



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Instituto de Geociências

LETYCIA OLIVEIRA VENANCIO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RIBEIRÃO DOS PINHEIROS NA QUALIDADE DE  
ÁGUA DO RIO ATIBAIA, SUB BACIA DO RIO ATIBAIA, SÃO PAULO-BRASIL

CAMPINAS

2022

LETYCIA OLIVEIRA VENANCIO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RIBEIRÃO DOS PINHEIROS NA QUALIDADE DE  
ÁGUA DO RIO ATIBAIA, SUB BACIA DO RIO ATIBAIA, SÃO PAULO-BRASIL

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
CAMPINAS, PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE  
EM GEOCIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOLOGIA E  
RECURSOS NATURAIS.

DISSERTATION PRESENTED TO THE INSTITUTE OF  
GEOSCIENCES OF THE UNIVERSITY OF CAMPINAS, TO  
OBTAIN THE DEGREE OF MASTER IN GEOSCIENCES IN  
SCIENCIAS IN AREA OF GEOLOGY AND NATURAL  
RESOURCES.

ORIENTADOR: PROF. DR. RICARDO PEROBELLI BORBA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA  
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA LETYCIA  
OLIVEIRA VENANCIO E ORIENTADA PELO PROF. DR.  
RICARDO PEROBELLI BORBA.

CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Geociências  
Marta dos Santos - CRB 8/5892

V551a Venancio, Letycia Oliveira, 1997-  
Análise da influência do ribeirão dos Pinheiros na qualidade de água do rio Atibaia, sub bacia do Rio Atibaia, São Paulo - Brasil / Letycia Oliveira Venancio. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Ricardo Perobelli Borba.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Água - Qualidade. 2. Água - Poluição. 3. Contaminação. I. Borba, Ricardo Perobelli, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Analysis of the influence of the Pinheiros stream on the water quality of the Atibaia river, sub-basin of the Atibaia river, São Paulo - Brazil

**Palavras-chave em inglês:**

Water quality

Water - Pollution

Contamination

**Área de concentração:** Geologia e Recursos Naturais

**Titulação:** Mestre em Geociências

**Banca examinadora:**

Ricardo Perobelli Borba [Orientador]

Alfredo Borges de Campos

Mirian Chieko Shinzato

**Data de defesa:** 29-04-2022

**Programa de Pós-Graduação:** Geociências

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-2452-1428>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7903466571028565>



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**AUTOR: Letycia Oliveira Venancio**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RIBEIRÃO DOS PINHEIROS NA QUALIDADE DE  
ÁGUA DO RIO ATIBAIA, SUB BACIA DO RIO ATIBAIA, SÃO PAULO-BRASIL**

**ORIENTADORA: Prof. Dr. Ricardo Perobelli Borba**

Aprovado em: 29 / 04 / 2022

**EXAMINADORES:**

Prof. Dr. Ricardo Perobelli Borba - Presidente

Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos

Profa. Dra. Mirian Chieko Shinzato

*A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora consta no processo  
de vida acadêmica do aluno.*

Campinas, 29 de abril de 2022.

## SÚMULA

Mestranda em Geociências do Instituto de Geociências (IG-UNICAMP), desenvolve pesquisa com Hidrogeoquímica de Águas Superficiais e Qualidade para usos preponderantes e consumo humano. É graduada em Geologia (2020) pela Universidade Federal do Ceará (UFC), onde desenvolveu pesquisa com Geoquímica de Águas Subterrâneas, Monitoramento de Águas Subterrâneas, Vulnerabilidade de Aquíferos e metais pesados. Fez parte do Laboratório de Geologia Marinha e Geoquímica Ambiental (LGA-LGMA/UFC) onde desenvolveu pesquisa no Programa de Iniciação à Docência (PID) com projeto de Iniciação à Docência em Sedimentologia para Geologia e Oceanografia e projetos institucionais de Bolsa de Iniciação Científica com o projeto Geoquímica, Argilominerais e Bioestratigrafia em Foraminíferos do talude Continental do Oeste do Ceará. Desenvolveu pesquisa institucional de Iniciação Científica com o projeto Faciologia e Proveniência Sedimentar da Formação Romualdo (Eocretáceo) em Santana do Cariri, Sul do Ceará. Foi estagiária no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) do Departamento de Geologia (DEGEO) da UFC, onde desenvolveu pesquisa na área de Geologia Marinha, Sedimentologia, Geologia Ambiental e Geoquímica Ambiental atuando no auxílio das análises físico-químicas de águas superficiais e subterrâneas, elaboração de relatórios e laudos de serviços do laboratório, preparação de material para aulas práticas no laboratório, preparação de reagentes e soluções para análises, análise granulométrica e de componentes bióticos dos sedimentos e elaboração de mapas de zoneamento dos parâmetros analisados no laboratório. Foi estagiária no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) do Departamento de Geologia (DEGEO) da UFC, onde desenvolveu pesquisa na área de Geologia Marinha, Sedimentologia, Geologia Ambiental e Geoquímica Ambiental atuando no auxílio de análises físico-químicas de águas subterrâneas e superficiais, análise granulométrica de sedimentos e quantificação de carbonatos e minerais pesados presentes. Foi trainee na Empresa Júnior de Geologia, GeoCapta e estagiou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, na Residência de Fortaleza no Departamento de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT), atuando no auxílio de atividades de campo do monitoramento da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas. No mestrado, participou do Programa de Estágio Docente - Pós-Graduação-PED, no Grupo C - Atividades de Apoio à Docência Parcial, sob supervisão do Prof<sup>o</sup>. Ricardo Perobelli Borba, do IG - Instituto de Geociências, da Universidade Estadual de Campinas.

Como um pai ele nos livra  
Sabe bem quão frágil somos  
Nos sustenta gentilmente e  
Resgata dos inimigos.

H.F, Lyte, 1834.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo nº 131758/2020-9.

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta com a pesquisa.

Aos meus pais, padrinhos, irmãos e avôs pelo apoio moral e vislumbre na minha jornada.

Ao Edu, companheiro nas horas boas e ruins, muito obrigada pelo apoio e ombro de sempre.

Aos meus amigos que tornaram a caminhada mais leve.

Ao meu orientador Ricardo Perobelli Borba, obrigada pela orientação, explicações e replanejamentos necessários durante toda a pesquisa.

Aos professores do Departamento de Geologia e Recursos Naturais do Instituto de Geociências (IG) pelas aulas e conhecimentos acrescentados no mestrado.

Aos pesquisadores da Comunidade Geológica do Brasil, pela continuação e determinação em nome da Pesquisa Científica do Brasil.



## RESUMO

A qualidade da água de diferentes fontes pode ser avaliada usando parâmetros físico-químicos e biológicos, observando-se os limites padrões e a adequação das fontes de água para o consumo humano. Tendo em vista esses efeitos e alterações, o monitoramento da qualidade da água para avaliação das variações espaciais e temporais é eficaz para a gestão da água e controle de poluição. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a capacidade da qualidade da água do ribeirão Pinheiros de influenciar a qualidade das águas do rio Atibaia, por meio de análise estatística e análise da concentração espaço-temporal dos dados de monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos pré-existentes. Foi realizada pesquisa documental de dados de monitoramento de parâmetros físicos, químicos e biológicos, disponibilizados pela CETESB, através do Sistema de Informação InfoÁguas, e após análise temporal e espacial foram utilizadas 3 estações de monitoramento de água para avaliação da qualidade das águas superficiais através da série histórica de dados no rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) e do ribeirão dos Pinheiros (PINO03900), nos anos de 2009 a 2019. Como suporte para análises, foram utilizados os dados de vazões máximas mensais da estação fluviométrica do Departamento de Águas e Energia Elétrica (estação 3D-007) e informações das estações de medida de vazão média no exultório da plataforma SSD – da Agência das Bacias PCJ. Os valores das amostras dos parâmetros foram analisados considerando sua equivalência às classes estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357/2005. Para o Índice de Qualidade das Águas (IQA) foram selecionadas amostras das estações de monitoramento de qualidade de água estudadas, as quais contêm dados dos 9 parâmetros utilizados no cálculo. A classe definida pelos usos preponderantes mais restritivos indica dificuldades em compatibilizar o enquadramento com a qualidade atual dos corpos hídricos, especialmente para os parâmetros Oxigênio Dissolvido, Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio; tanto nas águas do Ribeirão dos Pinheiros como do Rio Atibaia. A análise do teor de matéria orgânica, medido indiretamente pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) possui maiores concentrações no ribeirão dos Pinheiros, demonstrando uma influência do teor de matéria orgânica dos esgotos do ribeirão dos Pinheiros chegando no rio Atibaia. Os valores médios de resíduos totais nas águas do ribeirão dos Pinheiros são maiores do que nas águas do rio Atibaia, essa concentração pode ser resultante da menor vazão e consequentemente menor carreamento de sedimentos do que no rio Atibaia. Há indicação de maior poluição por despejos orgânicos no ribeirão dos Pinheiros do que no rio Atibaia, analisada pelo nível de oxigênio dissolvido nesse trecho do corpo hídrico as maiores concentrações fora do padrão estão presentes nas águas do ribeirão dos Pinheiros principalmente após o ano de 2014, posteriores ao período de intensa seca. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) anual médio do ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) é aceitável, enquanto o índice do rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) é bom, tanto para as águas antes do ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02035) quanto para as águas após o desague do ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02065). Após análise generalizadas, destaca-se que os parâmetros nas águas do ribeirão dos Pinheiros que mais influenciam nas águas do rio Atibaia são coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio, fósforo, resíduo total e oxigênio dissolvido.

**Palavras-chave:** INFLUÊNCIA NA QUALIDADE; POLUIÇÃO; CONTAMINAÇÃO.





## ABSTRACT

The quality of water from different sources can be evaluated using physical-chemical and biological parameters, observing the standard limits and the suitability of water sources for human consumption. In view of these effects and changes, monitoring water quality to assess spatial and temporal variations is effective for water management and pollution control. This research aimed to evaluate the ability of the water quality of the Pinheiros stream to influence the water quality of the Atibaia river, through statistical analysis and analysis of the spatio-temporal concentration of monitoring data of pre-existing. Documentary research was carried out on monitoring data of physical, chemical and biological parameters, made available by CETESB, through the InfoÁguas Information System, and after temporal and spatial analysis, 3 water monitoring stations were used to evaluate the quality of surface waters through historical series of data in the Atibaia river (stations ATIB02035 and ATIB02065) and in the Pinheiros stream (PINO03900), from 2009 to 2019. Electricity (station 3D-007) and information from the measurement stations of average flow in the outflow of the SSD platform – of the PCJ Basin Agency. The values of the parameter samples were analyzed considering their equivalence to the classes established in CONAMA Resolution nº 357/2005. For the Water Quality Index (IQA) samples from the studied water quality monitoring stations were selected, which contain data from the 9 parameters used in the calculation. The class defined by the most restrictive predominant uses indicates difficulties in making the framework compatible with the current quality of water bodies, especially for the parameters Dissolved Oxygen, Thermotolerant Coliforms and Biochemical Oxygen Demand; both in the waters of the Ribeirão dos Pinheiros and the Atibaia River. The analysis of organic matter content, indirectly measured by the Biochemical Oxygen Demand (BOD) has higher concentrations in the Pinheiros stream, demonstrating an influence of the organic matter content of the sewage from the Pinheiros stream reaching the Atibaia river. The average values of total residues in the waters of the Pinheiros stream are higher than in the waters of the Atibaia river, this concentration may be the result of the lower flow and consequently less sediment transport than in the Atibaia river. There is an indication of greater pollution by organic waste in the Pinheiros stream than in the Atibaia river, analyzed by the level of dissolved oxygen in this stretch of the water body, the highest non-standard concentrations are present in the waters of the Pinheiros stream mainly after the year 2014, after the period of intense drought. The average annual Water Quality Index (IQA) of Ribeirão dos Pinheiros (Station PINO03900) is acceptable, while the index of River Atibaia (stations ATIB02035 and ATIB02065) is good, both for the waters before Ribeirão dos Pinheiros (Station ATIB02035) and for the waters after the Pinheiros stream flows (Station ATIB02065). After generalized analysis, it is highlighted that the parameters in the waters of the Pinheiros stream that most influence the waters of the Atibaia river are thermotolerant coliforms, biochemical demand for oxygen, nitrogen, phosphorus, total residue and dissolved oxygen.

**Keywords:** INFLUENCE ON QUALITY; POLLUTION; CONTAMINATION.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1:	Mapa de localização nacional das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá ..... 23
Ilustração 2:	Mapa de localização das Estações de Monitoramento de Qualidade de Água no ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) e rio Atibaia (Estações ATIB02035 e ATIB02065), estação fluviométrica com dados de vazão média e geologia local. 24
Ilustração 3:	Proporção das classes de uso do solo na sub-bacia do Rio Atibaia. 28
Ilustração 4:	Localização das Estações de Monitoramento da Qualidade de Água ..... 32
Ilustração 5:	Padrões de qualidade por classes, referentes aos parâmetros analisados para o Enquadramento de Classes ..... 34
Ilustração 6:	Compatibilidade das classes de enquadramento para os múltiplos usos das águas doces, segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005 ..... 34
Ilustração 7:	Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas para a composição do Índice de Qualidade de Água (IQA) ..... 36
Ilustração 8:	Índice de Qualidade (IQA) anual médio das Estações de Monitoramento no ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) e rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) ..... 51
Ilustração 9:	Índice de Qualidade (IQA) pluviométrico (período seco e chuvoso) das Estações de Monitoramento no ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) e rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) ..... 51
Ilustração 10:	Correlação entre o Índice de Qualidade (IQA) e Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s) na Estação de Monitoramento de Qualidade de Água do Ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) no período chuvoso (verão) e período seco (inverno) ..... 52
Ilustração 11:	Correlação entre o Índice de Qualidade (IQA) e Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s) na Estação de Monitoramento de Qualidade de Água do Rio Atibaia (Estação ATIB02035) no período chuvoso (verão) e período seco (inverno) ..... 53
Ilustração 12:	Correlação entre o Índice de Qualidade (IQA) e Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s) na Estação de Monitoramento de Qualidade de Água do Rio Atibaia (Estação ATIB02065) no período chuvoso (verão) e período seco (inverno) ..... 54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Valores de Temperatura da Água medido em °C nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	29
Tabela 2:	Informações sobre a nomenclatura das estações de monitoramento da qualidade de água, corpo hídrico pertencente e coordenadas de localização .....	31
Tabela 3:	Informações das estações de medida de vazão média no exultório, corpo hídrico pertencente e medidas de vazão .....	31
Tabela 4:	Escala de variação e classificação dos níveis de Qualidade para o Índice de Qualidade das Águas (IQA) .....	37
Tabela 5:	Valores de Coliformes Termotolerantes medido em UFC/100mL nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	41
Tabela 6:	Valores de Potencial hidrogeniônico (pH) medido em U.pH nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	42
Tabela 7:	Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	43
Tabela 8:	Valores de Nitrogênio total (NT) medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	44
Tabela 9:	Valores de Fósforo total (NT) medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	45
Tabela 10:	Valores de Turbidez medido em UNT nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	47
Tabela 11:	Valores de Resíduo Total medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	48

Tabela 12: Valores de Oxigênio Dissolvido medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão) .....	50
--	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	22
2.1 <b>Objetivo Geral</b> .....	22
2.2 <b>Objetivos Específicos</b> .....	22
<b>3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	23
3.1 <b>Área de Estudo</b> .....	23
3.2 <b>Geologia Regional e Local</b> .....	25
3.3 <b>Hidrogeologia</b> .....	26
3.4 <b>Geomorfologia</b> .....	26
3.5 <b>Pedologia</b> .....	27
3.6 <b>Uso do Solo</b> .....	27
3.7 <b>Clima e Temperatura</b> .....	28
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	30
4.1 <b>Organização e Consistência dos dados</b> .....	30
4.2 <b>Metodologia de coleta e análise dos parâmetros utilizados</b> .....	32
4.3 <b>Avaliação do Enquadramento de Classes</b> .....	33
4.4 <b>Índice de Qualidade da Água (IQA)</b> .....	35
4.5 <b>Análise estatística</b> .....	37
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
5.1 <b>Avaliação do Enquadramento de Classes da Qualidade da Água</b> .....	38
5.2 <b>Análise dos parâmetros físico-químicos de influência no IQA</b> .....	40
5.3 <b>Índice de Qualidade das Águas (IQA) e Correlações relacionadas</b> .....	50
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	55
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57
<b>ANEXOS</b> .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

A água é parte fundamental de um sistema aquático sendo extremamente indispensável para o desenvolvimento de uma região. Contribuiu com a expansão da agricultura e o progresso industrial, fazendo desse recurso uma questão ecológica, política, econômica e social (TUNDISI, 2003), bem como uma ferramenta eficiente de desenvolvimento econômico de uma região (ADDISIE, 2022). De acordo com Unep (2016), a poluição da água piorou desde a década de 1990 na maior parte dos rios da América Latina, onde a deterioração da qualidade da água ainda persiste nos países desenvolvidos, embora seja um grande problema nos países em desenvolvimento, pois nestes há uma quantidade substancial de esgoto despejada diretamente nos rios (ÁGUA DAS NAÇÕES UNIDAS, 2018).

O crescimento populacional e econômico do Brasil, acentuado nas últimas décadas, traz uma maior necessidade tanto por água quanto por serviços ligados a ela. O aumento no volume de efluentes lançados nos rios também é reflexo desse crescimento, comprometendo a qualidade ambiental dos recursos hídricos do país (ANA, 2009). Variações espaciais e temporais no ciclo hidrológico podem agravar o cenário, aumentando a preocupação global com a disponibilidade e qualidade da água, estimando-se que a demanda por água aumente entre 20 e 30% até o ano de 2050 (UNESCO, 2019).

É importante ressaltar que a qualidade da água é um pré-requisito para o saneamento sustentável, de acordo com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no. 6, e é igualmente importante para vários outros objetivos do Desenvolvimento Sustentável relacionados à saúde, segurança alimentar e biodiversidade (BHAT, 2021). Esta questão está diretamente relacionada com o crescimento populacional, a urbanização e a mudança no estilo de vida da população, que levam a uma mudança na qualidade e no volume das águas residuais nas cidades, com o potencial de desencadear riscos nutricionais e biológicos nos sistemas aquáticos (GUPTA, 2018), até mesmo para populações ribeirinhas.

A qualidade da água superficial desempenha um papel importante na saúde de humanos, animais e plantas, sendo governada dentro de uma região pelos processos naturais, tais como taxa de precipitação, processos de intemperismo e erosão do solo; e efeitos antropogênicos, como atividades urbanas, industriais e agrícolas e as atividades humanas de exploração dos recursos hídricos (NOURI, 2008).

De acordo com Toledo & Nicolella (2002) o uso de indicadores de qualidade de água consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas na

microbacia, sejam estas de origens antrópicas ou naturais. Cada sistema lótico possui características próprias, o que torna difícil estabelecer uma única variável como um indicador padrão para qualquer sistema hídrico. Neste sentido, a busca em trabalhos de campo é a obtenção de índices de qualidade de água que reflitam resumidamente e objetivamente as alterações, com ênfase para as intervenções humanas, como o uso agrícola, urbano e industrial (COUILLARD & LEFEBVRE, 1985).

A qualidade da água de diferentes fontes pode ser avaliada usando parâmetros físico-químicos e biológicos. A análise dos resultados dos parâmetros é avaliada com base nos limites padrão e a adequação das fontes de água para o consumo humano, e não é uma tarefa fácil de entender. Tendo em vista esses efeitos e alterações, o monitoramento da qualidade da água para avaliação das variações espaciais e temporais é eficaz para a gestão da água e controle de poluição (Melo, 2020), estes geram grandes conjuntos de dados que requerem técnicas de organização e interpretação. Assim, uma das formas mais eficazes de monitoramento da qualidade da água é o Índice de Qualidade da Água (IQA) (ADDISIE, 2022).

A qualidade do ambiente aquático é fortemente afetada por mudanças nos regimes hidrológicos dos rios e das atividades humanas. O estudo da qualidade da água dos rios, um importante indicador dos ecossistemas nas bacias hidrográficas, é controlado por interações entre vários fatores naturais e fatores de atividades humanas (ZHANG, 2009). Das atividades humanas realizadas na área, pode-se citar a produção diversificada com ênfase em setores dinâmicas e de alta tecnologia em Valinhos e a produção industrial de Vinhedo.

O estudo das variações temporais e espaciais na qualidade da água dos rios são realizados a fim de avaliar a qualidade da água, identificar fontes de poluição e melhorar o ambiente ribeirinho (SHRESTHA E KAZAMA 2007; MUANGTHONG E SHRESTHA 2015). Analisar os efeitos das atividades humanas na qualidade das águas superficiais pode fornecer a base científica para a utilização sustentável dos recursos hídricos e o controle da poluição do recurso hídrico, sendo assim de suma importância a correlação dessas variáveis na avaliação e análise da qualidade.

As mudanças climáticas e as atividades humanas são os dois principais fatores que afetam as variações temporais e espaciais na qualidade das águas superficiais (LI, 2022). Estudos anteriores têm avaliado os efeitos das mudanças climáticas e atividades humanas sobre os fatores hidrológicos (processos de escoamento, fluxo e sedimentos) e quantificar tais contribuições. (YE, 2013; AHN E MERWADE 2014; GHALENI & EBRAHIMI 2015; ZUO, 2016; POORALIHOSSEIN E DELAVAR 2020). Os fatores que afetam a qualidade das águas superficiais de rios foram identificados principalmente por meio de análises de correlação e

modelos estatísticos (WILSON E WENG 2011; VERÍSSIMO ET AL. 2013). Porém, os efeitos de urbanização, uso da terra e outras atividades humanas permanece difícil de quantificar e expressar em modelos (ZHAI, 2014; XU, 2019).

No rio Pinheiros ocorre poluição difusa, advindo da bacia do Alto Tietê, e não somente da sua própria bacia, em virtude das regras operacionais do sistema Tietê Billings que prevê a introdução das águas do Tietê a montante da confluência com o Pinheiros em condições excepcionais por ocasião das grandes chuvas, justamente o grande agente indutor desta modalidade de poluição. Sabe-se que as variações temporais e espaciais na qualidade da água de rios e os fatores que influenciam tais variações são bases importantes e pré-requisitos para identificar fontes de poluição e melhorar o ambiente da água do rio (LI, 2022), onde os rios em bacias urbanas devem ser protegidos para evitar maior deterioração e proteção dos corpos d'água.

Na região em estudo, o esgoto proveniente de áreas urbanas é despejado no ribeirão dos Pinheiros, causando poluição e diminuição da qualidade de suas águas, variando espacialmente e temporalmente e, conseqüentemente influenciando a qualidade das águas de abastecimento do rio Atibaia, principal curso fluvial da região.

### **Enquadramento com as Classes da Resolução CONAMA n° 357/2005 de 17 de março de 2005**

A RESOLUÇÃO CONAMA N° 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. As classes de qualidade para o enquadramento são um conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros. As condições de qualidade apresentam um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade.

As águas doces, incluindo as águas aqui estudadas, são classificadas de acordo com o Art. 4° dessa Resolução em:

**I - Classe especial**, águas destinadas: 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. Vale ressaltar que nessas águas, deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água (Art. 13°).



II - **Classe 1:** águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 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.

III - **Classe 2:** águas que podem ser destinadas: 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 n° 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.

IV - **Classe 3:** águas que podem ser destinadas: 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.

