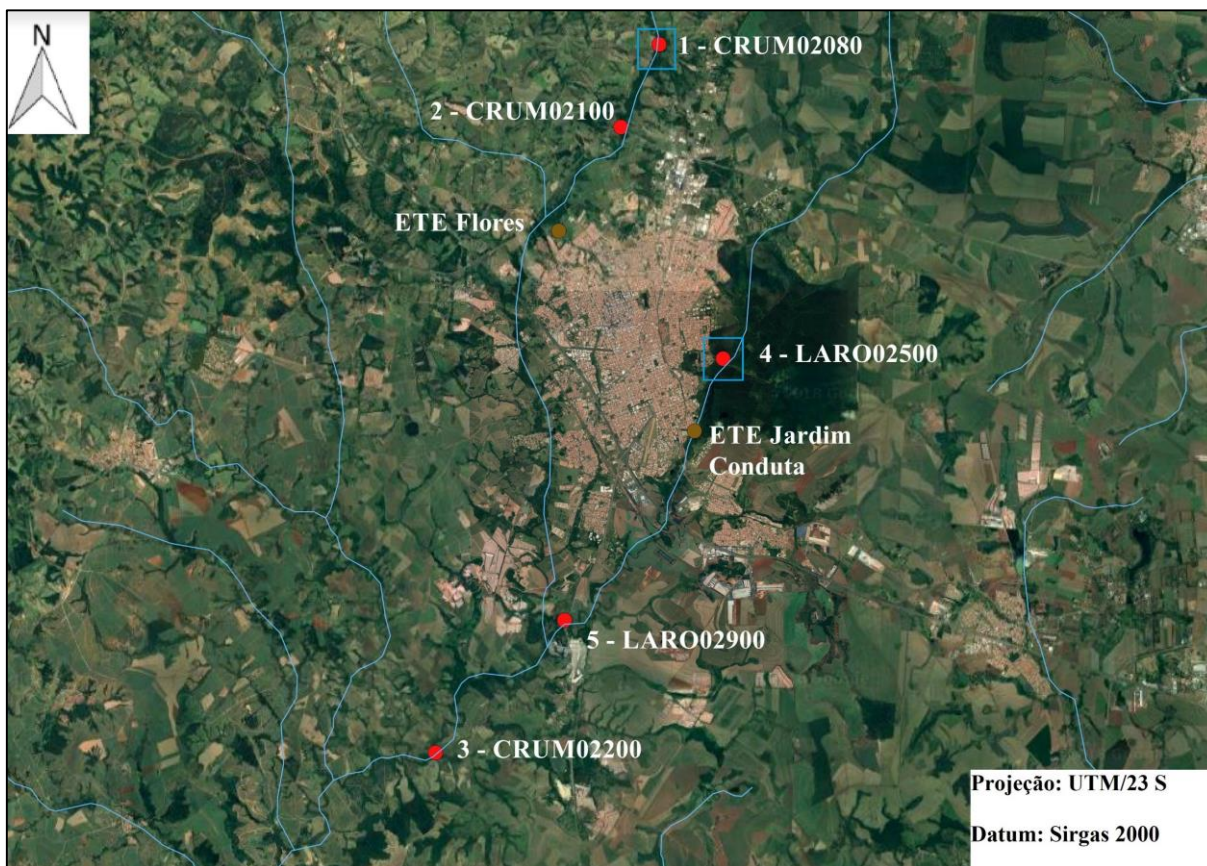
Para a coleta dos dados, a Cetesb utilizou cinco pontos de amostragem, mostrados na no Quadro 3 e na Figura 7, distribuídos pelos rios Corumbataí e Ribeirão Claro. Salienta-se que dois pontos de amostragem (1 e 4) são locais de captação de água para abastecimento.

Quadro 3 - Descrição dos pontos de amostragem

Descrição dos pontos de amostragem						
UGRHI	Descrição	Ponto	Código CETESB	Local de Amostragem	Latitude S	Longitude W
5	Rio Corumbataí	1	CRUM02080	Na captação da ETA II	22°19'29"	47°33'32"
		2	CRUM02100	Ponte na Rodovia São Pedro/Araras, próximo ao Distrito industrial de Rio Claro.	22°20'49"	47°34'12"
		3	CRUM02200	Ponte na Estr. Assistência/Paraisolândia, em Rio Claro	22°30'54"	47°37'26"
	Rio Ribeirão Claro	4	LARO02500	Na captação ETA I -Rio Claro, próximo do Horto Florestal	22°24'33"	47°32'25"
		5	LARO02900	Ponte próxima à foz do Rio Claro com o Rio Corumbataí, no distrito de Assistência.	22°28'46"	47°35'11"

Fonte: Elaborado pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

Figura 7 – Pontos de amostragem e estações de tratamento de esgoto



Fonte: Elaborado pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

Para a avaliação dos dados foram consultadas a legislação CONAMA 357/2005 e a Decisão de Diretoria Nº 112/2013/E, de 09 de abril de 2013, considerando ambas para rios de classe 2.

4.3 Esgotamento sanitário

Para a análise do sistema de esgotamento sanitário, organizou-se os dados de relatórios de ensaios realizados por laboratórios contratados pela ARES-PCJ. Selecionou-se os dados da ETE Jardim Flores dos anos de 2015 (mês de agosto) e 2016 (mês de outubro) e da ETE Jardim Conduta dos anos de 2015 e 2016. Os ensaios foram feitos seguindo as metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2012). Esses dados são referentes aos parâmetros de DBO, demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, pH e temperatura. Com os dados organizados, calculou-se as relações DQO/DBO e as eficiências de remoção de DBO e DQO. Também foi realizada uma avaliação em comparação à legislação CONAMA 430/2011 e ao Decreto Estadual 8468 de 76.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Águas Superficiais

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados valores médios dos parâmetros de qualidade de água registrados no período entre e 2010 e 2014 e para o ano de 2015 nos cinco pontos de amostragem avaliados.

Tabela 5 - Valores médios dos parâmetros de qualidade de água registrados nos três pontos de amostragem localizados no Rio Corumbataí.

