

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
ENGENHARIA QUÍMICA**

THAYS MENDES SANTOS

**ESTUDO DE CASO DESCRITIVO SOBRE A VIABILIDADE DO PROJETO TIETÊ
COM FOCO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES**

**Bagé
2022**

THAYS MENDES SANTOS

**ESTUDO DE CASO DESCRITIVO SOBRE A VIABILIDADE DO PROJETO
TIETÊ COM FOCO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Edson Abel dos Santos Chiaramonte

**Bagé
2022**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S237e Santos, Thays Mendes

ESTUDO DE CASO DESCRITIVO SOBRE A VIABILIDADE DO PROJETO
TIETÊ COM FOCO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES / Thays Mendes
Santos.

82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2022.

"Orientação: Edson Abel dos Santos Chiaramonte".

1. Despoluição Rio Tietê. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

THAYS MENDES SANTOS

**ESTUDO DE CASO DESCRITIVO SOBRE A VIABILIDADE DO PROJETO TIETÊ COM FOCO
NO TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 01 de abril de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Edson Abel dos Santos Chiaramonte

Orientador

UNIPAMPA

Profa. Dra. Tânia Regina de Souza

UNIPAMPA

Prof. Dr. Sérgio Meth Morgenbesser
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **TANIA REGINA DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/04/2022, às 13:26, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EDSON ABEL DOS SANTOS CHIARAMONTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/04/2022, às 14:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SERGIO METH MORGENBESSER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/04/2022, às 21:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0764010** e o código CRC **8B8273FC**.

Referência: Processo nº 23100.004128/2022-33 SEI nº 0764010

Dedico este trabalho à minha avó Maria do Carmo, que iniciou esta jornada comigo, mas partiu logo no início. Apesar de não estar entre nós, segue viva em meu coração e nas lembranças. Obrigada por possibilitar que eu realizasse este sonho!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores que me acompanharam por toda esta jornada, que apesar de difícil foi a melhor experiência da minha vida.

A minha família, que apesar da distância sempre me apoiaram e motivaram para a realização de nosso sonho.

Aos meus amigos, em particular João e Lucas, que me acompanharam desde o início até o final da graduação.

A todos que pude conhecer durante esta trajetória e contribuíram de alguma forma para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Diretório Acadêmico de Engenharia Química, que me ensinou a lutar por um propósito e lidar com as diversidades do curso.

E principalmente a Deus por me possibilitar chegar até aqui.

RESUMO

O Rio Tietê passa por uma degradação muito grande desde que o estado de São Paulo passou a desenvolver-se de maneira desenfreada e por não ter uma estrutura planejada para tal desenvolvimento na época, não somente as águas foram afetadas, mas sim o meio ambiente como um todo. A grande metrópole de São Paulo convive normalmente com o estado deplorável que os rios se encontram e a falta de conhecimento e políticas públicas geram o desinteresse por preservar o meio ambiente, resultando na situação crítica que se encontra. Neste trabalho de conclusão de curso, a viabilidade do Projeto Tietê foi realizada através de um estudo de caso descritivo, analisando indicadores de qualidade das águas a partir dos resultados divulgados dos Relatórios de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo elaborados anualmente pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, desde a implementação do projeto até 2019.

Palavras-chave: Rio Tietê. Despoluição. Esgoto. São Paulo. Água.

ABSTRACT

Tietê River has been suffering a huge degradation since the development of the state of São Paulo is wildly happening, and it doesn't have the planned structure for such progress in the moment, and not only its water has been affected, but also the environment as itself. The large São Paulo's metropolis lives together with the deplorable state of its rivers, and the lack of knowledge and public policies discourage the interest in saving the environment, and as a result, the critical situation that how it is. In this final paper, Tietê River's viability was realized thru a described case study, analyzing the water quality indicators from the published results in the Inner Water Quality Reports of the State of São Paulo, anually written by "Companhia Ambiental do Estado de São Paulo", since the project implementation until 2019.

Key-words: Tietê River. Depollution. Sewer. São Paulo. Water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percurso do Rio Tietê.....	19
Figura 2 – Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo.....	22
Figura 3 – Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.....	23
Figura 4 – Projeto Tietê.....	34
Figura 5 – Curvas Médias de Variação de Qualidade de Águas.....	38
Figura 6 – Classificação de IQA.....	39
Figura 7 – Site da CETESB de Publicações e Relatórios	43
Figura 8 – Planilha Auxiliar de Coleta de Dados	44
Figura 9 – Base de Dados.....	44
Figura 10 – Turbidez Alto Tietê- Cabeceiras.....	47
Figura 11 – Temperatura Alto Tietê- Cabeceiras	48
Figura 12 – pH Alto Tietê- Cabeceiras	49
Figura 13 – Oxigênio Dissolvido Alto Tietê- Cabeceiras	50
Figura 14 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Alto Tietê- Cabeceiras	51
Figura 15 – IQA Alto Tietê- Cabeceiras.....	52
Figura 16 – Turbidez Alto Tietê- Zona Metropolitana	53
Figura 17 – Temperatura Alto Tietê- Zona Metropolitana.....	54
Figura 18 – pH Alto Tietê- Zona Metropolitana	55
Figura 19 – Oxigênio Dissolvido Alto Tietê- Zona Metropolitana.....	56
Figura 20 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Alto Tietê- Zona Metropolitana	57
Figura 21 – IQA Alto Tietê- Zona Metropolitana.....	58
Figura 22 – Turbidez Reservatório Billings.....	59
Figura 23 – Temperatura Reservatório Billings	60

Figura 24 – pH- Reservatório Billings.....	61
Figura 25 – Oxigênio Dissolvido - Reservatório Billings	62
Figura 26 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) - Reservatório Billings.....	63
Figura 27 – IQA- Reservatório Billings	64
Figura 28 – Turbidez Reservatório Rio Cotia	65
Figura 29 – Temperatura Reservatório Rio Cotia.....	66
Figura 30 – pH Reservatório Rio Cotia.....	67
Figura 31 – Oxigênio Dissolvido Reservatório Rio Cotia.....	68
Figura 32 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Reservatório Rio Cotia.....	69
Figura 33 – IQA Reservatório Rio Cotia	70
Figura 34 – Turbidez Reservatório Guarapiranga	71
Figura 35 – Temperatura Reservatório Guarapiranga.....	72
Figura 36 – pH Reservatório Guarapiranga	73
Figura 37 – Oxigênio Dissolvido Reservatório Guarapiranga.....	74
Figura 38 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Reservatório Guarapiranga	75
Figura 39 – IQA Reservatório Guarapiranga.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das fontes de poluição	27
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização de águas residuais de alguns ramos industriais.....	30
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAT- Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

BID- Banco Interamericano de Desenvolvimento

CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

ETE- Estação de Tratamento de Esgoto

FIESP- Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

IQA- Índice de Qualidade das Águas

RMSP- Região Metropolitana de São Paulo

RSI- Resíduos Sólidos Industriais

RSU- Resíduos Sólidos Urbanos

SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo Geral	18
2.2. Objetivos Específicos.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1. Características do rio	19
3.2. História do rio.....	20
3.3. Bacia Hidrográfica	21
3.3.1. Bacia Hidrográfica do Alto Tietê	22
3.4. Poluição de rios	23
3.5. Tipos de poluição	24
3.5.1. Poluição biológica	24
3.5.2. Poluição sedimentar.....	25
3.5.3. Poluição térmica	25
3.5.4. Poluição química	25
3.6. Causas da poluição de rios.....	26
3.6.1. Poluição por esgoto doméstico	27
3.6.2. Depósitos de lixo	27
3.6.3. Mineração	28
3.6.4. Agricultura.....	28
3.6.5. Indústrias.....	29
3.6.6. Queima de combustíveis fósseis	30
3.7. Despoluição de rios.....	30
3.7.1. Rio Sena	31
3.8. Projeto Tietê	32
3.8.1. 1ª Etapa (1995-1998)	33

3.8.2. 2ª Etapa (2002-2008)	33
3.8.3. 3ª Etapa (2009-2020)	33
3.8.4. 4ª Etapa (2017-2022)	33
3.9. Índice de Qualidade de Águas	35
3.9.1. Turbidez.....	35
3.9.2. Temperatura da água.....	35
3.9.3. Oxigênio Dissolvido (OD).....	36
3.9.4. Potencial Hidrogeniônico (pH)	36
3.9.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5,20).....	36
3.9.6. Nitrogênio Total	36
3.9.7. Fósforo Total.....	36
3.9.8. Resíduos Totais	37
3.9.9. Coliformes Termotolerantes	37
4. METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO	40
4.1. Coleta dos parâmetros de qualidade da água.....	40
4.1.1. Bacia do Alto Tietê - Cabeceiras	40
4.1.2. Bacia do Alto Tietê - Zona Metropolitana	40
4.1.3. Bacia do Reservatório Billings	41
4.1.4. Bacia do Rio Cotia	41
4.1.5. Bacia do Reservatório Guarapiranga.....	42
4.2. Tratamento de Dados	43
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
5.1. Resultados Bacia Alto Tietê- Cabeceiras	47
5.2. Resultados Bacia Alto Tietê- Zona Metropolitana.....	52
5.3. Bacia do Reservatório Billings	58
5.4. Resultados Rio Cotia.....	64
5.5. Resultados Bacia Reservatório Guarapiranga	71

6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	78
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1. INTRODUÇÃO

Para quem vive na capital de São Paulo é comum ao transitar pela cidade e se deparar com os rios totalmente poluídos. A problemática em questão se dá por milhões de pessoas que vivem e transitam pela grande São Paulo não sabem ou não questionam o porquê de os rios estarem desta forma, tornando a situação deplorável que o meio ambiente se encontra em algo comum de presenciar no cotidiano.

O desenvolvimento desenfreado do estado causou diversos danos ao meio ambiente, principalmente às águas da região. Antigamente o esgoto de casas e indústrias eram despejados nos rios sem nenhum tratamento prévio e, portanto, um dos maiores causadores da problemática apresentada ocorre por conta do desenvolvimento desordenado da cidade.

Apesar de poucos conhecerem existe o “Projeto Tietê” o qual consiste na despoluição do Rio Tietê, cujo objetivo é a revitalização do rio através do tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo. O projeto divide-se em quatro fases de implementação e se encontra atualmente na fase quatro. (SABESP, 2021).

Assim como realizado em outros países é possível despoluir um rio por mais elevado que seja seu grau de poluição, trazendo vida de volta para o afluente. Este trabalho de conclusão de curso retratará sobre o projeto de maneira crítica e relatando sobre as fases que consistem na despoluição do Rio Tietê, com enfoque na área de tratamento de efluentes presentes no projeto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Neste trabalho de conclusão de curso será abordado sobre a poluição do Rio Tietê, suas problemáticas e soluções obtidas para sua despoluição, cujas fases de despoluição serão abordadas através de um ponto de vista crítico sobre o tratamento do efluente e suas questões econômicas, ambientais e sociais.

2.2. Objetivos Específicos

- Abordar sobre a história do Rio Tietê e quais fatores levaram para que ele chegasse ao estado que se encontra atualmente.
- Relatar sobre o Projeto Tietê de maneira crítica e construtiva com enfoque na área de tratamento de efluentes do projeto, descrevendo sobre suas fases de implementação.
- Descrever sobre os resultados obtidos de acordo com as fases de implementação analisando sua viabilidade através da análise dos parâmetros de qualidade das águas, cujos dados serão coletados do Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo desde o ano de implementação do projeto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características do rio

O Rio Tietê representa um importante papel para o crescimento e desenvolvimento da cidade de São Paulo e devido à esta importância é de suma relevância relatar a história do afluente e quais fatores resultaram em uma poluição desenfreada e de difícil recuperação.

Sua nascente se localiza na cidade de Salesópolis, de acordo com a Figura 1, situada nas encostas da serra do mar, a qual está a 22 km do Oceano Atlântico e a 96 km da capital paulista, nascendo em uma região tomada pela Mata Atlântica e banhando 62 municípios do estado de São Paulo. Entretanto, os rios comumente percorrem em sentido ao mar, porém o Rio Tietê percorre ao interior pois é impossibilitado de se sobrepor à Serra do Mar. (OLIVEIRA, 2014).

Figura 1- Percurso do Rio Tietê



Fonte: Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo (1958)

O Rio Tietê divide-se em quatro trechos que consistem no Alto Tietê, Médio Tietê Superior, Médio Tietê Inferior e Baixo Tietê. O Alto Tietê abrange cerca de 250 km de extensão sendo 350 m desnivelado no percurso, cujo trecho está localizado em uma região de alta aglomeração e conseqüentemente possui uma alta modificação de suas condições naturais pela ação humana.

Já o Médio Tietê Superior corresponde à 260 km de extensão e um desnível de 218 m possuindo um leito rochoso e saltos de pequena altura de queda livre. O Médio Tietê Inferior possui 185 km de extensão sendo praticamente todo canalizado. Por fim, o Baixo Tietê possui 240 km de extensão e 98 m de desnível, o qual

apresenta uma leve sinuosidade em sua largura que podem variar de 150 a 300 m. (BUENO e HENKES, 2016).

3.2. História do rio

O rio possui um importante papel desde o século XVIII, pois era pelo Rio Tietê que os bandeirantes conseguiam atravessar para o interior de São Paulo e ao estado de Mato Grosso do Sul, fundando diversas cidades pelo percurso. Durante o século XIX e início do século XX, o Rio Tietê oferecia entretenimento para a população através da pesca, esportes aquáticos, passeios e atividades pelas margens do rio. Entretanto, esta situação tornou-se cada vez menos possível conforme o estado de São Paulo se desenvolvia. (OLIVEIRA, 2014).

Grande parte da poluição do rio se dá pelo desenvolvimento desenfreado da região, sendo que em 1901 já se abordava que a água do Rio Tietê não era potável por conta da criação de suínos na região de Guarulhos e Mogi das Cruzes, cidades situadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Conforme indústrias foram implementadas pelo seu entorno, os despejos diretos destes efluentes contribuíram ainda mais para o aumento da poluição. (OLIVEIRA, 2014).

Em 1920, sanitaristas e engenheiros da Companhia de Melhoramentos de São Paulo defendiam a necessidade de retificar e desassorear o leito do Rio Tietê, cujo objetivo era acabar com suas enchentes. Entretanto, a cidade passava por um intenso processo de desenvolvimento e a ocupação de terrenos nas várzeas dos rios Tietê e Tamanduateí foram necessárias para a construção de pistas, o que impossibilitou a prática de esportes e atividades aquáticas no rio devido à poluição que crescia demasiadamente na época. (OLIVEIRA, 2014).

Já na década de 1940 a água do rio que era utilizada para irrigação de hortaliças passou a degradá-las e para deteriorar mais a situação, as redes de esgoto da cidade foram interligadas e desembocando diretamente no Rio Tietê sem nenhum tipo de tratamento prévio. Na década seguinte o crescimento populacional da cidade seguiu aumentando de forma desenfreada, assim como a quantidade de esgoto despejado no rio pelas casas e indústrias da região. (OLIVEIRA, 2014).

Nas décadas seguintes a situação seguiu se degradando cada vez mais, até que em 1968 a preocupação com a qualidade do ar e da água começou a surgir, havendo então a criação da CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento

Básico do Estado de São Paulo. Sua função era levantar os dados, diagnosticá-los e estudá-los, propondo medidas para o controle da poluição do estado. Entretanto, na década de 1970 não havia uma preocupação dos governantes com relação à revitalização das águas do Tietê, sendo que durante a Ditadura Militar estas questões foram cada vez menos priorizadas. (OLIVEIRA, 2014).

Com a Ditadura Militar a cidade de São Paulo foi inserida no sistema global tornando-se cada vez mais uma grande potência econômica. Conforme seu crescimento, sua poluição também aumentava e agravando assim cada vez mais a situação de suas águas.

Somente em 1990 passaram dar notoriedade a situação do Rio Tietê e a partir de uma mobilização pública, medidas foram tomadas para contornar a situação que o rio se encontrava. Na época existiam diversos trechos do corpo aquático cujo nível de oxigênio da água era nulo, ou seja, a única vida capaz de existir nos mesmos são àquelas que não necessitam de oxigênio, como fungos e bactérias. Em 1992, houve a criação do Projeto Tietê que será retratado neste trabalho de conclusão de curso.

3.3. Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica consiste na unidade biogeográfica que drena para o corpo aquático, como rios, lagos e oceanos (TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, et al., 2008). É importante conhecer a bacia hidrográfica da região a ser estudada para compreender com clareza os processos que ocorrem na região. O estado de São Paulo dividiu sua bacia hidrográfica em 22 unidades denominadas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), como pode se visualizar na Figura 2, sendo que a região a ser estudada neste projeto é a número 6, denominada como Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (ZEQUIN, 2020).

Figura 2- Divisão Hidrográfica do Estado de São Paulo

DIVISÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO, EM 22 (VINTE E DUAS) UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS – UGRHIs



Fonte: ESTADO DE SÃO PAULO (2016)

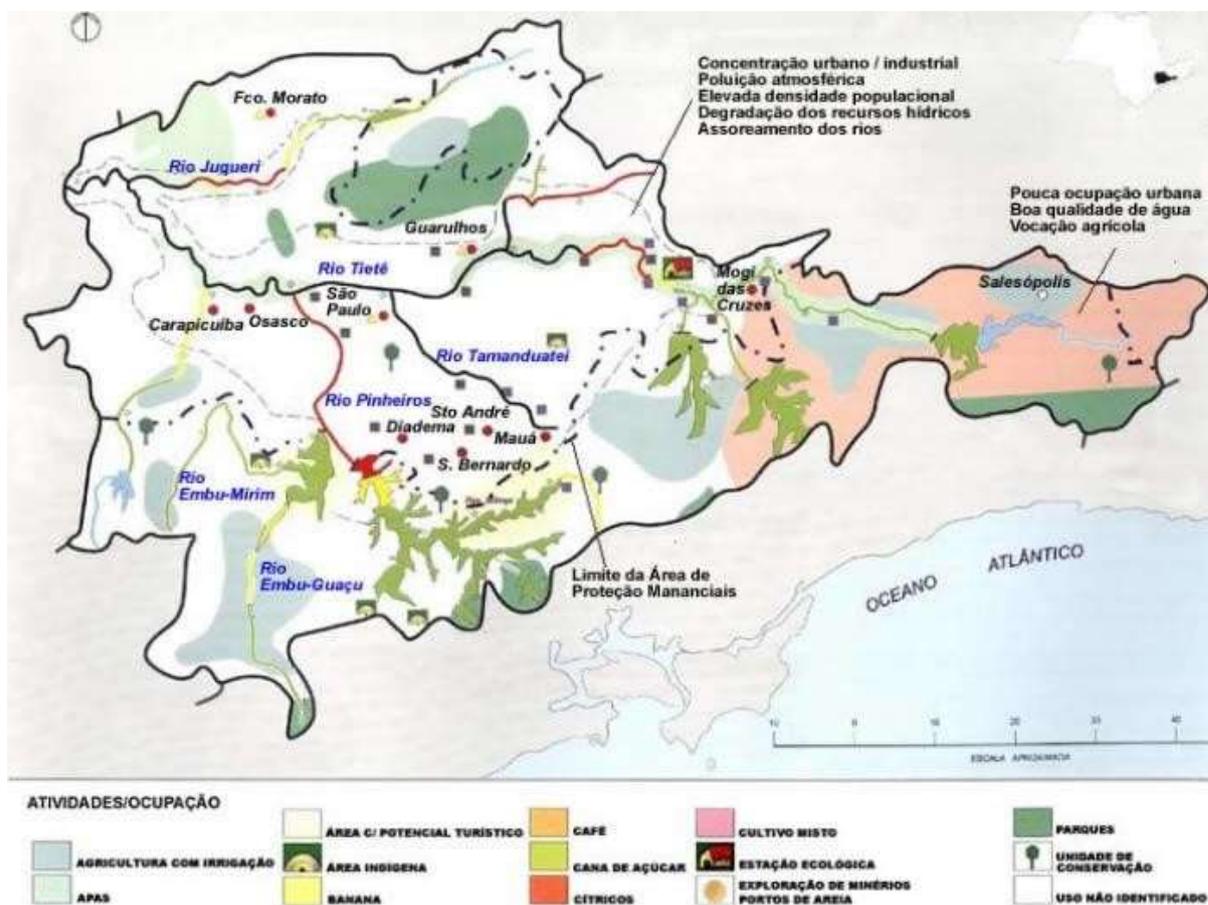
3.3.1. Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT) localiza-se na região sudeste do estado de São Paulo e é composta pelos corpos aquáticos dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Claro, Paraitinga, Jundiaí, Taiaçupeba e seus afluentes, além dos reservatórios de Paraitinga, Ribeirão do Campo, Ponte Nova, Biritiba Mirim, Jundiaí, Billings, Guarapiranga, Pirapora e as represas do sistema Cantareira e Pedro Beicht, visualizada na Figura 3 (CONICELLI, 2014).