V - **Classe 4:** águas que podem ser destinadas: a) à navegação; e b) à harmonia paisagística.

De acordo com o Art. 7° desta Resolução, os padrões de qualidade das águas estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe e ainda, indica que o conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público (Art. 8°).

### **Importância dos parâmetros utilizados**

Neste trabalho, as águas superficiais foram estudadas com base no Índice de Qualidade de Água (IQA), que é utilizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) desde 1975 e que integra variáveis físicas (temperatura, turbidez e resíduo total), químicas (pH, nitrogênio, fósforo total, Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e oxigênio dissolvido) e microbiológica (Coliformes termotolerantes), refletindo principalmente, a contaminação dos corpos hídricos causada pelo lançamento de esgoto doméstico (CETESB, 2019). Estes parâmetros, segundo Simeonov (2003) e Toledo & Nicolella (2002) contém as informações químicas mais relevantes para a interpretação dos resultados em termos de qualidade.

## **Coliformes Termotolerantes**

Foi destacado por Von Sperling (1996) que um aspecto de grande relevância em termos da qualidade biológica da água é o relativo à possibilidade da transmissão de doenças. A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças pode ser efetuada de forma indireta, através dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes principalmente ao grupo de coliformes.

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os coliformes totais e *Escherichia coli* (*E.Coli*), ou coliformes termotolerantes.

Neste trabalho foi utilizado dados de *Escherichia coli* (*E.Coli*), que correspondem a um grupo de bactérias que não são, necessariamente, de origem fecal, mas que são considerados bons indicadores para este fim. A *Escherichia coli* (*E.Coli*) é a principal bactéria do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), sendo abundante nas fezes humanas e animais, e o único indicador de contaminação exclusivamente fecal (não necessariamente humana). É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas a contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros (VON SPERLING, 2005).

## **Potencial Hidrogeniônico – pH**

O potencial hidrogeniônico (pH), o qual representa a concentração de íons hidrogênio (em escala anti-logarítmica), fornece uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A origem natural se dá a partir da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, a antrópica por despejos domésticos (com oxidação da matéria orgânica) e despejos industriais (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Piveli & Kato (2006) sua influência sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se sobre a fisiologia das diversas espécies, contribuição para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados e, além de exercer influência na solubilidade de nutrientes e em diversos equilíbrios químicos.

## **Demanda Bioquímica de Oxigênio**

Refere-se à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO 5,20. (CETESB, 2016). Ainda, de acordo com CETESB (2016), os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem orgânica.

A matéria orgânica presente nos corpos d'água é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas, o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos decompositores nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica (ROCHA, 2015). A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) retrata de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d'água, sendo, portanto, uma indicação potencial do consumo do oxigênio dissolvido. Trata-se de um parâmetro de fundamental importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água (VON SPERLING, 1996 & FEITOSA, 2008).

## **Nitrogênio (N)**

Segundo von Sperling (1996), dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este alterna-se entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: (a) nitrogênio molecular ( $N_2$ ), escapando para a atmosfera, (b) nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), (c) amônia ( $NH_3$ ), (d) nitrito ( $NO_2^-$ ) e (e) nitrato ( $NO_3^-$ ).

As fontes naturais de nitrogênio se dão por conta dos constituintes de proteínas, clorofila e vários outros compostos biológicos. Já as de origens antrópicas se dão devido despejos domésticos e industriais ou ainda excrementos de animais e fertilizantes.

É importante salientar que, de acordo com von Sperling (1996) o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (processo de eutrofização). Nos processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio (o que pode afetar a vida aquática a depender da concentração).

O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes. Em um corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações

sobre o estágio da poluição recente estando associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato (ROCHA, 2015).

### **Fósforo (P)**

Segundo Fragoso Jr. (2009) o fósforo é um nutriente essencial para plantas e animais, na forma de íons  $PO_4^{3-}$  e  $HP_2^{2-}$ . O fósforo proveniente de rochas sedimentares, ossos fossilizados, fertilizantes, detergentes e esgoto é transportado para o ecossistema aquático através da rede de drenagem. Por meio da fotossíntese, os seres fotossintetizantes fixam o fósforo presente no compartimento inorgânico dissolvido na água ( $PO_4$ ). A disponibilidade de fósforo inorgânico presente na água (PIP) ocorre em função dos processos de adsorção e dessorção os quais controlam as transformações do fósforo particulado para  $PO_4$  e vice e versa.

Um resumo dos principais processos envolvidos no ciclo do fósforo na água e no sedimento contém (FRAGOSO JR., 2009):

- A. Mineralização do fósforo orgânico particulado (POD) em  $PO_4$ ;
- B. Assimilação biológica de  $PO_4$  pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas;
- C. Fluxos na interface água-sedimento de  $PO_4$ , de fósforo orgânico particulado (POP) para fosforo orgânico dissolvido (POP);
- D. Decomposição de fósforo orgânico particulado (POP) para fósforo orgânico particulado (POD);
- E. Mortalidade biológica e excreção em fósforo orgânico particulado (POD) e fosforo orgânico dissolvido (POP).
- F. Adsorção e dessorção de  $PO_4$  em fósforo inorgânico (PIP); e
- G. Consumo da fração de fósforo contido no fosforo orgânico dissolvido (POP), no fósforo orgânico particulado (POD) e no fitoplâncton por zooplâncton e peixes.

### **Turbidez**

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Isso se dá por conta dos sólidos em suspensão, que têm origem natural a partir de partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos. E antropogênica a partir de despejos domésticos, industriais, microrganismos e erosão (von SPERLING, 1996).

## **Oxigênio Dissolvido**

Os níveis de oxigênio dissolvido indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática, sendo que, normalmente, corpos d'água bastante poluídos apresentam baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água, devido aos processos biológicos que consomem oxigênio, devido a presença de matéria orgânica e nutrientes na água.

Trata-se de um gás pouco solúvel em água, sendo sua solubilidade função da temperatura, da pressão e dos sais dissolvidos na água (FEITOSA, 2008). O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (von SPERLING, 1996).

## **Índice de Qualidade das Águas (IQA)**

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma expressão empírica que integra parâmetros físicos, químicos e microbiológicos significativos da qualidade da água em um único número (MCCLELLAND, 1974). Pode ser uma ferramenta de comunicação poderosa para simplificar um conjunto complexo de parâmetros, cuja interpretação individual pode ser difícil, em um único índice que representa a qualidade geral da água (DE ANDRADE, 2020). É um método eficaz de medir a qualidade da água que é comumente utilizado entre pesquisadores e gestores de qualidade da água (HORTON, 1965; KUMAR, 2018; BHAT, 2021).

Horton (1965) propôs o primeiro IQA em 1965 para testar a qualidade da água e o sistema foi melhorado por vários cientistas, integrando uma variedade de dados de qualidade da água (conjunto de parâmetros) em um único número dentro de um intervalo de definição de qualidade (BOYACIOGLU, 2007; BROWN, 1970; LUMB, 2011; TYAGI, 2013). Como um resultado, os usuários de água, planejadores e formuladores de políticas podem monitorar e avaliar a qualidade da água das fontes para saúde humana, bem-estar social e crescimento econômico, refletindo sua adequação para diferentes usos (CETESB, 2019).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral:**

Avaliar a capacidade de um corpo d'água com menor vazão (representado pelo ribeirão dos Pinheiros) em de influenciar um corpo d'água com maior vazão (representado pelo Rio Atibaia), e assim testar a hipótese de que afluentes secundários com maior carga de poluentes advindos de esgoto doméstico, podem influenciar a qualidade das águas de abastecimento de coletores maiores.

### **2.2 Objetivos Específicos:**

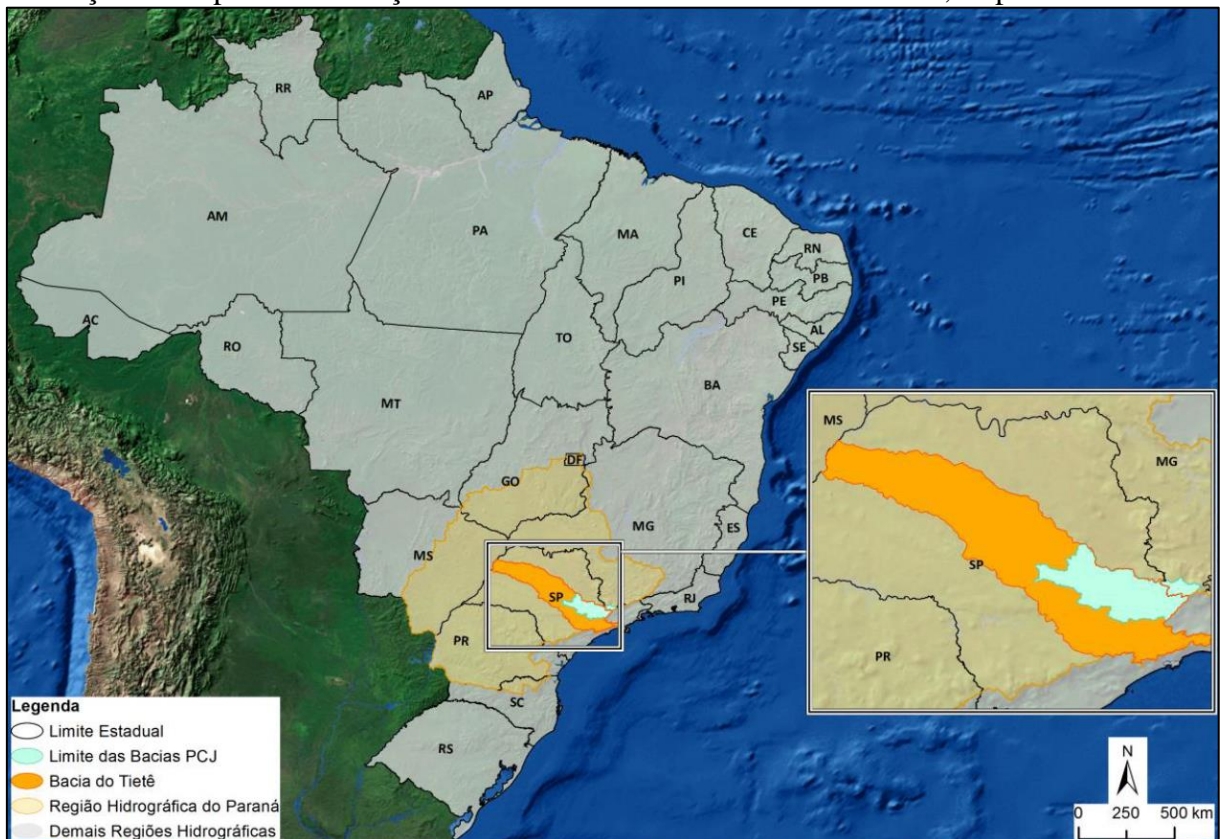
- Avaliar a capacidade da qualidade da água do ribeirão Pinheiros de influenciar a qualidade das águas do rio Atibaia, por meio da avaliação da concentração espaço-temporal dos dados de monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos pré-existentes;
- Realizar análise estatística dos dados de monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos pré-existentes com base no período chuvoso (estação verão) e período seco (estação inverno).

### 3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Área de Estudo

As Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ) abrangem um total de 76 municípios, sendo 71 no Estado de São Paulo e 5 no Estado de Minas Gerais. Em contexto regional, as Bacias PCJ fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, pertencente à Região Hidrográfica Paraná. A área total de drenagem superficial é de aproximadamente 15.377 km<sup>2</sup>, na qual insere-se a Bacia do Rio Capivari (1.568 km<sup>2</sup>), Bacia do Rio Jundiá (1.154 km<sup>2</sup>) e Bacia do Rio Piracicaba (12.655 km<sup>2</sup>) (Ilustração 1).

Ilustração 1: Mapa de localização nacional das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá



Fonte: Modificado do Consórcio Profill-Rhama (2019).

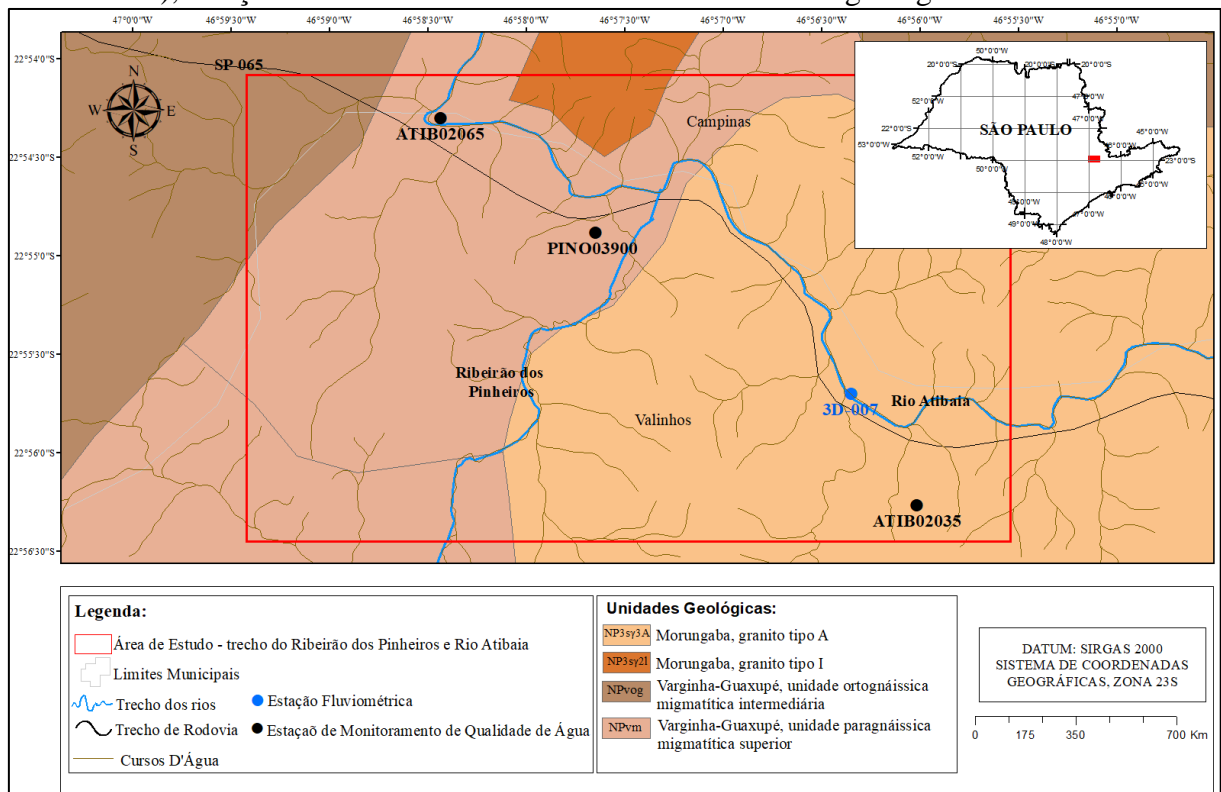
A área de estudo está localizada na Bacia do Rio Piracicaba, na sub-bacia do Rio Atibaia, dentro da Zona Hidrográfica nº 11 de segmentação das Bacias PCJ (Mapa em Anexo), nos trechos dos corpos hídricos do Ribeirão dos Pinheiros e Rio Atibaia, os quais possuem abrangência com predominância urbana) (Ilustração 2), compreendendo as cidades de Valinhos (77,62% da área rural da sub-bacia e 80,86% de área urbana da sub-bacia; 78,97% da área total da sub-bacia) e Vinhedo (0% da área rural da sub-bacia e 54,17% de área urbana da sub-bacia;

40,85% da área total da sub-bacia). Este estudo analisa os dados de 11 anos de monitoramento, com dados de 3 estações disponíveis no Sistema InfoÁguas da Cetesb, as quais estão divididas nos trechos de interesse do ribeirão dos Pinheiros (Estação de monitoramento PINO03900) e rio Atibaia (Estações de monitoramento ATIB02035 e ATIB02065).

O rio Atibaia é responsável pelo abastecimento público dos municípios de Campinas, Valinhos, Itatiba, Sumaré e Jundiaí, sendo integrado ao Sistema Cantareira.

O ribeirão dos Pinheiros se estende por 20 km, iniciando-se no município de Vinhedo e seguindo pela parte urbana e central do município de Valinhos até desaguar no rio Atibaia, 2.100 m a montante da principal captação do município de Campinas. Recebe a contribuição do córrego Samambaia que tem sua origem no município de Campinas e percorre áreas densamente urbanizadas dos municípios de Campinas e Valinhos (ISENBURG, 2005). Conforme ANA (2014), o Ribeirão dos Pinheiros possui alta frequência, baixo impacto e média vulnerabilidade.

Ilustração 2: Mapa de localização das Estações de Monitoramento de Qualidade de Água no ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) e rio Atibaia (Estações ATIB02035 e ATIB02065), estação fluviométrica com dados de vazão média e geologia local



Fonte: A autora.



### 3.2 Geologia Regional e Local

Geologicamente, as Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá estão localizadas na borda leste da porção norte da Bacia Sedimentar do Paraná, possuindo caráter intracratônico sedimentar magmático, com idades do Neo-ordoviciano até o final do Mesozoico (HASUI, 2012). Há predominância de rochas do Embasamento Cristalino compostas por granitos, migmatitos, gnaisses, xistos e quartzitos; alcançando 46% de sua superfície, acompanhados de expressivos 21% de rochas sedimentares heterogêneas e indistintas do Grupo Tubarão na Formação Tatuí, composta por siltitos e siltitos arenosos; e na Formação Itararé, contendo arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos; seguidas de 16% dos arenitos pertencentes ao Sistema Aquífero Guarani (SAG) (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020).

A geologia local da área de estudo é representada pelas Unidades Geológicas Npvog – Complexo Varginha-Guaxupé, unidade ortognáissica migmatítica intermediária; NPvm – Complexo Varginha-Guaxupé, unidade paragnáissica migmatítica superior; NP3sy21- Granitos tipo I, sin a tardiorogênicos do Orógeno Socorro-Guaxupé e NP3sy3A – Granitos tipo A, pós-orogênicos, do Orógeno Socorro-Guaxupé (Ilustração 2).

#### **Npvog – Complexo Varginha-Guaxupé, unidade ortognáissica migmatítica intermediária**

Caracterizam a unidade migmatítica intermediária a composição de biotita-hornblenda nebulito de composições granodiorítica, granítica, sienítica e monzonítica em contatos transicionais com corpos batolíticos de granito gnáissico anatético metaluminoso comumente porfirítico, gerado por fusão parcial in situ de estratos infracrustais. Englobam migmatito estromático a mesossoma gnáissico de composição diorito-tonalítica, leucossomas trondhjemíticos e melanossoma ferro-magnesianos. O granito gnáissico contém ainda enclaves de gnaiss diorito–monzodiorítico, xenólitos de gnaiss calcissilicático e lentes de sillimanita–cordierita metapelito. Ocorrem também, subordinadamente, corpos de granitóides peraluminosos (HASUI, 2012).

#### **NPvm – Complexo Varginha-Guaxupé, unidade paragnáissica migmatítica superior**

Composta principalmente de metassedimentos migmatíticos com anatexia decrescente em direção ao topo. Trata-se de (cordierita)-granada-(sillimanita)-biotita gnaiss bandado com leucossomas a biotita e granada, que gradam, para o topo, a mica xisto com leucossoma a muscovita restrito. Reconhece-se ainda, sobrejacente à unidade metapelítico-

aluminosa basal, sequência metapsamítica com metacarbonato e gnaisse calcissilicático subordinados (HASUI, 2012).

### **NP3sy2l – Granitos tipo I**

Predominam duas associações petrográficas, (leuco) monzogranitos equigranulares, cinza a rosados, com paragêneses peraluminosas; e monzogranitos, quartzo-monzonitos, monzodioritos, granodioritos e sienogranitos, marginalmente peraluminosos, com texturas microporfiríticas, porfiríticas ou porfiróides. Além destas associações principais, localmente ocorrem rochas monzograníticas, marginalmente peraluminosas, mas com texturas equigranulares e rochas dioríticas, com quartzo-dioritos e quartzo-monzodioritos metaluminosos (HASUI, 2012).

### **NP3sy3A – Granitos tipo A**

Predominam rochas alcalinas de alto potássio, ocorrendo alguns termos com tendência subalcalina ou peralcalina. Ocorre uma ampla variedade de rochas, abrangendo dioritos, quartzo-dioritos, monzodioritos, quartzo-monzodioritos, monzonitos, quartzo-monzonitos e monzogranitos ao lado de álcali sienitos, quartzo-álcali sienitos e álcali granitos (HASUI, 2012).

## **3.3 Hidrogeologia**

Quanto à hidrogeologia, a área de estudo está inserida dentro da Unidade Aquífera Cristalino, com aquíferos fraturados, condicionado à presença e magnitude do manto de alteração. Possui importância estratégica, porém com restrições químicas, por possuir elevada alcalinidade, sólidos dissolvidos totais e flúor (DAEE; IPT, IG, 2005). Possui produtividade média baixa, e de baixa a moderada localmente.

## **3.4 Geomorfologia**

A geomorfologia da sub-bacia Atibaia é composta por Cinturões Móveis Neoproterozóicos do Planalto de Amparo, que compreendem extensas áreas representadas por

planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas elaborados em terrenos dobrados e falhados, incluindo metamorfitos e granitóides associados (IBGE, 2009).

### **3.5 Pedologia**

Na área de estudo predomina o tipo de solo da Sub-bacia Atibaia, o Argissolo Vermelho Amarelo (OLIVEIRA, 1987). Os Argissolos são caracterizados pela presença de horizonte diagnóstico B textural, apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo. Apresentam frequentemente baixa atividade da argila, sendo normalmente ácidos (EMBRAPA, 2017).