Parâmetros	Pontos de amostragem no Rio Corumbataí					
	1		2		3	
	2010-2014	2015	2010-2014	2015	2010-2014	2015
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	49	48	48	49	187	306
Turbidez (UNT)	70	25	77	30	84	26
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,7	0,9	0,7	0,9	0,7	0,8
Nitrogênio Amoniacal ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,24	0,25	0,21	0,17	1,6	2,7
Oxigênio Dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	7,1	7,6	7,3	7,5	5,0	4,5
DBO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2	2	2	2	7	5
Fósforo ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,12	0,03	0,08	0,03	0,26	0,40
<i>Escherichia coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	3,8.10 ³	2,1. 10 ³	3,3.10 ³	1,6.10 ³	3,9.10 ⁴	3,7.10 ⁴
Clorofila ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,2	4,8	2,2	3,1	1,8	5,6
Faixa de pH	6,6-7,2		6,7-7,1		6,8-7,3	

Fonte: Elaborada pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

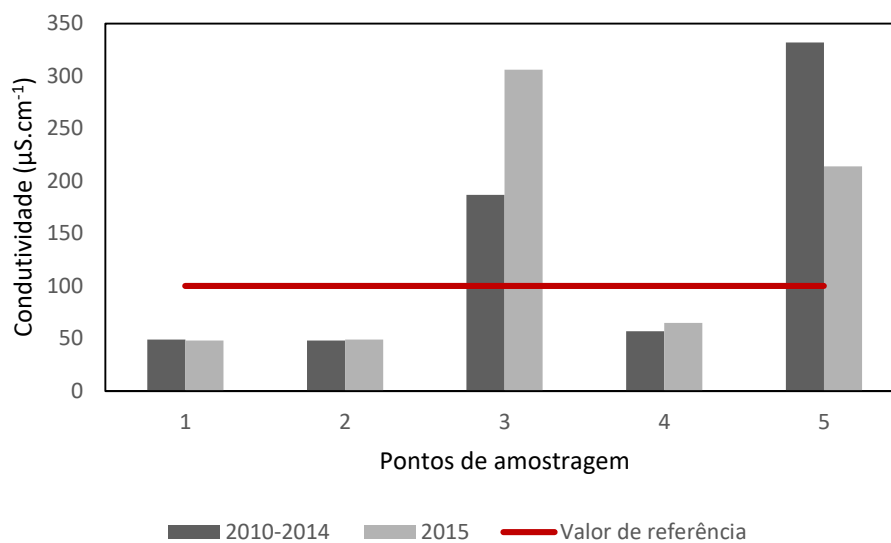
Tabela 6 - Valores médios dos parâmetros de qualidade de água registrados nos três pontos de amostragem localizados no Ribeirão Claro.

Parâmetros	Pontos de amostragem no Ribeirão Claro			
	4		5	
	2010-2014	2015	2010-2014	2015
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	57	65	332	214
Turbidez (UNT)	31	37	59	103
Nitrato (mg.L^{-1})	0,4	0,3	1,2	1,8
Nitrogênio Amoniacal (mg.L^{-1})	0,48	0,33	2,6	1,2
Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1})	6,3	5,6	6,4	7,0
DBO (mg.L^{-1})	2	3	8	4
Fósforo (mg.L^{-1})	0,1	0,03	0,34	0,32
<i>Escherichia coli</i> (UFC.100mL ⁻¹)	$7,4.10^2$	$9,3.10^2$	$2,9.10^3$	$1,7.10^3$
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	0,53	1,0	6,3	9,9
Faixa de pH		6,4-6,8		6,9-7,4

Fonte: Elaborada pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

Apesar de não existir um valor na legislação para o parâmetro de condutividade elétrica, valores acima de $100 \mu\text{S.cm}^{-1}$ podem indicar ambientes impactados (CETESB, 2016). Dessa forma, utilizou-se esse valor como referência para a avaliação deste parâmetro (Figura 8). Percebe-se que os pontos 3 e 5 foram os que apresentaram os maiores valores. Esses pontos estão à jusante da área urbana do município, assim como no estudo de Palma-Silva (2006) que também encontrou valores de condutividade elétrica mais elevados em ponto de amostragem do rio Corumbataí à jusante do município e verificou que o rio Corumbataí estava recebendo uma crescente carga de íons, que representam a poluição mineral, causada provavelmente, pela intensa atividade agrícola, principalmente da monocultura de cana-de-açúcar.

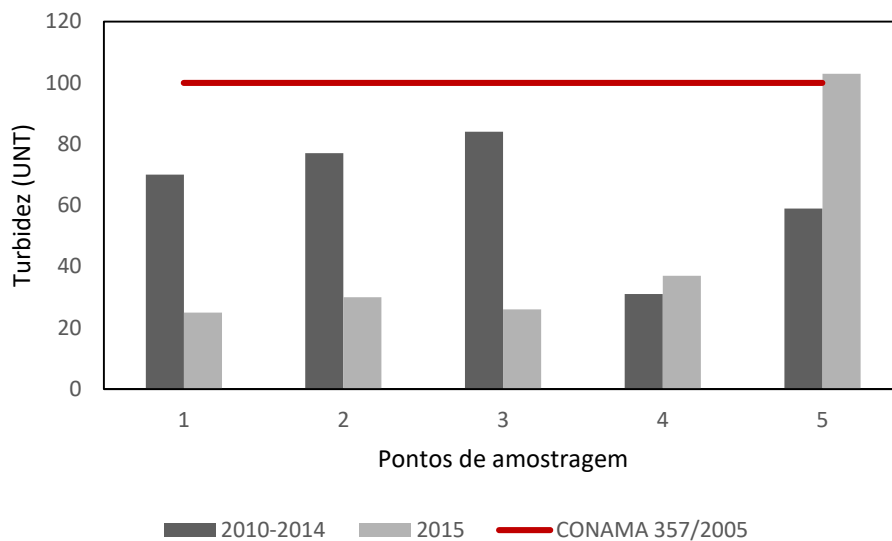
Figura 8 – Resultados do parâmetro Condutividade Elétrica



Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Nota-se que os valores de turbidez (Figura 9) registrados entre os anos de 2010-2014 não excederam o limite de 100 UNT estabelecido na Resolução CONAMA 357 de 2005. Entretanto, no ano de 2015, o valor de turbidez do ponto de amostragem 5 excedeu este limite, apresentando valor superior (até quatro vezes) aos valores obtidos nos demais pontos de amostragem. A turbidez é causada pela presença de sólidos suspensos (compostos orgânicos e minerais) e seu valor em águas superficiais pode variar, principalmente em períodos chuvosos (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005; FERREIRA et al., 2015). A turbidez pode absorver e limitar a penetração da radiação solar na coluna d'água, reduzindo a capacidade fotossintética de plantas e algas que, conseqüentemente, causa o desequilíbrio do ecossistema (ALVES et al., 2008).