Esta bacia engloba 34 municípios e 6 parcialmente, correspondendo a 70% da RMSP e 99,5% da sua população, abrigoando o principal polo produtivo do país. Conseqüentemente, a demanda por abastecimento é muito alta devido à elevada quantidade de habitantes da região e sua alta densidade demográfica ocasionam a

complexidade da coleta e tratamento de efluentes da região. (ZEQUIN, 2020).

Figura 3- Bacia Hidrográfica do Alto Tietê



Fonte: EQUIPE TÉCNICA DE MOGI DAS CRUZES (2021)

Estão presentes na BAT os municípios de Arujá, Barueri, Biritiba Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapeçerica da Serra, Itapevi, Itaquaquacetuba, Jandira, Juquitiba, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santana do Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, São Paulo, Suzano, Taboão da Serra. (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ, 2021).

3.4. Poluição de rios

A qualidade da água está sendo precarizada conforme a ação negligente do homem durante as últimas décadas, degradando os meios aquáticos e influenciando

diretamente na disponibilidade hídrica. Entretanto, a poluição aquática não se trata de um problema pontual e sim de âmbito global, visto que cerca de 80% das águas residuais retornam ao meio ambiente sem nenhum tratamento prévio, ocasionando a poluição de rios, lagos e oceanos. (DENCHAK, 2018).

As causas de degradação da qualidade das águas podem ser devidas as atividades domésticas, industriais ou comerciais, as quais geram diferentes tipos de poluentes ao meio aquático receptor (PEREIRA, 2004). Os diferentes tipos de poluição classificam-se de acordo com as causas, origens ou consequências ao meio aquático. Os tipos de poluição podem ser classificados como: Poluição biológica, sedimentar das águas, térmica ou química (OPERSAN SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2017).

3.5. Tipos de poluição

3.5.1. Poluição biológica

A poluição biológica ocorre pela introdução de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e de Resíduos Sólidos Industriais (RSI), os quais podem contaminar as águas, sendo de maneira direta ou através da infiltração pelo solo, o qual atinge os lençóis freáticos. Geralmente são compostos por carboidratos, gorduras, proteínas, comumente encontradas em resíduos alimentares, fezes humanas e detergentes. Entretanto, na decomposição destas matérias exigem oxigênio, o qual ocasiona um desequilíbrio no nível de oxigênio presente na água.

Estes fatores resultam na diminuição progressiva da vida aquática que necessitam de oxigênio para sobreviverem, além disso, alta concentração de nutrientes na água provenientes da decomposição dos resíduos, torna o meio propício para a proliferação de algas, as quais impedem a incidência de luz no meio aquático. (ECYCLE, 2021).

A poluição biológica pode se dar através de agentes patológicos, contendo bactérias, vírus, protozoários e vermes. As bactérias provocam infecções intestinais como febre tifoide, leptospirose, cólera e entre outras doenças. Os vírus podem provocar hepatite e infecção nos olhos, enquanto os vermes podem contaminar causando esquistossomose e outras infecções (PEREIRA, 2004).

Existem cerca de 250 milhões de casos de doenças provenientes da contaminação da água e 10 milhões de mortes por ano em âmbito global, sendo que

metade das vítimas são crianças, logo, estes fatos intensificam a importância de ter um tratamento adequado das águas antes de serem utilizadas. (ECYCLE, 2021).

3.5.2. Poluição sedimentar

A poluição sedimentar consiste no acúmulo de partículas em suspensão, provenientes do solo e de produtos insolúveis e orgânicos. No caso do solo podem ser consequentes do processo de erosão, desmatamento ou mineração (como em casos de rompimento de barragens). (ECYCLE, 2021).

Este tipo de poluição corresponde à maior parte de poluentes existentes atualmente, provenientes de acúmulo de lixos e detritos constituídos de poluentes químicos e biológicos. Isto faz com que haja interferência no processo de fotossíntese, a qual impede a incidência dos raios solares e na capacidade de animais encontrarem alimentos (OPERSAN SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2017).

3.5.3. Poluição térmica

Ela é decorrente do lançamento de água com uma grande variação da temperatura em relação ao corpo aquático receptor, proveniente do processo de refrigeração de refinarias, siderúrgicas e usinas termoeletricas ou proveniente de caldeiras (PEREIRA, 2004). Ela é o tipo de poluição menos conhecida por conta de não ser facilmente identificada, sendo ela a responsável por um impacto direto ao ecossistema do meio aquático com a sua variação de temperatura, como por exemplo na diminuição do oxigênio presente na água. (ECYCLE, 2021).

A diminuição do oxigênio ocorre por conta da redução de sua solubilidade, e além disto, o aumento da temperatura acelera as reações de outros poluentes já existentes na água, o qual também afeta na reprodução de algumas espécies (OPERSAN SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2017).

3.5.4. Poluição química

De acordo com Pereira (2004), existem dois tipos de poluição química e podemos classificá-las como poluição química de biodegradáveis e de persistentes. A de biodegradáveis consiste em produtos químicos que ao longo do tempo sofrem decomposição por conta das bactérias presentes no meio. Exemplos de poluentes biodegradáveis são: detergentes, inseticidas, petróleo, fertilizantes e entre outros

contaminantes.

Já os poluentes persistentes consistem em produtos químicos que permanecem a longo prazo no meio ambiente e nos seres vivos. Esse tipo de poluente gera graves consequências ao meio ambiente, como a contaminação de alimentos, peixes e outros seres aquáticos (PEREIRA, 2004). Exemplos desse tipo de poluente podem ser medicamentos presentes no efluente como diclofenaco sódico, nimesulida, e metais pesados como por exemplo o mercúrio (OPERSAN SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2017).

A poluição química é uma das mais nocivas ao meio, visto que são de difícil percepção e de complexa reversão. Ela é comumente ocasionada por indústrias que descartam seus efluentes sem o tratamento adequado e por atividades agrícolas, cuja contaminação é proveniente de inseticidas e agrotóxicos. No curso da água os poluentes são carregados e no caso dos poluentes químicos eles podem depositar-se no fundo dos rios, dificultando mais a sua remoção, o que resulta em um tratamento demorado e de alto custo. (ECYCLE, 2021).

3.6. Causas da poluição de rios

A poluição das águas ocorre de diferentes formas e cada uma delas apresentam distintos efeitos ao meio, sendo elas ocasionados por: esgoto doméstico, depósitos de lixo, mineração, agricultura, indústrias, navegação e pela queima de combustíveis fósseis. Na Tabela 1 apresentada a seguir pode-se notar as diferentes fontes de poluição e seus diferentes graus de poluição. (PEREIRA, 2004).

Quadro 1- Características das fontes de poluição

Fontes	Bactérias	Nutrientes	Pesticidas/ Herbicidas	Micro poluentes orgânicos industriais	Óleos e Graxa
Atmosfera		1	3-G	3-G	
Fontes Pontuais					
Esgoto doméstico	3	3	1	3	
Esgoto industrial		1		3-G	
Fontes Difusas					
Agrícolas	2	3	3-G		
Dragagem		1	2	3	1
Navegação e portos	1	1		1	3
Fontes Mistas					
Escoamento urbano e depósitos de lixo	2	2	2	2	2
Depósitos de cargas industriais		1	1	3	1
(1) Fonte de significância local; (2) de moderada significância local/regional; (3) de significância regional; (G) de significância global					

Fonte: TUCCI (1998)

3.6.1. Poluição por esgoto doméstico

Este tipo de poluição se dá pela água residual gerada pelas residências, como as utilizadas para higiene pessoal, vasos sanitários, lavagem de alimentos e de utensílios e entre outros usos. Geralmente é constituído por matéria orgânica biodegradável, microrganismos, nutrientes, óleos e detergente. (PEREIRA, 2004).

De acordo com (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018) cerca de 83,3% da população do país possuía abastecimento de água potável em 2016, contudo, a outra parcela da população coleta a água diretamente de rios e podem se contaminar com a água sem um tratamento para torná-la potável por conta da poluição, principalmente proveniente de RSU e RSI. (BRK AMBIENTAL, 2019).

A principal problemática resultante da poluição por esgoto doméstico é consequente da concentração de microrganismos, bactérias ou resíduos tóxicos, pois o contato com este material contaminante pode ocasionar diversas doenças gastrointestinais por conta do crescimento de bactérias, vírus e fungos pelo efluente contaminado. (ACOM/ SANESUL, 2020).

3.6.2. Depósitos de lixo

Os depósitos de lixo são locais que possuem resíduos de diferentes tipos

como domésticos, comerciais, industriais, agrícolas e hospitalares e sua composição depende de fatores como o nível educacional da população local, seu poder aquisitivo e costumes regionais (PEREIRA, 2004).

O alto volume de lixo produzido em países desenvolvidos desencadeia uma grande problemática, visto que o volume de resíduos é proporcional ao desenvolvimento do país. De acordo com a deposição destes resíduos podem resultar em diversas problemáticas, como no caso de lixões e aterros não controlados, os quais propiciam o aparecimento de vetores de doenças (ratos, baratas, mosquitos e moscas) e a poluição do ar, águas subterrâneas e solo (COSTA, 2004).

Os resíduos orgânicos decompostos resultam na falta de oxigênio na massa de lixo, originando os gases contendo gás sulfúrico, metano e mercaptano, e o chorume. Os gases além do desagradável odor, podem provocar incêndios por conta inflamabilidade do metano. Já o chorume é um líquido de cor escura com alta concentração de matéria orgânica e de diversos poluentes inorgânicos, sendo altamente poluente e escoam até as águas subterrâneas. (COSTA, 2004).

3.6.3. Mineração

Os impactos provenientes da mineração possuem diferentes consequências, as quais dependem do mineral sendo extraído, sendo o ouro o maior responsável pelos grandes impactos da contaminação de mercúrio no corpo aquático. A mineração de chumbo, zinco e prata gera resíduos com alta concentração de arsênio, o que torna a água mais ácida. Já a mineração de carvão também torna a água ácida proveniente dos antigos depósitos de rejeitos. Além disto, dependendo do mineral extraído existem outros impactos ao meio ambiente como a construção de barragens, desmatamento da região e desencadeamento de processos de erosão. (PEREIRA, 2004).

3.6.4. Agricultura

A agricultura além de ser o setor que mais consome água doce no Brasil, é o segundo maior que contamina os rios do país (STRACCI, 2012). Os principais

poluentes provenientes desta atividade são os defensivos agrícolas, cujos são utilizados no controle de pragas (PEREIRA, 2004). Entretanto, cerca de 99% dos venenos aplicados em lavouras não atingem a praga alvo, ou seja, todo este percentual de agrotóxicos vai diretamente para o solo, rios, ar e águas subterrâneas (STRACCI, 2012).

Uma de suas problemáticas é que os pesticidas se acumulam por toda a cadeia alimentar e suas consequências no meio aquático atingem diretamente a fauna e a flora local, visto que se o veneno for um herbicida há a possibilidade de matar plantas aquáticas e caso seja um veneno cujo objetivo seja exterminar animais, pode-se matar pequenas espécies de peixes (STRACCI, 2012).

3.6.5. Indústrias

O resíduo líquido oriundo de indústrias varia tanto em sua vazão como na composição e se divide em três categorias: águas sanitárias, de refrigeração e de processos. As águas sanitárias equivalem-se ao esgoto doméstico, as de refrigeração são provenientes da água utilizada no processo de resfriamento, ocasionando a poluição térmica, e a de processos são as quais possuem contato direto com a matéria prima.

A poluição proveniente de águas de processo possui características de acordo com o produto sendo manufaturado pela indústria. A Tabela 1 apresenta os ramos industriais e os respectivos efluentes.

Tabela 1- Caracterização de águas residuais de alguns ramos industriais

Ramo Industrial	Efluentes
Fertilizantes	Nitrogênio e Fósforo
Refinarias	Derivados de petróleo
Curtume	Cromo e borra de tinta residual
Celulose	Matéria orgânica e compostos organoclorados
Siderúrgica e Metalúrgica	Fenóis, cianetos, amônia, fluoretos, óleos, ácido sulfúrico, sulfato de ferro e metais pesados
Pesqueira	Nitrogênio, gordura e matéria orgânica
Têxtil	Ácido e álcalis, cor, material em suspensão, óleos e graxas
Óleos vegetais	Matéria orgânica, nutrientes, sólidos em suspensão, óleos e graxas
Matadouros	Sólidos em suspensão, nutrientes, matéria orgânica, cor e microrganismos
Galvanoplastia	Metais pesados, cianetos, acidez, sólidos em suspensão e dissolvidos

Fonte: Adaptado de Pereira (2004)

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) não possui uma infraestrutura adequada para receber esgotos não domésticos para então encaminhá-los para as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), com isso a responsabilidade do tratamento do efluente compete totalmente à empresa. (SABESP, 2021).

3.6.6. Queima de combustíveis fósseis

A queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes de poluição atmosférica e essa queima produz gás carbônico, formas oxidadas do mesmo, nitrogênio e enxofre. Sendo assim, o dióxido de enxofre e o óxido de nitrogênio quando em contato com a água da chuva, provoca a chuva ácida. Este fenômeno resulta na diminuição do pH das águas dos corpos aquáticos. Portanto, além de prejudicar a vida aquática, a chuva ácida torna a água imprópria para irrigação e aumenta a erosão do solo na região. (PEREIRA, 2004).

3.7. Despoluição de rios

Para que o processo de despoluição de rios seja eficiente é necessário que inicialmente seja identificado quais são as causas de sua poluição. Para que o

processo obtenha resultados positivos é necessário que haja uma ação em conjunto do governo e da população, visto que o processo é lento e necessita cuidado de ambas as partes.

Para que a despoluição ocorra é necessário que nenhuma carga poluidora entre em contato com o rio sem um tratamento prévio, pois conforme menos poluentes entrem em contato com o corpo aquático, aos poucos a qualidade da água melhora, visto que um rio é autolimpante. Ou seja, para que o processo ocorra é necessário ampliar e aprimorar o sistema de coleta e tratamento de esgoto, pois a poluição não entre em contato com o rio, escoamento do corpo aquático permite com que ele se limpe sozinho. (MIRANDA, 2021).

Entretanto, não basta somente tratar o efluente pois as ETEs são apenas uma parte do sistema. É necessário que a população como um todo se conscientize sobre a causa. Além disso, existem outras formas de poluir um rio, como através da carga difusa, e outros fatores que não contribuem à situação como a inexistência de mata ciliar e impermeabilização do solo. (MIRANDA, 2021).

3.7.1. Rio Sena

Um caso muito conhecido de despoluição de rios encontra-se o Rio Sena, o qual na década de 1960 já foi considerado como morto e hoje suas águas são cristalinas e com cerca de 35 espécies de peixes existentes no rio atualmente.

O Rio Sena banha a capital da França, Paris, e desagua no Oceano Atlântico, possui uma extensão de 776 km e sua nascente localiza-se na Masete de Langres, Cotê-d'Or, a 470 metros de altitude em relação ao nível do mar. Ele e seus principais afluentes (Oise, Marne e Yvonne) fazem parte da bacia Sena-Normandia, a qual se estende por 95.000 km² que equivale à 18% do território da França. O rio é de suma importância para o transporte hidroviário do país, como por exemplo, o transporte do carvão utilizado para a geração de energia nas usinas termoelétricas é feito através do rio para evitar o congestionamento e a poluição sonora. (GONÇALVES, FERRAZ, et al., 2017).

O processo de despoluição do Sena iniciou após o rio ser dado como morto, então leis foram criadas e o investimento necessário para promover a despoluição do rio foi através do princípio poluidor-pagador, onde a população começou a pagar pela poluição que causavam ao rio. Este princípio é um dos três pilares da gestão de água do país sendo que quanto mais se polui o rio, mais se paga pelo dano causado

à natureza. Ou seja, além de se pagar pelo uso da água e da coleta de esgoto, também se paga pela poluição gerada. (MACHADO, RIBETI e BOURGUIGNON, 2015).

A revitalização do Rio Sena ocorre até os dias de hoje e um dos grandes impulsores em termos de meio ambiente serão as olimpíadas que ocorrerão em Paris em 2024. Atualmente o projeto Reinventar o Sena segue em atuação, o qual abrange todo o vale do rio, cujo objetivo é trazer desenvolvimento de atividades econômicas para as margens do rio para possibilitando a integração da população ao rio novamente. (GONÇALVES, FERRAZ, et al., 2017).

3.8. Projeto Tietê

É comum passar pela cidade de São Paulo e deparar-se com o estado deplorável que o rio apresenta, não somente pelo odor, mas também pela quantidade de resíduos que pode se observar em suspensão pela água. Mesmo com a situação cada vez mais degradante que o rio se encontra, medidas têm sido tomadas para reverter a situação.

Apesar de não ser de conhecimento da população, existe um projeto cujo objetivo é despoluir o Rio Tietê, intitulado como Projeto Tietê. Ele foi criado em 1992 após a pressão pública que se iniciou em 1990 com uma campanha realizada pela rádio El Dourado, a qual foi inspirada na matéria realizada pela BBC de Londres onde um repórter navegava pelo Rio Tâmisia apresentado a quantidade de peixes existentes no local, pois o Rio Tâmisia havia passado por um processo de despoluição. Com isto surgiu o questionamento, pois se os ingleses despoluíram o rio, o mesmo poderia ser realizado no Rio Tietê. A partir de então houve uma grande repercussão do assunto gerando uma ampla mobilização pública, resultando em um abaixo assinado com 1,2 milhões de assinaturas pedindo que medidas fossem tomadas para reverter a situação que o rio se encontrava. (DA SILVA, 2016).

Segundo o livro da CETESB, em 1990 foi assinado o protocolo de intenções entre a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e as Secretarias de Energia e de Saneamento e de Meio Ambiente, cujo objetivo era a despoluição da bacia do Alto Tietê, englobando o Rio Tietê, Pinheiros, Tamanduateí e a Represa de Billings. (CETESB, 2018).

A partir desta repercussão em 1992 o Governo do Estado de São Paulo criou o Projeto Tietê, cujo responsável por sua gestão é a Sabesp e seu objetivo consiste

na recuperação do rio, reduzindo sua poluição através da coleta e tratamento de esgoto. O projeto foi financiado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), pela Sabesp, Caixa Econômica Federal e pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Social (BNDES). (DA SILVA, 2016).

O projeto divide-se em quatro etapas:

3.8.1. 1ª Etapa (1995-1998)

Esta etapa consistiu na implantação de três ETEs localizadas no ABC Paulista, Parque Novo Mundo e São Miguel, com 1.500 km de redes coletoras, 315 km de coletores-tronco, 37 km de interceptadores e 250 mil ligações domiciliares à rede de esgoto. Além disto, a ETE de Barueri teve sua capacidade ampliada de 7 para 9,5 m³/s de efluente tratado. (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

3.8.2. 2ª Etapa (2002-2008)

O foco desta etapa do projeto consistia na recuperação da represa Billings e o rio Pinheiros, cujo propósito seria para o abastecimento de água da RMSP. Também foram interligadas redes ao sistema de tratamento de esgoto às ETEs e na ampliação da coleta de esgoto e de tratamento de efluentes. Foram construídos 38 km de interceptores, 160 km de coletores-tronco, 1.400 km de redes coletoras, 290 mil ligações domiciliares à rede de esgoto e melhorias na ETE de Barueri. (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

3.8.3. 3ª Etapa (2009-2020)

Ela consiste na ampliação do sistema de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo, com enfoque nas áreas periféricas. Nesta fase foram construídas 580 km de coletores-tronco e interceptadores, 1.250 km de redes coletoras, 200 mil ligações domiciliares e o aumento da vazão de esgoto tratada em 7,4 m³/s. (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

3.8.4. 4ª Etapa (2017-2022)

O projeto encontra-se em sua quarta fase de implementação e consiste em intervenções como a implantação de um interceptador que percorre o rio Tietê subterraneamente em 7,5 km, a construção de coletores-tronco na região oeste, a

realização de obras na zona leste no entorno de córregos e a implantação de interceptador e coletores-tronco. (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da SABESP referente ao ano de 2020, já foram investidos cerca de US\$ 3,1 bilhões de dólares no projeto, sendo que R\$ 435 milhões de reais foram investidos somente em 2020, como pode se ver na Figura 4. Com o projeto foi ampliado a coleta de esgoto de 70% para 92% e o tratamento de esgoto de 24% para 83% do volume coletado na RMSP. Os projetos realizados em 2020, como as intervenções do projeto Novo Pinheiros, o qual consiste na sua revitalização, entregas de interceptadores, resultaram na ampliação e tratamento de esgoto no sul da cidade. (SABESP, 2020).