### **3.6 Uso do Solo**

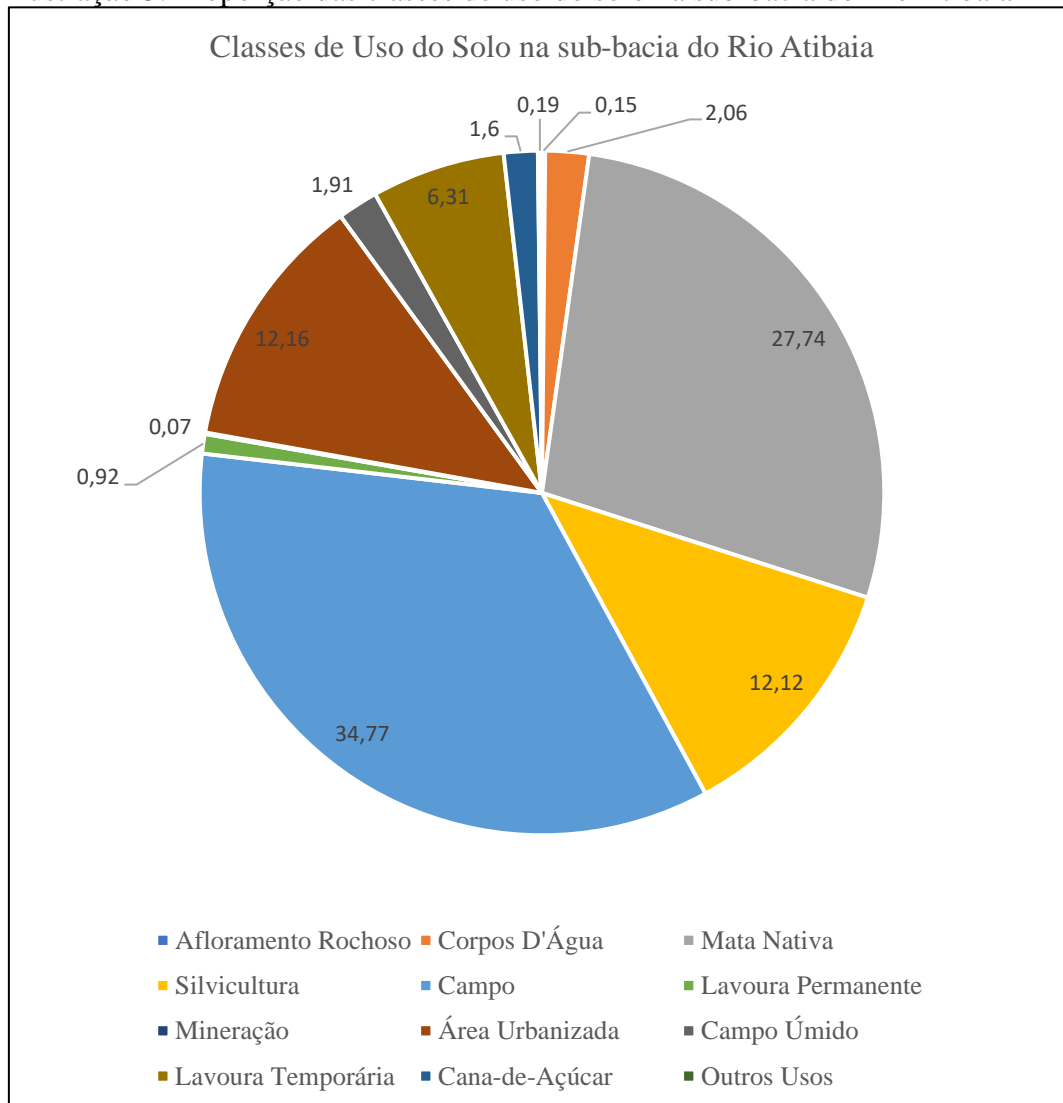
Conforme o Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (2020), ao analisar a distribuição das classes de uso do solo por sub-bacia, observa-se que na sub-bacia do Rio Atibaia predominam as áreas de campo (34,77%). Esse tipo de cobertura é observado em todas as porções da sub-bacia, com maior concentração em altitudes que variam entre 500 e 1.000 m. A classe mata nativa é a segunda mais representativa e recobre 27,74% da área total da sub-bacia. As áreas urbanizadas totalizam 12,16% da área total da sub-bacia Atibaia. Essa classe está mais concentrada nas porções central e oeste da sub-bacia, as quais são caracterizadas, em sua maioria, por altitudes inferiores a 800 m. Os municípios de Campinas, Itatiba, Atibaia e Valinhos (que compreendem a área de estudo desse trabalho) são os que possuem as maiores áreas urbanas nessa sub-bacia, sendo que somados totalizam quase 70% de todas as áreas urbanizadas dessa sub-bacia.

As áreas ocupadas com silvicultura correspondem a 12,12% do total da sub-bacia. Esse tipo de cultivo está mais concentrado na porção leste, com destaque para os locais com altitude superior a 800 m. Os municípios com as maiores áreas de silvicultura são Piracaia, Joanópolis e Nazaré Paulista. As lavouras temporárias recobrem 6,31% da sub-bacia Atibaia. As maiores áreas de lavouras temporárias estão localizadas nas porções central e oeste da sub-bacia, com destaque para os municípios de Atibaia, Bragança Paulista, Itatiba, Campinas e Jarinu.

Os corpos d'água representam 2,06% da área da sub-bacia. Nela destacam-se quatro represas principais: Atibainha, PCH Americana (Represa Salto Grande), Cachoeira e Bairro da Usina, as quais concentram mais de 67% do total de massas d'água mapeadas nessa sub-bacia.

As demais classes são menos representativas e, somadas, representam menos de 5% da área da sub-bacia Atibaia (Ilustração 3).

Ilustração 3: Proporção das classes de uso do solo na sub-bacia do Rio Atibaia



Fonte: Elaborado pela autora com os dados do Relatório Final do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (2020), modificado do Consórcio Profill-Rhama, com base nos dados da EMPLASA (2015) e da HIPARC (2015).

### 3.7 Clima e Temperatura

Quanto ao clima, as temperaturas mais elevadas ocorrem entre outubro e abril, enquanto as menores médias de temperatura ocorrem de maio a agosto. A concentração das precipitações ocorre nos meses de outubro a março, seguidas de médias de chuva bem menores entre os meses de abril a setembro (Tabela 1). A temperatura média varia de 17° a 28° na área de estudo (estação PINO03900, ATIB02035 e ATIB02065).

Tabela 1: Valores de Temperatura da Água medido em °C nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estadística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PINO03900	Seco (inverno)	Média	19,5	20,3	20,2	20,7	21,2	20,1	20,5	20,3	19,6	20,4	21,0
		Desvio Padrão	2,60	2,1	2,5	2,9	0,7	1,9	3,1	2,9	3,0	1,2	3,0
		Mínimo	16,5	18,0	18,5	19,0	20,6	18,5	18,4	17,9	16,3	19,0	17,7
		Máximo	21,0	22,0	23,0	24,0	22,0	22,2	24,0	23,5	22,2	21,3	23,5
	Chuvoso (verão)	Média	25,5	26,3	24,8	25,2	24,0	28,8	24,1	22,8	25,3	24,3	25,7
		Desvio Padrão	2,3	3,2	1,8	2,6	3,6	7,1	0,5	0,9	0,7	1,4	1,5
		Mínimo	23,5	24,0	23,0	23,0	21,0	24,0	23,5	21,8	24,5	22,7	24,7
		Máximo	28,0	30,0	26,5	28,0	28,0	37,0	24,5	23,5	25,8	25,2	27,4
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	19,3	19,5	19,3	19,0	21,0	19,6	19,9	22,9	20,8	21,3	21,3
		Desvio Padrão	1,1	2,5	3,1	2,0	2,0	0,8	2,1	3,3	3,0	1,1	3,7
		Mínimo	18,0	17,0	17,5	17,0	19,0	18,7	17,9	20,1	17,6	20,0	17,6
		Máximo	20,0	22,0	23,0	21,0	23,0	20,3	22,1	26,5	23,5	22,0	25,0
	Chuvoso (verão)	Média	25,2	25,7	24,80	25,0	24,3	25,8	25,3	24,4	26,4	24,8	26,5
		Desvio Padrão	0,3	0,6	1,6	1,7	1,5	1,4	1,0	2,1	2,0	1,2	1,5
		Mínimo	25,0	25,0	23,0	23,0	23,0	24,3	24,3	22,4	24,1	23,5	24,9
		Máximo	25,5	26,0	26,0	26,0	26,0	27,0	26,3	26,6	27,8	25,6	28,0
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	19,5	19,5	18,0	19,7	21,0	19,4	19,8	21,7	20,7	20,8	21,2
		Desvio Padrão	3,1	2,5	2,1	2,1	2,0	1,3	2,2	2,3	3,0	1,0	4,1
		Mínimo	16,0	17,0	17,0	18,0	19,0	18,0	17,9	19,7	17,6	20,0	17,1
		Máximo	22,0	22,0	21,0	22,0	23,0	20,4	22,2	24,2	23,7	22,0	25,4
	Chuvoso (verão)	Média	25,2	25,2	24,2	24,7	24,2	27,1	25,0	23,9	26,6	24,6	26,2
		Desvio Padrão	1,3	0,3	1,9	2,3	1,3	2,5	0,8	1,5	2,4	1,0	1,5
		Mínimo	24,0	25,0	22,0	22,0	23,0	25,3	24,3	22,1	23,9	23,4	24,6
		Máximo	26,5	25,5	25,5	26,0	25,5	30,0	25,8	24,8	28,6	25,4	27,6

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 198 amostras. Unidade de medida: °C. Valores em vermelho: acima do valor máximo permitido de acordo com CONAMA-365.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Organização e Consistência dos dados

O desenvolvimento do trabalho teve como base a pesquisa documental de dados de monitoramento de parâmetros físicos, químicos e biológicos, disponibilizados pela CETESB, através do Sistema de Informação InfoÁguas. Foi realizado reconhecimento inicial das estações existentes no sistema InfoÁguas, analisando a localização das estações existentes nos corpos hídricos de interesse, quais anos de abrangência do monitoramento e quais parâmetros estas estações continham.

Após análise, reunião dos dados e consistência foram escolhidos 6.296 dados (junção de todos os dados para os anos de 2009 a 2019) para utilização na pesquisa, de um total inicial de 16.766 dados. Primeiramente foram selecionadas 6 estações de monitoramento de qualidade de água (3 estações no rio Atibaia e 3 estações no ribeirão dos Pinheiros) para estudo. Após análise temporal e espacial foram utilizadas 3 estações de monitoramento de água para avaliação da qualidade das águas superficiais através da série histórica de dados no rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) e do ribeirão dos Pinheiros (PINO03900), assim localizadas (Tabela 2 e Ilustração 4):

- PINO03900, localizada próximo à foz do Rio Atibaia;
- ATIB02035, localizada na captação de Valinhos, junto a régua do DAEE 3D-007;
- ATIB02065, localizada na captação de Campinas, na divisa de municípios Campinas/Valinhos, junto à régua do DAEE 3D-003.

Também foram utilizados os dados de vazões máximas mensais da estação fluviométrica do Departamento de Águas e Energia Elétrica (estação 3D-007) e informações das estações de medida de vazão média no exultório da plataforma SSD – da Agência das Bacias PCJ (Tabela 3).

Tabela 2: Informações sobre a nomenclatura das estações de monitoramento da qualidade de água, corpo hídrico pertencente e coordenadas de localização

Nomenclatura da estação de monitoramento da qualidade de água	Corpo hídrico	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
PINO03900	Ribeirão dos Pinheiros	22°54'53"	46°57'39"
ATIB02035	Rio Atibaia	22°56'16"	46°56'01"
ATIB02065	Rio Atibaia	22°54'18"	46°58'26"
Nomenclatura da estação fluviométrica	Corpo hídrico	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
3D-007	Rio Atibaia	22°55'42"	46°56'21"

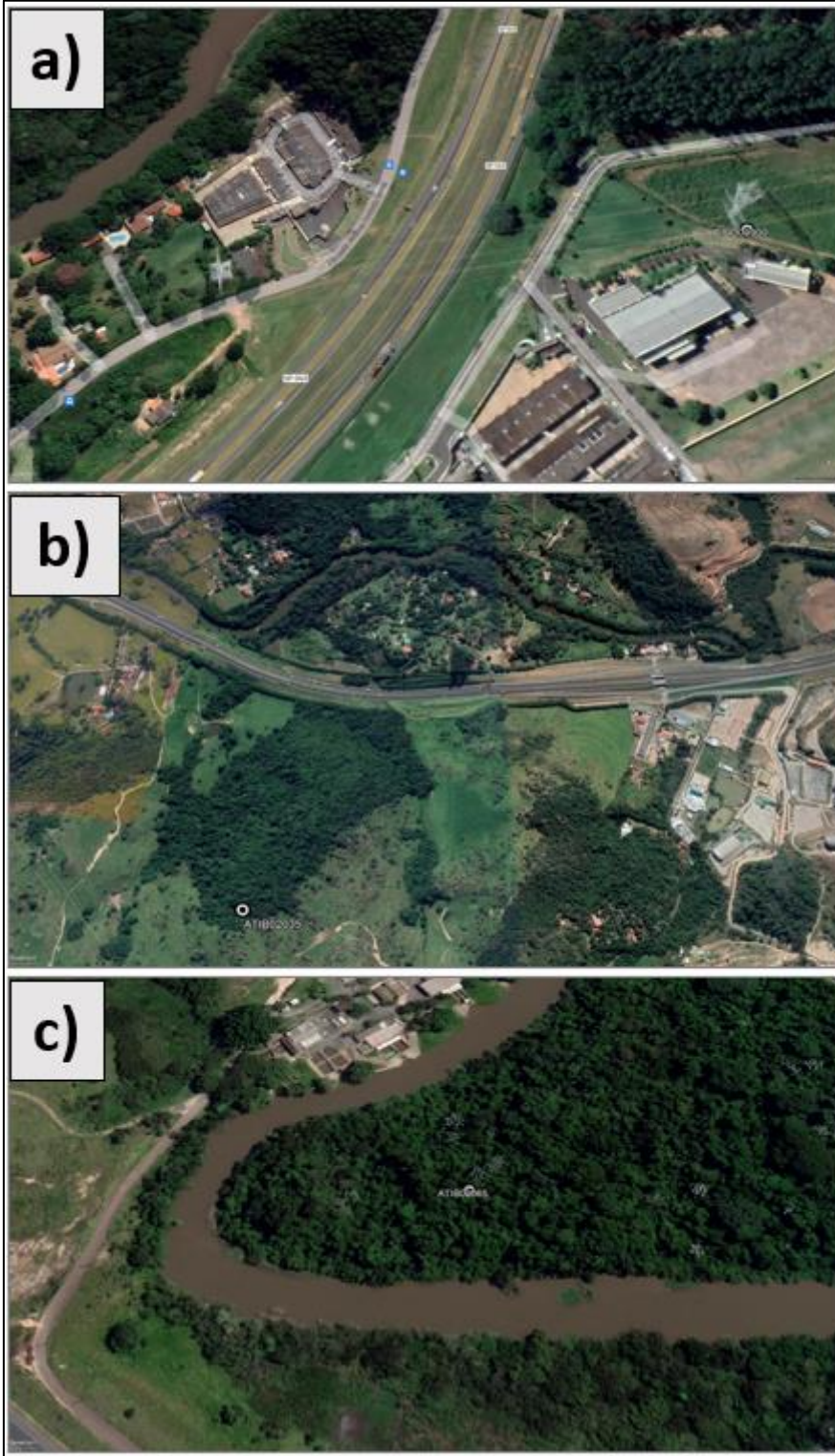
Fonte: Modificado pela autora dos dados do Sistema InfoÁguas.

Tabela 3: Informações das estações de medida de vazão média no exultório, corpo hídrico pertencente e medidas de vazão

Estação de medida	Corpo hídrico	Vazão média no exultório (m <sup>3</sup> /s)
ATIB138	Ribeirão dos Pinheiros	0.596
ATIB198	Ribeirão dos Pinheiros	0.586
ATIB056	Rio Atibaia, antes do desague do ribeirão dos Pinheiros	3.844
ATIB137	Rio Atibaia, antes do desague do ribeirão dos Pinheiros	3.763
ATIB053	Rio Atibaia, após o desague do ribeirão dos Pinheiros	1.572

Fonte: Modificado pela autora dos dados da plataforma SSD da Agência de Bacias PCJ.

Ilustração 4: Localização das Estações de Monitoramento da Qualidade de Água



Fonte: Retirada do Google Earth (2022).

#### 4.2 Metodologia de coleta e análise dos parâmetros utilizados

A metodologia analítica dos parâmetros físico, químicos e microbiológicos utilizados na pesquisa está descrita em Anexo e seguem o Manual de Normas de Coleta da



Cetesb (Cetesb, 2019). A amostragem foi realizada pela Cetesb no intervalo bimensal, nos meses do período chuvoso – verão (nos meses de janeiro, março e novembro) e no período seco – inverno (nos meses de maio, julho e setembro).

### **4.3 Avaliação do Enquadramento de Classes**

Cada uso de água exige um nível de qualidade diferente, e, portanto, a classe de enquadramento deve estar de acordo com o uso preponderante mais exigente. Os três usos consuntivos mais representativos nas Bacias PCJ, e para os corpos hídricos em estudo, são abastecimento público, industrial e irrigação. Levando-se em consideração os múltiplos usos da água nas Bacias PCJ e as classes de enquadramento estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces, realizou-se uma análise dos usos preponderantes em cada área de contribuição e as respectivas classes de enquadramento exigidas para atender aos mesmos.












A análise da condição atual da qualidade das águas no Ribeirão dos Pinheiros e Rio Atibaia considerou os resultados de análises físicas, químicas e biológicas da Rede Básica de Monitoramento da CETESB. Os dados de qualidade foram avaliados temporal (nos anos de 2009 a 2019) e espacialmente (trecho do Ribeirão dos Pinheiros e Rio Atibaia antes e depois do Ribeirão dos Pinheiros) considerando os seguintes parâmetros para a análise: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Nitrito, Oxigênio Dissolvido (OD) e Coliformes Termotolerantes (*Escherichia coli*), devido a sua importância como subsídio às discussões referentes ao Enquadramento. Os valores das amostras dos parâmetros mencionados foram analisados considerando sua equivalência às classes estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357/2005 (Ilustração 5) e as compatibilidade das classes de enquadramento para os múltiplos usos das águas doces (Ilustração 6).

Ilustração 5: Padrões de qualidade por classes, referentes aos parâmetros analisados para o Enquadramento de Classes

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	≥ 6,0	≥ 5,0	≥ 4,0	<2,0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	< 200	< 1000	< 4000	>4000
DBO <sub>5,20</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	≤ 3,0	≤ 5,0	≤ 10,0	>10
Nitrato	mg/L N	≤10,0	Idem Classe 1	Idem Classe 1	>10,0
Nitrito	mg/L N	≤1,0	Idem Classe 1	Idem Classe 1	>1,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	3,7 (pH < 7,5)	Idem Classe 1	13,3 (pH < 7,5)	
		2,0 (7,5 < pH < 8)		5,6 (7,5 < pH < 8)	
		1,0 (8 < pH < 8,5)		2,2 (8 < pH < 8,5)	
		0,5 (pH > 8,5)		1,0 (pH > 8,5)	
Fósforo Total	mg/L P	Lêntico ≤ 0,02	Lêntico ≤ 0,03	Lêntico ≤ 0,05	
		Interm ≤ 0,025	Interm ≤ 0,05	Interm ≤ 0,075	
		Lótico ≤ 0,1	Lótico ≤ 0,1	Lótico ≤ 0,15	

Fonte: Modificado da elaboração original feita pelo Consórcio Profill-Rhama com base na Resolução CONAMA n° 357/2005. Obs.: Na Classe Especial, deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.

Ilustração 6: Compatibilidade das classes de enquadramento para os múltiplos usos das águas doces, segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005

USOS DAS ÁGUAS DOCES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas 		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas 			Classe mandatória em Terra Indígenas			
Recreação de contato primário 						
Aquicultura 						
Abastecimento para consumo humano 		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional	
Recreação de contato secundário 						
Pesca 						
Irrigação 			Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortaliças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais 						
Navegação 						
Harmonia paisagística 						

Fonte: Modificado pela autora com base nos dados de ANA (2013).

#### 4.4 Índice de Qualidade da Água (IQA)

O IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice. A seguinte fórmula foi utilizada:

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

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

$qi$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,  $wi$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n wi = 1$$

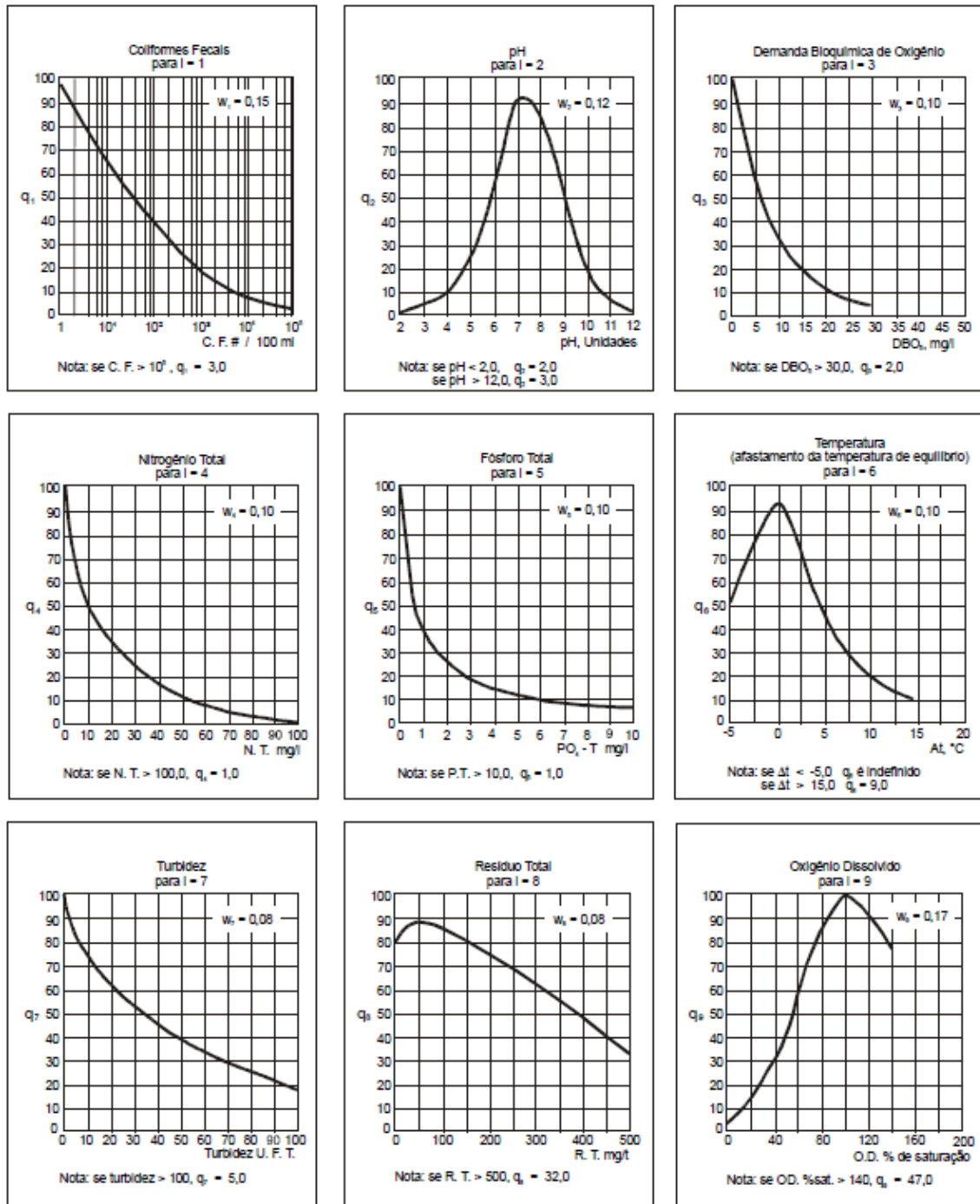
Em que:

$n$ : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Os parâmetros utilizados foram: Coliformes Termotolerantes-*E.Coli*, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (FT), Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido (OD). No caso de não se dispor do valor de alguma das nove variáveis, o cálculo do IQA é inviabilizado (Cetesb, 2019, no Anexo 02 deste documento é descrito o peso de cada parâmetro).

Cada parâmetro utilizado, possui curvas de variação da qualidade das águas, de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro. Estas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente, são apresentados na Ilustração 7.

Ilustração 7: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas para a composição do Índice de Qualidade de Água (IQA)



Fonte: Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório Final.