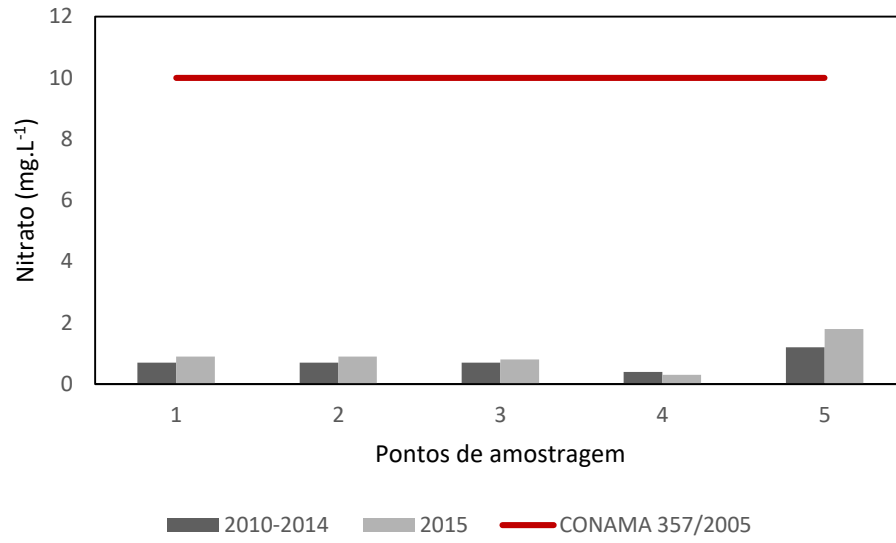
Figura 9 - Resultados do parâmetro Turbidez



Fonte: Elaborada pela autora (2018)

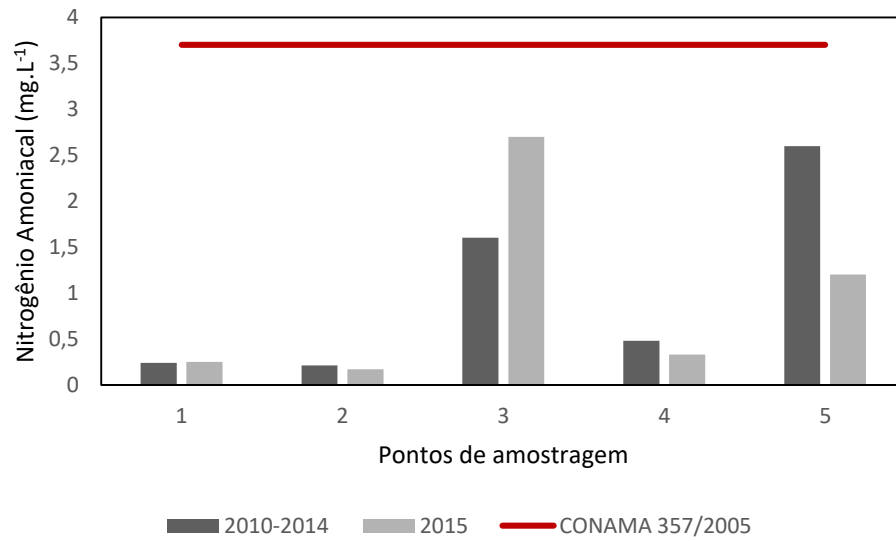
Os valores obtidos de Nitrato (Figura 10) foram inferiores ao limite máximo estabelecido por lei de 10 mg.L^{-1} em todos os pontos de amostragem. Se esses valores estivessem altos poderia ser um indicador de contaminação por disposição inadequada de dejetos humanos, industriais, além de uso de fertilizantes agrícolas (Silva e Araújo, 2003). Para a análise do nitrogênio amoniacal (Figura 11) é necessário considerar a faixa de valores de pH. Como a faixa de pH é menor ou igual a 7,5 para todos os pontos, a concentração de nitrogênio amoniacal deve ser inferior ao padrão de $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$, o que de fato aconteceu. O nitrogênio amoniacal é indicador de contaminação recente, pois ocorre nas fases iniciais de decomposição da matéria orgânica (Silva e Araújo, 2003). Dessa forma, os pontos de amostragem estão distantes de possíveis fontes de lançamento de efluentes, notadas pelos valores de *E. coli* (Figura 12). Em todos os pontos de amostragem os valores de *E. coli* apresentaram médias superiores às estabelecidas pela Decisão de Diretoria 112/2013/E do Estado de São Paulo, que define um limite de $600 \text{ UFC.100 ml}^{-1}$. Esse fato indica que existe contaminação fecal, porém não é possível garantir que seja humana (VON SPERLING, 2005).