Figura 4- Projeto Tietê



Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2020)

Diversas medidas têm sido tomadas para revitalizar a situação que o Rio Tietê se encontra ainda em uma situação crítica, porém tem sido contornada com as medidas tomadas desde 1995 até os dias atuais.

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) é o responsável por classificar e enquadrar os ambientes hídricos em território nacional, cujos parâmetros estão listados em sua Resolução 357 de 2005. Os parâmetros indicadores de qualidade da água se dividem em parâmetros físicos, químicos e biológicos.

3.9. Índice de Qualidade de Águas

O Índice de Qualidade de Águas (IQA) foi elaborado pela CETESB através de uma adaptação de um estudo realizado em 1970 pela americana National Sanitation Foundation, a qual utiliza nove importantes variáveis para a avaliação da qualidade de água. Ela reuniu a opinião de especialistas que recomendaram 35 variáveis, mas apenas 9 essenciais foram priorizadas para compor o índice (CETESB, 2021).

O IQA foi criado para avaliar a água bruta para abastecimento após passarem por tratamento e geralmente o índice é calculado através dos parâmetros de contaminação proveniente de esgoto doméstico. Contudo, a avaliação realizada por este item possui limitações por delimitar os parâmetros de cálculo e não englobando outros parâmetros importantes como os parâmetros para análise de substâncias tóxicas, protozoários e outras substâncias influenciadoras nas propriedades organolépticas da água (ANA, 2021).

Os nove parâmetros que fazem parte do IQA são a turbidez, temperatura da água, Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total, Fósforo Total, Resíduos Totais e Coliformes Termotolerantes.

3.9.1. Turbidez

A turbidez indica o grau de atenuação o qual um feixe de luz sofre ao atravessar a água, ocorrendo pela absorção e espalhamento consequentes dos sólidos em suspensão. Sua principal fonte é decorrente a ação de erosão dos solos, atividades de mineração e de esgoto doméstico e industrial. (ANA, 2021).

3.9.2. Temperatura da água

Este parâmetro influencia nas propriedades físico-química das águas como a tensão superficial e a viscosidade. (ANA, 2021).

3.9.3. Oxigênio Dissolvido (OD)

O OD é imprescindível para a existência de vida aquática no meio e águas poluídas possuem um baixo nível de oxigênio, por ele ser utilizado no processo de decomposição da matéria orgânica presente no efluente. Portanto, a presença de baixas concentrações de oxigênio na água indicam a presença de águas eutrofizadas, as quais são ricas em nutrientes que tornam o meio propício ao crescimento de algas e por conta da fotossíntese há o aumento do oxigênio presente na água. (ANA, 2021).

3.9.4. Potencial Hidrogeniônico (pH)

De acordo com o CONAMA o pH da água à proteção da vida aquática deve estar entre 6 e 9 pois estas alterações podem aumentar o efeito de substâncias químicas, as quais são tóxicas para a vida aquática, como metais pesados. (ANA, 2021).

3.9.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5,20)

Este parâmetro representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água pela decomposição aeróbica de microrganismos. O 5,20 representa a quantidade de oxigênio consumida durante 5 dias à uma temperatura de 20°C. Geralmente são ocasionadas pelo lançamento de cargas orgânicas, comumente presente em esgoto doméstico. O valor alto deste parâmetro reflete na diminuição de oxigênio no meio aquático. (ANA, 2021).

3.9.6. Nitrogênio Total

No meio aquático o nitrogênio pode estar presente de diferentes formas, como por exemplo o nitrato que em altas concentrações causa uma doença denominada metahemoglobinemia infantil, a qual é letal às crianças. Os compostos de nitrogênio por serem nutrientes, quando em conjunto com outros, como fósforo, resultam no crescimento excessivo de algas. Comumente são provenientes de esgotos sanitários, industriais e do escoamento da água das chuvas em regiões agrícolas. (ANA, 2021).

3.9.7. Fósforo Total

Assim como o nitrogênio, o fósforo também é um importante nutriente e suas consequências são as mesmas. Sua fonte de poluição é proveniente de esgotos domésticos por conta de detergentes superfosfatados e da matéria fecal. (ANA, 2021).

3.9.8. Resíduos Totais

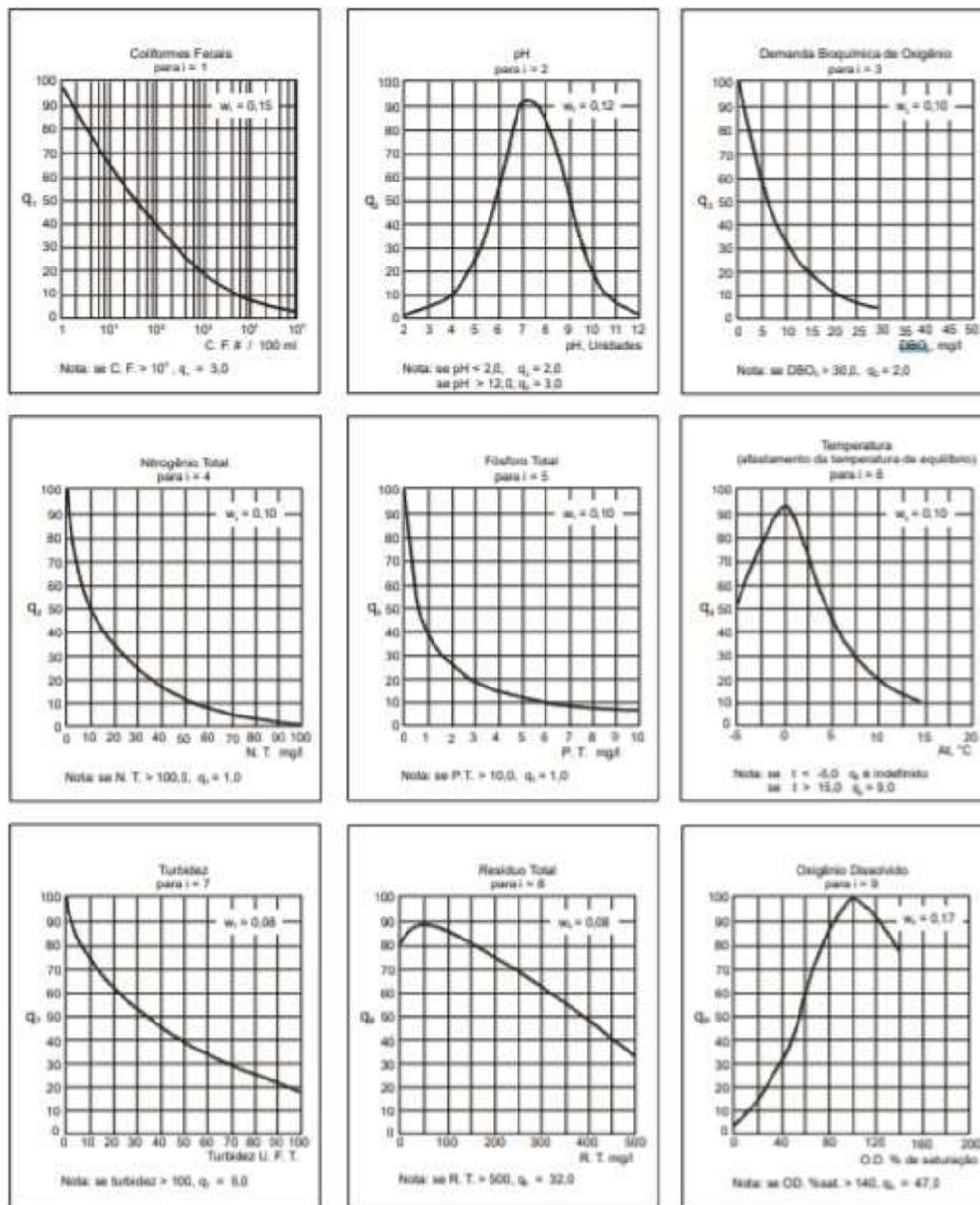
O resíduo total consiste na matéria resultante após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura. Quando estes resíduos se depositam no corpo aquático podem causar o seu assoreamento, problemas para navegação, enchentes e danificar a vida aquática. (ANA, 2021).

3.9.9. Coliformes Termotolerantes

Este parâmetro diz sobre as bactérias que ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são um dos poluentes presentes em esgotos domésticos. Elas não são patogênicas, porém em altas concentrações possibilitam a existência de microrganismos patogênicos, os quais causam doenças como disenteria bacilar, cólera e entre outras doenças.

Para cada um destes nove parâmetros determinados para o cálculo do IQA foram plotados curvas de qualidade, cuja relaciona a sua concentração correspondente à uma nota (qi), pontuada de zero (pior nota) a 100 (melhor nota), de acordo com a Figura 5.

Figura 5- Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas



Fonte: CETESB (2021)

Para o cálculo do IQA, é necessário realizar o produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis citadas que integram o índice:

Equação 1- Cálculo do Índice de Qualidade das Águas

$$IQA = \sum_{i=1}^n q^{wi} \quad (1)$$

Onde:

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

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, cujo número entre 0 e 100, obtido pela “curva média de variação da qualidade” em função da concentração ou medida;

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, cujo número varia entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

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

A partir do cálculo pode-se determinar a qualidade da água como representado na Figura 6:

Figura 6- Classificação de IQA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB (2021).

4. METODOLOGIA DO ESTUDO DE CASO

4.1. Coleta dos parâmetros de qualidade da água

A região a qual será realizada a análise dos indicadores ao decorrer do projeto é a denominada UGRHI 6- Alto Tietê e devido à complexidade dos sistemas de abastecimento e drenagem que compete à região, dividiu-se em sub-bacias hidrográficas para facilitar a avaliação dos dados coletados dos relatórios de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, dos anos de 1994 a 2019, de acordo com a seguinte divisão:

- Bacia do Alto Tietê - Cabeceiras;
- Bacia do Alto Tietê - Zona Metropolitana;
- Bacia do Reservatório Billings;
- Bacia do Rio Cotia;
- Bacia do Reservatório Guarapiranga.

4.1.1. Bacia do Alto Tietê - Cabeceiras

Esta bacia é constituída pelo Rio Tietê, desde sua nascente até as proximidades da cidade de São Paulo na divisa de Itaquaquecetuba, com uma extensão de 74 km, também constituída pelos rios Claro, Paraitinga, Biritiba-Mirim, Jundiá e Taiaçupeba-Mirim. Sua área de drenagem é de 1.889 km² e seus principais usos da água são compostos pelo abastecimento público e industrial, afastamento dos efluentes domésticos e lançamento de efluentes líquidos industriais.

Nesta divisão as amostras foram coletadas de 3 pontos de amostragem:

- 2 km a montante da foz do Rio Biritiba-Mirim;
- Rio Jundiá;
- 5 km da jusante da barragem de Ponte Nova do Rio Tietê

4.1.2. Bacia do Alto Tietê - Zona Metropolitana

Esta bacia é constituída pelo Rio Tietê, desde a sua entrada na cidade de São Paulo pela divisa do município de Itaquaquecetuba até sua barragem, localizada em Pirapora, além dos rios Baquirivu-Guaçu, Guarapira, Tamanduateí, Pinheiros e Juqueri e córregos Aricanduva e Cabuçu de Baixo. Sua área de drenagem é equivalente à 3.327 km² e seus principais usos da água são para o abastecimento

público industrial e o afastamento de efluentes domésticos e industriais.

Nesta divisão as amostras foram coletadas dos seguintes pontos:

- Rio Tamanduateí, na ponte da Avenida Santos Dumont localizada na cidade de São Paulo;
- Rio Tietê, na ponte localizada na Avenida Santos Dumont entre os municípios de São Paulo e Guarulhos;
- Rio Tietê, na ponte das bandeiras localizada na Avenida Santos Dumont;
- Reservatório Edgard de Souza, próximo as comportas da barragem do reservatório;
- Reservatório de Pirapora, próximo as comportas da barragem do reservatório;
- Rio Pinheiros, localizado na Usina Elevatória de Pedreira;
- Rio Ribeirão dos Cristais, captação realizada pela ETA de Cajamar;
- Reservatório Tanque Grande, junto à barragem no município de Guarulhos.

4.1.3. Bacia do Reservatório Billings

Esta bacia é constituída pelos reservatórios Billings e Rio Grande, além dos rios Grande, Pequeno, Boreré e Taquaquecetuba. Sua área de drenagem possui 560 km² de extensão e seus principais usos da água são compostos pelo abastecimento público e industrial, afastamento de efluentes domésticos assim como as eventuais contribuições dos que são gerados na Grande São Paulo e são bombeados pelas águas do Rio Pinheiros, e os lançamentos de efluentes líquidos indústrias.

Nesta divisão as amostras foram coletadas dos seguintes pontos:

- No meio do corpo central do Reservatório Billings, na direção do braço do Rio Boreré;
- No meio do corpo central do Reservatório Billings, sob a ponte da rodovia dos Imigrantes;
- Reservatório do Rio Grande, na altura do quilômetro 42 da rodovia SP-31;
- Reservatório do Rio Grande, próximo à rodovia Anchieta, junto à captação da SABESP.

4.1.4. Bacia do Rio Cotia

Esta bacia é constituída pelo Rio Cotia, o qual possui dois trechos com

características próprias: o Alto Cotia que possui sua montante no município de Cotia cujas águas são represadas em dois reservatórios, e o Cotia Baixo. Sua área de drenagem é de 250 km² e seus principais usos da água são para o abastecimento público e industrial, afastamento de efluentes domésticos e lançamento de efluentes líquidos industriais.

Nesta divisão as amostras foram coletadas dos seguintes pontos:

- Reservatórios das Graças, junto à captação na barragem das Graças, no Alto Cotia;
- Rio Cotia, na ponte localizada no km 28,5 da rodovia Raposo Tavares no município de Cotia;
- Rio Cotia, no canal de captação de água da ETA do Cotia Baixo.

4.1.5. Bacia do Reservatório Guarapiranga

Esta bacia é constituída pelo Rio Guarapiranga e seus afluentes: Lavra, Santa Rita, Embu-Guaçu e outros 17 córregos de menor extensão. Sua área de drenagem equivale a 631 km² de extensão e os principais usos da água são compostos pelo abastecimento público e industrial, lançamento de efluentes domésticos e efluentes líquidos industriais nos córregos que afluem para o reservatório.

Nesta divisão as amostras foram coletadas dos seguintes pontos:

- Rio Embu-Guaçu, na ponte da estrada que liga Embu-Guaçu à Fazenda da Ilha;
- Rio Embu-Mirim, na ponte da estrada M'Boi-Mirim (SP-214);
- Reservatório Guarapiranga, na captação da SABESP, junto à casa de bombas.

4.2. Tratamento de Dados

Para a coleta de informações, todos os dados brutos foram retirados a partir do Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, dos anos de 1994 a 2019 (o ano de 2020 não possuía os dados brutos divulgados), de acordo com a Figura 7.

Figura 7- Site da CETESB de Publicações e Relatórios

The screenshot shows the CETESB website interface. At the top, there is a green header with the CETESB logo and the text 'Águas Interiores'. Below the header is a navigation menu with links: 'Informações Básicas', 'Programa de Monitoramento', 'Balneabilidade', 'Enquadramento dos Corpos Hídricos', 'Legislação', and 'Publicações e Relatórios'. The main content area is titled 'Publicações e Relatórios' and features a blue header for 'Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo'. Underneath, there are two sections: 'Relatório' and 'Apêndices'. The 'Relatório' section lists 'Relatório Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo - 2020'. The 'Apêndices' section lists 13 items, including 'Apêndice A - Aspectos descritivos e quantitativos da rede de monitoramento - 2020' through 'Apêndice M - Média Anual dos Índices de Qualidade (2015 a 2020)'. A '2020' label is visible on the left side of the list.

Fonte: CETESB (2021).

Dos parâmetros selecionados inicialmente, não foi possível a coleta de todos pela inconstância na divulgação dos dados, impossibilitando a linearidade das informações ao longo dos anos coletados. Os parâmetros então considerados foram: Turbidez, Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) e IQA.

Todos os parâmetros citados foram preenchidos em planilhas individuais para cada ponto de coleta, com abas de 1994 a 2019, alimentada com todos os dados disponibilizados pela CETESB dos respectivos pontos, como pode se notar o exemplo na Figura 8. Estas planilhas alimentaram uma base de dados, conforme a Figura 9, consolidando todas as informações necessárias para a análise do projeto.

Figura 8- Planilha auxiliar dos pontos de coleta

LOCAL: RESERVATÓRIO JUNDIAÍ, NO CANAL DE INTERLIGAÇÃO COM O RESERVATÓRIO TAIACUPEBA

CÓDIGO LOCAL: 00SP06454JNDI00500 **ESPECIAL** **TIETE**

DADOS DE QUALIDADE 01/01/2000 01/02/2000 01/03/2000 01/04/2000 01/05/2000 01/06/2000 01/07/2000 01/08/2000 01/09/2000 01/10/2000 01/11/2000 01/12/2000

INFORMAÇÕES DE CAMPO

11	NÚMERO DA AMOSTRA	41315	53121	61283	63968	67611	73129
12	DIA DA COLETA	13	30	24	26	26	30
13	HORA DA COLETA	13:35	13:50	12:50	12:35	13:15	13:15
14	CHUVAS (últimas 24 horas)	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
15	COLORAÇÃO	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

18	TEMPERATURA DO AR(°C)	29	22	21	15	13,5	27
19	TEMPERATURA	29	25	22	16	18,0	28
20	pH	7,7	6,9	7,7	6,8	7,2	9,8
21	OD	6,7	5,9	8,9	8,0	7,7	8,7
22	DBO	8	6	7	3	4	8
23	DQO(mgO ₂ /L)	32	35	39	32	25	35
24	CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (mg)	7,00	4,87	9,68	9,80	7,83	8,61
25	ABSORVÂNCIA NO ULTRAVIOLETO	0,131	0,164	0,131	0,100	0,088	
26	NITRATO(mg/NL)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
27	NITRITO(mg/NL)	0,004	0,020	0,004	0,004	0,010	0,007
28	AMÔNIA(mg/NL)	0,21	0,10	0,02	0,33	0,28	0,19
29	KJELDAHL(mg/NL)	1,34	0,80	1,73	1,66	1,77	1,25
30	NITROGÊNIO TOTAL	1,64	1,02	1,93	1,86	1,96	1,46

Fonte: Autora (2022)

Figura 9- Base de dados

1	Local	AB	AN	AZ	BL	BX	CJ	CV	DH	DT	EF
4	Rio Biritiba-Mirim (BMRI02800)	Turbidez	10	30	55	19	13	9,24	50	21	10
5		Temperatura	26	23	25	22	25	21	21,1	22,2	24
6		OD	4,5	4,4	4,3	4,1	3,8	5,7	4,1	3,9	3,5
7		pH	6,9	7,1	6,4	6,4	6,1	6,6	6,4	6,1	5,9
8		DBO	2	2	3	2	0	3	3	3	3
9	IQA	70	49	48	72	0	77	54	57	57	
14	Rio Jundiaí (JNDI00500)	Turbidez	20,00	13,00	20,00	14,00	8,00	6,50	13,00	5,60	20,00
15		Temperatura	29	26	30	28	29	26	25	24,5	25,8
16		OD	3,2	4,8	4,1	6,1	6,7	7,9	8,3	6,7	9,3
17		pH	7	6,9	6,6	6,6	7,7	8,7	8,3	7,3	9,2
18		DBO	4	2	2	2	8	5	3	5	9
19	IQA	66	69	64	84	66	81	74	79	61	
25	Rio Tietê- Mogi das Cruzes (TIET2050)	Turbidez	9	36	50	37	9	7	70	15	5,5
26		Temperatura	27	24	26	23	24	24	25	21,9	25,3
27		OD	1,9	4,2	2,3	6,5	2	1,1	3,5	1,9	6,1
28		pH	6,9	6,8	6,4	2,9	6,9	6,3	6,2	6,2	6,6

Fonte: Autora (2022)

Para a automatização do processo, fórmulas foram utilizadas para evitar erros manuais e apresentar dados mais precisos ao final do processo. As fórmulas utilizadas para isto foram: SE, PROCV, PROCH e MÉDIASES. A fórmula SE é utilizada para condicionais, ou seja, para determinada situação realizar o comando e caso seja falso, realizar outro. Neste caso, os condicionais foram os meses e os

parâmetros, cujos fossem equivalentes entre a base de dados e as planilhas de suporte poderiam então proceder com o restante da fórmula ou caso não fossem, zerar a célula.