Foram selecionadas um total amostral de 245 amostras das estações de monitoramento de qualidade de água estudadas (Estação PINO03900 – ribeirão dos Pinheiros e Estações ATIB02035 e ATIB02065 – rio Atibaia), as quais contém dados dos 9 parâmetros utilizados no cálculo do Índice de Qualidade das Águas dos anos de 2009 a 2019, no período chuvoso – verão e seco - inverno. A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade

das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, com níveis de qualidade classificados dentro da escala de variação apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Escala de variação e classificação dos níveis de Qualidade para o Índice de Qualidade das Águas (IQA)

<b>Índice de Qualidade de Água</b>	
<b>Ótimo</b>	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$
<b>Bom</b>	$52 \leq \text{IQA} < 80$
<b>Aceitável</b>	$37 \leq \text{IQA} < 52$
<b>Ruim</b>	$20 \leq \text{IQA} < 37$
<b>Péssima</b>	$0 \leq \text{IQA} < 20$

Fonte: Adaptado de Cetesb, 2019.

#### 4.5 Análise estatística

As amostras de cada estação de monitoramento de qualidade de água foram tratadas estatisticamente no programa *Origin* versão 2018, no qual foi realizada estatística descritiva com análise dos dados médios, desvios padrões amostrais, máximos e mínimos. E, em adição, foi realizado análise da correlação de Pearson dos dados nos parâmetros físicos, químicos e biológicos de interesse.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Avaliação do Enquadramento de Classes da Qualidade da Água

A análise dos índices de Enquadramento de qualidade do ribeirão dos Pinheiros e rio Atibaia no período monitorado de 2009 a 2019, com base nas classes equivalente da Resolução CONAMA n° 357/2005, indicou que os parâmetros que mais comprometem a qualidade dos corpos hídricos são Oxigênio dissolvido, Coliformes Termotolerantes/*E. Coli* e DBO, os quais apresentam uma tendência temporal de piora (Todos os gráficos referentes em Anexo).

O oxigênio dissolvido (OD) nas águas do ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) piora da Classe 3 para a classe 4 os anos de 2015 e 2019. Nas águas do rio Atibaia antes do Pinheiros (ATIB02035) mantém-se na Classe 3 em todo período monitorado e nas águas do Rio Atibaia após o ribeirão dos Pinheiros (ATIB02065) mantém-se na Classe 3, exceto no ano de 2015 com 15% das amostras enquadradas na Classe 4.

Os níveis *E.Coli* nas águas do ribeirão dos Pinheiros mantém-se na Classe 4 em todo período monitorado, exceto nos anos de 2009,2010,2013 e 2014 com 18% das amostras desses anos na Classe 3. Já as águas do rio Atibaia antes do ribeirão dos Pinheiros possuem enquadramento variado na Classe 3 e 4, estando totalmente enquadrada na Classe3 nos anos de 2014 e 2019. E as águas do Rio Atibaia após o ribeirão dos Pinheiros variam o enquadramento entre a Classe 3 e 4.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) enquadra-se nas Classe 3 nos anos de 2009,2012 e 2018 e varia entre Classe 3 e 4 nos outros anos de monitoramento. Nas águas do rio Atibaia antes do ribeirão dos Pinheiros (ATIB02035) enquadra-se na Classe 3, exceto no ano de 2015 com 15% das amostras enquadradas na Classe 4; bem como nas águas após o Pinheiros enquadrada na Classe 3, exceto 18% das amostras em 2014 e 15% em 2015.

Os parâmetros Nitrito e Nitrato enquadram-se na Classe 1 de qualidade, e não indicam piora na qualidade das águas. Já o Nitrogênio Amoniacal, apresentou uma tendência de piora da Classe 1 para Classe 2 e posterior enquadramento na Classe 3, bem como os níveis de Fósforo, que apresentou piora da Classe 1 para a Classe 3, nas águas do ribeirão dos Pinheiros. E mantém-se enquadrado na Classe 1 nas águas do rio Atibaia, antes e depois do ribeirão dos Pinheiros.

Nos dados monitorados e analisados no Relatório da Cetesb (2019) de qualidade da água dessa sub-bacia, entre 2009 e 2015, observa-se que os parâmetros Coliformes

Termotolerantes/*E. Coli* e Fósforo Total apresentaram mais da metade dos valores enquadrados na Classe 4. Os valores de DBO e OD foram enquadrados majoritariamente em condições equivalentes às Classes 1 e 2, enquanto o Nitrogênio Amoniaco apresenta grande parte dos valores enquadrados na Classe 1.

O parâmetro *E. Coli* analisado na escala de sub-bacia (Relatório Cetesb, 2019) e no presente estudo, possui enquadramento equivalente dentro da Classe 4. Assim também, Nitrito e Nitrato possuem enquadramentos iguais para ambas escalas temporais de análise. Já os parâmetros DBO, Oxigênio Dissolvido e Nitrogênio Amoniaco são melhores enquadrados na escala de sub-bacia, em contraste com o enquadramento demonstrado nesse estudo. O parâmetro Fósforo possui melhor qualidade no monitoramento desse estudo, do que na escala de sub-bacia.

Observa-se que, a classe definida pelos usos preponderantes mais restritivos (Classe 1 e 2) indica dificuldades em compatibilizar o enquadramento com a qualidade atual dos corpos hídricos (em geral, enquadrados na Classe 3), especialmente para os parâmetros OD, Coliformes e DBO, os quais são os parâmetros que se apresentam na Classe 4. Essas incompatibilidades quanto ao enquadramento da qualidade para o uso nas áreas de estudo podem ocorrer principalmente pela localização destas em áreas urbanas ou nas proximidades. Analisando os usos propostos pela CETESB para cada classe enquadrada, as águas analisadas nesse estudo podem ser usadas para consumo somente após tratamento avançado.

Com a análise do Enquadramento nas condições de Qualidade de água na CONAMA 357, onde os padrões de qualidade estabelecem limites individuais para cada substância, em cada classe foram avaliadas as variáveis do IQA dentro das normas da CONAMA 357. Conforme observado no Enquadramento de Classes da CONAMA, os corpos hídricos estudados foram analisados segundo o Art. 16º da CONAMA 357 as quais incluem as águas doces de Classe 3, considerando uma análise generalizada e não parâmetro por parâmetro. É perceptível que o enquadramento de Classes de Qualidade varia de parâmetro para parâmetro, dessa forma a avaliação da qualidade deve ser complementada com outros índices que possam subsidiar o entendimento das variáveis e fatores de influência da qualidade de forma generalizada e em conjunto, sem mudar de classe a depender do parâmetro medido. Para esse fim, pode ser utilizado o Índice de Qualidade das Águas, o qual será abordado na sessão seguinte.

## 5.2 Análise dos parâmetros físico-químicos de influência no IQA

### Coliformes Termotolerantes

Os valores de coliformes termotolerantes, aqui representado pela *E. Coli*, para os usos preponderantes e consumo humano, não deverá exceder um limite de 4000 coliformes por 100 mililitros, de acordo com a CONAMA-365. Tanto as águas do ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900), quanto as águas do rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) encontram-se, em geral, fora do padrão para uso e de difícil compatibilidade de qualidade para usos preponderantes e consumo humano.

As águas do ribeirão do Pinheiros (estação PINO03900) possuem maiores níveis de coliformes no inverno (período seco) nos anos de 2012 e de 2015 a 2017. Este padrão é visto de forma oposta, com maiores níveis de coliformes no verão (período chuvoso), nos anos de 2009 a 2011, 2013 a 2014 e 2018 a 2019.

Nas águas do rio Atibaia antes do ribeirão dos Pinheiros (estação ATIB02035), os maiores níveis de coliformes são observados no verão (período chuvoso) nos anos de 2009 a 2013 e 2015 a 2018. E com os maiores níveis de coliformes são observados no inverno (período seco), nos anos 2014 (ano de crise hídrica) e 2019.

Após o ribeirão dos Pinheiros (estação ATIB02065) às águas do rio Atibaia possuem os maiores níveis de coliformes observados no verão (período chuvoso) nos anos de 2010 a 2012, e de 2014 a 2019. E de forma contrária, com os maiores níveis de coliformes sendo observados no inverno (período seco), nos anos 2009, 2013 e 2015 (Tabela 5).



Tabela 5: Valores de Coliformes Termotolerantes medido em UFC/100mL nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação	Pluviometria	Estatística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PIN003900	Seco (inverno)	Média	69000	65333	32100	51333	35566	23866	136666	104666	118000	19600	118000
		Desvio Padrão	5,48x10 <sup>3</sup>	9,95x10 <sup>4</sup>	3,16x10 <sup>4</sup>	2,02x10 <sup>4</sup>	2,85x10 <sup>4</sup>	2,74x10 <sup>4</sup>	8,09x10 <sup>4</sup>	9,24x10 <sup>3</sup>	3,94x10 <sup>4</sup>	1,68x10 <sup>4</sup>	1,25x10 <sup>5</sup>
		Mínimo	11000	2000	8300	33000	3700	3600	86000	94000	74000	8800	22000
		Máximo	120000	180000	68000	73000	53000	55000	230000	110000	150000	39000	260000
	Chuvoso (verão)	Média	297466	230666	260000	32666	43666	109333	24300	52333	93333	44666	543333
		Desvio Padrão	3,47x10 <sup>5</sup>	2,38x10 <sup>5</sup>	7,81x10 <sup>4</sup>	1,50x10 <sup>4</sup>	1,70x10 <sup>4</sup>	1,48x10 <sup>5</sup>	2,57x10 <sup>4</sup>	2,31x10 <sup>3</sup>	2,52x10 <sup>4</sup>	2,10x10 <sup>4</sup>	3,71x10 <sup>5</sup>
		Mínimo	2400	22000	210000	24000	31000	21000	9100	51000	7000	23000	120000
		Máximo	680000	490000	350000	50000	63000	280000	54000	55000	120000	65000	810000
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	2826	2092	3316	1493	4053	923	2163	1013	1408	794	1455
		Desvio Padrão	2,15x10 <sup>3</sup>	3,21x10 <sup>3</sup>	4,59x10 <sup>3</sup>	1,06x10 <sup>3</sup>	5,16x10 <sup>3</sup>	8,93x10 <sup>3</sup>	2,98x10 <sup>3</sup>	9,06x10 <sup>2</sup>	1,65x10 <sup>3</sup>	7,84x10 <sup>2</sup>	1,48x10 <sup>3</sup>
		Mínimo	480	236	270	480	760	150	360	220	276	340	410
		Máximo	4700	5800	8600	2600	10000	1900	5500	2000	3300	1700	2500
	Chuvoso (verão)	Média	2966	11033	7566	4496	10050	569	3166	4006	5936	3800	922
		Desvio Padrão	1,63x10 <sup>3</sup>	1,23x10 <sup>4</sup>	5,58x10 <sup>3</sup>	5,70x10 <sup>3</sup>	1,74x10 <sup>4</sup>	6,46x10 <sup>2</sup>	2,67x10 <sup>3</sup>	3,77x10 <sup>3</sup>	7,90x10 <sup>3</sup>	9,85x10 <sup>2</sup>	6,57x10 <sup>3</sup>
		Mínimo	1100	1700	1300	390	650	75	700	520	510	2700	288
		Máximo	4100	25000	12000	11000	27000	1300	6000	8000	15000	4600	1600
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	19500	2146	2533	2533	14433	5143	66366	6933	3133	2023	5326
		Desvio Padrão	2,73x10 <sup>4</sup>	2,74x10 <sup>3</sup>	1,64x10 <sup>3</sup>	1,33x10 <sup>3</sup>	9,34x10 <sup>3</sup>	7,67x10 <sup>3</sup>	1,07x10 <sup>4</sup>	3,93x10 <sup>3</sup>	1,76x10 <sup>3</sup>	2,32x10 <sup>3</sup>	4,15x10 <sup>3</sup>
		Mínimo	3600	300	1300	1400	7300	670	3000	2500	1300	570	580
		Máximo	51000	5300	4400	4000	25000	14000	190000	10000	4800	4700	8300
	Chuvoso (verão)	Média	10333	19633	15400	7066	4900	11833	5066	28500	21200	4933	6733
		Desvio Padrão	1,21x10 <sup>4</sup>	1,36x10 <sup>4</sup>	1,39x10 <sup>4</sup>	8,64x10 <sup>3</sup>	4,46x10 <sup>3</sup>	9,95x10 <sup>3</sup>	4,18x10 <sup>3</sup>	3,77x10 <sup>4</sup>	1,42x10 <sup>4</sup>	1,75x10 <sup>3</sup>	1,54x10 <sup>3</sup>
		Mínimo	1100	3900	4200	1300	1700	3900	1900	5400	6600	3200	5700
		Máximo	24000	28000	31000	17000	10000	23000	9800	72000	35000	6700	8500

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 197 amostras. Unidade de medida: UFC/100mL. Valores em vermelho: acima do valor máximo permitido de acordo com CONAMA-365.

## pH

Os valores de pH observados no período de análise (anos de 2009 a 2019) encontram-se dentro do valor permitido da CONAMA-365 (6,0 a 9,0) para águas doces enquadradas na Classe 3 (classe média observada). Há uma homogeneidade no pH analisado, tanto temporalmente (no período monitorado de 2009 a 2019), quanto no período seco e chuvoso e, espacialmente nas águas do rio Atibaia antes e depois do Ribeirão dos Pinheiros e nas águas do ribeirão dos Pinheiros (Tabela 6). Dessa forma, não há influência do pH do ribeirão dos Pinheiros no rio Atibaia.

Tabela 6: Valores de Potencial hidrogeniônico (pH) medido em U. pH nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estatística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
			PINO03900	Seco (inverno)	Média	7,23	7,23	7,23	7,27	7,27	7,33	7,23	7,27
		Desvio Padrão	0,40	0,15	0,11	0,06	0,06	0,15	0,12	0,06	0,32	0,15	0,19
		Mínimo	6,80	7,10	7,10	7,20	7,20	7,20	7,10	7,20	6,90	7,10	7,02
		Máximo	7,60	7,40	7,30	7,30	7,30	7,50	7,30	7,30	7,50	7,40	7,40
	Chuvoso (verão)	Média	7,20	7,10	7,03	7,27	7,43	7,40	7,27	7,20	7,33	7,45	7,37
		Desvio Padrão	0,36	0,10	0,32	0,15	0,15	0,00	0,25	0,26	0,06	0,11	0,10
		Mínimo	6,90	7,00	6,80	7,10	7,30	7,40	7,00	7,00	7,30	7,37	7,30
		Máximo	7,60	7,20	7,40	7,40	7,60	7,40	7,50	7,50	7,40	7,57	7,48
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	6,90	6,77	6,90	6,87	6,77	6,77	7,00	7,07	6,87	7,03	7,04
		Desvio Padrão	0,20	0,15	0,17	0,06	0,21	0,12	0,10	0,06	0,35	0,15	0,13
		Mínimo	6,70	6,60	6,80	6,80	6,60	6,70	6,90	7,00	6,50	6,90	6,90
		Máximo	7,10	6,90	7,10	6,90	7,00	6,90	7,10	7,10	7,20	7,20	7,16
	Chuvoso (verão)	Média	7,00	6,93	6,83	7,03	6,73	6,97	6,60	6,97	7,13	7,52	7,44
		Desvio Padrão	0,26	0,25	0,21	0,06	0,12	0,15	0,38	0,15	0,12	0,18	0,12
		Mínimo	6,80	6,70	6,60	7,00	6,60	6,80	6,60	6,80	7,00	7,36	7,30
		Máximo	7,30	7,20	7,00	7,10	6,80	7,10	7,30	7,10	7,20	7,72	7,54
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	6,73	6,77	6,83	6,93	6,80	6,80	6,97	6,97	6,90	7,00	7,02
		Desvio Padrão	0,15	0,06	0,15	0,12	0,10	0,10	0,06	0,12	0,36	0,20	0,12
		Mínimo	6,60	6,70	6,70	6,80	6,70	6,70	6,90	6,90	6,60	6,80	6,90
		Máximo	6,90	6,80	7,00	7,00	6,90	6,90	7,00	7,10	7,30	7,20	7,13
	Chuvoso (verão)	Média	7,10	6,90	6,73	6,97	5,80	6,93	6,90	6,97	7,10	7,58	7,24
		Desvio Padrão	0,17	0,30	0,06	0,15	0,17	0,06	0,36	0,06	0,10	0,22	0,21
		Mínimo	7,00	6,60	6,70	6,80	6,60	6,90	6,60	6,90	7,00	7,44	7,00
		Máximo	7,30	7,20	6,80	7,10	6,90	7,00	7,30	7,00	7,20	7,83	7,37

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 198 amostras. Unidade de medida: U.pH. Valores em vermelho: acima do valor máximo permitido de acordo com CONAMA-365.

### **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A análise da demanda bioquímica de oxigênio demonstra valores fora do máximo permitido (10 mg/L) mais presentes no ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) do que no rio Atibaia (Estações ATIB02035 e ATIB02065). Percebe-se que para o mesmo ano amostrado, a DBO do trecho do rio Atibaia antes do ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02035) é sempre menor em relação ao trecho do rio Atibaia após o ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02065), tanto no período seco (estação inverno) quanto no período chuvoso (estação verão). Essa concentração demonstra uma influência do teor de matéria orgânica dos efluentes do ribeirão dos Pinheiros chegando no rio Atibaia (Tabela 7).

Tabela 7: Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estadística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PINO03900	Seco (inverno)	Média	7,00	14,67	6,34	18,34	8,34	8,67	9,67	15,67	8,00	6,67	16,67
		Desvio Padrão	1,73	15,01	1,53	9,50	1,15	1,15	3,21	10,50	1,00	2,89	3,51
		Mínimo	6,00	6,00	3,00	9,00	7,00	8,00	6,00	5,00	7,00	5,00	13,00
		Máximo	9,00	32,00	5,00	28,00	9,00	10,00	12,00	26,00	9,00	10,00	20,00
	Chuvoso (verão)	Média	7,66	16,00	340,67	7,67	7,34	14,67	7,34	3,67	5,00	6,34	64,34
		Desvio Padrão	2,52	16,46	5,71x10 <sup>2</sup>	3,21	2,08	0,58	1,53	1,15	1,00	2,31	8,56x10 <sup>1</sup>
		Mínimo	5,00	6,00	8,00	4,00	5,00	14,00	6,00	3,00	4,00	5,00	4,00
		Máximo	10,00	35,00	1000,00	10,00	9,00	15,00	9,00	5,00	6,00	9,00	166,00
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	2,67	2,00	2,00	2,00	4,34	3,67	2,33	2,00	2,00	2,34	2,67
		Desvio Padrão	1,15	0,00	0,00	0,00	1,15	1,53	0,58	0,00	0,00	0,58	1,15
		Mínimo	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
		Máximo	4,00	2,00	2,00	2,00	5,00	5,00	3,00	2,00	2,00	3,00	4,00
	Chuvoso (verão)	Média	2,34	2,00	2,34	2,00	4,00	3,33	8,67	2,00	2,67	3,34	2,67
		Desvio Padrão	0,58	0,00	0,58	0,00	2,00	1,53	9,87	0,00	1,15	0,58	1,15
		Mínimo	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00
		Máximo	3,00	2,00	3,00	2,00	6,00	5,00	20,00	2,00	4,00	4,00	4,00
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	4,00	2,67	3,00	4,00	5,67	9,34	17,67	3,00	2,67	3,67	3,67
		Desvio Padrão	2,00	1,15	1,00	1,0	2,08	5,51	22,81	1,73	0,58	0,58	1,53
		Mínimo	2,00	2,00	2,00	3,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	3,00	2,00
		Máximo	6,00	4,00	4,00	5,00	8,00	15,00	44,00	5,00	3,00	4,00	5,00
	Chuvoso (verão)	Média	3,67	2,00	3,34	2,34	4,00	4,67	3,00	3,00	3,33	3,67	5,00
		Desvio Padrão	0,58	0,00	0,58	0,58	1,73	0,58	1,00	1,00	1,15	0,58	1,00
		Mínimo	3,00	2,00	3,00	2,00	3,00	4,00	2,00	2,00	2,00	3,00	4,00

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 198 amostras. Unidade de medida: mg/L. Valores em vermelho: acima do valor máximo permitido de acordo com CONAMA-365.

## Nitrogênio Total

A concentração de nitrogênio total é maior nas águas do ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900), tanto no período seco (inverno) quanto no período chuvoso (verão). As águas do rio Atibaia possuem menor teor antes do desague do ribeirão dos Pinheiros, aumentando (em todos os anos – de 2009 a 2019) no trecho do Rio Atibaia após o ribeirão dos

Pinheiros, afetando diretamente a concentração após o desague do ribeirão dos Pinheiros, tanto no período seco (inverno), quanto no período chuvoso (verão). (Tabela 8).

Tabela 8: Valores de Nitrogênio total (NT) medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estatística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PINO03900	Seco (inverno)	Média	4,34	7,34	11,67	9,00	10,00	18,00	13,00	9,34	9,34	13,34	17,14
		Desvio Padrão	2,89	2,08	4,04	2,00	4,00	4,58	8,72	1,53	3,21	4,04	5,66
		Mínimo	1,00	5,00	8,00	7,00	6,00	13,00	3,00	3,00	7,00	9,00	11,71
		Máximo	6,00	9,00	16,00	11,00	14,00	22,00	19,00	11,00	13,00	17,00	23,00
	Chuvoso (verão)	Média	4,67	3,00	4,10	6,34	9,34	21,00	14,67	6,34	8,38	6,00	8,74
		Desvio Padrão	4,62	1,00	3,85	5,86	3,21	8,72	2,89	4,04	2,11	1,73	9,53
		Mínimo	2,00	2,00	0,30	2,00	7,00	15,00	13,00	2,00	6,00	5,00	2,00
		Máximo	10,00	4,00	8,00	13,00	13,00	31,00	18,00	10,00	10,00	8,00	15,48
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	0,50	0,53	0,67	0,67	0,73	1,17	1,00	0,57	0,70	1,00	0,39
		Desvio Padrão	0,20	0,15	0,29	0,31	0,23	0,74	0,00	0,31	0,20	0,87	0,10
		Mínimo	0,30	0,40	0,30	0,40	0,60	0,60	1,00	0,30	0,50	0,50	0,30
		Máximo	0,70	0,70	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,90	0,90	2,00	0,50
	Chuvoso (verão)	Média	0,47	0,34	1,57	0,75	0,80	0,63	1,34	0,80	1,31	0,74	0,67
		Desvio Padrão	0,15	0,15	0,75	0,17	0,10	0,32	0,58	0,20	0,88	0,21	0,29
		Mínimo	0,30	0,20	0,70	0,57	0,70	0,40	1,00	0,60	0,80	0,50	0,50
		Máximo	0,60	0,50	2,00	0,90	0,90	1,00	2,00	1,00	2,32	0,90	1,00
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	0,87	0,93	1,30	1,33	1,30	2,67	3,33	1,67	1,67	2,00	1,44
		Desvio Padrão	0,12	0,06	0,61	0,58	0,61	0,58	0,58	0,58	0,58	0,00	0,66
		Mínimo	0,80	0,90	0,90	1,00	0,90	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00
		Máximo	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,20
	Chuvoso (verão)	Média	0,90	0,60	1,00	1,07	0,80	2,34	1,67	1,67	1,47	0,87	1,32
		Desvio Padrão	0,95	0,20	0,00	0,31	0,17	1,53	0,58	0,58	0,83	0,06	0,59
		Mínimo	0,30	0,40	1,00	0,90	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,96
		Máximo	0,20	0,80	1,00	1,43	1,00	4,00	2,00	2,00	2,43	0,90	2,00

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 197 amostras. Unidade de medida: mg/L.