Figura 10 – Resultados do parâmetro Nitrato

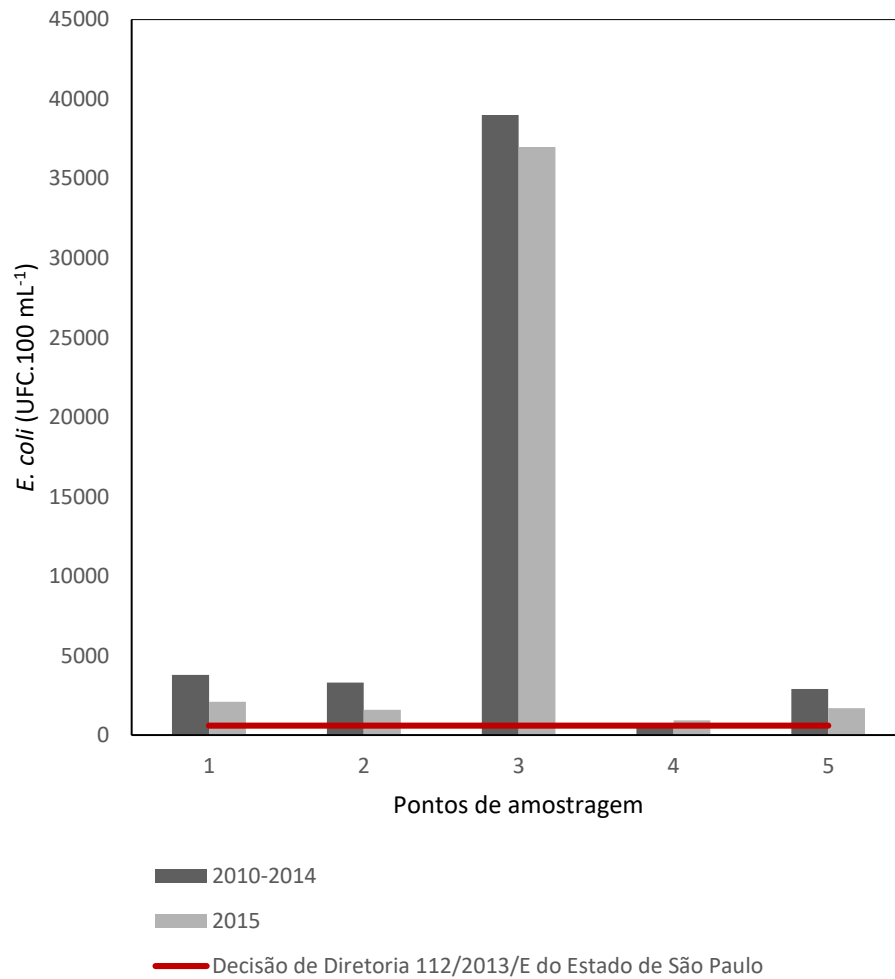


Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Figura 11 – Resultados do parâmetro Nitrogênio Amoniacal



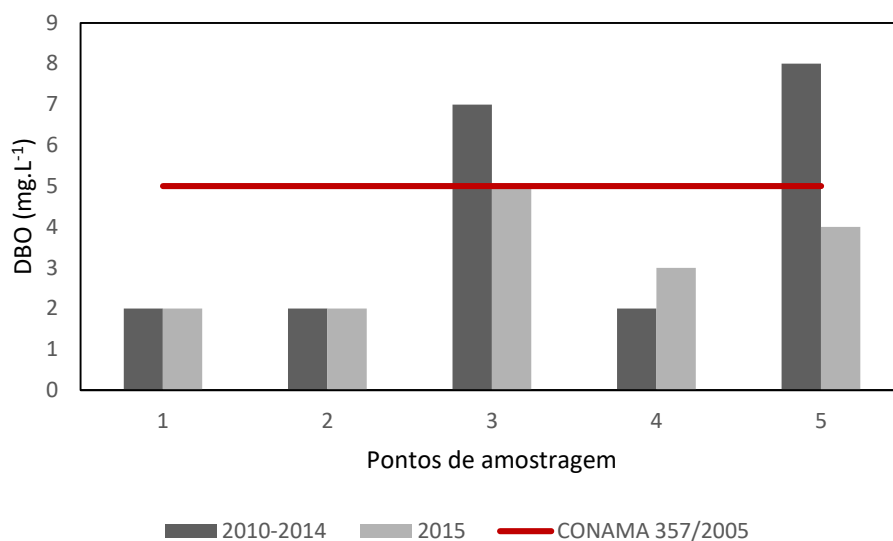
Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Figura 12 – Resultados do parâmetro *Escherichia coli*

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

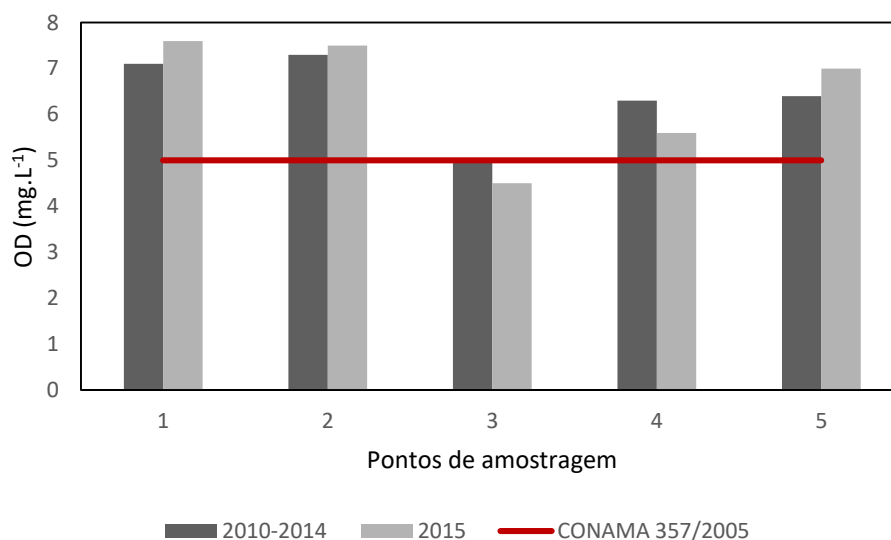
A DBO (Figura 13) deve ter como valor até 5 mg.L⁻¹, estando assim a média de 2010-2014 dos pontos 3 e 5 acima desse limite, indicando uma quantidade elevada de matéria orgânica nesses pontos para esse período. No período de 2015 a média não ultrapassou o limite, mas foi maior nesses mesmos pontos em comparação aos outros. Com relação ao Oxigênio Dissolvido (Figura 14), o ponto de amostragem 3 foi o único em que a média para o ano de 2015 ficou abaixo do valor de maior ou igual a 5 estabelecido pela legislação, sendo que nesse ponto a DBO também esteve fora do limite da legislação, ressaltando o alto consumo de oxigênio por parte de microrganismos. Uma baixa concentração de oxigênio dissolvido pode causar a morte de espécies de peixes exigentes (VON SPERLING, 2005).