Já o PROCV quanto o PROCH são utilizados para a busca de dados, sendo necessário se determinar qual seu intervalo de busca, o critério de parada, qual a linha ou coluna e se seu resultado deve ser exato ou aproximado. Sua diferença é que o um procura dados na vertical e o outro na horizontal. Sendo assim, o PROCH buscava os meses nas planilhas de suporte enquanto o PROCV buscava os parâmetros requisitados. O conjunto destas fórmulas possibilitaram então a coleta das informações de forma precisa e evitando possíveis erros manuais caso fossem realizados de maneira manual, representado no seguinte exemplo de fórmula:

```
=SE(FD$2=ANO('[JNDI00500.xlsx]2007'!E$8);SE(FD$1=PROCH(FD$1;'[JNDI00500.xlsx]2007'!$E$8:$P$8;1;FALSO);PROCV($B16;'[JNDI00500.xlsx]2007'!$A$12:$P$100;FD$3+1;FALSO);"";""))
```

Esta fórmula realiza o seguinte comando: se os anos forem equivalentes, realiza-se outro condicional para verificar se os meses também são, os quais são procurados pela fórmula PROCH na linha da planilha de suporte que possui os meses de coleta. Caso todos estes condicionais sejam verdadeiros, procura-se os parâmetros em determinado intervalo de busca, cujas linhas de deslocamento variam de acordo com o nos meses.

Após a consolidação de todos dos dados mensais, realizou-se então a fórmula MÉDIASES, a qual realizava a média dos parâmetros a cada ano conforme os critérios sejam atendidos. Para que ela ocorra é necessário determinar o intervalo de soma, o intervalo de critério e o critério desejado para o cálculo. O presente caso a fórmula realizava a média de acordo com o ano selecionado e excluindo as células em branco ou vazias, para possibilitar a exclusão de meses que os dados não foram coletados. Para isto, utilizou-se a seguinte fórmula:

```
=MÉDIASES($D5:$LC5;$D$2:$LC$2;LF$2;$D5:$LC5;">0";$D5:$LC5;"<>"&"")
```

A fórmula necessitou passar por uma modificação para que não houvesse a exclusão de zeros no Oxigênio Dissolvido, visto que em determinados pontos de coleta o valor de fato era nulo, não podendo então ser excluído do cálculo.

Assim como foi dito anteriormente, certos dados não foram incluídos ao cálculo de acordo com as seguintes determinações:

- Trechos novos não foram acrescentados à análise para se obter uma

linearidade nas informações anuais obtidas;

- Dos parâmetros selecionados para a análise de viabilidade do projeto, três deles não possuíam linearidade nos dados divulgados conforme o decorrer dos anos, sendo eles: Nitrogênio Total, Resíduos Totais e Coliformes Termotolerantes. Sendo assim, para uma análise coerente dos dados, estes parâmetros foram excluídos da análise.

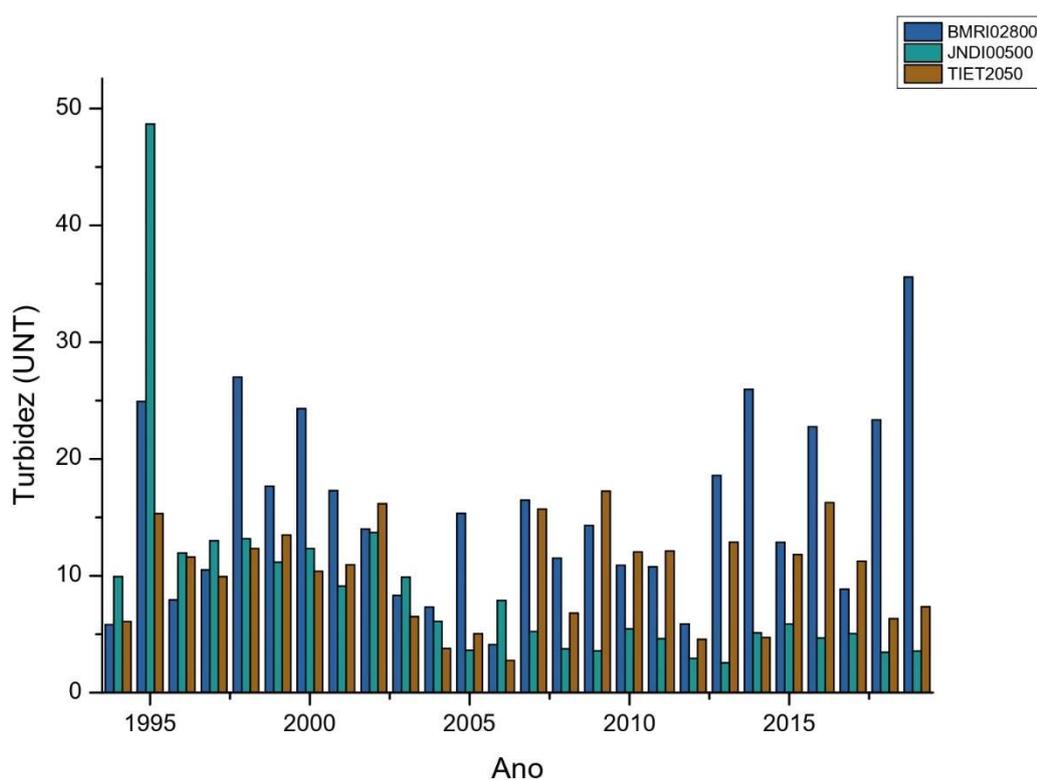
Com base nesta metodologia, foi possível visualizar graficamente as informações através de gráficos de barras realizados a partir do software Origin de acordo com a média anual de cada um dos parâmetros para todos os pontos de coleta.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Resultados Bacia Alto Tietê- Cabeceiras

Conforme a Figura 10, a turbidez não houve grande variação ao longo dos anos, com exceção do pico em 1995 no Rio Jundiáí, visto que o indicado pela resolução n° 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a turbidez deve até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT).

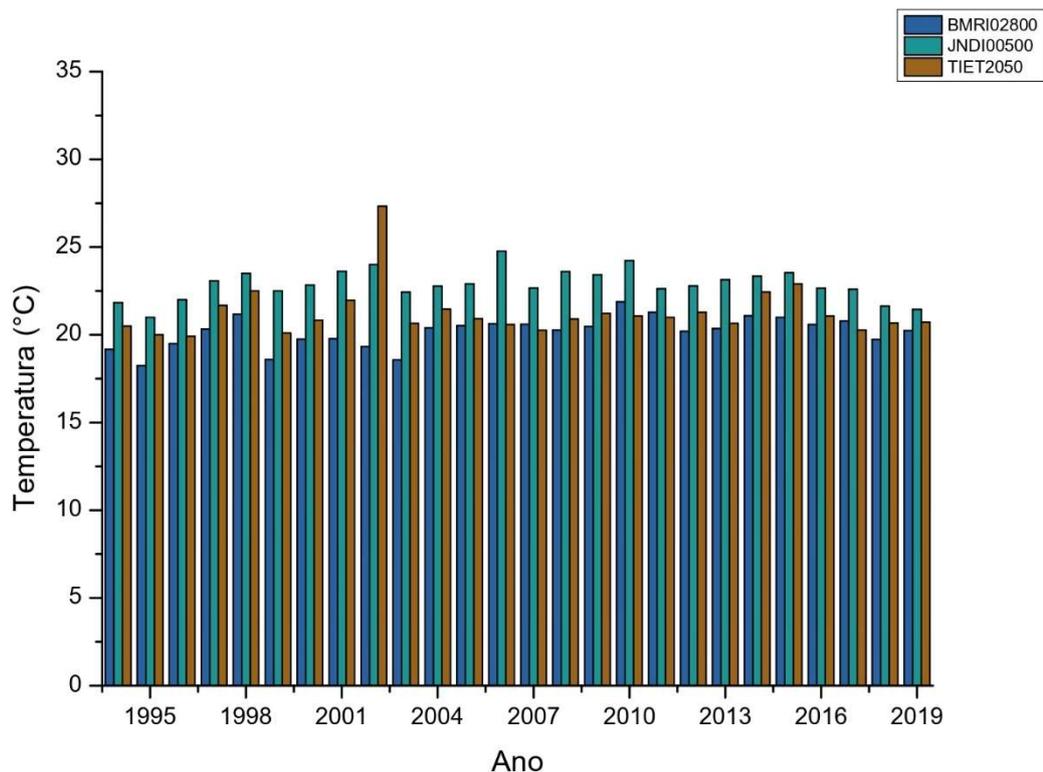
Figura 10- Turbidez Alto Tietê- Cabeceiras



Fonte: Autora (2022)

Já a temperatura da água desta sub-bacia, conforme a Figura 11, podemos notar que não houve grande variação conforme o decorrer dos anos.

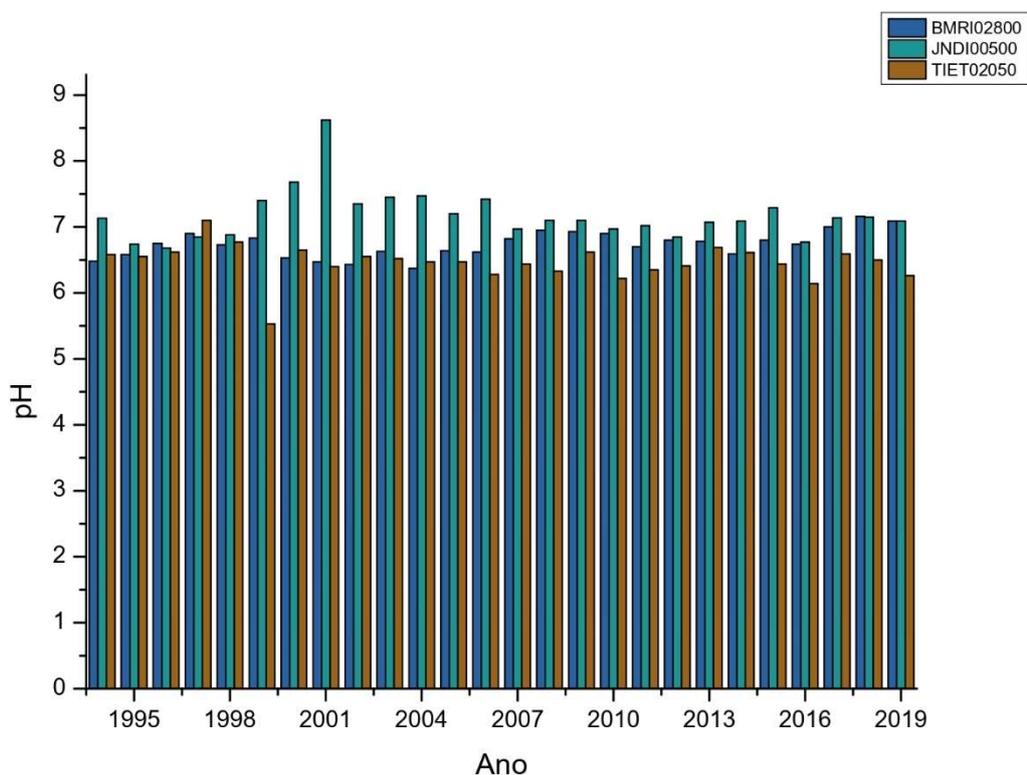
Figura 11- Temperatura Alto Tietê- Cabeceiras



Fonte: Autora (2022)

Já o pH da água, como nota-se na Figura 12, nos 3 pontos de coleta ao longo dos anos também não apresentou variação brusca, exceto no ponto de coleta que representa o Rio Jundiá (JNDI0050) no ano de 2001, visto que o recomendado pelo COMANA deveria estar na faixa de 6 a 9.

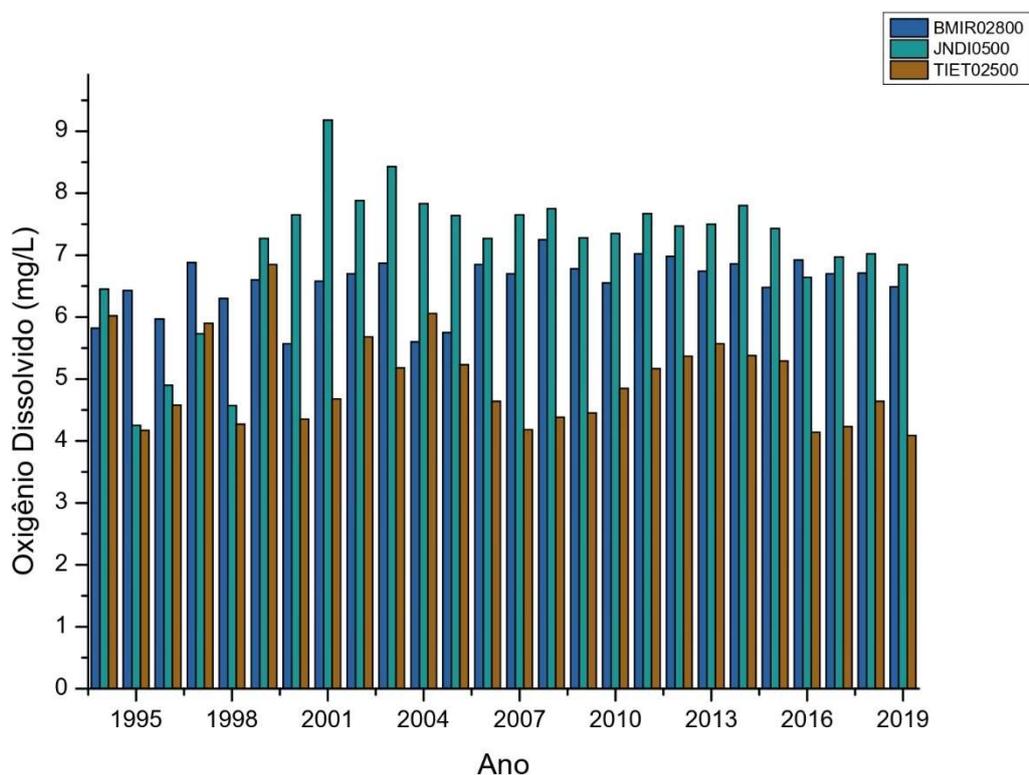
Figura 12- pH Alto Tietê- Cabeceiras



Fonte: Autora (2022)

Na Figura 13 pode-se notar que o Oxigênio Dissolvido é o único que apresentou queda ao longo dos anos, devido a sua área ser mais urbanizada e populosa, acarretando em baixos níveis de oxigênio presente na água devido a poluição presente.

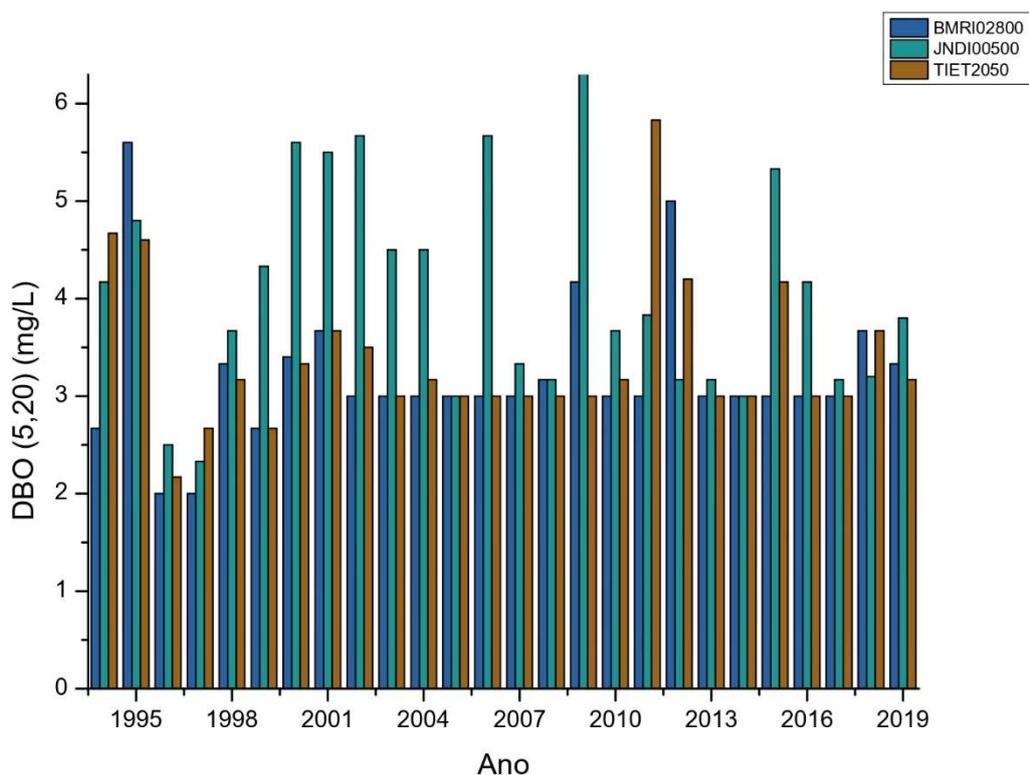
Figura 13- Oxigênio Dissolvido Alto Tietê- Cabeceiras



Fonte: Autora (2022)

Por sua vez, a demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias a 20°C, conforme a Figura 14, apresentou índices constantes a partir de 2001 nos pontos do Rio Biritiba-Mirim e Tietê, BMRI02800 e TIET2050, respectivamente. Estes são valores relativamente bons pois segundo a Resolução n° 357 do CONAMA, as águas doces classificadas como tipo 2 devem ser de até 5 mg/L de oxigênio.