## Fósforo Total

A concentração de fósforo total amostrada é maior nas águas do ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) do que no rio Atibaia (Estações ATIB02035 e ATIB02065), possuindo em valores médios fora do padrão permitido (0,15 mg/L) para ambiente lótico

(classificação do ribeirão dos Pinheiros e rio Atibaia) tanto no verão quanto no inverno, possuindo em média valores maiores de fósforo no período seco (estação inverno) (Tabela 9), demonstrando um influência tanto das águas do ribeirão dos Pinheiros nas águas do rio Atibaia, quanto da sazonalidade.

Tabela 9: Valores de Fósforo total (NT) medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estatística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PINO03900	Seco (inverno)	Média	0,90	0,60	0,45	0,29	0,46	0,57	0,57	0,57	0,40	0,54	0,86
		Desvio Padrão	0,10	0,10	0,43	0,19	0,21	0,25	0,42	0,15	0,10	0,32	0,23
		Mínimo	0,80	0,50	0,04	0,16	0,30	0,30	0,10	0,40	0,30	0,30	0,60
		Máximo	1,00	0,70	0,90	0,52	0,70	0,80	0,90	0,70	0,50	0,90	1,00
	Chuvoso (verão)	Média	0,90	0,40	0,39	0,18	0,25	0,67	0,44	0,27	0,30	0,27	2,72
		Desvio Padrão	0,17	0,10	0,30	0,19	0,12	0,29	0,15	0,12	0,17	0,06	3,72
		Mínimo	0,70	0,30	0,17	0,02	0,14	0,50	0,30	0,20	0,20	0,20	0,30
		Máximo	1,00	0,50	0,60	0,38	0,37	1,00	0,60	0,40	0,50	0,30	7,00
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	0,40	0,90	0,09	0,05	0,07	0,07	0,06	0,04	0,05	0,08	0,07
		Desvio Padrão	0,17	0,96	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
		Mínimo	0,20	0,20	0,08	0,01	0,03	0,06	0,05	0,03	0,04	0,06	0,06
		Máximo	0,50	2,00	0,10	0,08	0,10	0,08	0,07	0,05	0,06	0,10	0,08
	Chuvoso (verão)	Média	0,50	0,40	0,11	0,06	0,05	0,07	0,38	0,08	0,12	0,17	0,13
		Desvio Padrão	0,30	0,36	0,08	0,06	0,01	0,02	0,54	0,03	0,07	0,06	0,06
		Mínimo	0,20	0,10	0,04	0,01	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,10	0,08
		Máximo	0,80	0,80	0,20	0,12	0,06	0,10	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	0,34	0,37	0,08	0,05	0,12	0,14	0,15	0,12	0,09	0,17	0,14
		Desvio Padrão	0,15	0,29	0,03	0,04	0,07	0,06	0,07	0,07	0,01	0,06	0,06
		Mínimo	0,20	0,20	0,05	0,03	0,07	0,10	0,10	0,07	0,08	0,10	0,10
		Máximo	0,50	0,70	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20
	Chuvoso (verão)	Média	0,70	0,47	0,38	0,09	0,08	0,17	0,09	0,14	0,17	0,14	0,17
		Desvio Padrão	0,26	0,46	0,54	0,08	0,04	0,06	0,01	0,06	0,06	0,06	0,11
		Mínimo	0,50	0,20	0,02	0,01	0,04	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
		Máximo	1,00	1,00	1,00	0,15	0,13	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 195 amostras. Unidade de medida: mg/L. Valores em vermelho: acima do valor máximo permitido de acordo com CONAMA-365.

## Turbidez

O nível de turbidez das amostras das estações de monitoramento da qualidade de água possui valores acima do máximo permitido (100 UNT) tanto nas águas do ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) quanto nas águas do rio Atibaia (Estação ATIB02035 e

ATIB02065) tanto antes do ribeirão dos Pinheiros quanto após (Tabela 10), o que é esperado em ambiente lótico. A turbidez das águas do ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) possui correlação positiva direta no período chuvoso (estação verão) com os parâmetros: ferro (0,89), cobre (0,83), zinco (0,81), clorofila (0,76), fósforo (0,70), fluoreto (0,61), manganês (0,60), bário (0,58) e sulfato (0,52). Já no período seco (estação inverno) as correlações são identificadas de forma positiva direta com os elementos chumbo (0,83) e cádmio (0,77).

A relação mútua entre os parâmetros foi investigada com a ajuda da matriz de correlação de Pearson. Para o trecho do rio Atibaia antes do ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02035) as correlações identificadas são positivas no período chuvoso (estação verão) com os parâmetros: alumínio (0,77) e ferro (0,70). De igual modo, no período seco (estação inverno) possui correlação com menor com alumínio (0,50) e maior com o ferro (0,83).

Para o trecho do rio Atibaia após o ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02065) foram identificadas correlações positivas no período chuvoso (estação verão) com os parâmetros: ferro (0,90), alumínio (0,89), bário (0,62), manganês (0,53); e negativa com sulfato (-0,70), cobre (-0,54) e clorofila (-0,50). No período seco (estação inverno) as correlações positivas são percebidas nos parâmetros ferro (0,98), alumínio (0,83) e manganês (0,71).

Tabela 10: Valores de Turbidez medido em UNT nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estatística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
			PINO03900	Seco (inverno)	Média	172	13	15	18	18	67	12	40
Desvio Padrão	242	8	3		8	14	97	3	11	7	3	9	
Mínimo	20	6	14		9	8	9	8	28	13	8	23	
Máximo	451	22	19		26	34	179	14	49	26	14	38	
Chuvoso (verão)	Média	27	169	26	44	15	21	10	112	40	44	158	
	Desvio Padrão	3	38	17	34	3	7	4	111	15	26	205	
	Mínimo	24	135	16	17	12	14	7	29	26	19	36	
	Máximo	31	211	46	82	18	29	14	239	56	71	396	
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	36	13	19	15	28	13	59	14	15	18	11
		Desvio Padrão	25	4	10	4	18	7	89	2	10	17	6
		Mínimo	15	9	12	12	14	7	6	12	8	8	8
		Máximo	64	17	31	20	48	21	162	16	26	38	18
	Chuvoso (verão)	Média	41	134	22	62	62	17	28	45	86	65	15
		Desvio Padrão	16	95	15	38	76	12	18	33	95	35	8
		Mínimo	26	24	10	20	16	9	15	20	19	28	6
		Máximo	58	196	39	94	150	31	49	82	195	99	20
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	143	17	15	14	28	19	10	19	16	20	13
		Desvio Padrão	199	4	4	4	14	3	4	7	9	20	5
		Mínimo	17	13	12	11	15	16	7	12	10	8	9
		Máximo	373	20	19	19	43	22	13	27	27	44	18
	Chuvoso (verão)	Média	68	174	26	84	31	39	29	87	129	57	20
		Desvio Padrão	40	132	17	63	19	20	19	68	115	30	11
		Mínimo	24	22	14	17	20	25	15	45	34	26	7
		Máximo	104	264	45	142	52	62	51	166	257	87	28

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 198 amostras. Unidade de medida: UNT. Valores em vermelho: acima do valor máximo permitido de acordo com CONAMA-365.

## Resíduo Total

A concentração de resíduo total nas águas do ribeirão dos Pinheiros (PINO03900) e rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) possuem alta correlação com a turbidez para os períodos correspondentes, o que é esperado devido a relação direta mantida entre os parâmetros. Também seguem a mesma correlação com as variáveis correlacionadas com a turbidez.

Os valores médios são maiores para as águas do ribeirão dos Pinheiros, essa concentração pode ser resultante da menor vazão e conseqüentemente maior concentração de resíduo total, devido a menor diluição nesse trecho do corpo d'água do que no trecho do rio Atibaia, com maiores vazões possibilitando uma maior eficiência de mistura e carreamento (Tabela 11).

Tabela 11: Valores de Resíduo Total medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estatística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
			PINO03900	Seco (inverno)	Média	282	200	276	274	227	401	264	238
Desvio Padrão	157	147	20		46	26	105	34	22	32	39	37	
Mínimo	130	31	257		228	208	300	226	218	230	244	270	
Máximo	444	298	297		321	257	510	293	262	290	313	338	
Chuvoso (verão)	Média	260	283		261	244	233	322	275	263	244	212	495
	Desvio Padrão	62	72		41	44	32	57	12	144	39	27	364
	Mínimo	200	217		214	198	197	266	261	162	214	186	226
	Máximo	323	360		289	286	258	381	284	428	288	240	910
ATIB02035	Seco (inverno)	Média	100	80	83	100	100	100	153	100	100	100	107
		Desvio Padrão	29	7	8	0	0	0	81	0	0	0	13
		Mínimo	80	73	78	100	100	100	100	100	100	100	100
		Máximo	134	87	93	100	100	100	246	100	100	100	122
	Chuvoso (verão)	Média	84	189	103	121	111	100	144	111	137	137	148
		Desvio Padrão	35	21	29	19	18	0	75	18	50	34	84
		Mínimo	47	166	76	100	100	100	100	100	100	100	100
		Máximo	116	206	134	137	132	101	230	132	194	168	245
ATIB02065	Seco (inverno)	Média	191	98	96	108	106	125	133	103	100	101	107
		Desvio Padrão	153	7	11	14	10	16	4	6	0	2	12
		Mínimo	98	90	84	100	100	109	130	100	100	100	100
		Máximo	368	104	106	124	117	141	136	110	100	104	121
	Chuvoso (verão)	Média	128	208	111	118	112	130	155	163	176	139	131
		Desvio Padrão	21	92	21	32	13	14	74	53	73	34	40
		Mínimo	111	107	89	100	104	117	105	120	118	108	100
		Máximo	152	286	131	155	127	145	240	222	258	176	176

Fonte: Elaborado pela autora. Observações: *n* amostral utilizado: 197 amostras. Unidade de medida: mg/L.



## **Oxigênio Dissolvido**

O nível de oxigênio dissolvido das amostras das estações de monitoramento da qualidade de água estão presentes em quantidades inferiores do máximo permitido (não inferior a 4mg/L) nas águas do ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO03900) tanto no período seco (estação inverno) quanto no período chuvoso (estação verão), em média apresentados posteriores ao período de intensa seca para os valores médios (ano 2014).

Esses valores indicam uma maior poluição por despejos orgânicos nas águas do ribeirão dos Pinheiros do que nas águas do Rio Atibaia, consequência dos processos biológicos que consomem oxigênio, devido a presença de matéria orgânica e nutrientes (Tabela 12). Essa poluição do corpo d'água, apresentando baixas concentrações de oxigênio dissolvido, acontecem devido aos processos biológicos que consomem oxigênio, advindos da presença de matéria orgânica e nutrientes na água.

Tabela 12: Valores de Oxigênio Dissolvido medido em mg/L nas estações de monitoramento da Qualidade de Água, para todos os anos de monitoramento da qualidade estudado (2009-2019) no período seco (estação inverno) e chuvoso (estação verão)

Estação de monitoramento	Pluviometria	Estatística	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
			PINO03900	Seco (inverno)	Média	4,94	4,44	4,47	4,80	4,16	2,90	2,47	4,00
Desvio Padrão	1,36	0,91	0,81		1,06	0,85	0,17	2,29	0,90	1,27	0,31	0,74	
Mínimo	3,40	3,40	3,90		3,60	3,20	2,80	0,90	3,10	3,10	3,20	1,10	
Máximo	6,00	5,10	5,40		5,60	4,80	3,10	5,10	4,90	5,40	3,80	2,48	
Chuvoso (verão)	Média	4,44	5,10		5,25	4,60	4,30	2,74	2,60	5,00	4,77	4,67	1,82
	Desvio Padrão	0,71	0,87		0,21	0,50	0,26	0,58	0,30	0,36	0,61	0,38	2,02
	Mínimo	3,80	4,10	5,10	4,10	4,10	2,40	2,30	4,60	4,10	4,43	0,50	
ATIB02035	Seco (inverno)	Máximo	5,20	5,60	5,40	5,10	4,60	3,40	2,90	5,30	5,30	5,11	4,15
		Média	7,84	8,37	7,94	8,00	7,37	7,34	5,87	7,67	8,40	8,00	8,17
		Desvio Padrão	0,42	0,31	0,21	0,20	0,32	0,45	2,84	0,75	0,72	0,00	1,59
		Mínimo	7,50	8,10	7,70	7,80	7,00	6,90	2,80	6,90	7,80	8,00	7,00
	Chuvoso (verão)	Máximo	8,30	8,70	8,10	8,20	7,60	7,80	8,40	8,40	9,20	8,00	9,98
		Média	7,10	7,74	7,10	7,20	7,23	6,67	6,34	7,54	7,60	7,52	7,12
ATIB02065	Seco (inverno)	Desvio Padrão	0,17	0,23	0,46	0,30	0,15	0,57	1,25	0,38	0,56	0,32	0,42
		Mínimo	7,00	7,60	6,70	6,90	7,10	6,20	4,90	7,10	7,00	7,27	6,70
		Máximo	7,30	8,00	7,60	7,50	7,40	7,30	7,20	7,80	8,10	7,88	7,54
		Média	7,70	8,54	7,97	7,87	7,24	6,74	5,10	7,90	8,50	8,06	8,10
	Chuvoso (verão)	Desvio Padrão	0,82	0,55	0,25	0,38	0,64	1,59	3,82	0,46	0,79	0,21	0,91
		Mínimo	7,00	8,00	7,70	7,60	6,50	4,90	0,70	7,40	7,60	7,90	7,20
Chuvoso (verão)	Máximo	8,60	9,10	8,20	8,30	7,70	7,70	7,60	8,30	9,10	8,30	8,98	
	Média	7,20	7,37	6,84	7,64	7,57	5,67	6,84	7,24	7,30	7,65	6,98	
	Desvio Padrão	0,10	0,32	0,45	0,25	0,21	1,17	0,32	0,31	0,56	0,31	0,63	
	Mínimo	7,10	7,00	6,40	7,40	7,40	4,80	6,60	6,90	6,70	7,39	6,40	
Chuvoso (verão)	Máximo	7,30	7,60	7,30	7,90	7,80	7,00	7,20	7,50	7,80	7,99	7,65	

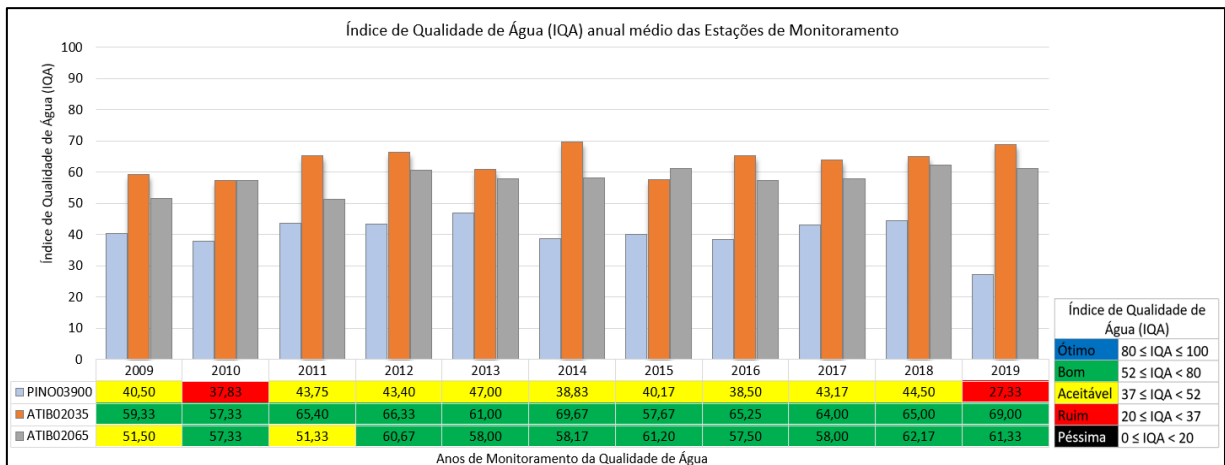
Fonte: Elaborado pela autora. Observações:  $n$  amostral utilizado: 197 amostras. Unidade de medida: mg/L. Valores em vermelho: inferior ao valor recomendado pelo CONAMA-365.

### 5.3 Índice de Qualidade das Águas (IQA) e Correlações relacionadas

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) anual médio do ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) é pior (classificado de forma geral como aceitável) que o índice do rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065), o qual é classificado como bom, tanto para as águas antes do ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02035) quanto para as águas após o desague do ribeirão dos Pinheiros (ATIB02065). O Índice de Qualidade das Águas do rio Atibaia é sempre menor nas águas do rio Atibaia após o ribeirão dos Pinheiros (Ilustração 8),

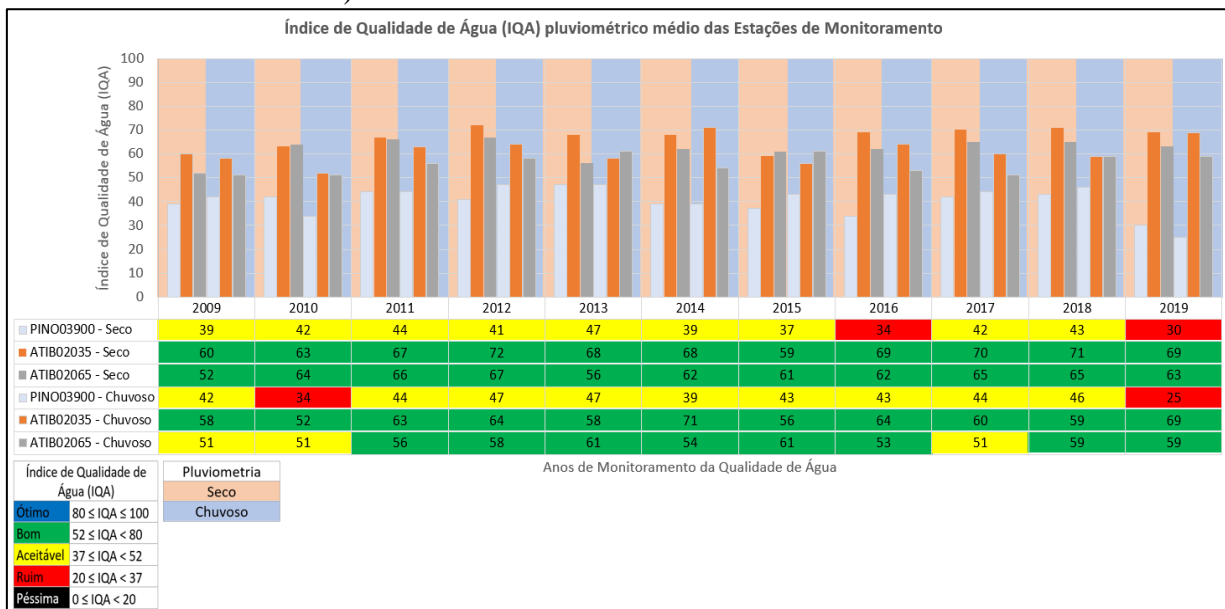
indicando influência da qualidade do ribeirão dos Pinheiros no rio Atibaia. Não há mudança significativa na qualidade do mesmo ano, para o mesmo corpo hídrico, no período seco (inverno) ou chuvoso (verão) (Ilustração 9).

Ilustração 8: Índice de Qualidade (IQA) anual médio das Estações de Monitoramento no ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) e rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065)



Fonte: Elaborado pela autora.

Ilustração 9: Índice de Qualidade (IQA) pluviométrico (período seco e chuvoso) das Estações de Monitoramento no ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) e rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065)

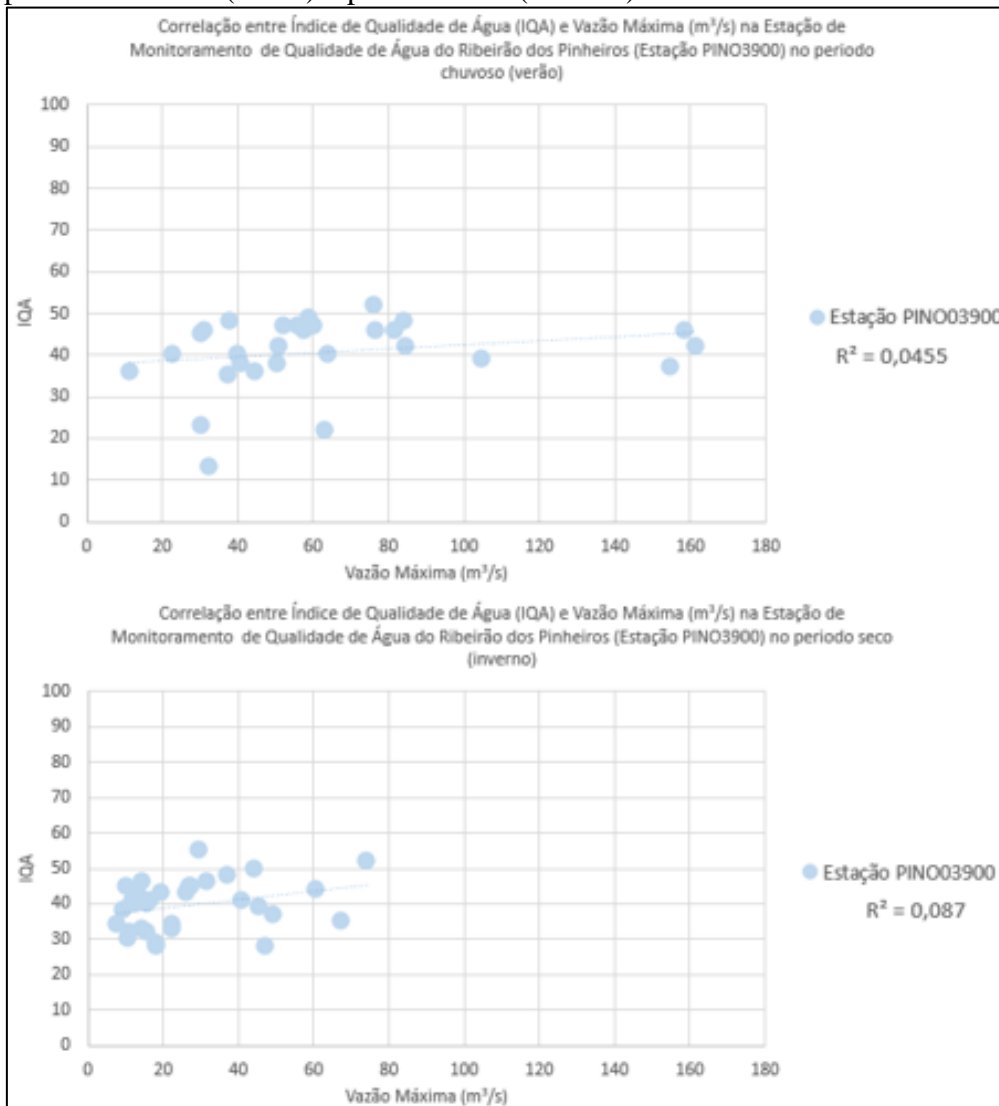


Fonte: Elaborado pela autora.