Figura 13 – Resultados do parâmetro DBO



Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Figura 14 – Resultados do parâmetro Oxigênio Dissolvido

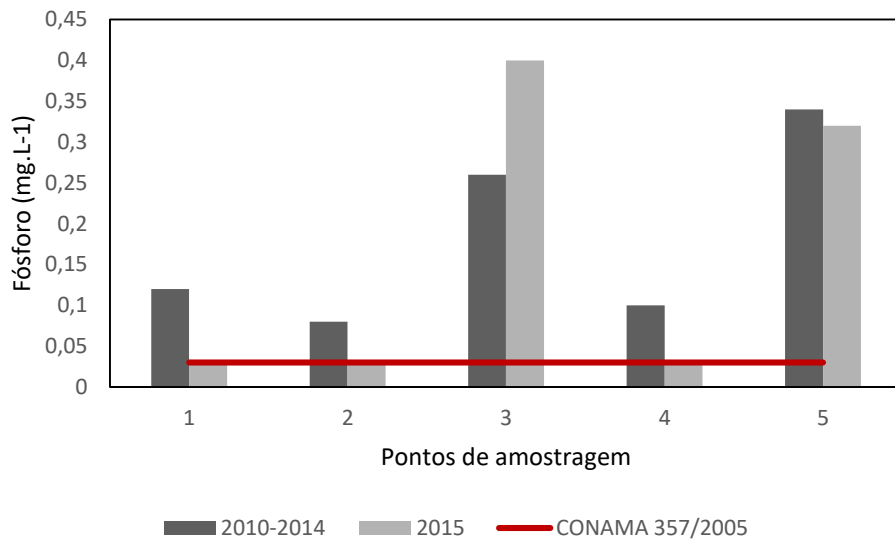


Fonte: Elaborada pela autora (2018)

Os níveis de Fósforo (Figura 15) estiveram acima do limite permitido em todos os pontos durante a amostragem de 2010-2014 e nos pontos 3 e 5 durante 2015. Esse nutriente é importante para o crescimento de algas e tem sido considerado o principal responsável pela eutrofização artificial das águas superficiais, além de limitar sua produtividade (ESTEVES, 1998). Em seu estudo no rio Corumbataí, Palma-Silva (2006) concluiu que as atividades

industriais e o lançamento de esgoto podem ser os responsáveis pelo fósforo nas águas do rio, mas o principal responsável é o solo das áreas agrícolas quando carregado para dentro do rio, principalmente, durante o período de chuvas. Pode ser, assim, decorrente dos fertilizantes utilizados nas plantações de cana-de-açúcar da região.

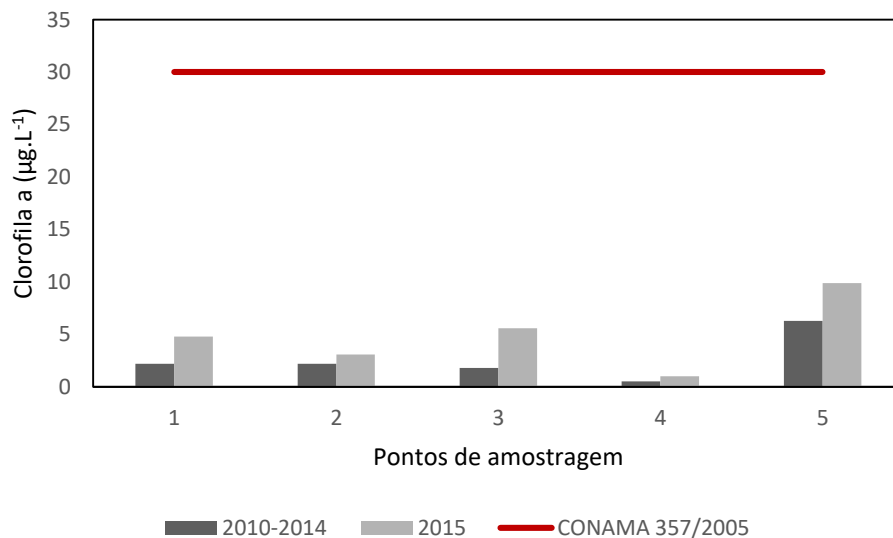
Figura 15 – Resultados do parâmetro Fósforo



Fonte: Elaborada pela autora (2018)

O parâmetro Clorofila *a* (Figura 16) esteve dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357 de 2005 em todos os pontos de amostragem. Ademais, a média desse parâmetro aumentou em 2015. Quanto ao pH, os valores estão na faixa de 6,4 a 7,4, indicando que a água estava próxima da neutralidade. A faixa aceita pela legislação é entre 6,0 e 9,0.

Figura 16 – Resultados do parâmetro Clorofila *a*



Fonte: Elaborada pela autora (2018)

A Tabela 7 apresenta as porcentagens de resultados não conformes dos metais com os padrões de qualidade entre os anos de 2010 a 2014 e 2015.

Tabela 7 - Porcentagem de resultados não conformes dos metais com os padrões de qualidade – Média 2010-2014 e Média de 2015.