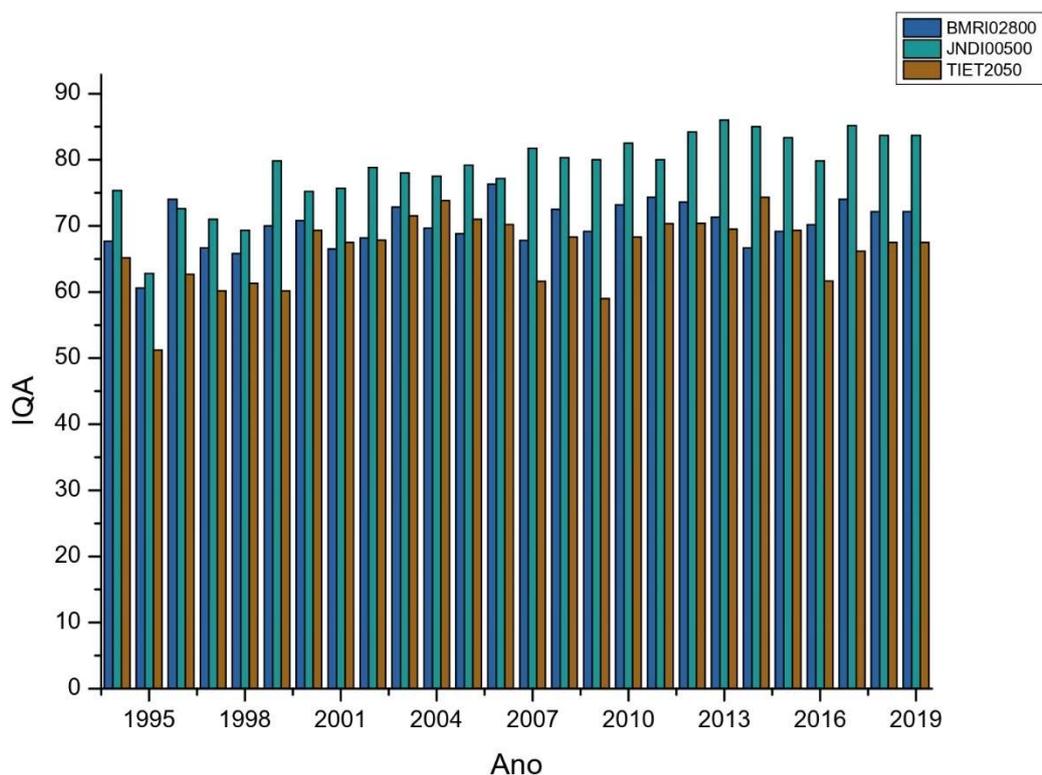
Figura 14- Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Alto Tietê- Cabeceiras



Fonte: Autora (2022)

Por fim, o Índice de Qualidade de Água de acordo com a Figura 15, apresentaram resultados classificados como bons para os pontos que representam os rios Biritiba-Mirim e Tietê e ótimo para o trecho que representa o Rio Jundiaí a partir do ano de 2010.

Figura 15- IQA Alto Tietê- Cabeceiras

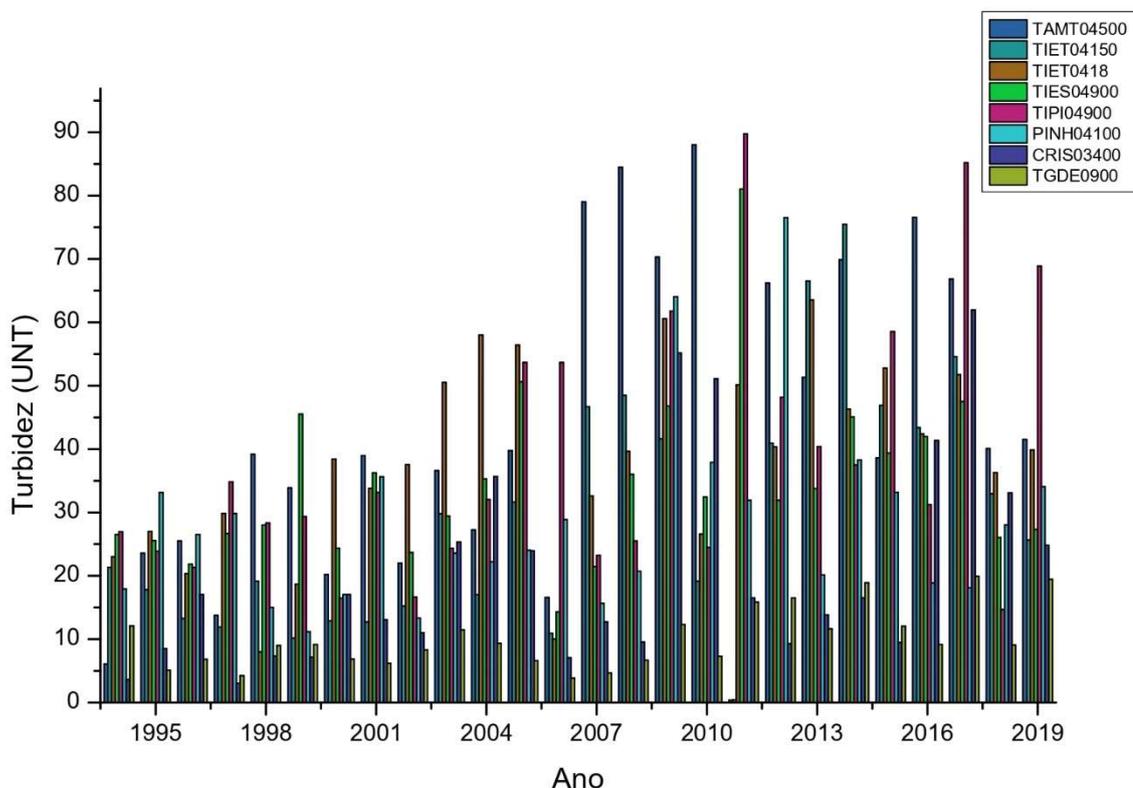


Fonte: Autora (2022).

5.2. Resultados Bacia Alto Tietê- Zona Metropolitana

A zona metropolitana é uma área muito complexa para a análise dos dados, visto seu elevado número populacional e carga de esgoto gerada por esta região em especial. Nota-se uma grande quantidade de pontos de coleta de amostra para a análise das águas, sem mencionar àqueles excluídos que foram acrescentadas à área depois do ano de 1994, impossibilitando uma análise linear assim como os outros selecionados.

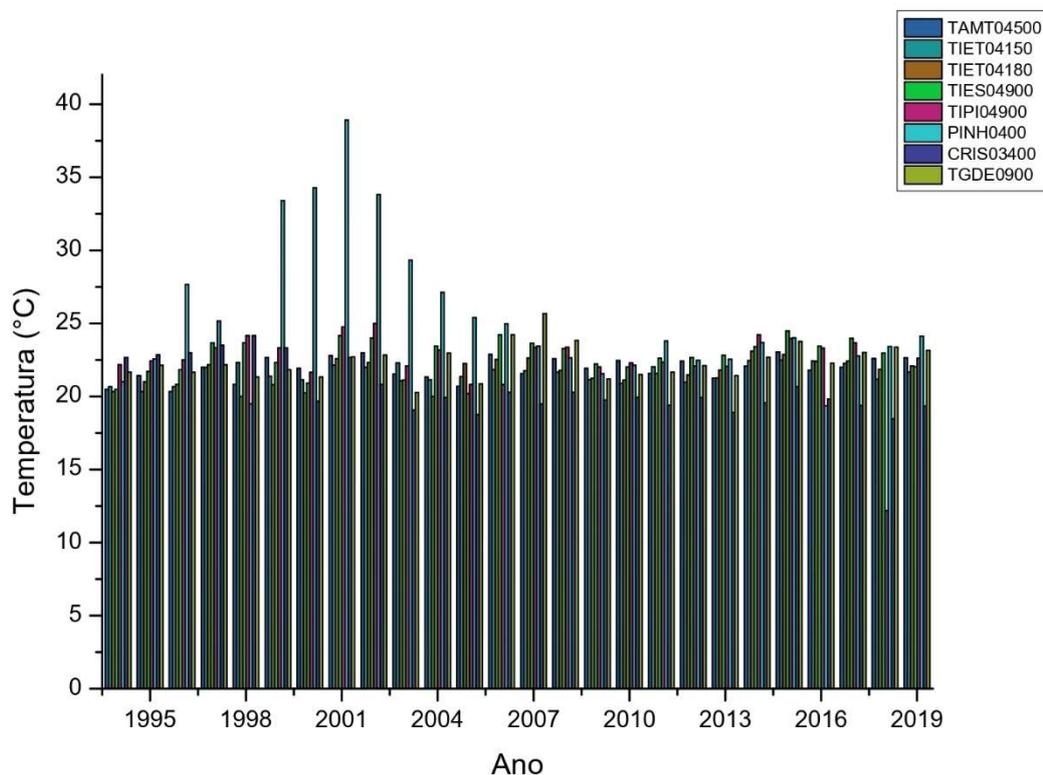
Figura 16- Turbidez Alto Tietê- Zona Metropolitana



Fonte: Autora (2022)

A partir da média anual da turbidez demonstrada na Figura 16, é perceptível uma discrepância grande entre os diferentes pontos de coleta, sendo que os pontos que apresentaram piores índices de turbidez foram os TAMT04500, TIET0480 e TIPI04900, os quais representam respectivamente, os rios Tamanduateí e Tietê e o reservatório de Pirapora. Apesar destes apresentarem os piores resultados, a maioria dos pontos de coleta não estão de acordo com o que a Resolução n° 357 do CONAMA, a qual declara que a turbidez deve ser de até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT).

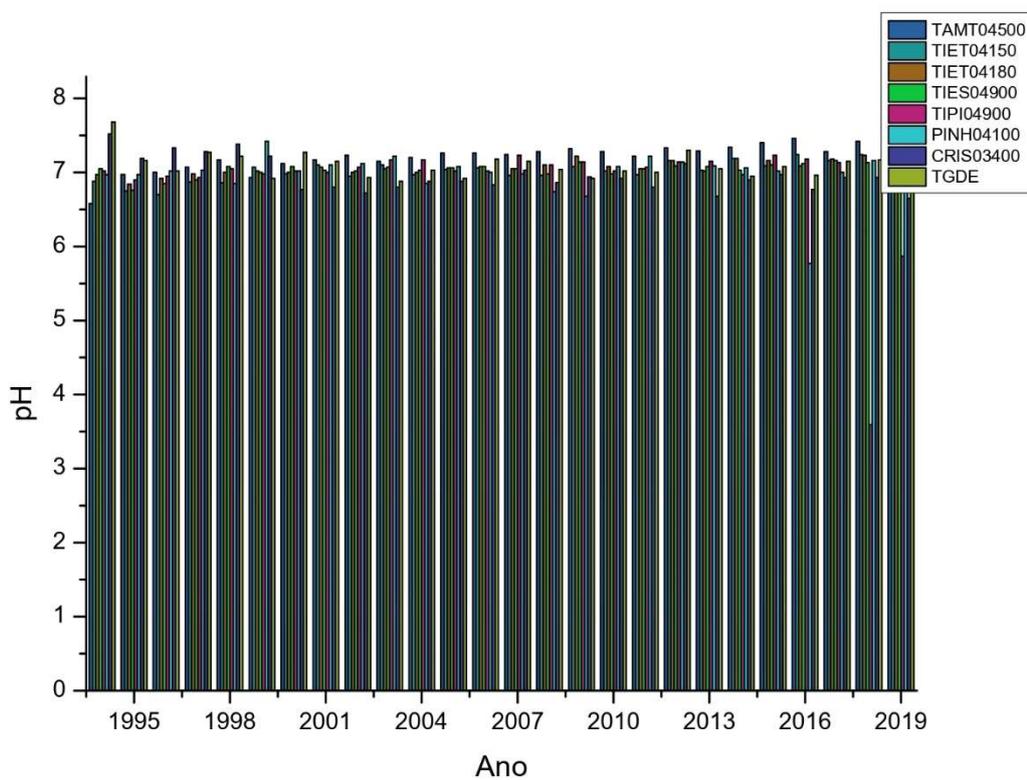
Figura 17- Temperatura Alto Tietê- Zona Metropolitana



Fonte: Autora (2022)

Observando a Figura 17, as médias anuais da temperatura é visível uma elevação principalmente no ano de 2001 no Rio Pinheiros, entretanto, de acordo com o CONAMA a temperatura dos efluentes despejados deve ser inferior a 40°C, desde que sua variação não ultrapasse 3°C no corpo receptor em sua zona de mistura. É notório que este aumento não é característico do rio e uma das possibilidades desta brusca elevação pode ser resultado de um tratamento ineficaz de efluentes industriais, cujo possivelmente foi despejado sem respeitar esta variação de apenas 3°C estabelecida pelo CONAMA.

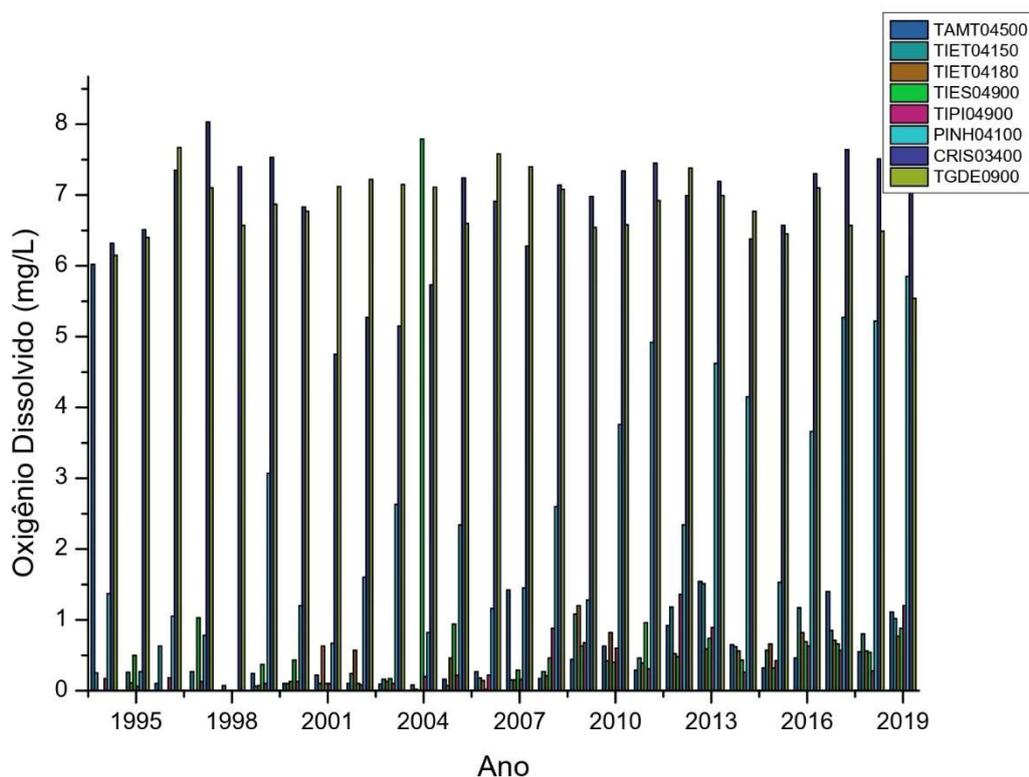
Figura 18- pH Alto Tietê- Zona Metropolitana



Fonte: Autora (2022)

O pH das águas coletadas de acordo com a Figura 18, apresentaram resultados dentro do indicado pois de acordo com a mesma resolução do CONAMA citada anteriormente, é recomendado que ele esteja entre 6 e 9.

Figura 19- Oxigênio Dissolvido Alto Tietê- Zona Metropolitana

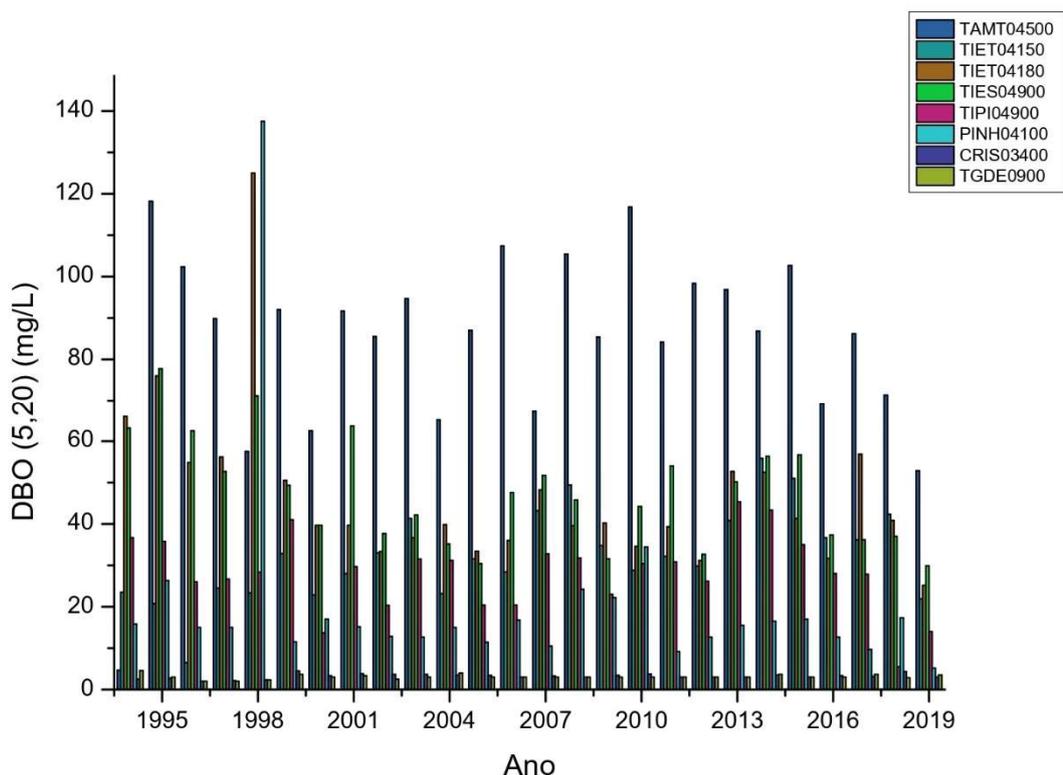


Fonte: Autora (2022)

Já na análise das médias anuais de OD da Figura 19, podemos notar uma discrepância extrema entre os pontos de coleta, visto que o Rio Ribeirão dos Cristais (CRIS03400) e o Reservatório do Tanque Grande (TGDE0900) são aqueles que índices mais, enquanto os outros pontos de coleta possuem uma concentração muito baixa ou nula. Este é um fator preocupante visto que onde a concentração de oxigênio dissolvida na água é nula, representa uma parte morta do corpo aquática e indicando a presença de algas eutrofizadas.

Entretanto, é visível que apesar de baixas concentrações, o índice vem crescendo lentamente a partir do ano de 2008 dos demais pontos de coleta, representando parte da revitalização dos corpos aquáticos, que apesar de serem baixos, mostra-se que de fato há uma melhoria ocorrendo ao longo dos anos de execução do projeto, com enfoque no Rio Pinheiros (PINH04100) que também possui um projeto de despoluição ocorrendo atualmente.

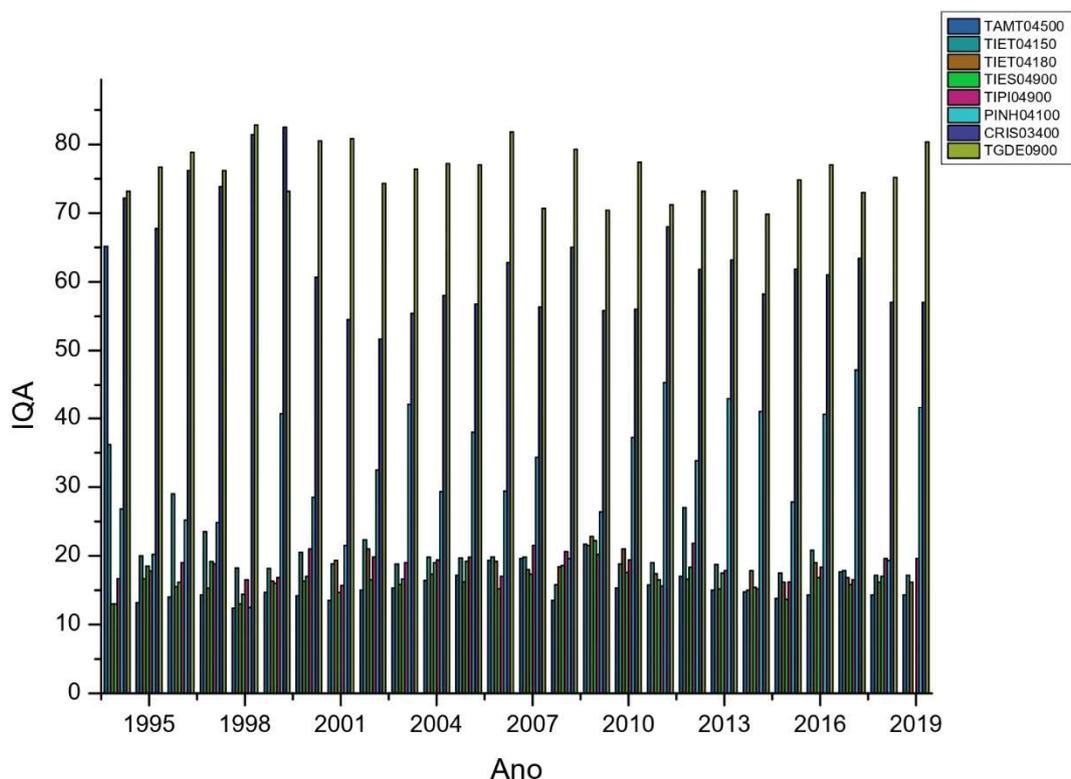
Figura 20- Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Alto Tietê- Zona Metropolitana



Fonte: Autora (2022)

Pode-se notar na Figura 20 que a demanda bioquímica da região metropolitana é extremamente alta, visto que a recomendada pelo CONANA dependendo da classificação da água pode variar de 3 a 10 mg/L. Todavia, através da análise gráfica é visível que ela vem caindo com o passar dos anos, enfatizando a importância do tratamento dos efluentes e projetos voltados para a revitalização dos rios.