A qualidade de água (IQA) do ribeirão dos Pinheiros possui baixa correlação com a vazão, tanto no período chuvoso (verão) quanto no período seco (inverno) (Ilustração 10). Bem como a correlação da qualidade da água (IQA) do rio Atibaia com a vazão, com um

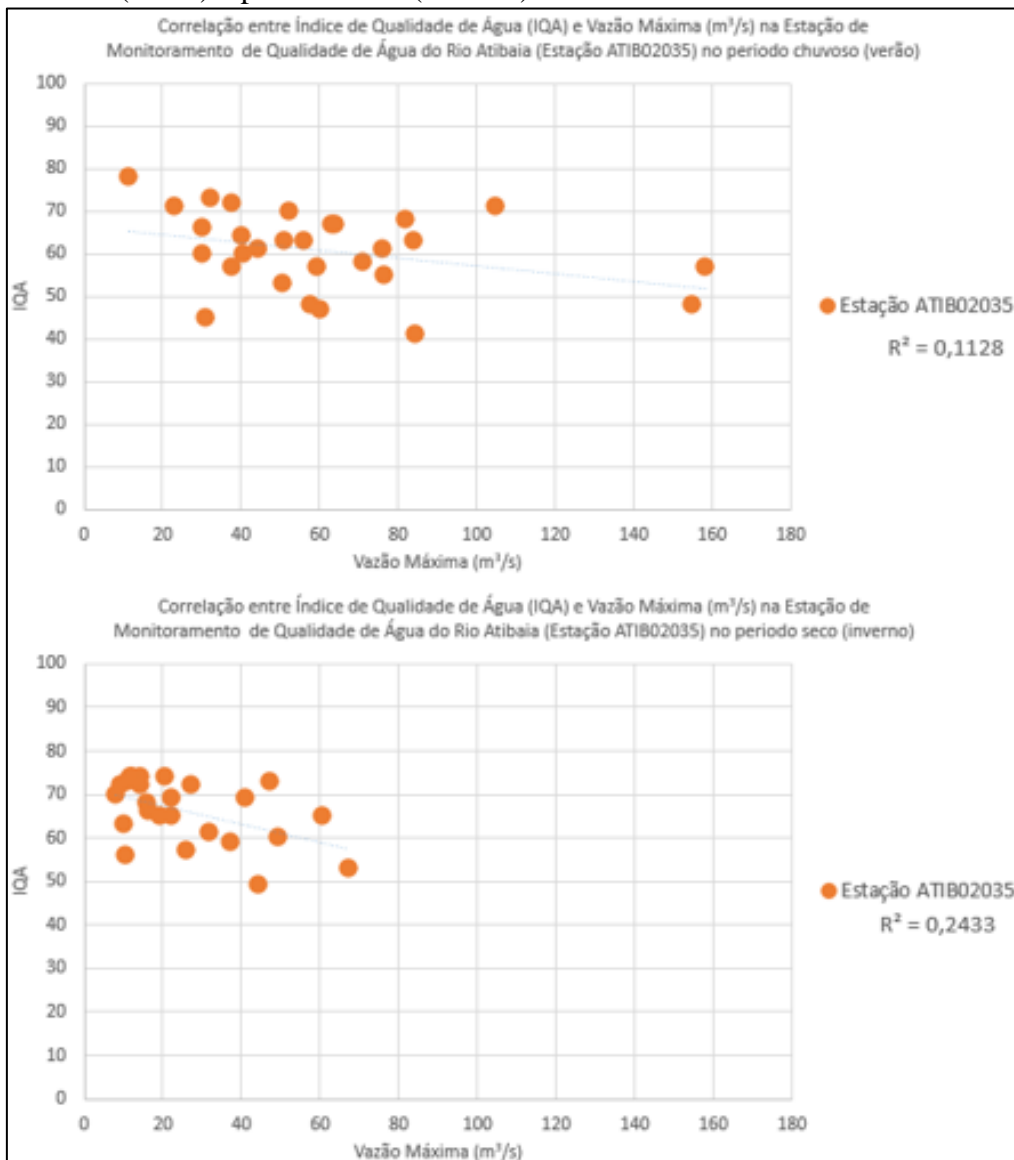
aumento da correlação (ainda classificada como baixa) no período seco (inverno). (Ilustrações 11 e 12).

Ilustração 10: Correlação entre o Índice de Qualidade (IQA) e Vazão máxima ( $m^3/s$ ) na Estação de Monitoramento de Qualidade de Água do Ribeirão dos Pinheiros (Estação PINO3900) no período chuvoso (verão) e período seco (inverno)



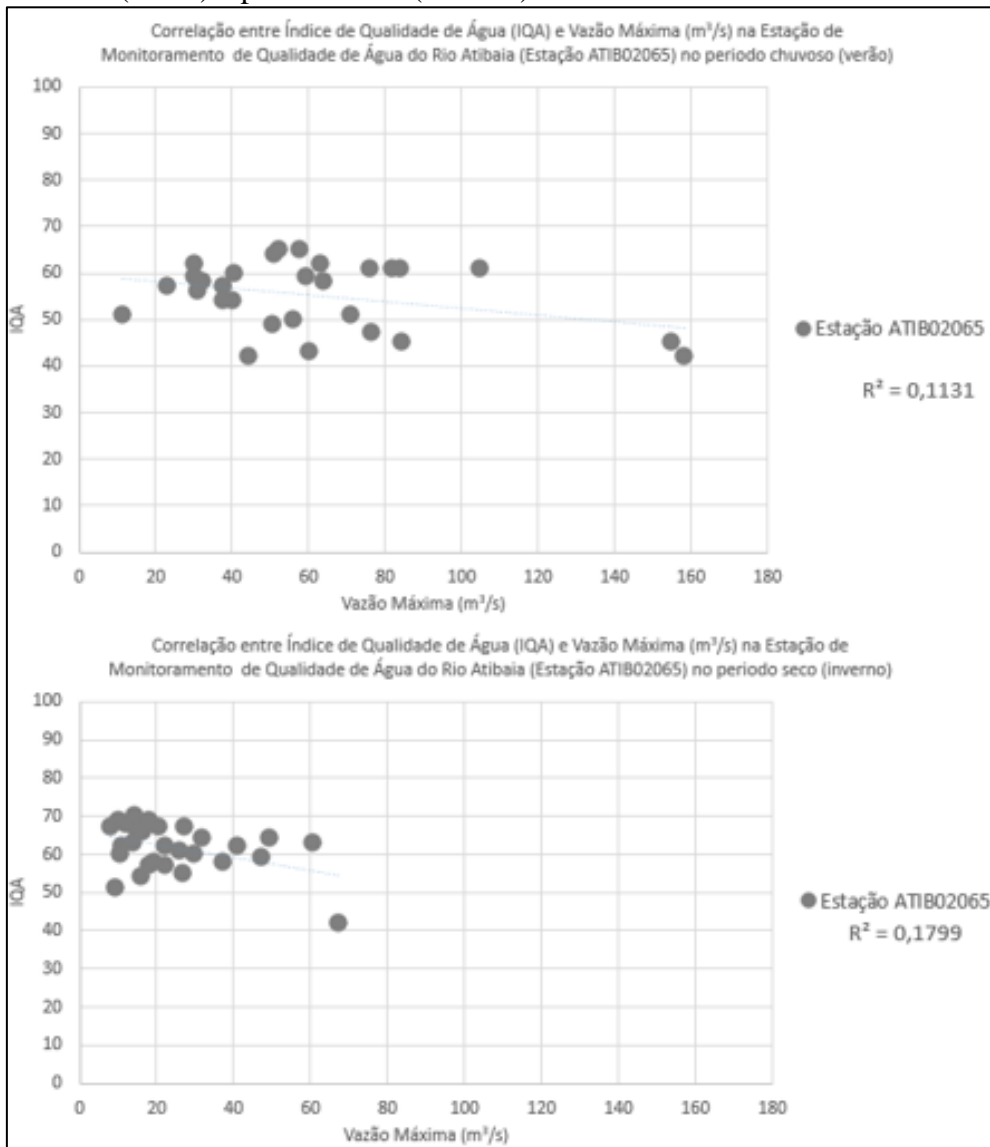
Fonte: A autora.

Ilustração 11: Correlação entre o Índice de Qualidade (IQA) e Vazão máxima ( $m^3/s$ ) na Estação de Monitoramento de Qualidade de Água do Rio Atibaia (Estação ATIB02035) no período chuvoso (verão) e período seco (inverno)



Fonte: A autora.

Ilustração 12: Correlação entre o Índice de Qualidade (IQA) e Vazão máxima ( $m^3/s$ ) na Estação de Monitoramento de Qualidade de Água do Rio Atibaia (Estação ATIB02065) no período chuvoso (verão) e período seco (inverno)



Fonte: A autora.

## 6. CONCLUSÕES

Após avaliar a capacidade da qualidade da água do ribeirão Pinheiros de influenciar a qualidade das águas do rio Atibaia, por meio de análise estatística e análise da concentração espaço-temporal dos dados de monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos pré-existentes, conclui-se que:

(I) A classe definida pelos usos preponderantes mais restritivos indica dificuldades em compatibilizar o enquadramento com a qualidade atual dos corpos hídricos, especialmente para os parâmetros Oxigênio Dissolvido, Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio. E os parâmetros Nitrito e Nitrato enquadram-se na Classe 1 de qualidade, e não indicam piora na qualidade das águas.

(II) Há indicação de maior poluição por despejos orgânicos no ribeirão dos Pinheiros do que no rio Atibaia, analisada pelo nível de oxigênio dissolvido nesse trecho do corpo hídrico as maiores concentrações fora do padrão estão presentes nas águas do ribeirão dos Pinheiros principalmente após o ano de 2014, posteriores à intensa seca.

(III) As concentrações dos parâmetros nas águas do ribeirão dos Pinheiros que mais influenciam nas águas do rio Atibaia são coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio, fósforo, resíduo total e oxigênio dissolvido. Estes são os maiores poluentes.

(IV) O Índice de Qualidade das Águas (IQA) anual médio do ribeirão dos Pinheiros (estação PINO03900) é aceitável, enquanto o índice do rio Atibaia (estações ATIB02035 e ATIB02065) é bom, tanto para as águas antes do ribeirão dos Pinheiros (Estação ATIB02035) quanto para as águas após o desague do ribeirão dos Pinheiros (ATIB02065).

(V) A qualidade de água (IQA) do ribeirão dos Pinheiros possui baixa correlação com a vazão, tanto no período chuvoso (verão) quanto no período seco (inverno). Bem como a correlação da qualidade da água (IQA) do rio Atibaia com a vazão, com um aumento da correlação (ainda classificada como baixa) no período seco (inverno), não havendo relação direta, em geral, com a vazão se analisada de forma generalizada.

(VI) Os parâmetros que afetam a qualidade das águas foram identificados principalmente por meio de análises de correlação e concentração máxima permitida. Porém, os efeitos de urbanização, uso da terra e outras atividades humanas, ativos nos corpos hídricos em questão, torna a quantificação difícil de ser totalmente expressa em modelos simplificados, dessa forma é recomendado a continuação dos trabalhos nos corpos hídricos aqui estudados.

(VII) Os resultados deste estudo podem facilitar a tomada de decisão em direção a estratégias para uso e controle de qualidade das águas dos trechos estudados, especificamente, incorporando instalações de tratamento convencional na água.



## REFERÊNCIAS

ADDISIE, Meseret B. Evaluating Drinking Water Quality Using Water Quality Parameters and Esthetic Attributes. **Air, Soil and Water Research**, v. 15, p. 11786221221075005, 2022.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e agência de água das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 2009.

AHN, Kuk-Hyun; MERWADE, Venkatesh. Quantifying the relative impact of climate and human activities on streamflow. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 257-266, 2014.

BHAT, Sami Ullah et al. Water Quality Characterization of Marusudar River in Chenab Sub-Basin of North-Western Himalaya Using Multivariate Statistical Methods. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, n. 11, p. 1-22, 2021.

BOYACIOGLU, Hülya. Development of a water quality index based on a European classification scheme. **Water Sa**, v. 33, n. 1, 2007.

BROWN, Robert M. et al. A water quality index-do we dare. **Water and sewage works**, v. 117, n. 10, 1970.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2013 – 2015. São Paulo, 2016. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasSubterraneas2015\\_Web\\_2007.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSubterraneas2015_Web_2007.pdf)>.

DE, CETESB–COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: CETESB, 2009.

COUILLARD, Denis; LEFEBVRE, Yves. Analysis of water-quality indices. **J. Environ. Manage.;**(United States), v. 21, n. 2, 1985.

DE ANDRADE COSTA, David et al. Water quality assessment based on multivariate statistics and water quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.

Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE); Instituto Geológico (IG); Instituto de Pesquisas e Tecnologias (IPT). Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 2005.

EMBRAPA. Árvore do Conhecimento – Solos tropicais. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/Abertura.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/Abertura.html), 2017

FEITOSA, Fernando A. Carneiro et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008.

FRAGOSO JR, Carlos Ruberto; FERREIRA, Tiago Finkler; DA MOTTA MARQUES, David. Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos. Oficina de textos, 2009.

MOHAMMADI GHALENI, M.; EBRAHIMI, K. Effects of human activities and climate variability on water resources in the Saveh plain, Iran. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 2, p. 1-17, 2015.

GUPTA, Medhavi et al. Experimental assessment and validation of quantification methods for cellulose content in municipal wastewater and sludge. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 17, p. 16743-16753, 2018.

HASUI, Yociteru et al. (Ed.). **Geologia do brasil**. São Paulo: Beca, 2012.

HORTON, Robert K. An index number system for rating water quality. **J Water Pollut Control Fed**, v. 37, n. 3, p. 300-306, 1965.

ISENBURG, A. A. R. V. Qualidade das águas na bacia do Ribeirão Pinheiros: uma proposta de recuperação." Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2005.

DE RECURSOS NATURAIS, IBGE ; AMBIENTAIS, Estudos. Manual técnico de geomorfologia. **Rio de Janeiro, RJ: IBGE**, 2009.

KUMAR, Balwant; SINGH, Umesh Kumar; OJHA, Sri Narayan. Evaluation of geochemical data of Yamuna River using WQI and multivariate statistical analyses: a case study. **International Journal of River Basin Management**, v. 17, n. 2, p. 143-155, 2019.

LI, Huifeng et al. The quantification of the influencing factors for spatial and temporal variations in surface water quality in recent ten years of the Huaihe River Basin, China. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-14, 2022.

LI, Siyue et al. Water quality in the upper Han River basin, China: the impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. **Journal of hazardous materials**, v. 165, n. 1-3, p. 317-324, 2009.

LUMB, Ashok; SHARMA, T. C.; BIBEAULT, Jean-François. A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water Quality, Exposure and Health*, v. 3, n. 1, p. 11-24, 2011.

MCCLELLAND, Nina I. **Water quality index application in the Kansas River Basin**. US Environmental Protection Agency-Region VII, 1974.

MELO, Davi CD et al. The big picture of field hydrology studies in Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, v. 65, n. 8, p. 1262-1280, 2020.

MUANGTHONG, Somphinit; SHRESTHA, Sangam. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 9, p. 1-12, 2015.

MUANGTHONG, Somphinit; SHRESTHA, Sangam. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 9, p. 1-12, 2015.

AR, Karbassi et al. Environmental management of coastal regions in the Caspian Sea. 2008.

OLIVEIRA, AM dos S. et al. Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe-Paranapanema, SP. **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, v. 4, p. 51-71, 1987.

PROFILL-RHAMA, Consórcio. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório síntese**. Technical Report. 2020. Available online: <https://plano.agencia.baciaspcj.org.br> (accessed on 20 October 2021), 2020.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e ambiental (ABES). São Paulo. 1ª ed. Cap. 6 e 7. 2006.

POORALIHOSSEIN, Seyedehshima; DELAVAR, Majid. A multi-model ensemble approach for the assessment of climatic and anthropogenic impacts on river flow change. **Hydrological Sciences Journal**, v. 65, n. 1, p. 71-86, 2020.

ROCHA, Ludmila Prazeres das Flores Oliveira. Hidroquímica do aquífero costeiro do município de Itarema-Ceará. 2015.

SIMEONOV, V. et al. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water research*, v. 37, n. 17, p. 4119-4124, 2003.

TOLEDO, Luís Gonzaga de; NICOLELLA, Gilberto. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

TYAGI, Shweta et al. Water quality assessment in terms of water quality index. **American Journal of water resources**, v. 1, n. 3, p. 34-38, 2013.

TUNDISI, José Galizia. Água no século XXI: enfrentando a escassez. In: *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. 2003. p. 248-248.

UNEP, A. A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment. Nairobi, **United Nations Environment Programme**, 2016.

UN-WATER. Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation. <https://doi.org/10.1126/science.278.5339.827>, 2018.

VERÍSSIMO, Helena et al. Trends in water quality and subtidal benthic communities in a temperate estuary: Is the response to restoration efforts hidden by climate variability and the Estuarine Quality Paradox?. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 56-67, 2013.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed., Belo Horizonte: DESA, 1996.

VON SPERLING, M.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T. Removal of E. coli and helminth eggs in UASB: Polishing pond systems in Brazil. **Water Science and Technology**, v. 51, n. 12, p. 91-97, 2005.

WILSON, Cyril O.; WENG, Qihao. Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 20, p. 4387-4405, 2011.

UNESCO. The United Nations World Water Development Report: Leaving No One Behind, 2019.

YE, Xuchun et al. Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China. **Journal of Hydrology**, v. 494, p. 83-95, 2013.

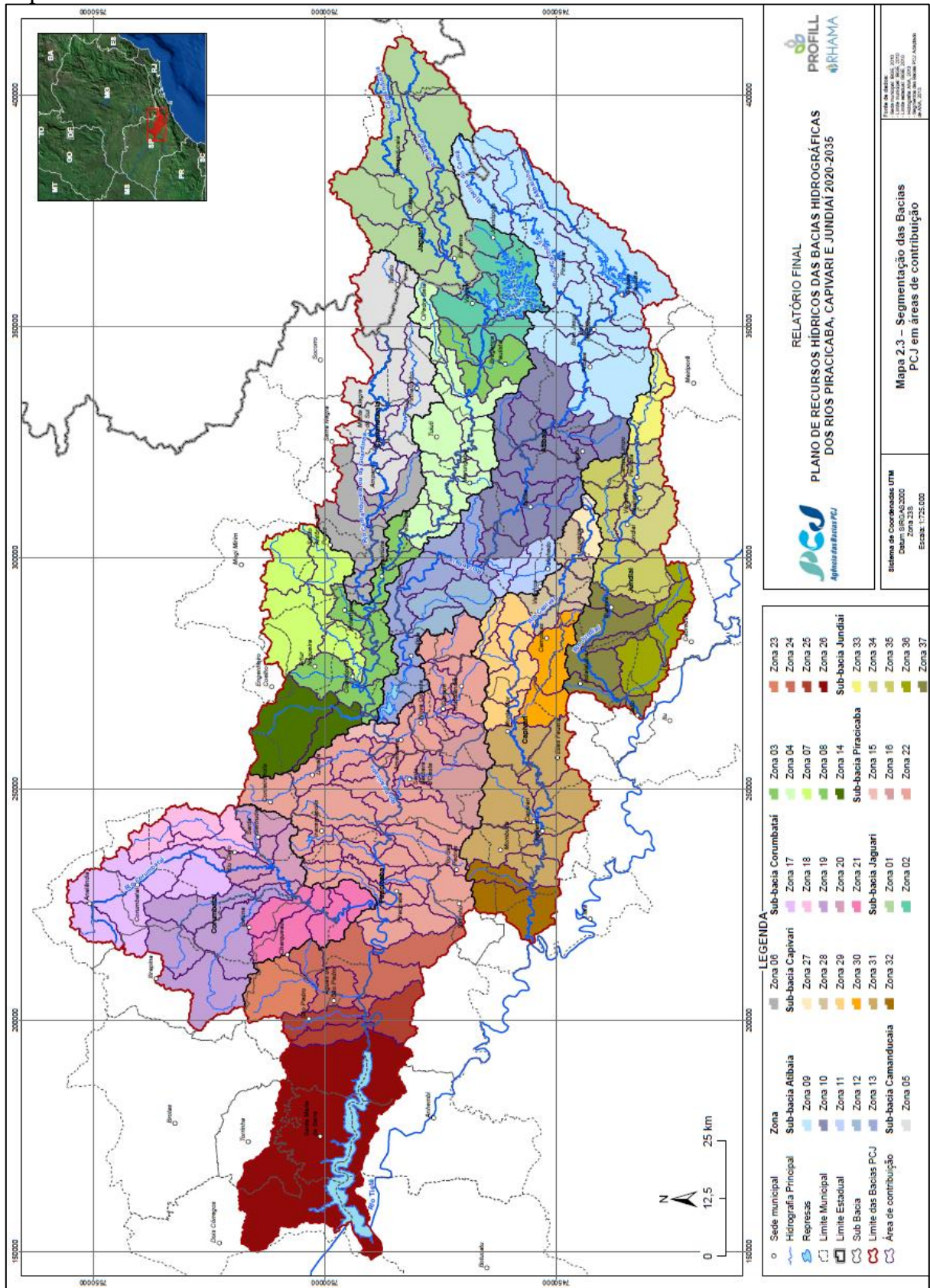
XU, Jing et al. Response of water quality to land use and sewage outfalls in different seasons. **Science of The Total Environment**, v. 696, p. 134014, 2019.

ZHAI, Xiaoyan; XIA, Jun; ZHANG, Yongyong. Water quality variation in the highly disturbed Huai River Basin, China from 1994 to 2005 by multi-statistical analyses. **Science of the Total Environment**, v. 496, p. 594-606, 2014.

ZUO, Depeng et al. Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. **Science of the Total Environment**, v. 544, p. 238-250, 2016.

ANEXOS

Anexo 1 – Segmentação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.