Parâmetro	Rio Corumbataí						Ribeirão Claro			
	1		2		3		4		5	
	2010-14	2015	2010-14	2015	2010-14	2015	2010-14	2015	2010-14	2015
Alumínio ¹	68	0	59	50	59	25	59	25	55	25
Ferro ¹	50	75	64	100	45	75	73	100	77	75
Manganês ²	36	0	32	0	41	0	23	0	41	0
Cádmio ²	5	0	5	0	0	0	0	0	5	0
Chumbo ²	5	0	9	0	5	0	5	0	9	0
Cobre ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Mercúrio ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Níquel ²	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Zinco ²	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Toxicidade	33	50	13	75	23	25	6	0	38	25

¹ Dissolvido; ² Total

Fonte: Elaborada pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

É perceptível o elevado número de resultados não conformes de Ferro dissolvido. A média já era elevada entre 2010-2014, mas cresceu ainda mais em 2015, chegando a estar 100% do tempo amostrado em não conformidade nos pontos 2 e 4, devendo-se ressaltar que esse último ponto é utilizado como captação da ETA I. De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), valores elevados de ferro são encontrados mais frequentemente em águas superficiais com matéria orgânica. O alumínio dissolvido também teve muitos resultados que não obedeceram ao padrão de qualidade, tendo uma leve melhora em 2015 em relação ao período de 2010-2014, estando o ponto 1 dentro do padrão no ano de 2015. O Manganês total, que geralmente se encontra associado ao Ferro (RICHTER, 2009) teve resultados não conformes com o padrão de qualidade na média de 2010-2014, porém durante 2015 todos os pontos respeitaram a legislação.

Esses resultados para o Ferro e o Alumínio podem estar relacionados ao solo da área de estudo, que possui esses elementos em alta quantidade. Segundo a Cetesb (2016), os solos são

uma fonte significativa desses metais para os corpos d'água por meio do arraste de partículas e de matéria orgânica causado por intensos processos erosivos. Ainda segundo a Cetesb (2016), esses metais também podem estar associados a efluentes industriais.

Os elementos Cádmio Total, Chumbo Total, Cobre Dissolvido, Níquel Total e Zinco Total, elementos que podem ter origem de efluentes industriais (CETESB, 2016), tiveram alguns resultados não conformes com o padrão de qualidade na média de 2010-2014, entretanto durante 2015 todos os pontos respeitaram a legislação, o que pode indicar que possíveis efluentes industriais podem ter deixado de serem lançados. Quanto à toxicidade crônica (Ensaio Ecotoxicológico com *Ceriodaphnia dubia*), que avalia a presença de substâncias com efeitos tóxicos para os organismos aquáticos, todos os pontos durante 2010-2014 tiveram algum resultado não conforme e em 2015 também, com exceção neste ano do ponto 4.

As Tabelas de 8 a 10 apresentam os resultados dos Índices de qualidade das águas (IQA), Índice de Qualidade das águas para fins de Abastecimento Público (IAP) e Índice de Estado Trófico (IET) calculados pela Cetesb para o ano de 2015.

Tabela 8 - Índice de Qualidade das Águas 2015.

Corpo hídrico	Ponto	Janeiro	Março	Maió	Julho	Setembro	Novembro	IQA 2015
Rio Corumbataí	1	63	67	63	67	69	67	66
	2	64	65	64	68	72	66	66
	3	39	48	49	40	41	39	43
Ribeirão Claro	4	59	55	74	75	61	60	64
	5	44	50	60	49	57	49	52

Fonte: Elaborada pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

O ponto de amostragem 3 obteve um resultado considerado regular, enquanto os outros pontos obtiveram a classificação considerada como boa. Pode-se notar que, de maneira geral, a qualidade da água foi melhor nos meses do período de seca (abril a setembro) em relação aos meses chuvosos (outubro a março), demonstrando a influência da precipitação pluviométrica na qualidade da água, visto que segundo Lucas, Folegatti e Duarte (2010), a precipitação tem um importante papel na manutenção da qualidade e quantidade da água quando seu regime é regular, pois ela evita a escassez e dilui a concentração dos poluentes nos rios e também produz o escoamento superficial e subsuperficial que carregam sedimentos para as águas superficiais e subterrâneas.

Além disso, esses valores de IQA são semelhantes aos encontrados por Zambetta (2006), que calculou o IQA para sete pontos de amostragem ao longo do Rio Corumbataí, que em sua maioria obtiveram classificação considerada boa, com exceção de um ponto classificado como regular durante os meses de março e agosto de 2004, localizado após o município de Rio Claro, depois da confluência do rio Corumbataí com o rio Ribeirão Claro, localização esta próxima a dos pontos 3 e 5, que também apresentaram os menores valores de IQA no presente trabalho. Ainda, segundo Zambetta (2006), a alta quantidade de matéria orgânica, junto à menor velocidade das águas do rio devido à topografia menos inclinada nesse ponto, diminui os valores de oxigênio dissolvido, influenciando no IQA.

Estudo de Falqueto (2008) no rio Corumbataí obteve, para o mesmo ponto citado anteriormente de Zambetta (2006), classificações de IQA regulares (em setembro de 2005 e março de 2006), passando por boa (junho de 2006) e decaindo para ruim no mês de setembro de 2006.

Deve-se ressaltar que mesmo em pontos com classificação boa, é necessário analisar os parâmetros separadamente.

Tabela 9 - IAP – Índice de qualidade de água para fins de abastecimento público 2015.

Corpo hídrico	Ponto	Janeiro	Mai	Julho	Novembro	Média IAP 2015
Rio Corumbataí	1 (Captação da ETA II)	61	61	67	66	64
Ribeirão Claro	4 (Captação da ETA I)	37	72	71	3	46

Fonte: Elaborada pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

O IAP do ponto de captação da ETA II obteve classificação BOA durante todos os meses de amostragem, enquanto no ponto de captação da ETA I oscilou entre REGULAR (Janeiro), BOA (Maio e Julho), chegando a PÉSSIMA na amostragem do mês de Novembro, fato preocupante por ser um ponto de captação para a ETA I. Dessa forma, o tratamento feito pela ETA necessita ser muito eficiente. Este resultado nesse ponto pode ter sido influenciado pelos valores de Ferro dissolvido, que estiveram em 100% do tempo em concentrações acima do permitido e pelo alumínio que teve 25% dos valores em não conformidade, ao contrário do ponto do rio Corumbataí que não teve valores de alumínio em não conformidade e seu IAP foi próximo ao IQA, não tendo sofrido muita influência pelas variáveis do ISTO que compõe o

cálculo do IAP. Além disso, percebe-se que no período seco (Maio e Julho) a qualidade foi melhor do que no período chuvoso (Janeiro e Novembro).

Tabela 10 - IET – Índice de Estado Trófico 2015.