Figura 21- IQA Alto Tietê- Zona Metropolitana



Fonte: Autora (2022)

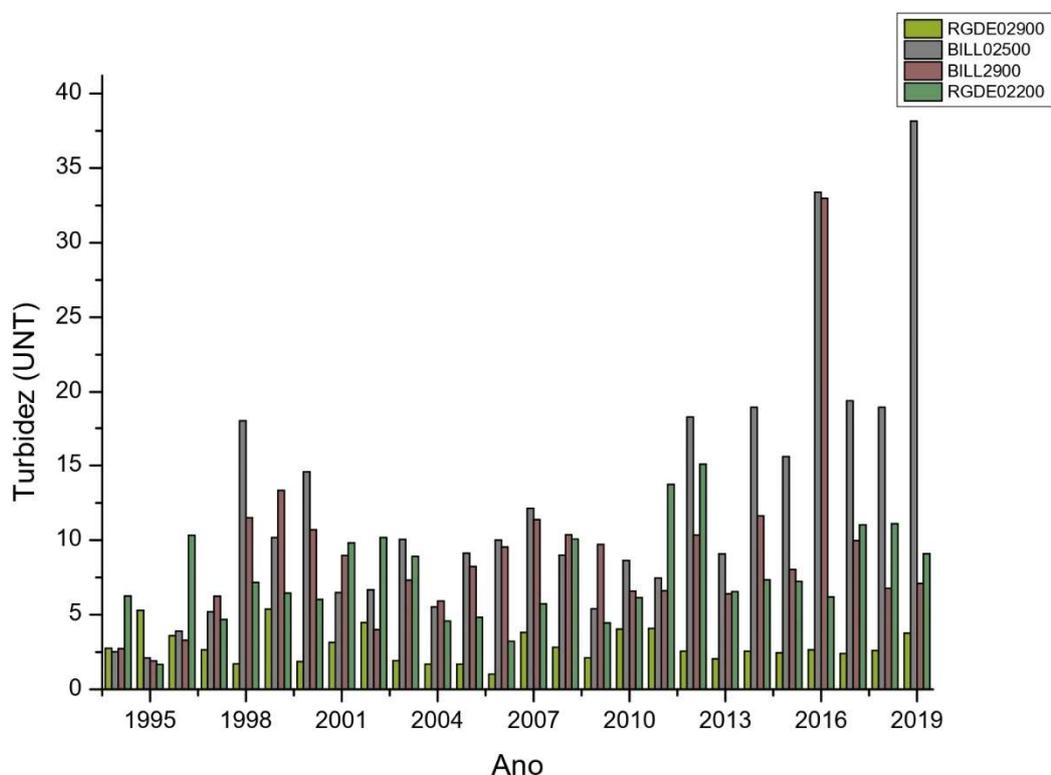
Por fim, com a classificação do IQA de acordo com a Figura 21, os pontos encontram-se como péssimos, pois quanto mais longe de 100, pior é o índice. Este resultado é proveniente de anos de descaso e despreparo para o crescimento da RMSP, resultando em uma baixíssima qualidade das águas da região.

5.3. Bacia do Reservatório Billings

Na bacia do Reservatório Billings possuem 4 pontos, sendo o BILL02500 que se localiza na Rodovia dos Imigrantes, onde ocorre o processo de autodepuração das cargas que sofrem com a influência do afunilamento presente nesta região. O outro ponto de coleta desta represa é o BILL02900, o qual representa a qualidade da água na saída do reservatório. Por fim os pontos RGDE 02200 e RGDE 02900 representam o Reservatório do Rio Grande, os quais também faz parte desta bacia.

Assim como foi realizado nas bacias anteriores, também foram plotados gráficos com as médias anuais dos indicadores a seguir:

Figura 22- Turbidez Reservatório Billings



Fonte: Autora (2022)

É visível pela Figura 22 que a turbidez apresentou bons resultados ao longo dos anos de acordo com o padrão estabelecido pela Resolução 357 do CONAMA, apresentando valores menores que 40 UNT. Isto é possível devido ao tempo de residência do reservatório, ou seja, favorecendo a sedimentação dos sólidos no percurso até a barragem.

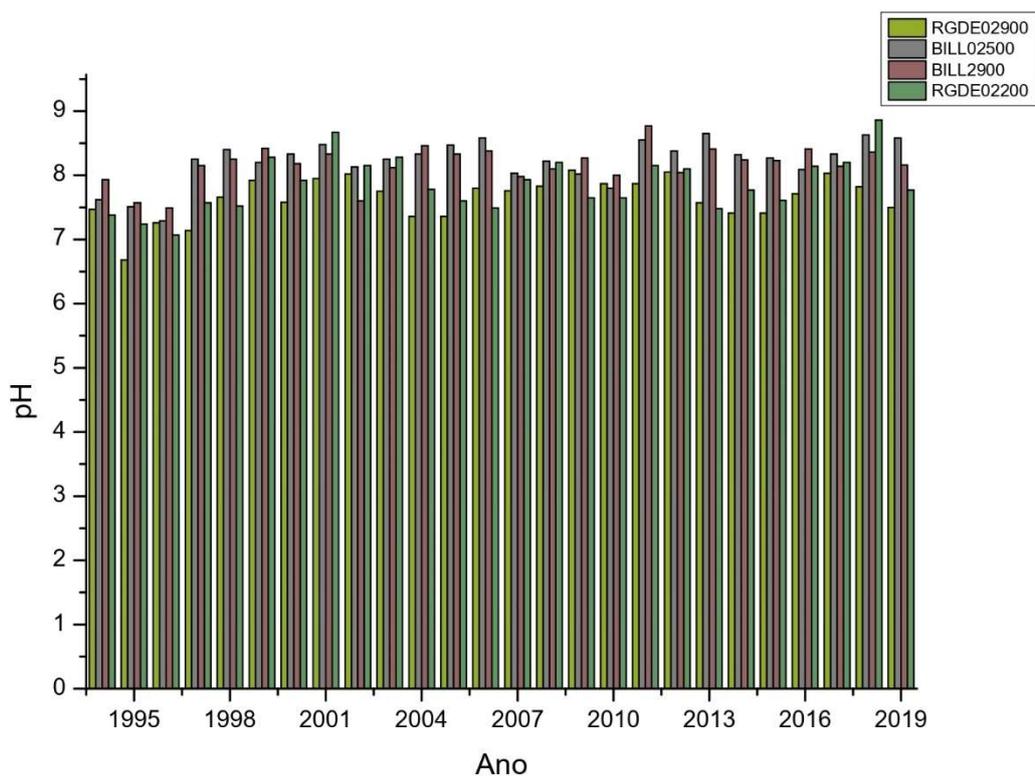
Figura 23- Temperatura Reservatório Billings



Fonte: Autora (2022)

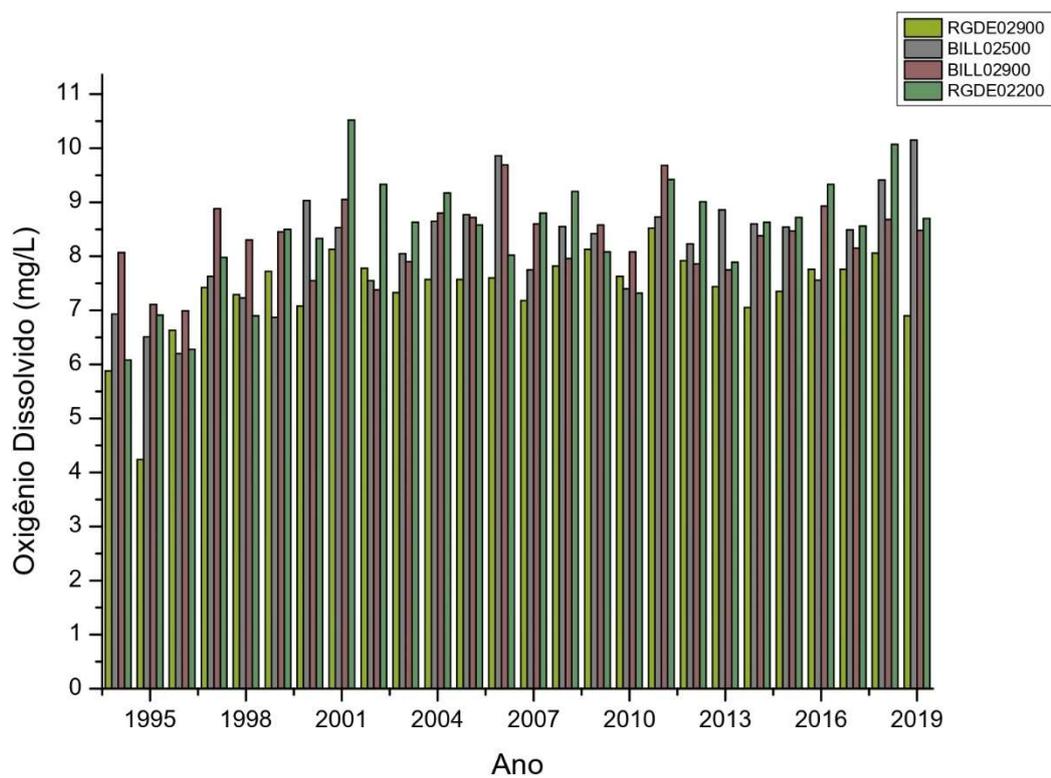
Conforme é possível notar pela Figura 23, baseado nas informações obtidas pelo gráfico, a temperatura permaneceu praticamente constante ao longo do tempo, estando dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

Figura 24- pH Reservatório Billings



Assim como o parâmetro anterior, o pH demonstrado pela Figura 24 também se manteve praticamente constante ao longo dos anos de execução do projeto, com valores dentro do intervalo de 6 a 9 estabelecido pela Resolução n° 357 do CONAMA.

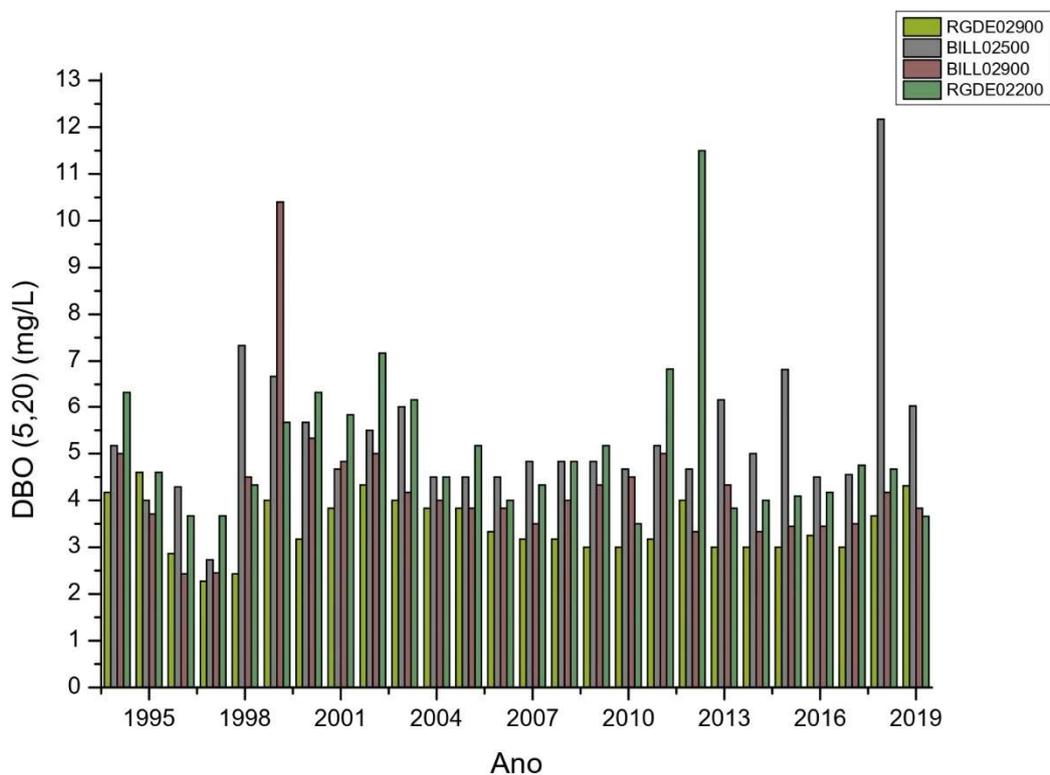
Figura 25- Oxigênio Dissolvido Reservatório Billings



Fonte: Autora (2022)

De acordo com a Figura 25, os índices de OD permaneceram bons ao longo dos anos, como pode se notar na figura apresentada.

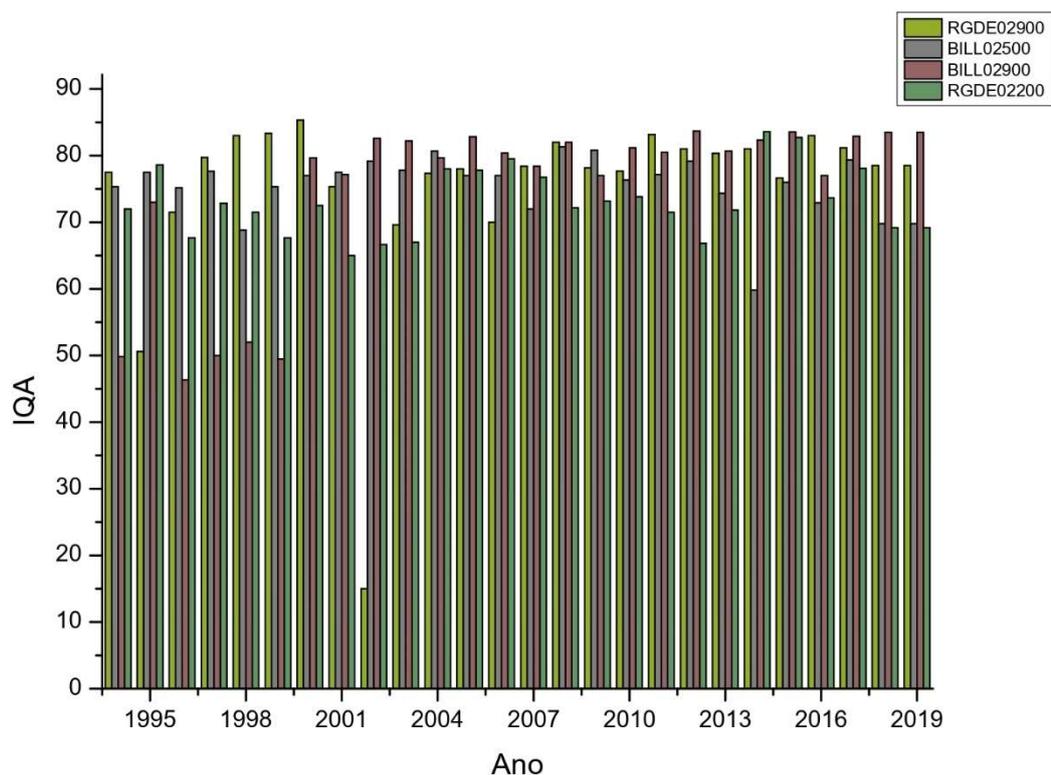
Figura 26- Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Reservatório Billings



Fonte: Autora (2022)

A demanda bioquímica de oxigênio (5,20) apresentou valores dentro do intervalo permitido pelo CONAMA de acordo com a classificação da água, conforme pode se visualizar na Figura 26. Entretanto, nota-se alguns picos ao decorrer dos anos, principalmente no ponto BILL02900, localizado no Reservatório Billings, o seu aumento representa uma baixa no nível de oxigênio da água.

Figura 27- IQA Reservatório Billings



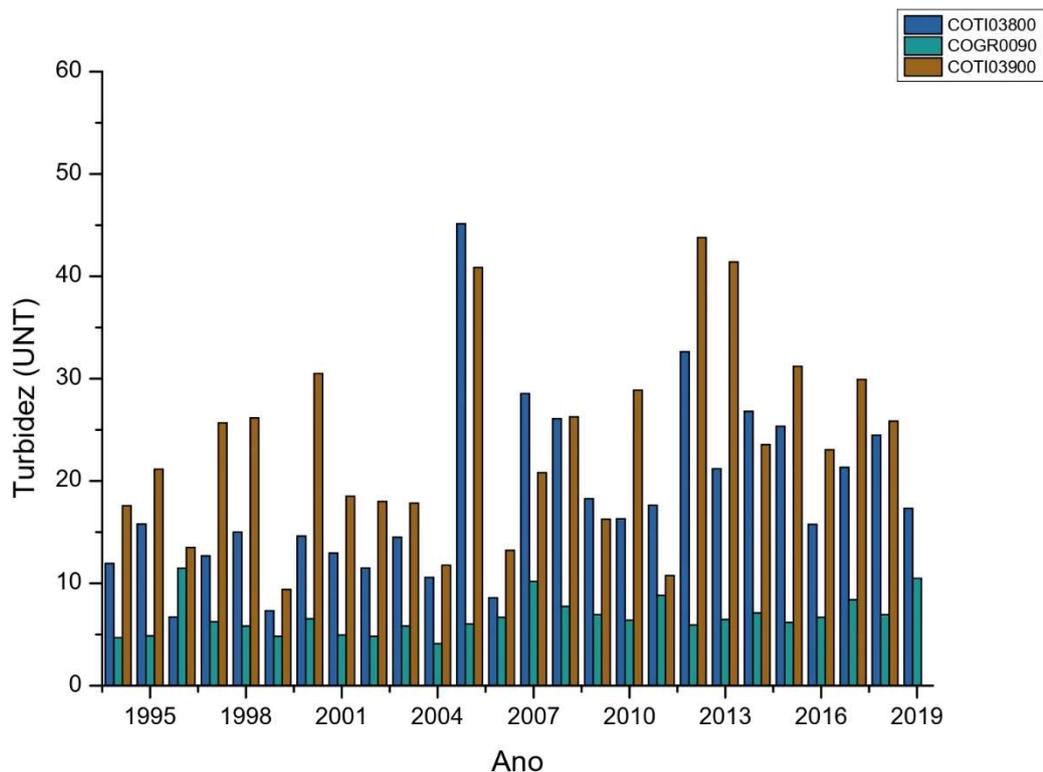
Fonte: Autora (2022)

Inicialmente o IQA do ponto BILL02900, conforme a Figura 27, apresentavam valores no intervalo de classificação regular do indicador, mas tendo uma melhora progressiva ao decorrer do projeto, acompanhando então os outros pontos de coleta que apresentaram indicadores classificados como bom na maioria dos anos com base nos dados coletados.

5.4. Resultados Rio Cotia

A Bacia do Rio Cotia é composta por 3 pontos de coleta, o COTI 03800, COTI 03900 e o COGR 0090, sendo o primeiro localizado na ponte da Rodovia Raposo Tavares e o último na barragem do Reservatório das Graças junto a captação do Rio Cotia. Já o ponto COTI 03900 foi cancelado a partir de 2019, e para futuras análises este ponto não será mais utilizado para captações de amostras.