**Anexo 2 - Metodologia analítica dos parâmetros utilizados, unidades de medida e referência bibliográfica utilizada para a descrição metodológica**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Metodologias analíticas</b>	<b>Bibliografia</b>
Clorofila-a	µg/L	Determinação pelo método espectrofotométrico. (Método APHA 10200 H).	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed
Carbono Orgânico Dissolvido e Total	mg/L	Combustão infravermelha (Método APHA 5310-B ou 5310-C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
Condutividade	µS/cm	Condutimetria (Método APHA 2510-B)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
Cloreto	mg/L	Cromatografia iônica (Método APHA 4110-C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
Fluoreto	mg/L	Cromatografia iônica (Método APHA 4110-C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
Nitrogênio-Nitrato-Nitrito	mg/L	Cromatografia iônica (Método APHA 4110-C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
Nitrogênio Amoniacal e Kjeldahl	mg/L	Cromatografia iônica, após a destilação (Métodos APHA 4500NH3 ou ISSO 14911)	Cromatografia iônica, após a destilação (Métodos APHA 4500NH3 ou ISSO 14911) APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. ISSO, 1998
Sulfato	mg/L	Cromatografia iônica (Método APHA 4110-C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
DBO (5, 20)	mg/L	Diluição e incubação a 20°C e 5 dias (Método APHA 5210-B)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Eletrômetro (Método APHA 4500 O – G)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
pH	U.pH	Eletrômetro (Método APHA 4500H+ - B)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
Chumbo	mg/L	Espectrometria de absorção atômica – forno de grafite (Método APHA, 3113-B) ou Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio ICP/OES (Métodos APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Cádmio	mg/L	Espectrometria de absorção atômica – forno de grafite (Método APHA, 3113-B) ou Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio ICP/OES (Métodos APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Arsênio	mg/L	Espectrometria de absorção atômica – forno de grafite, após digestão ácida (Métodos USEPA 3051ª e 7010) ou Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES, após digestão ácida (Métodos USEPA 3051ª e 6010C)	USEPA, SW 846
Mercúrio	mg/L	Espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio (Método EPA 7470) ou Espectrometria de absorção	USEPA, SW 846



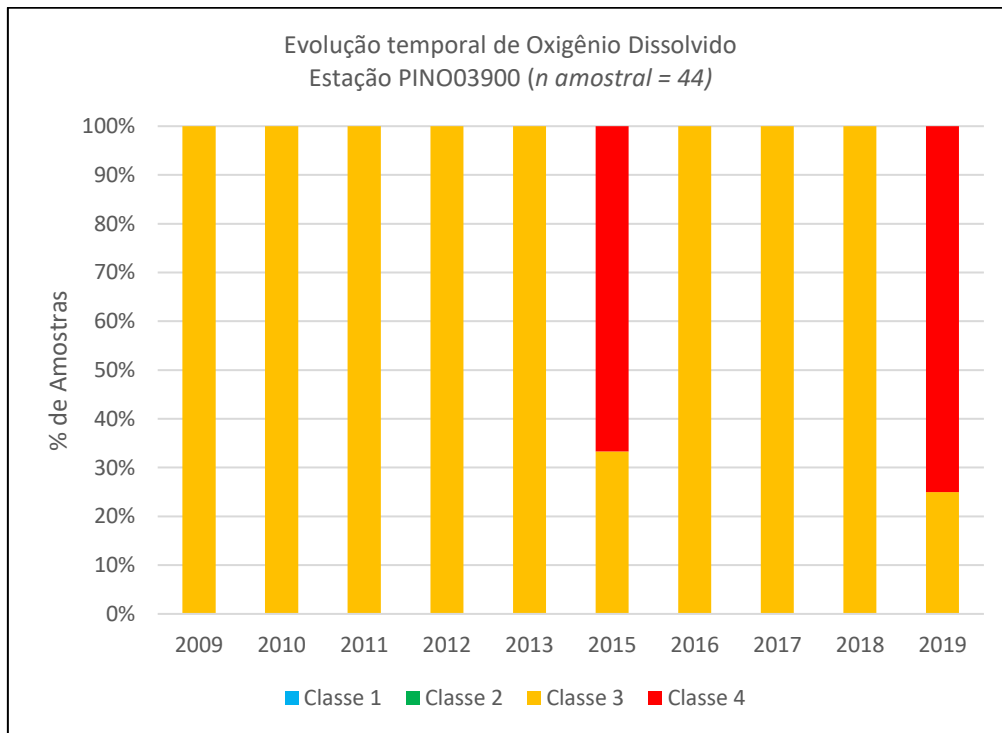
		atômica com decomposição térmica (Método EPA 7473)	
Cobre	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Magnésio	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Manganês	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Sódio	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Potássio	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Fósforo	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Alumínio Dissolvido e total	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Bário	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Cobre dissolvido	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Crômio	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Ferro Dissolvido e total	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Níquel	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Método APHA 3120-B ou USEPA 6010C)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E USEPA, SW 846
Zinco	mg/L	Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES, após digestão ácida (Métodos USEPA 3051ª e 6010C)	USEPA, SW 846
Cálcio	mg/L	Titulométrico com EDTA-Na	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed

Sólido Dissolvido Total e Sólido Total	mg/L	Gravimetria (Método APHA 2540 ou ABNT/NBR 10664)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. E ABNT, 1989
Turbidez	UNT	Nefelometria (Método APHA 2130-B)	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed.
Escherichia coli	UFC/100mL	Técnica de Membrana Filtrante	APHA-AWWA-WEF, 22ª Ed. (Seção 9213.3b, 2012)

Fonte: Reunido pela autora do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório Final.

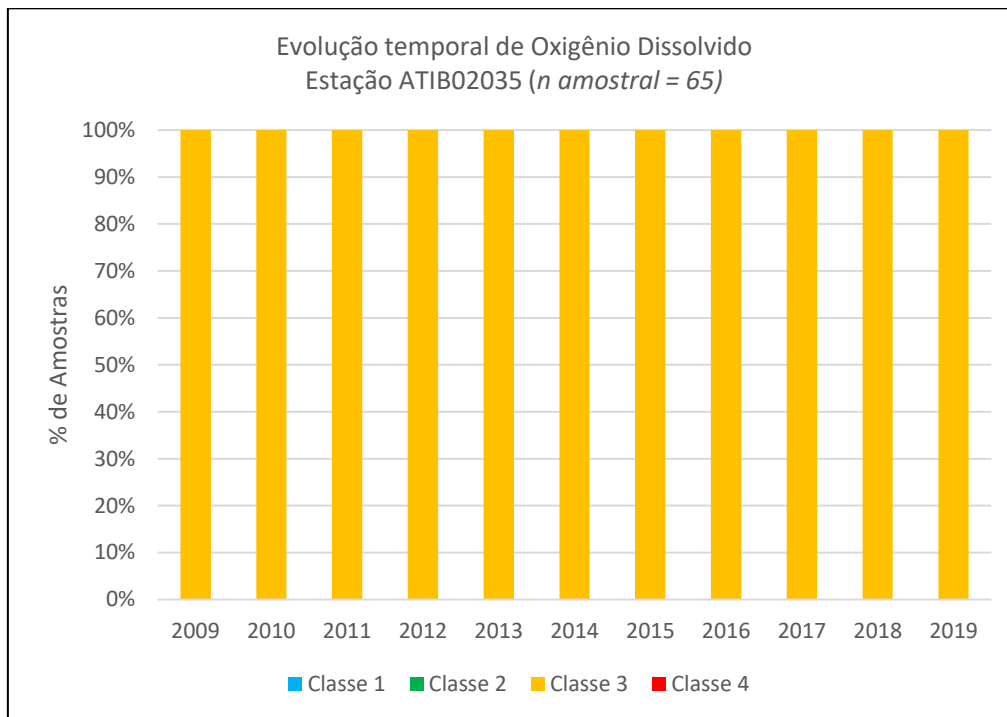
### Anexo 3 - Avaliação do Enquadramento de Classes por Estação de Qualidade0

Gráfico da Evolução temporal de Oxigênio Dissolvido na Estação de monitoramento da Qualidade PINO03900 no Ribeirão dos Pinheiros



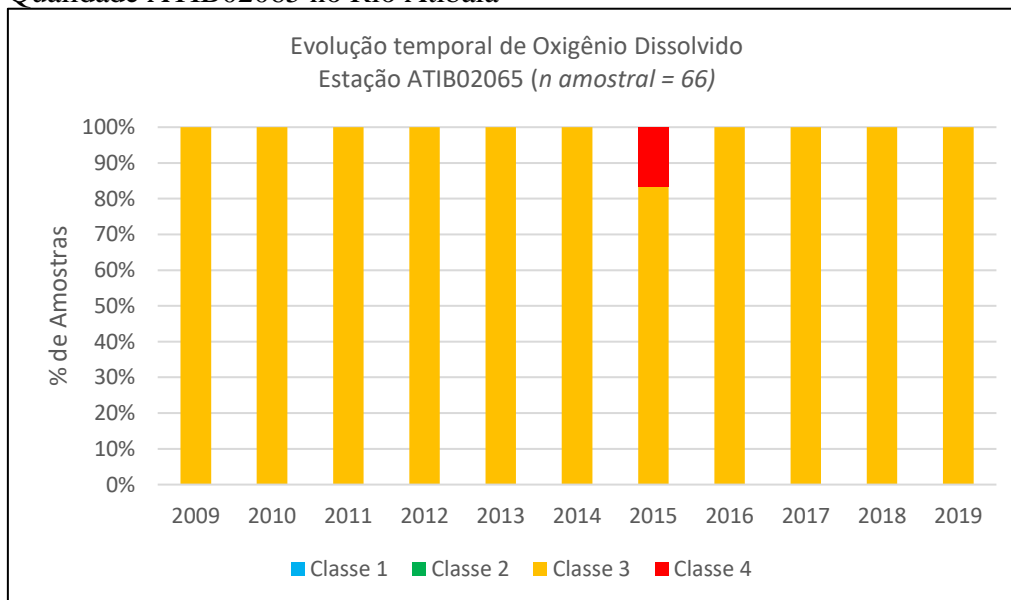
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Oxigênio Dissolvido na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02035 no Rio Atibaia



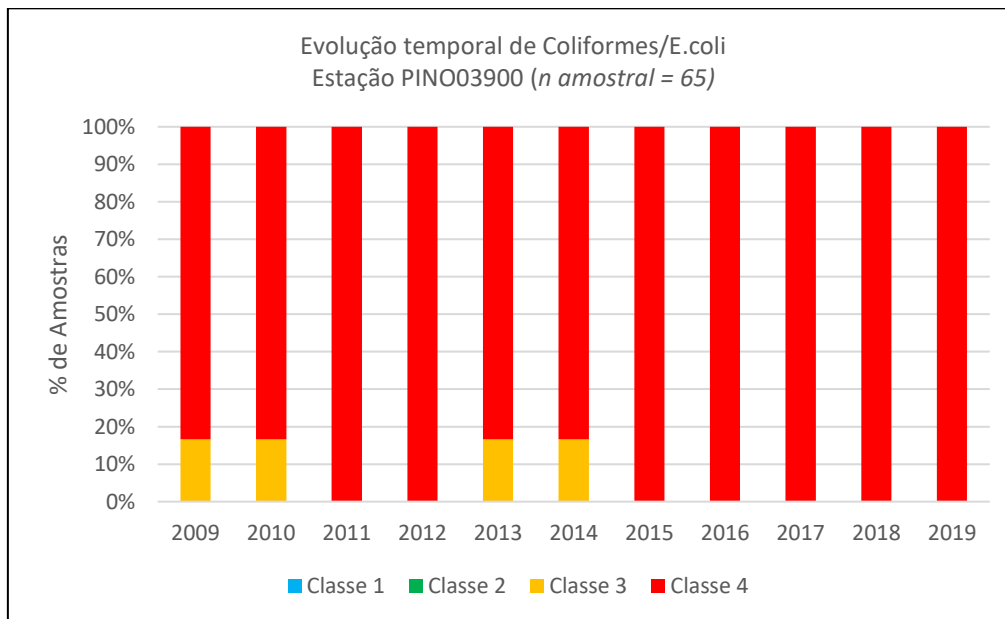
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Oxigênio Dissolvido na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02065 no Rio Atibaia



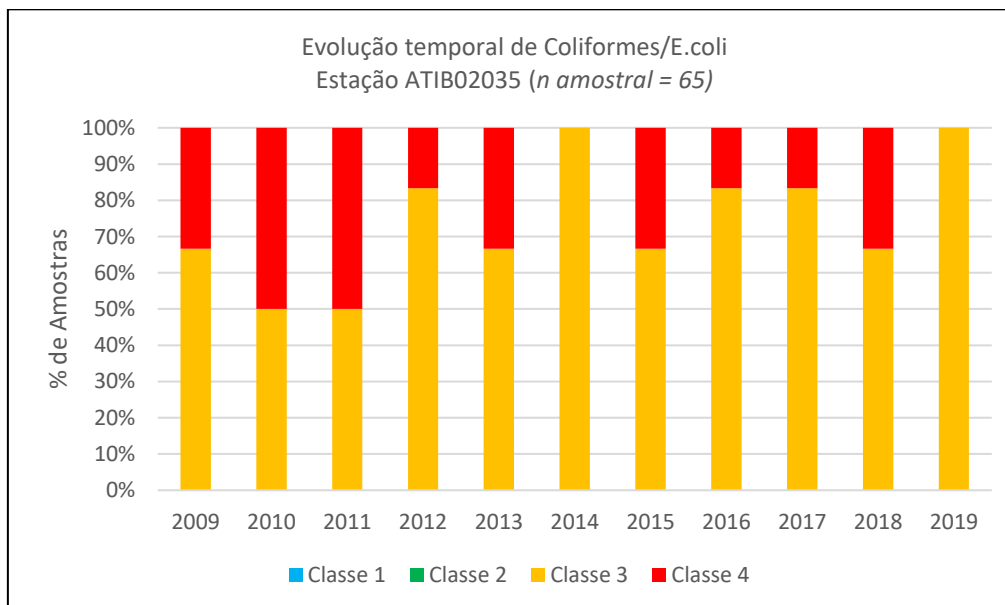
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Coliformes/E.Coli na Estação de monitoramento da Qualidade PINO03900 no Ribeirão dos Pinheiros



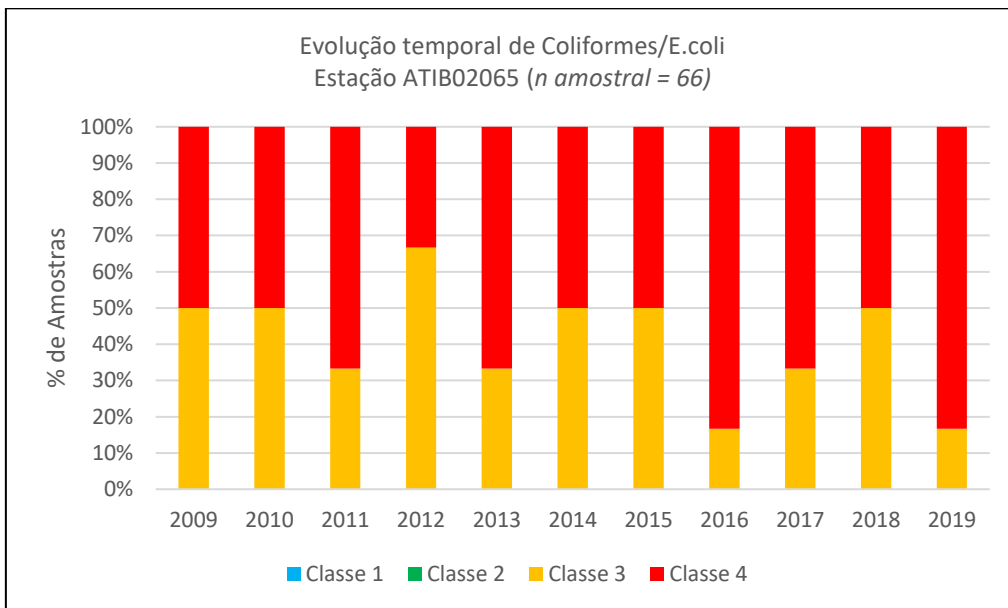
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal Coliformes/E.Coli na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02035 no Rio Atibaia



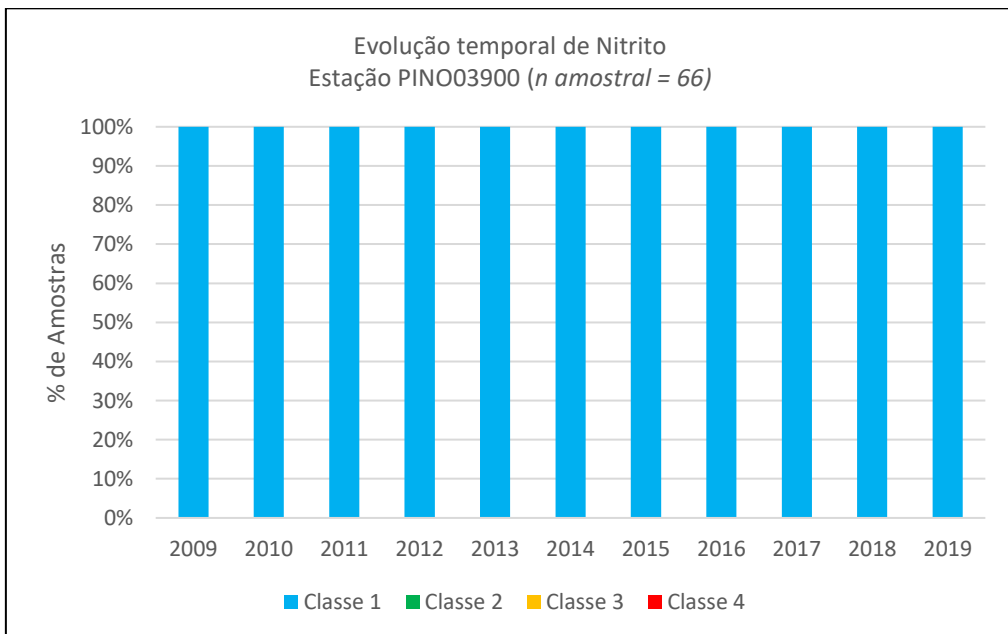
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal Coliformes/E.Coli na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02065 no Rio Atibaia



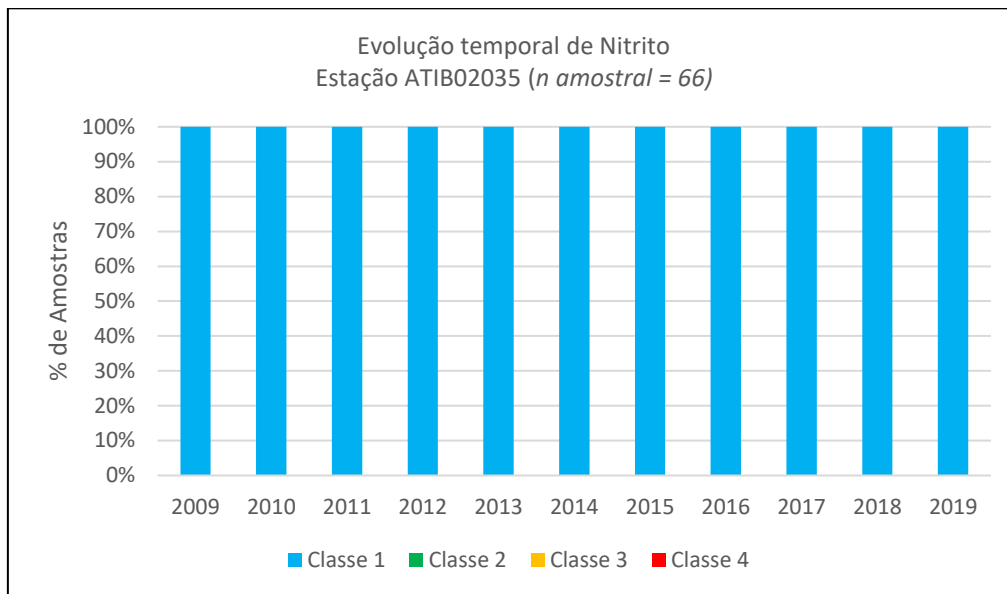
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Nitrito na Estação de monitoramento da Qualidade PINO03900 no Ribeirão dos Pinheiros



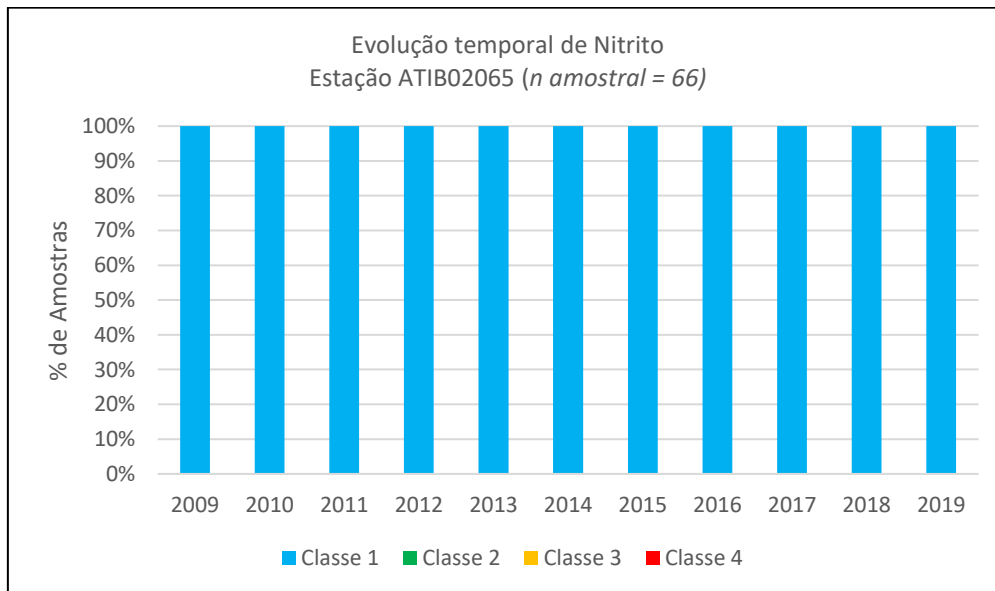
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal Nitrito na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02035 no Rio Atibaia



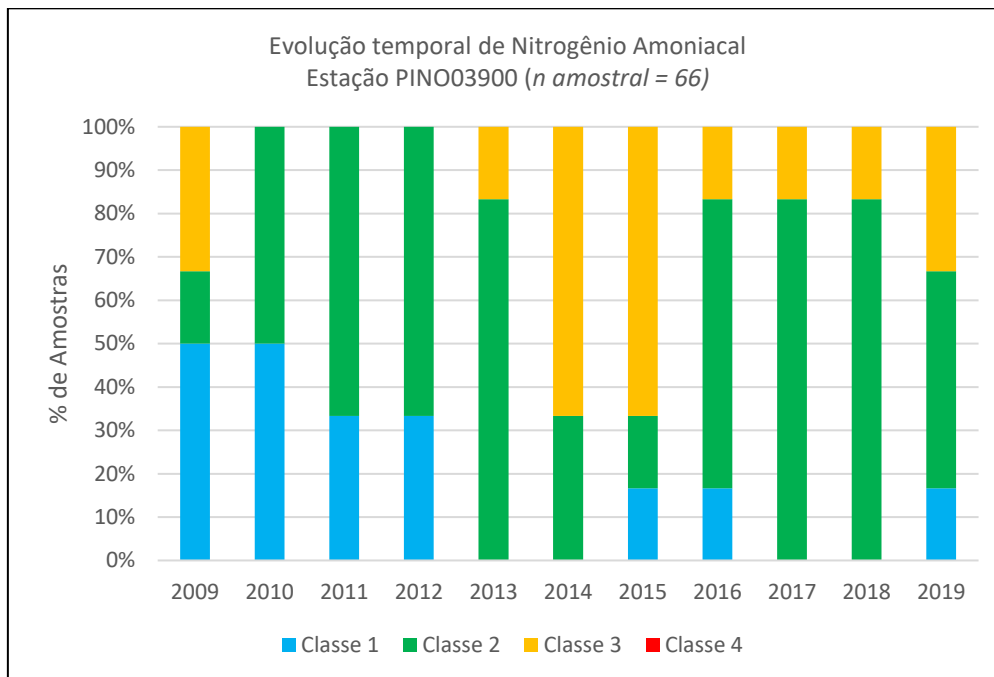
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal Nitrito na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02065 no Rio Atibaia