Corpo hídrico	Ponto	Janeiro	Maio	Julho	Novembro	Média IET 2015
Rio	1	61	57	53	55	56
	2	59	54	51	55	55
Corumbataí	3	69	65	58	62	63
	4	50	50	50	52	50
Ribeirão Claro	5	70	71	57	54	63

Fonte: Elaborada pela autora (2018) a partir de dados da CETESB (2016)

O IET foi calculado pela Cetesb com os valores de Fósforo Total e Clorofila *a*, com o intuito de examinar a qualidade da água em relação aos nutrientes, seus efeitos e o crescimento excessivo de Algas e Cianobactérias. Percebe-se que os pontos com maior nível de eutrofização foram o 3 e o 5, influenciados pelos níveis de fósforo total que ultrapassaram o permitido na legislação nesses pontos. Nesses pontos, as concentrações de clorofila *a* também foram as mais altas em comparação aos outros pontos, apesar de não ultrapassar o valor indicado pela legislação.

5.2 Esgotamento Sanitário

A Tabela 11 apresenta os resultados de análises de laboratório, de empresas prestadoras de serviço para a ARES-PCJ, para a ETE Flores do ano de 2015 e 2016.

Tabela 11 - Características físico-químicas do afluente e efluente da ETE Flores nos anos de 2015 e 2016.

Parâmetro	2015		2016	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
DBO (mg.L ⁻¹)	363	45	297	30
DQO (mg.L ⁻¹)	753	84	575	63
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	-	25	-	-
pH	-	7,5	-	-
Sólidos sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	-	<0,5	-	-
Temperatura (°C)	-	22,7	-	-

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

No ano de 2015, analisando-se a Resolução CONAMA 430 de 2011, a DBO, os óleos e graxas, a temperatura, o pH e os sólidos sedimentáveis estiveram dentro do padrão para lançamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto. No âmbito estadual, com relação ao Decreto Estadual 8468 de 76, esses parâmetros também respeitaram a legislação. O parâmetro DQO não possui um padrão de qualidade determinado em legislação. A DQO, de acordo com Von Sperling (2005), é uma indicação indireta do teor de matéria orgânica e corresponde a uma oxidação química da matéria orgânica. Por sua vez, os sólidos sedimentáveis são aqueles que conseguem sedimentar no período de uma hora.

A temperatura é um parâmetro importante devido a seu efeito nas reações químicas e na vida aquática, sendo que o oxigênio é menos solúvel em águas quentes, então um aumento na temperatura da água causaria a diminuição de oxigênio dissolvido. Quanto aos óleos e graxas, se estas não forem removidas no tratamento podem interferir na vida biológica das águas superficiais, além de que a baixa solubilidade de óleos e graxas, reduz sua degradação microbiana (METCALF; EDDY, 2003).

A eficiência de remoção de DBO foi de 87,6 % e a eficiência de remoção de DQO chegou a 88,84 %. A relação DQO/DBO do efluente foi de 2,074 e a do efluente tratado 1,87. A relação DQO/DBO diminuiu no efluente final, significando que esse efluente possui uma elevada fração biodegradável (VON SPERLING, 2005).

Quanto ao ano de 2016, o parâmetro DBO esteve dentro do padrão tanto da legislação estadual como da federal. A eficiência de remoção de DBO foi de 89,89 % e a remoção de DQO foi de 89,04 %. A relação DQO/DBO do efluente bruto foi 1,94 e a do efluente tratado foi 2,1. Percebe-se que nessa análise, a relação DQO/DBO aumentou 0,16 no efluente tratado. Estudo de Albuquerque et al. (2009) na ETE de Peixinhos, em Olinda/PE, concluiu que quanto maior for essa relação, maior será eficiência do tratamento biológico.

A Tabela 12 mostra os dados referentes a ETE Jardim Conduta em 2015 e 2016.

Tabela 12 - Características físico-químicas do afluente e efluente da ETE Jardim Conduta nos anos de 2015 e 2016.

Parâmetro	2015		2016	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
DBO (mg.L ⁻¹)	361	<3	334	65
DQO (mg.L ⁻¹)	700	<8	632	141
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	-	15	-	-
pH	-	6,9	-	-
Sólidos sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	-	0,5	-	-
Temperatura (°C)	-	25,6	-	-

Fonte: Elaborada pela autora (2018)

As amostras de 2015 da ETE Jardim Conduta estão de acordo com as legislações. A eficiência de remoção de DBO foi de aproximadamente 99% e a remoção de DQO de aproximadamente 98,8%. A relação DQO/DBO para o afluente foi de 1,94 e para o efluente tratado foi menor do que 2,7.

Analisando as amostras de 2016, em relação a Resolução CONAMA 430 de 2011, a DBO respeita o limite. Já com relação a legislação estadual, a concentração de DBO deveria ser no máximo 60 mg.L⁻¹, mas esse valor pode ser ultrapassado se a remoção for de no mínimo 80 %. Desse modo, calculando-se essa remoção, tem-se o valor de 80,54 % de remoção, estando esse parâmetro muito próximo ao limite do aceitável. Já a DQO teve uma remoção de 77,69 %, porém não existe um limite na legislação para esse parâmetro. A relação DQO/DBO para o efluente bruto foi de 1,89 e para o efluente tratado foi de 2,17.

6 CONCLUSÕES

Com essa pesquisa foi possível concluir que alguns parâmetros de qualidade da água, tais como *Escherichia coli*, fósforo, ferro dissolvido, alumínio dissolvido, DBO, OD estão em desacordo com o estabelecido pela legislação, podendo causar prejuízos aos corpos d'água do município. Entre as possíveis causas dos parâmetros que se encontram fora do limite permitido, estão o tipo de solo da área de estudo, o cultivo de cana-de-açúcar, além do lançamento irregular de efluentes domésticos e industriais.

Em relação aos padrões de emissão de efluentes, os dados analisados estão dentro dos limites da legislação, o que pode indicar que as estações de tratamento de esgoto estão cumprindo com seu objetivo, demonstrando um bom funcionamento de sistemas com Reator UASB seguido por lodos ativados, ressaltando a importância do saneamento e do tratamento de esgotos tanto para a saúde da população como para o meio ambiente.