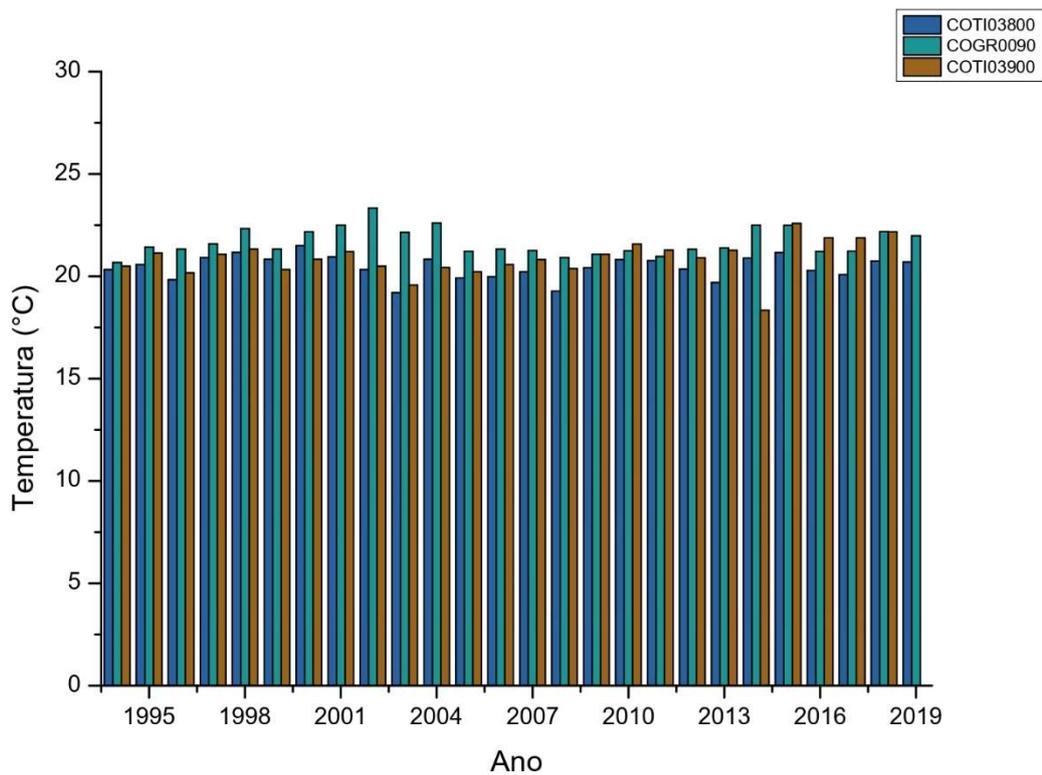
Figura 28- Turbidez Reservatório Rio Cotia



Fonte: Autora (2022)

Através da análise gráfica representada pela Figura 28 é possível notar um aumento progressivo da turbidez ao decorrer do projeto principalmente nos pontos correspondentes ao Rio Cotia. Por mais que estejam dentro do intervalo estabelecido pelo CONAMA, os resultados apresentados estão se agravando conforme o decorrer dos anos.

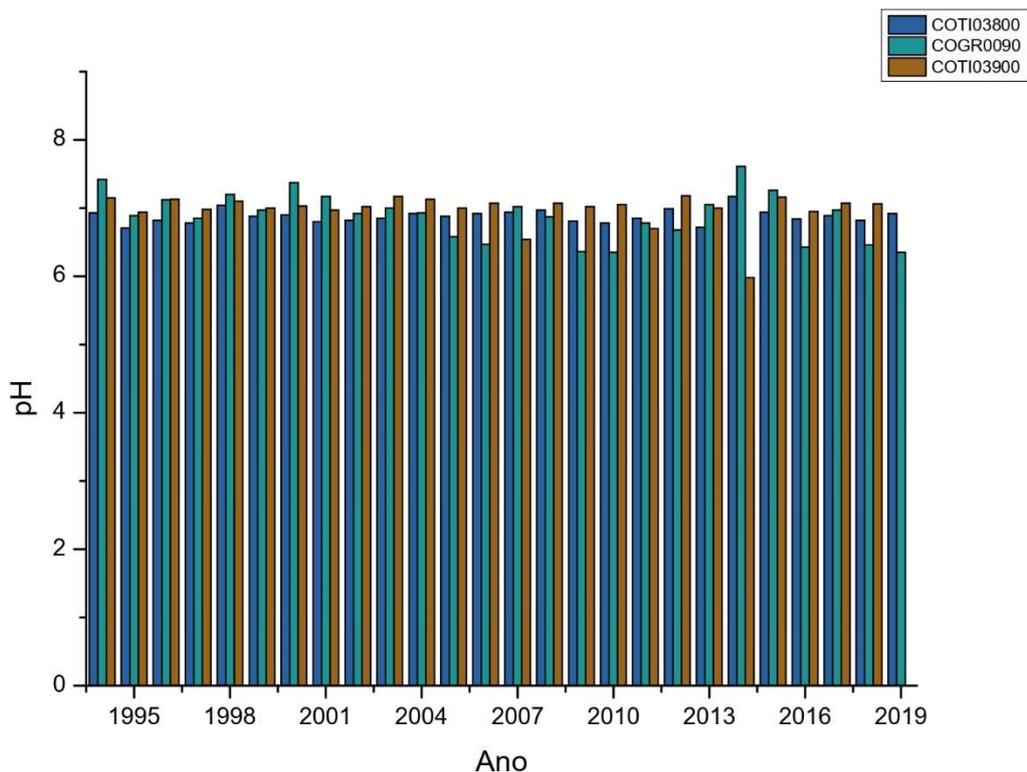
Figura 29- Temperatura Reservatório Rio Cotia



Fonte: Autora (2022)

Assim como nos demais pontos analisados, através da Figura 29 constata-se que a temperatura permaneceu quase constante com o decorrer dos anos de implementação do projeto, com exceção da queda na temperatura no ponto COTI 03900 no ano de 2014.

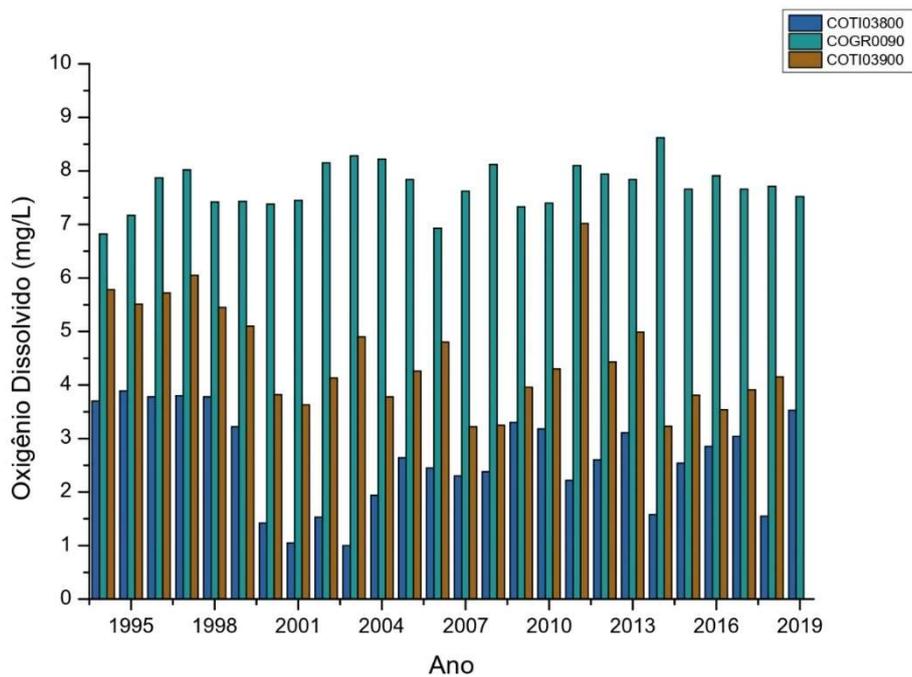
Figura 30- pH Reservatório Rio Cotia



Fonte: Autora (2022)

De acordo com a Resolução 357 do CONAMA o pH da água deve estar entre intervalo de 6 a 9, portanto, em todos os anos os resultados podem ser considerados bons de acordo com o estabelecido. Nota-se pela Figura 30 uma queda no ano de 2014 no ponto COTI 03900 cujo pH foi de 5,98.

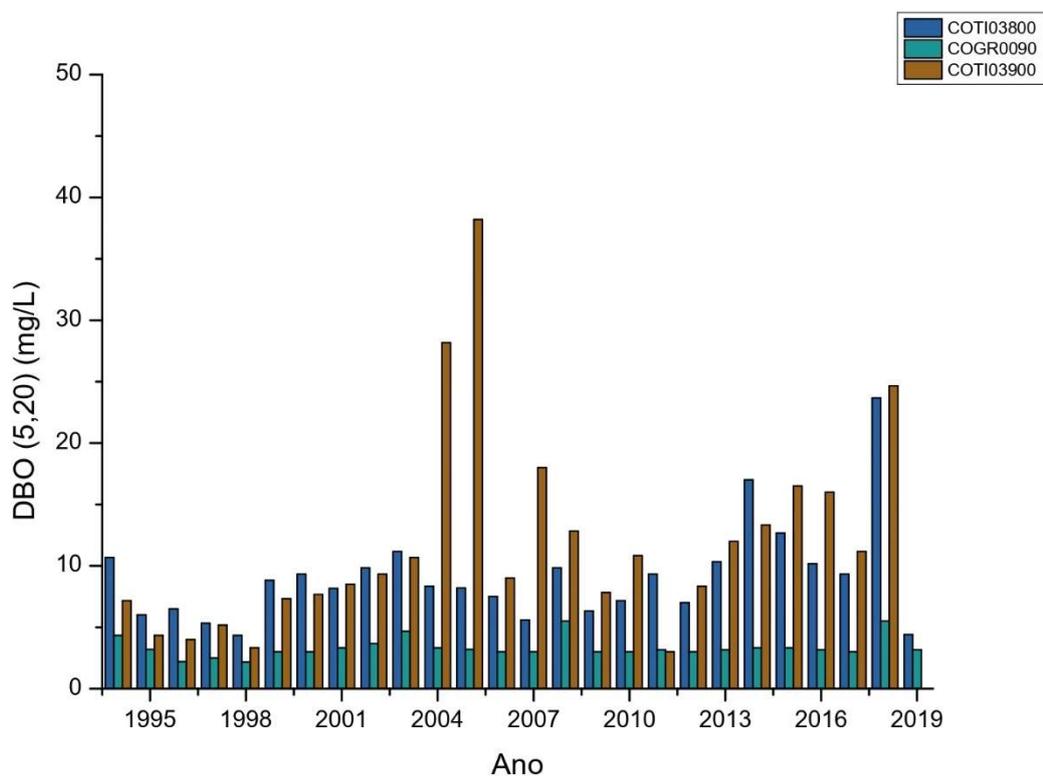
Figura 31- Oxigênio Dissolvido Reservatório Rio Cotia



Fonte: Autora (2022)

De acordo com o resultado obtido pela Figura 31, percebe-se uma redução na concentração de oxigênio dissolvido nos pontos que abrangem o Rio Cotia, já o Reservatório das Graças apresentou resultados positivos, mas deve-se atentar à baixas concentrações pois podem resultar na eutrofização do meio aquático.

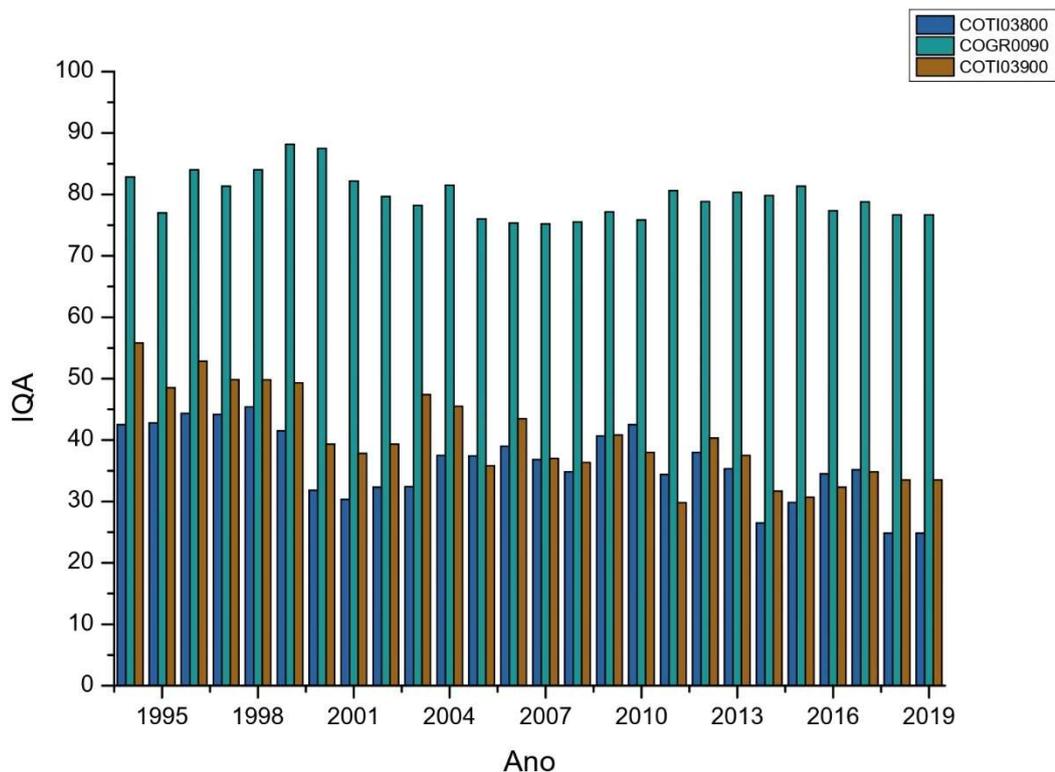
Figura 32- Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Reservatório Rio Cotia



Fonte: Autora (2022)

É notório pela Figura 32 que a DBO (5,20) aumenta conforme o decorrer dos anos, fator alarmante pois seu aumento indica a diminuição do oxigênio presente na água, resultado da poluição local e dificultando a vida aquática.

Figura 33- IQA Reservatório Rio Cotia



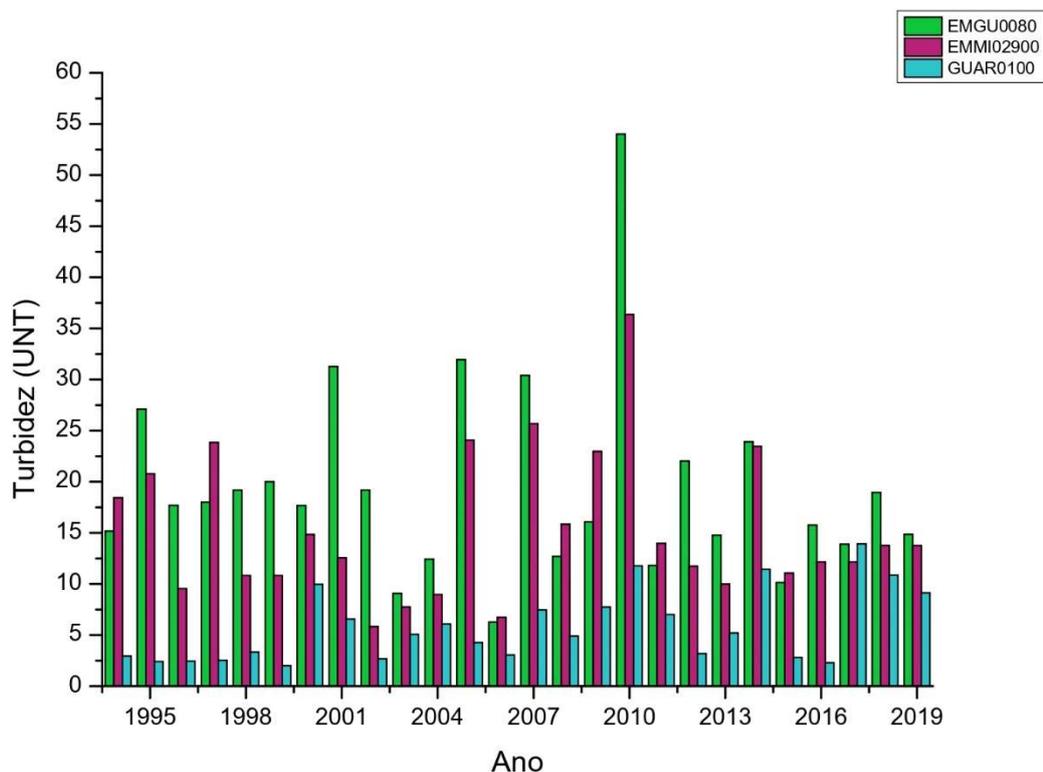
Fonte: Autora (2022)

Com exceção do Reservatório das Graças, o índice predominante dos pontos de coleta encontra-se entre regular e ruim, visto uma redução do indicador ao decorrer do projeto. A partir da análise da Figura 33 é possível notar como a poluição em si afeta diretamente os indicadores, devido a discrepância entre os pontos de coleta, pois um é coletado no reservatório enquanto os outros são coletados no corpo do rio.

5.5. Resultados Bacia Reservatório Guarapiranga

Nesta bacia serão apresentados os resultados obtidos em 3 pontos, EMGU0080 e EMMI02900 que representam os rios Embu-Guaçu e Embu-Mirim, e o GUAR0100 representado a Represa Guarapiranga.

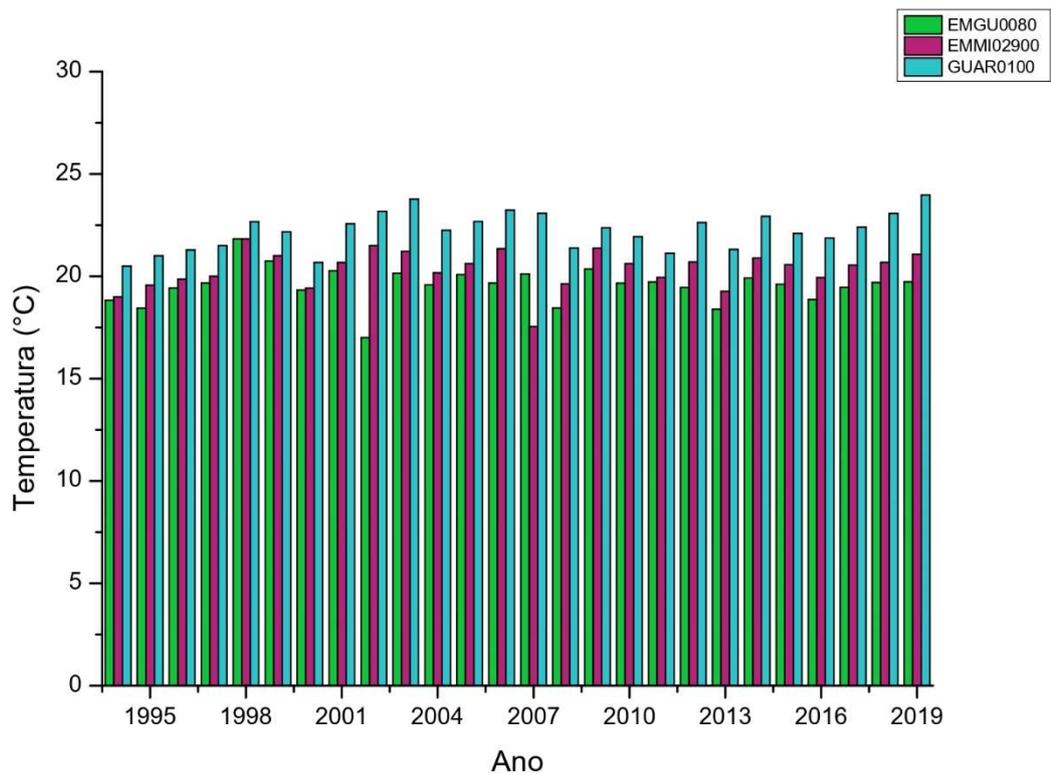
Figura 34- Turbidez Reservatório Guarapiranga



Fonte: Autora (2022)

Neste parâmetro verifica-se pela Figura 34 que a turbidez da Represa Guarapiranga aumenta com o decorrer dos anos, atualmente possuindo números próximos ao demais pontos de coleta. Contudo o parâmetro está na faixa recomendada pelo CONAMA, a qual é de no máximo 40 UNT.