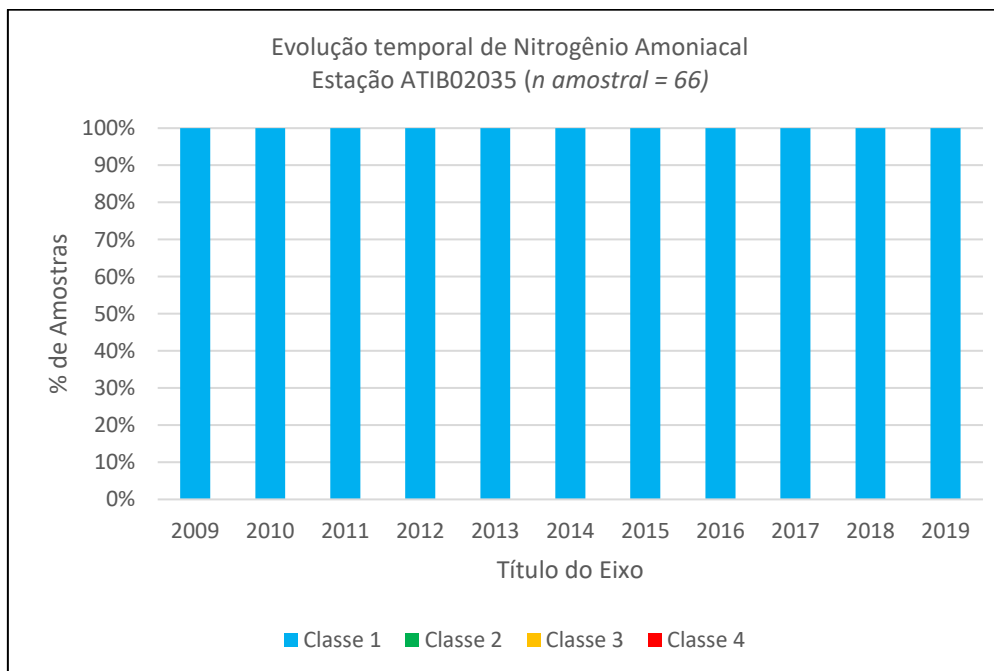
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Nitrogênio Amoniacal na Estação de monitoramento da Qualidade PINO03900 no Ribeirão dos Pinheiros



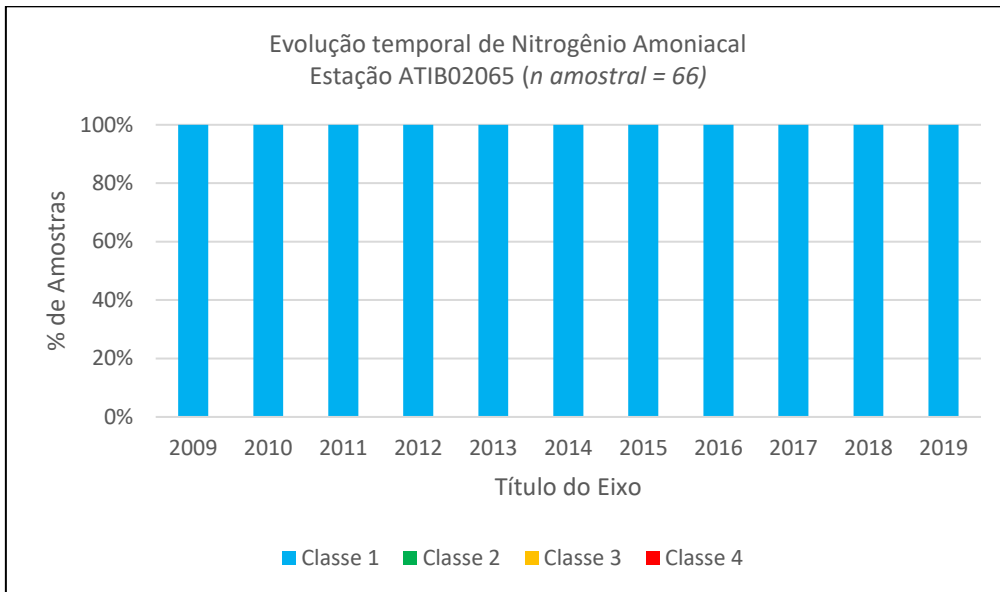
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal Nitrogênio Amoniacal na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02035 no Rio Atibaia



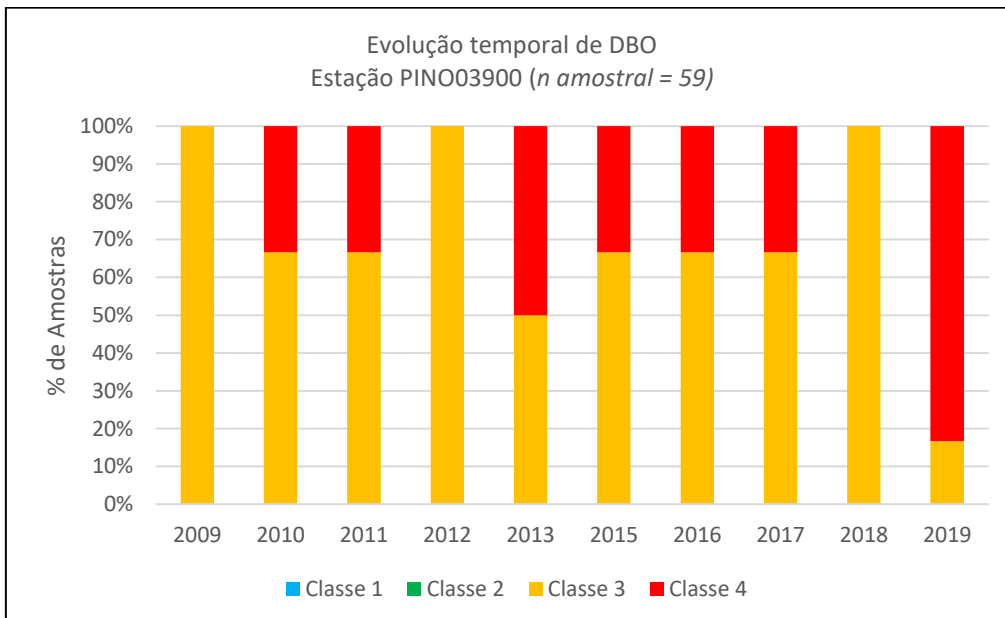
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal Nitrogênio Amoniacal na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02065 no Rio Atibaia



Fonte: A autora.

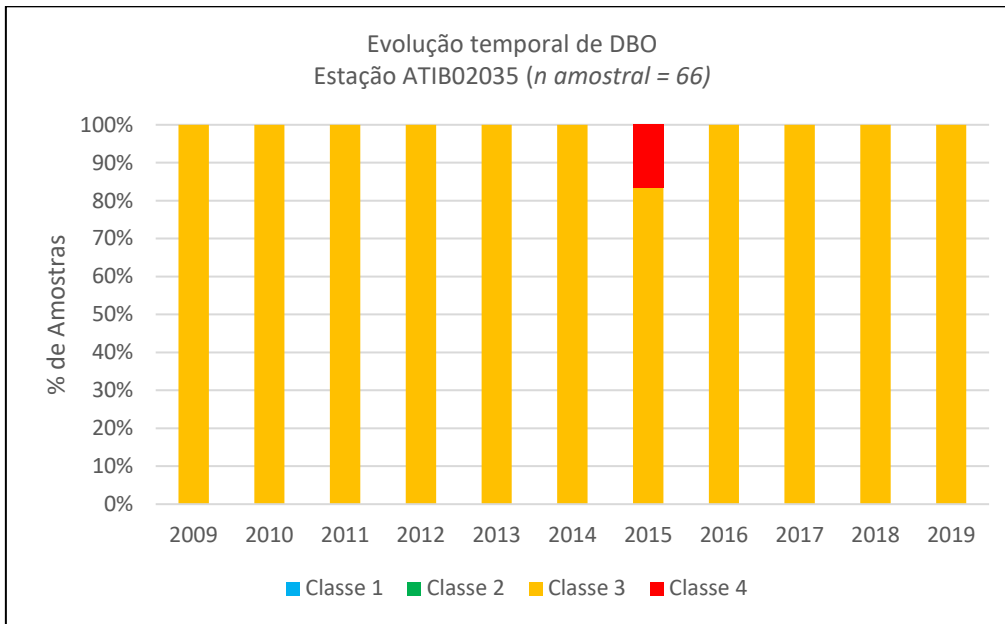
Gráfico da Evolução temporal da Demanda Bioquímica de Oxigênio na Estação de monitoramento da Qualidade PINO03900 no Ribeirão dos Pinheiros



Fonte: A autora.

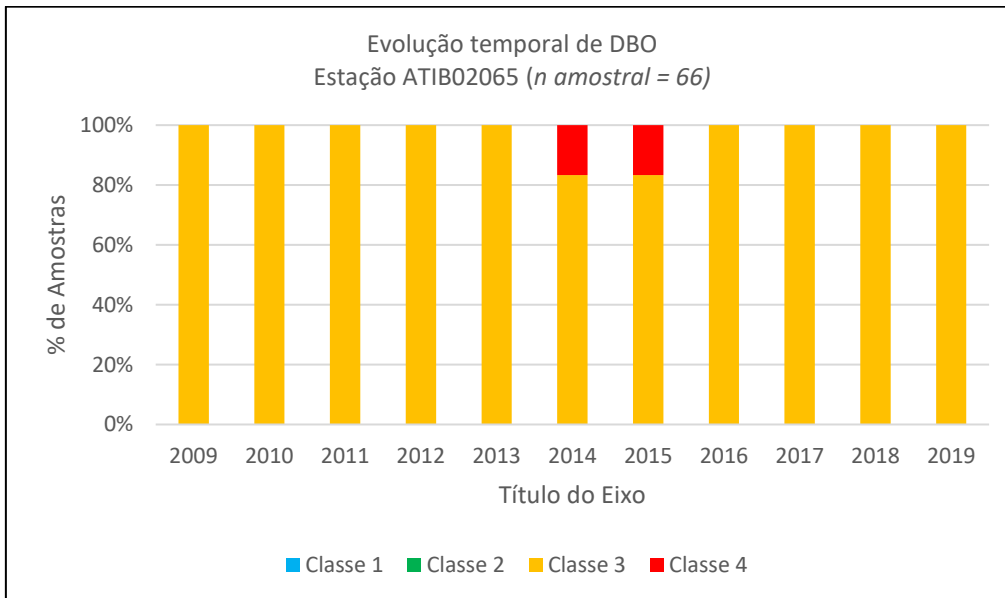


Gráfico da Evolução temporal da Demanda Bioquímica de Oxigênio na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02035 no Rio Atibaia



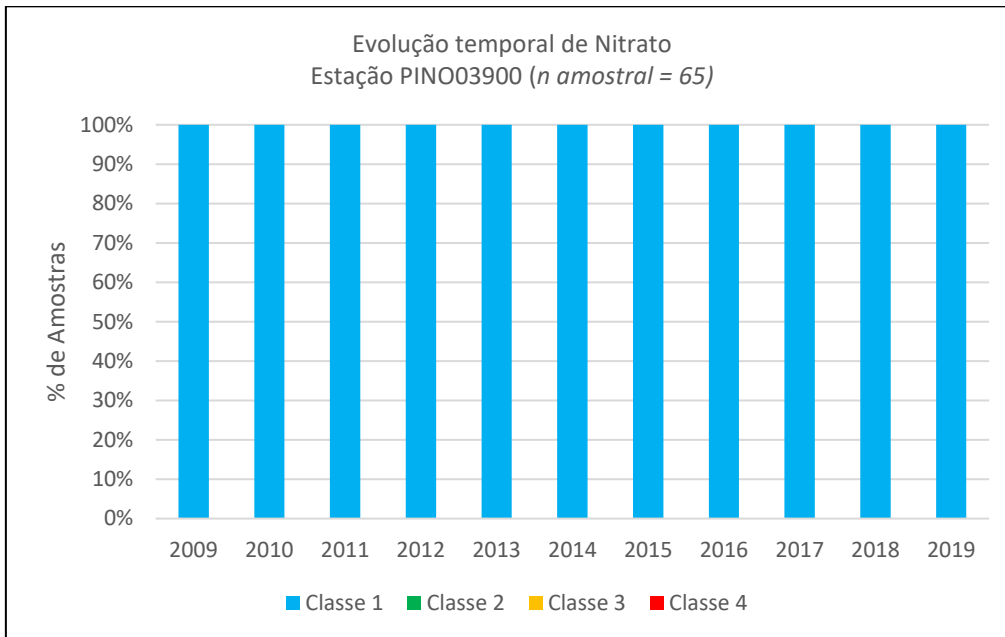
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal da Demanda Bioquímica de Oxigênio na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02065 no Rio Atibaia



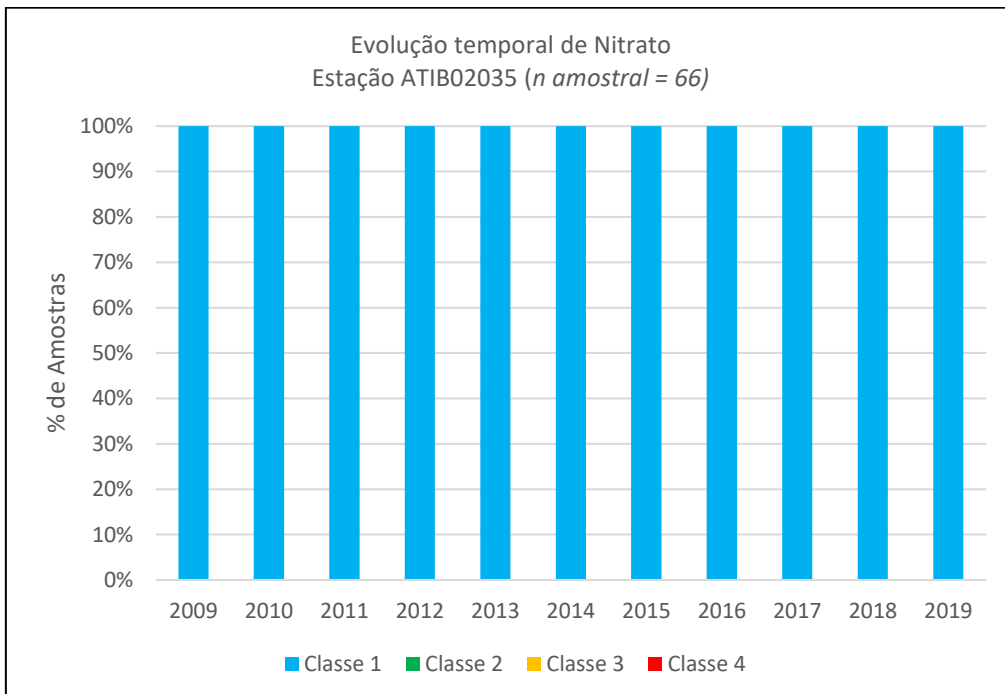
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Nitrato na Estação de monitoramento da Qualidade PINO03900 no Ribeirão dos Pinheiros



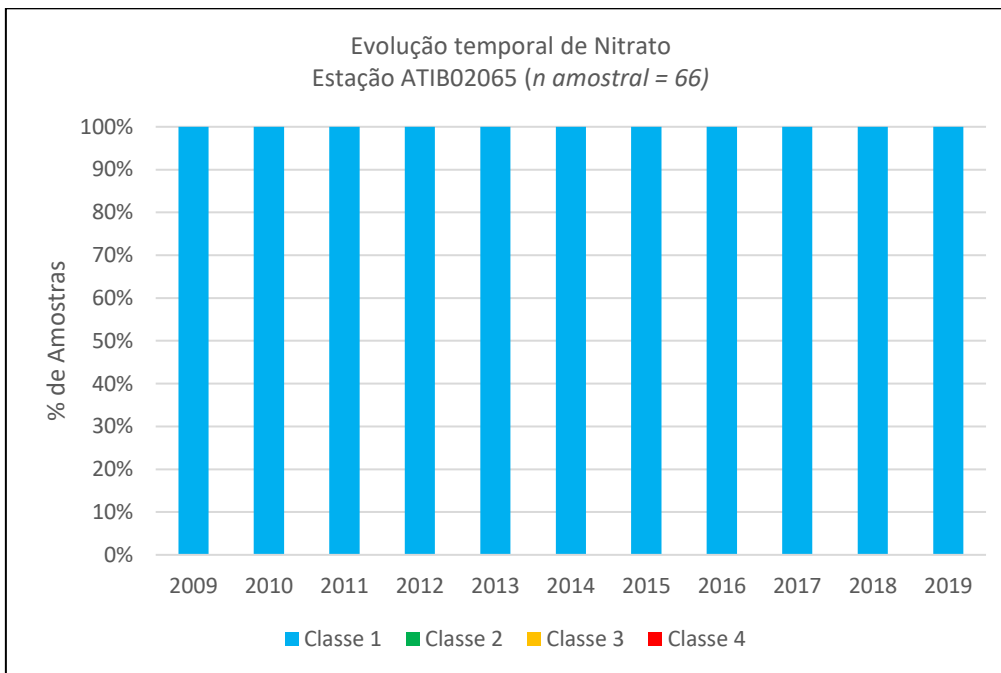
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Nitrato na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02035 no Rio Atibaia



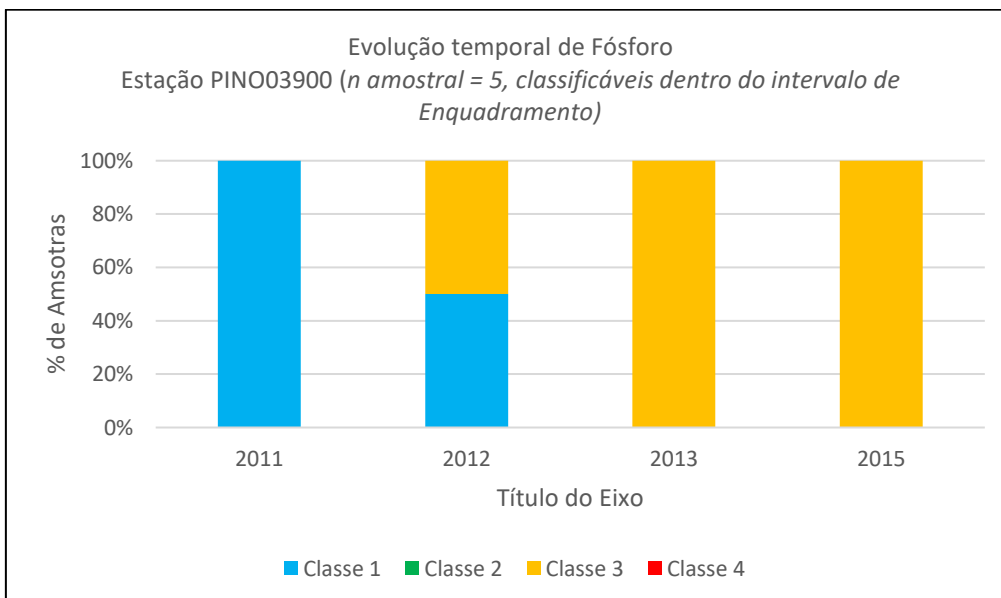
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Fósforo na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02065 no Rio Atibaia



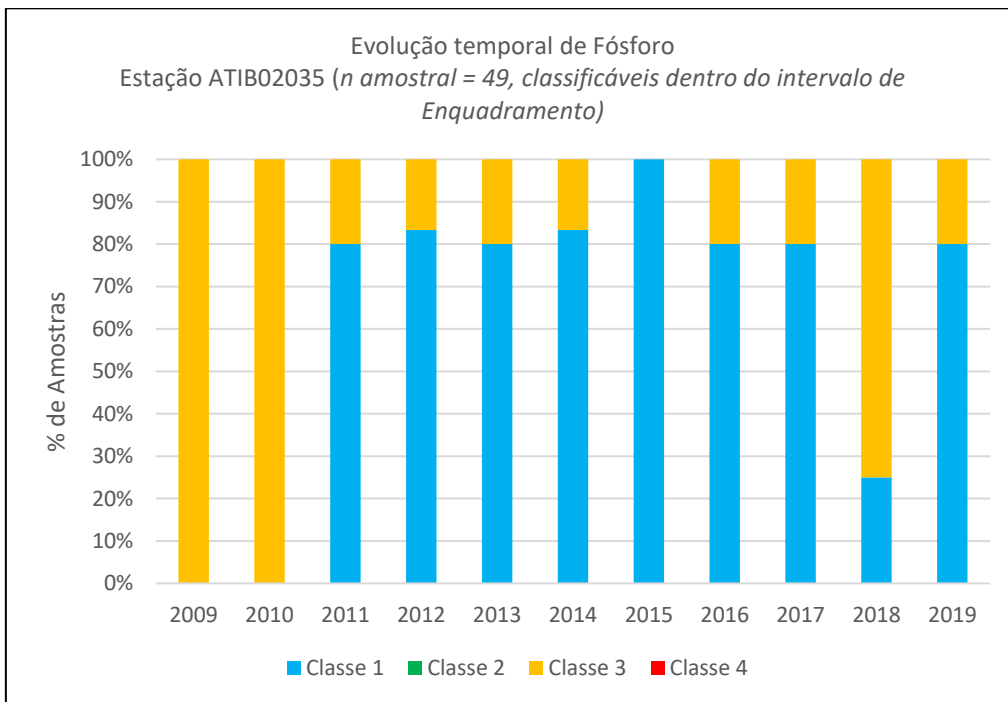
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Fósforo na Estação de monitoramento da Qualidade PINO03900 no Ribeirão dos Pinheiros



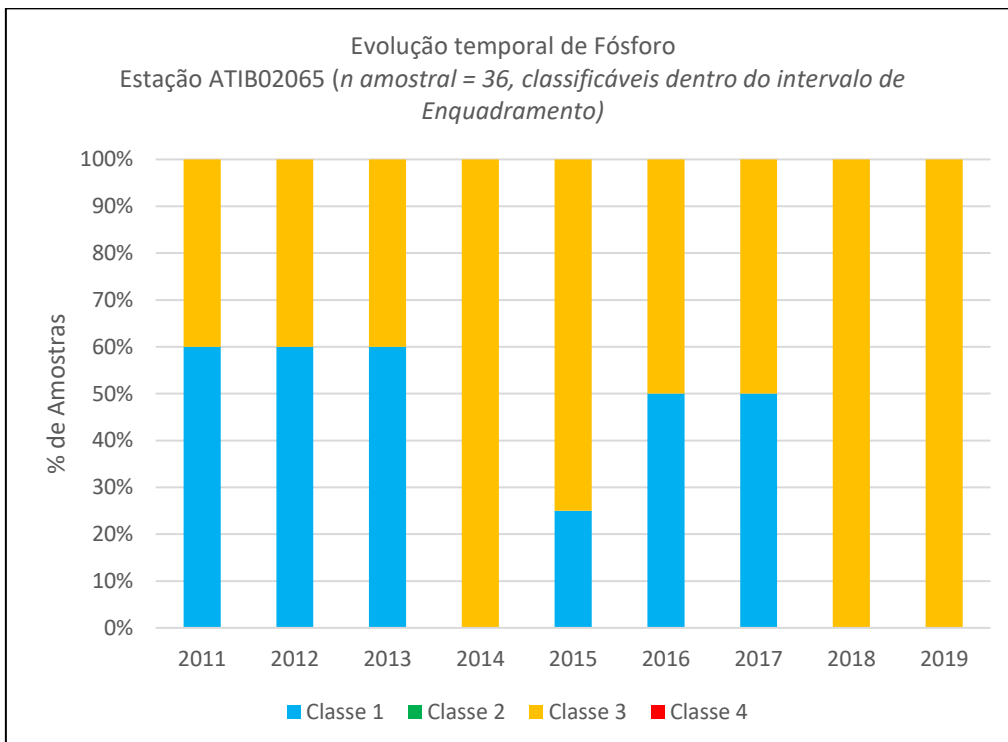
Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Fósforo na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02035 no Rio Atibaia



Fonte: A autora.

Gráfico da Evolução temporal de Fósforo na Estação de monitoramento da Qualidade ATIB02065 no Rio Atibaia



Fonte: A autora.