Deve-se ressaltar o fato que o pior ponto de amostragem é o 3, ponto que fica mais a jusante do município e assim, recebe todos os possíveis efluentes domésticos e industriais. Esse ponto também recebe as águas do rio Ribeirão Claro, e conseqüentemente do ponto 5, que também apresentou vários resultados ruins. De maneira geral, os parâmetros de qualidade foram piorando conforme os rios passaram pelo município.

Assim, é necessário que as águas superficiais sejam monitoradas e avaliadas constantemente e que as estações de tratamento de esgoto continuem operando de forma eficiente, para que a qualidade da água seja adequada. Também é importante que, em sua maioria, os efluentes domésticos e industriais não sejam lançados sem nenhum tratamento nos corpos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das águas superficiais do Brasil 2012**. Brasília: ANA, 2012.

AGÊNCIA REGULADORA DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Relatório de fiscalização técnica de água do município de Rio Claro**. Americana: ARESPCJ, 2016.

ALBUQUERQUE, C. G.; TAVARES, R. G.; SILVA, V. P.; BIONE, M. A. A. Relação entre os valores de DQO e DBO da estação de tratamento de esgoto de Peixinhos em Olinda - PE. In: IX JORNADA DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 2009, Recife. **Anais da IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Recife: UFPRE, 2009.

ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA-FILHO, E. E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó - Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22th. Washington: American Public Health Association, 2012.

BARROS, A. R. B. **Remoção de íons metálicos em água utilizando diversos adsorventes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BORGES, Maria Bernadete Nogueira. **Análise ambiental simplificada no entorno de águas superficiais na bacia do rio Corumbataí (SP)**. 2012. 53 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S.; **Introdução à engenharia ambiental**. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, 1988.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 10 ago. 2018.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 10 abr. 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p.

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: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

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.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2016.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Manual medição *in loco*: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido**. 2007. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geologia_medica/manual_medico_es_T_%20pH_OD.pdf>. Acesso em: 12 set. 2018.

CRUZ, D. B. **Estudo hidrodinâmico computacional de reator UASB em escala de bancada com validação experimental**. 2013. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

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. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FERREIRA, A.C.; ROCHA, L.C.; FIGUEIREDO, M. A., 2015. Análise Do Índice De Qualidade De Água Na Bacia Do Córrego Do Rio Acima, São João Del-Rei/Mg. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. [S.l.], v. 3, n. 15, 2015.

FORESTI, E. Tratamento de esgoto. In: CALIJURI, M. D. C; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 455-474.

FREDERICE, Aline et al. Diagnóstico ambiental do rio corumbataí em trecho urbano do município de rio claro, SP. **Geociências**, v. 29, n. 4, p. 643-657, 2010.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da Água de Nascentes Urbanas no Município de Piracicaba-SP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Biologia na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

JORGE F. N.; UEHARA, F. N. Águas de superfície. In: OLIVEIRA A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998, p.101-10.

LOURES, ANA P. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T. DE.; CECON, P.R.; PEREIRA, O. G. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 706-714, 2006.

LUCAS, A. A. T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 937-943, set. 2010.

MEDEIROS, C.B. **Avaliação Da Vulnerabilidade à Contaminação Das Águas Subterrâneas Do Aquífero Rio Claro Na Mineração Mandu, Distrito De Ajapi - Rio Claro - Sp**. 2012. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) -Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

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

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. 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. 19-39.

MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Geografia - USP, 1973. 130p.

MORI, G. B.; CASSIANO, C. C.; FERRAZ, S. F. D. B; CAMARGO, A. F. M. Bacia do rio Corumbataí: uso do solo e características limnológicas. In: MORAES, M. E. B.; LORANDI, R., **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus: Editus, 2016, pp. 219-239.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

PALMA-SILVA, G. M. D. **Relação dos indicadores microbiológicos com outros parâmetros limnológicos no rio Corumbataí, SP, no intuito de propor um modelo matemático para gestão ambiental**. 2006. xvii, 175 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO - SP. **Diagnóstico Ambiental e desenvolvimento de sistemas de implementações de projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água - Volume I – Levantamento básico do município**. Rio Claro, 2014. Disponível em:

<<http://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumeILevantamento.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. D. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

RODRIGUES, F. M. **Caracterização hídrica em função das condições de uso e manejo do solo na microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda da Glória, Taquaritinga, SP**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

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.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de diretoria nº 112/2013/E, de 09 de abril de 2013**. Dispõe sobre o estabelecimento dos valores limites do parâmetro Escherichia coli (E.coli), para avaliação da qualidade dos corpos de águas do território do Estado de São Paulo. São Paulo, 2013. Disponível em:

<<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/01/DECIS%C3%83O-DE-DIRETORIA-N%C2%BA-1122013E-DE-09-DE-ABRIL-DE-2013.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

SÃO PAULO. **Decisão de diretoria nº 112/2013/E, de 09 de abril de 2013**. São Paulo: CETESB, 2013.

SÃO PAULO. **Decreto nº 8468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

SILVA, Kelly Cristina da. **Qualidade da água ao longo do Rio Capivara no município de Botucatu - SP**. 2007. xii, 57 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2007.

SILVA, Rita de Cássia Assis da; ARAUJO, Tânia Maria de. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciênc. saúde coletiva**. São Paulo, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apresentação CBH_PCJ**. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpcj/apresentacao>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

SOUZA, M. E. D.; VIEIRA, S. M. M. Uso do reator UASB para tratamento de esgoto sanitário. **Revista DAE**. [S.l], v. 46, n. 145, 1986.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 156 p.

VALENTE, R. O.A., VETTORAZZI, C. A. Avaliação da estrutura florestal na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 45-57, 2005

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**. Londres: IWA Publishing, 2005.

ZAINE, José Eduardo. **Geologia da formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**. 1994. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1994.

ZAINE, José Eduardo. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. 149 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2000.

ZAMBETTA, Paula Munhoz Antunes. **Espécies químicas inorgânicas (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Sn) no sedimento e nos sólidos em suspensão do rio Corumbataí, SP**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.