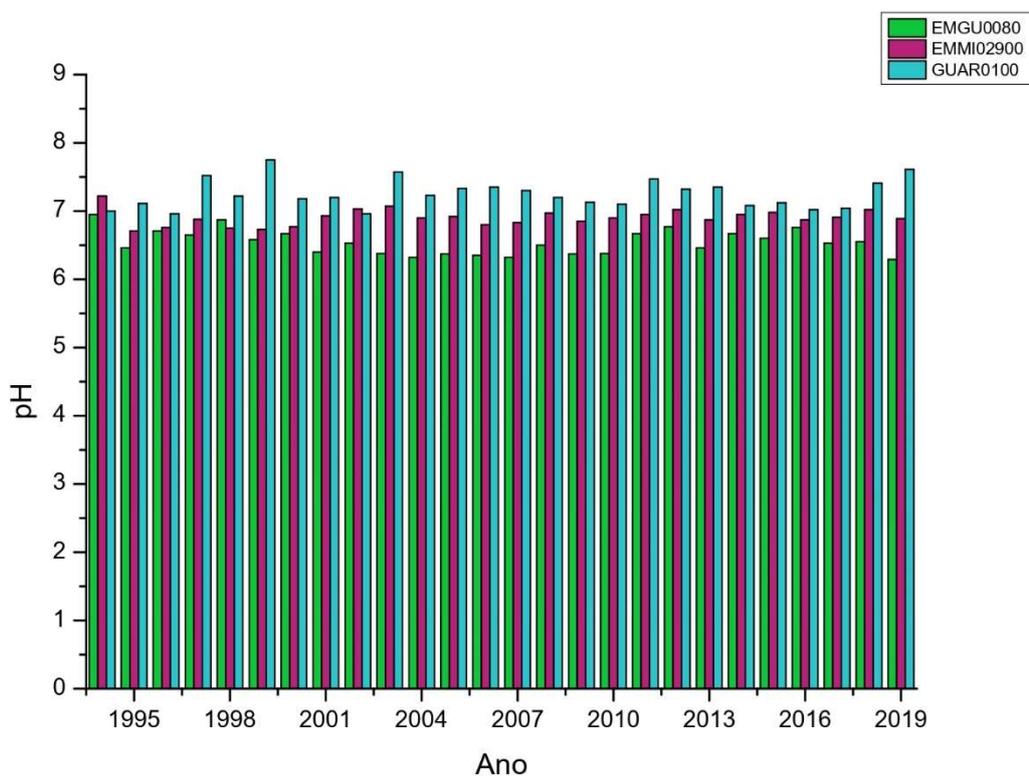
Figura 35- Temperatura Reservatório Guarapiranga



Fonte: Autora (2022)

Neste parâmetro é perceptível através da Figura 35 a diferença na temperatura da água do reservatório do Guarapiranga comparado à temperatura dos rios, porém ambos possuem valores adequados de acordo com a análise.

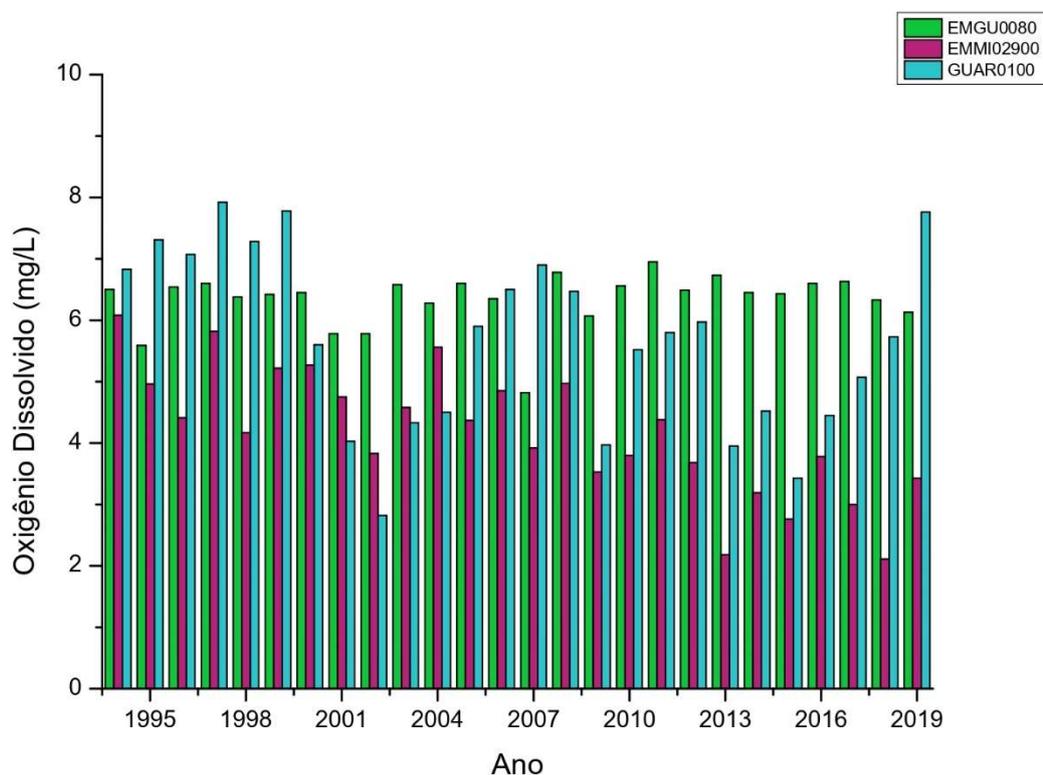
Figura 36- pH Reservatório Guarapiranga



Fonte: Autora (2022)

Assim como as demais bacias analisadas, o pH apresentou bons resultados de acordo com a resolução 357 do CONAMA, visto que ele deve variar entre 6 a 9, visualizada pela Figura 36.

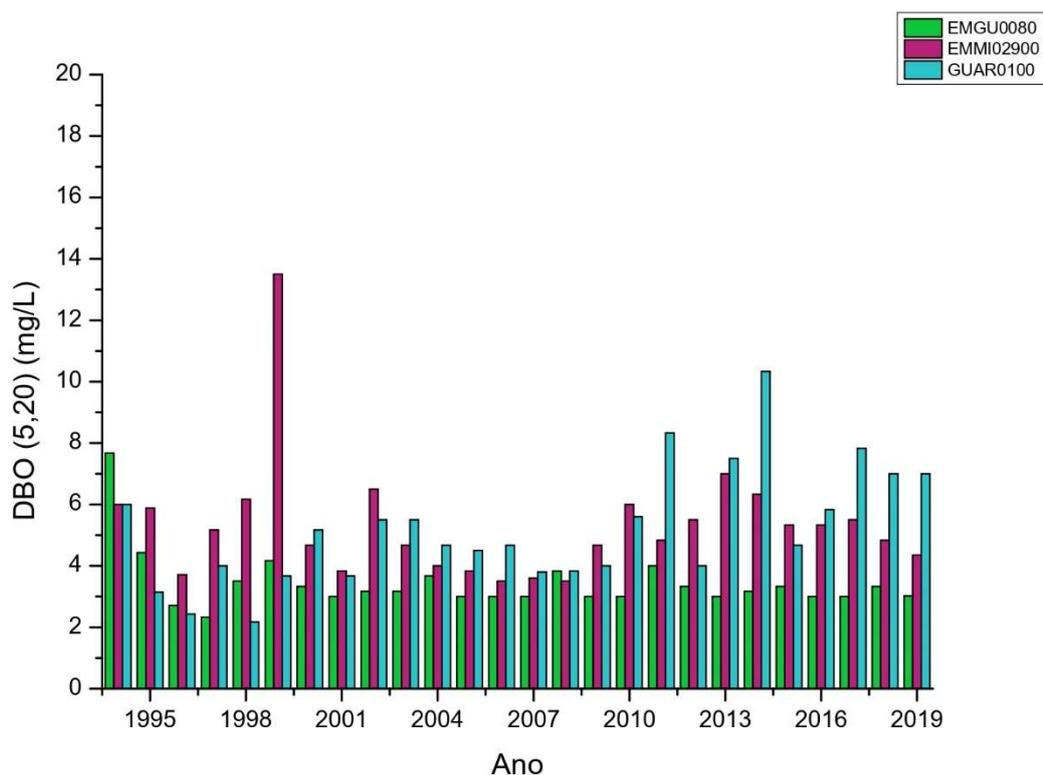
Figura 37- Oxigênio Dissolvido Reservatório Guarapiranga



Fonte: Autora (2022)

Nesta bacia podemos verificar através da Figura 37 uma boa concentração de oxigênio dissolvido na água, mas é visível uma queda a partir do ano de 2014, além do pico em 2019 na Represa Guarapiranga que pode indicar a presença de algas no corpo aquático.

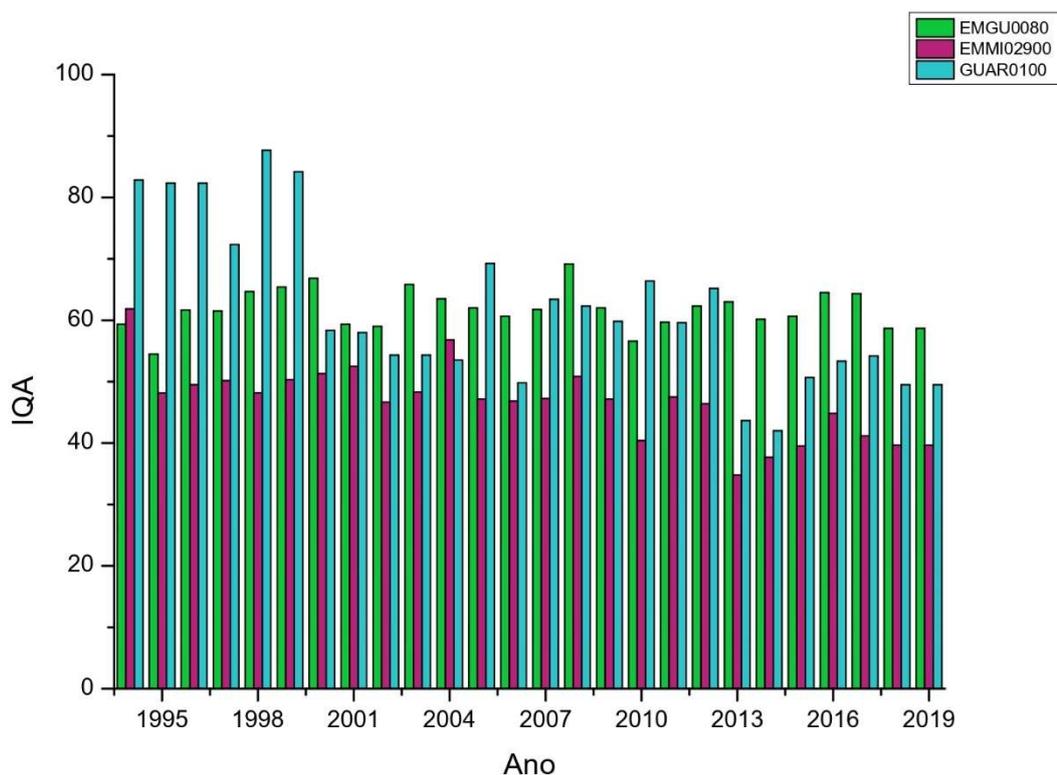
Figura 38- Demanda Bioquímica de Oxigênio (5,20) Reservatório Guarapiranga



Fonte: Autora (2022)

A demanda bioquímica de oxigênio na bacia do Guarapiranga apresentou valores consideráveis com base na resolução do CONAMA citada anteriormente, com exceção no pico de 1999 do ponto de coleta do Rio Embu-Mirim. Entretanto, é visível através da Figura 38 o aumento da demanda no ponto da Represa Guarapiranga, pois como abordado em indicadores anteriores, o aumento da DBO indica a diminuição da concentração de oxigênio da água.

Figura 39- IQA Reservatório Guarapiranga



Fonte: Autora (2022)

Assim como os parâmetros analisados anteriormente, pode se observar pela Figura 39 uma queda de qualidade da água na Represa Guarapiranga, enquanto o Rio Embu-Guaçu permaneceu na maioria dos parâmetros analisados. Deve-se analisar quais parâmetros estão afetando diretamente o ponto GUAR 0100, visto que com o decorrer do projeto os indicadores deveriam melhorar e não decair conforme ocorreu nos últimos anos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos podemos notar que o projeto, por mais que seja de forma vagarosa, diversos pontos apresentaram resultados positivos de acordo com a implementação do projeto.

A RMSP é a maior região metropolitana do país e além disto, é uma das maiores do mundo. Visto sua alta densidade demográfica, é uma região muito complexa quando se trata de questões relacionadas à saneamento básico e tratamento de efluentes. Por ser uma região que se desenvolveu de maneira desordenada e rapidamente, a estrutura não acompanhou este crescimento e sendo assim, resultando em situações degradantes ao meio ambiente.

Assim como diversos pontos demonstraram uma melhoria significativa, outros estão se agravando com o decorrer dos anos, resultando em um alerta para estas áreas para que a situação não se alastre.

O projeto em si contribuiu para que a situação dos corpos aquáticos da região estudada não se agravasse conforme os anos, apesar dos rios possuírem trechos degradados, o projeto contribuiu não somente para qualidade das águas, mas sim com a ampliação de tratamento de efluentes e saneamento básico para a população, resultando em aspectos positivos ambientais e sociais.

Para a despoluição do rio de fato ocorrer de maneira eficaz, não basta apenas realizar o tratamento do efluente, mas sim um conjunto de ações e políticas públicas para a restauração ocorrer. O rio sofre com as cargas difusas e esgoto despejado de forma irregular, apresentando uma precária fiscalização e conseqüentemente prejudicando o rio de forma agressiva.

O Projeto Tietê apresentou resultados positivos quando se analisa os indicadores de qualidade da água de forma anual em diversos pontos de coleta ao longo da RMSP. Por ser uma região de alta complexidade, o processo de despoluição ocorrerá de forma lenta, mas que futuramente pode apresentar resultados melhores com ampliação de ETEs, redução de esgotos irregulares e uma maior fiscalização dos mesmos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Parceria com a SABESP e CETESB para obtenção de maiores informações, como etapas do projeto de forma mais aprofundada do que há disponível na internet;
- b) Consolidação dos parâmetros: Nitrogênio Total, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes;
- c) Análise mais aprofundada e acréscimo de mais parâmetros como a Demanda Química de Oxigênio (DQO).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOM/ SANESUL. **A importância do tratamento do esgoto doméstico**. SANESUL, 2020. Disponível em: <<https://www.sanesul.ms.gov.br/noticias/a-importancia-do-tratamento-o-esgoto-domestico>>. Acesso em: 9 Outubro 2021.

ANA. **INDICADORES DE QUALIDADE - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)**. Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 8 Outubro 2021.

BRK AMBIENTAL. **Problemas causados pelo despejo de esgoto sem tratamento nos rios**. Saneamento em Pauta, 2019. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/problemas-causados-pelo-esgoto/>>. Acesso em: 9 Outubro 2021.

BUENO, M. G.; HENKES, J. A. Revitalização do rio Tietê: Uma opção viável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 516-534, Setembro 2016.

CETESB. **CETESB: 50 anos de história e estórias**. São Paulo: [s.n.], 2018.

CETESB. **Apêndice D- Índice de Qualidade das Águas**. CETESB. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-E-Indice-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>>. Acesso em: 8 Outubro 2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Apresentação**. Portal SigRH. Disponível em: <<https://sigrh.sp.gov.br/cbhat/apresentacao>>. Acesso em: 11 Outubro 2021.

CONICELLI, B. P. **Gestão das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (SP)**. (Tese em Hidrogeologia e Meio Ambiente) Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 163. 2014.

COSTA, W. D. Contaminação da água subterrânea por resíduo sólido no município de Belo Horizonte- MG. **XIII Congresso Brasileiro de águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, Outubro 2004.

DA SILVA, E. A. **Despoluição do rio Tietê: Questionar Paradigmas para Avançar**. Universidade Federal do ABC, Santo André, 14 Dezembro 2016. Acesso em: 20 Agosto 2021.

DENCHAK, M. **Water Pollution: Everything You Need to Know**. NRDC, 2018. Disponível em: <<https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know>>. Acesso em: 9 Outubro 2021.

ECYCLE, 2021. **Poluição da água: tipos, causas e consequências**. ECYCLE, 2021. Disponível em: <<https://www.ECYCLE,2021.com.br/poluicao-da-agua/>>. Acesso em: 9 Outubro

2021.

EQUIPE TÉCNICA DE MOGI DAS CRUZES. **Importância da Região do Alto Tietê.** DEPRN/ DUSM- Equipe Técnica de Mogi das Cruzes. Disponível em: <http://www.fundacaofia.com.br/gdusm/apa_at.htm>. Acesso em: 11 Outubro 2021.

ESTADO DE SÃO PAULO. LEI Nº 16.337, DE 14 DE DEZEMBRO DE 2016. **Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas**, São Paulo, 14 Dezembro 2016. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2016/lei-16337-14.12.2016.html>>. Acesso em: 11 Outubro 2021.

GONÇALVES, A. et al. **Revitalização do Rio Sena.** Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4148201/mod_resource/content/1/Grupo%20B%20-%20Despolui%C3%A7%C3%A3o%20do%20rio%20Sena%20e%20uma%20poss%C3%ADvel%20compara%C3%A7%C3%A3o%20com%20o%20rio%20Tiet%C3%AA.pdf>. Acesso em: 15 Agosto 2021.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Subsídios Técnicos para o Plano Estadual de Recursos Hídricos 2020-2023.** São Paulo: Cobrape, v. II, 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Novo Ranking do Saneamento Básico mostra pouco avanço e que o Brasil ainda despeja quase 6 mil piscinas olímpicas por dia de esgotos sem tratamento na natureza.** Instituto Trara Brasil. São Paulo, p. 13. 2018.

MACHADO, V.; RIBETI, G.; BOURGUIGNON, N. **Engenheiro francês que recuperou Rio Sena faz sobrevoos no Rio Doce.** G1 Globo, 14 Dezembro 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/desastre-ambiental-no-rio-doce/noticia/2015/12/engenheiro-frances-que-recuperou-rio-sena-faz-sobrevoos-no-rio-doce.html>>. Acesso em: 15 Agosto 2021.

MESCHIATTI, M. C.; PENEREIRO, J. C. **Influências climáticas sobre algumas bacias hidrográficas do estado de São Paulo: aplicações de séries temporais para identificação de tendência.** (Artigo em Engenharia Ambiental) PUC Campinas. Campinas, p. 7. 2012.

MIRANDA, P. **Despoluição dos rios é muito mais do que apenas retirar a sujeira.** AEC Web. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/despoluicao-dos-rios-e-muito-mais-do-que-apenas-retirar-a-sujeira/16522>>. Acesso em: 10 Outubro 2021.

OLIVEIRA, A. B. K. O Rio Tietê: O processo histórico e sua importância para São Paulo. I **Simpósio Mineiro de Geografia das Diversidades à Articulação Geográfica**, Alfenas, p. 15, Maio 2014.

OPERSAN SOLUÇÕES AMBIENTAIS. **Os Principais Tipos De Poluição Das Águas**. Blog Grupo Opersan, 2017. Disponível em: <<http://info.opersan.com.br/os-principais-tipos-de-polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%A1guas>>. Acesso em: 8 Outubro 2021.

PEREIRA, R. D. S. Poluição Hídrica: Causas e Consequências. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v. 1, n. 1, p. 20-36, 2004.

SABESP. **Sabesp**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=701>>. Acesso em: 5 Setembro 2021.

SABESP. Projeto Tietê e Novo Rio Pinheiros. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê**, Votorantim, Novembro 2019.

SABESP. **Relatório de sustentabilidade**, São Paulo, 2020.

SABESP. **Esgoto não doméstico**. SABESP. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=51>>. Acesso em: 10 Outubro 2021.

STRACCI, L. **Agrotóxicos e a poluição das águas**. EcoDebate, 2012. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/08/24/agrotoxicos-e-a-poluicao-das-aguas/>>. Acesso em: 10 Outubro 2021.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrográficos**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1998. 669P p.

TUNDISI, J. G. et al. **A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento**. (Artigo) Independent Institute of Education. [S.l.]. 2008.

ZEQUIN, B. D. **Projeto Tietê: estudo sobre sua eficiência**. (Dissertação em Geografia) Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 101. 2020.