

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA
PROGRAMA DE MESTRADO EM SAÚDE PÚBLICA**

**EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO TIETÊ E OS FATORES
QUE A INFLUENCIAM**

SAMMILA ANDRADE ABDALA

**SÃO PAULO
2019**

SAMMILA ANDRADE ABDALA

**EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO TIETÊ E OS FATORES
QUE A INFLUENCIAM**

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Saúde Pública
para obtenção do título de Mestre em
Saúde Pública.**

**Área de concentração: Saúde
Ambiental**

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley da
Silva Paganini**

**SÃO PAULO
2019**

Dedico aos meus pais, Emílio e Gina Abdala, por sempre me incentivarem na busca do conhecimento e principalmente, na busca da sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, acima de tudo, pela Sua graça e amor, que são as minhas maiores fontes de motivação.

À minha família pelo apoio e carinho em todos esses anos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini, a quem admiro muito, por ter me acolhido, guiado e por me inspirar com sua dinâmica e dedicação no ensino.

A colaboração de algumas pessoas foi essencial na conclusão deste trabalho e quero expressar aqui a minha gratidão.

À Miriam Moreira Bocchiglieri, pela sua amizade e disponibilidade em me apoiar, sempre com muito carinho e atenção.

À equipe da Sabesp, especialmente à Vânia Rodrigues, que com alegria aceitou me ajudar.

Agradeço também aos meus amigos e colegas de faculdade, que tornaram essa jornada muito mais prazerosa e alegre.

RESUMO

Introdução: Na medida em que o crescimento populacional se intensificou nos grandes centros urbanos, o abastecimento público de água, como também a coleta, afastamento e tratamento dos esgotos nessas megacidades se tornou cada vez mais complexo. Em vários territórios, a capacidade de gestão de saneamento básico não conseguiu acompanhar a velocidade da urbanização, o que levou à degradação dos corpos hídricos. O Tietê, principal rio do Estado de São Paulo, também teve sua qualidade comprometida e hoje luta para recuperar o que foi prejudicado em prol do desenvolvimento. **Objetivo:** Analisar a evolução da qualidade das águas do rio Tietê no período de 1986 a 2017, levando em consideração os impactos do crescimento populacional e das ações de saneamento nas bacias hidrográficas que compõem o Rio Tietê. **Material e Métodos:** Série temporal, utilizando dados secundários provenientes da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo operacionalizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). O estudo abrange os anos de 1986 a 2017. **Resultados:** O Rio Tietê tem sua qualidade drasticamente afetada pela alta urbanização da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Entretanto, o presente estudo mostrou uma tendência de estabilização, com sinais de melhoria para a qualidade das águas do Rio Tietê na RMSP, mesmo considerando o forte crescimento populacional que essa região tem sofrido. Os resultados para os rios Tamanduateí e Pinheiros também foram claramente positivos, mostrando uma melhora ao longo dos anos. Apesar da influência negativa da entrada dos rios Jundiaí, Sorocaba e Piracicaba, existe uma forte tendência de melhoria na direção do interior, principalmente a partir do remanso da Barra Bonita. **Conclusões:** O rio Tietê ainda sente fortemente a influência do rápido e desordenado crescimento populacional nas cidades e regiões que o cercam. Entretanto, a qualidade de suas águas também tem respondido aos investimentos constantes em obras de saneamento e infraestrutura. Se não fosse o crescimento populacional e a ocupação desordenada do solo, a influência positiva das obras de saneamento implantadas se mostraria muito mais evidente. São necessários estudos adicionais que abordem mais profundamente os efeitos da industrialização e da monocultura na qualidade das águas desses rios.

Palavras-chave: Qualidade das águas, Rio Tietê, Recursos hídricos, Monitoramento.

“Meu rio, meu Tietê, onde me levas?
Sarcástico rio que contradizes o curso das águas
E te afastas do mar e te adentras na terra dos homens,
Onde me queres levar?...
Por que me proíbes assim praias e mar, por que
Me impedes a fama das tempestades do Atlântico
E os lindos versos que falam em partir e nunca mais voltar?”

Mário de Andrade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. OBJETIVO GERAL.....	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. REVISÃO DA LITERATURA	19
3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ.....	19
3.1.1. A INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS....	19
3.1.2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ.....	20
3.1.2.1. UGRHI 6 – Alto Tietê	24
3.1.2.2. UGRHI 5 – PCJ	26
3.1.2.3. UGRHI 10 – Tietê Sorocaba.....	28
3.1.2.4. UGRHI 13 – Tietê Jacaré	30
3.1.2.5. UGRHI 16 – Tietê Batalha	31
3.1.2.6. UGRHI 19 – Baixo Tietê.....	33
3.2. ASPECTOS HISTÓRICOS, SOCIAIS E CULTURAIS DO RIO TIETÊ.....	34
3.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RIO TIETÊ.....	34
3.2.2. O RIO TIETÊ E A EXPANSÃO PAULISTA.....	37
3.2.3. O RIO TIETÊ E A CIDADE DE SÃO PAULO.....	41
3.3. O DESENVOLVIMENTO DA RMSP E SEUS RIOS	43
3.3.1. CRESCIMENTO POPULACIONAL E A INDUSTRIALIZAÇÃO DA RMSP	43
3.3.3. AUMENTO DA POLUIÇÃO E SEUS EFEITOS NOS PRINCIPAIS RIOS DA RMSP	47
3.4. GESTÃO DA QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS	50
3.4.1. INSTRUMENTOS CHAVE NA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	50
3.4.2. LEGISLAÇÃO	54
3.4.3. SANEAMENTO NA RMSP E O PROJETO TIETÊ.....	56
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
4.1. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA SELECIONADOS PARA O ESTUDO	61
4.1.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	61
4.1.2. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO).....	62

4.1.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	63
4.1.4. NITROGÊNIO AMONICAL E NITRATO	63
4.1.5. FÓSFORO TOTAL	64
4.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS	65
4.3. DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO ESTUDADOS	65
4.4. TRATAMENTO DOS DADOS	71
4.5. ANÁLISES	72
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1. EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO TIETÊ 1986 – 2017	73
5.1.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	76
5.1.2. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	80
5.1.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	83
5.1.4. NITROGÊNIO AMONICAL	86
5.1.5. NITRATO	89
5.1.6. FÓSFORO TOTAL	92
5.2. UMA VISÃO AMPLIADA DA RMSP: QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS RIOS PINHEIROS E TAMANDUATEÍ	95
5.2.1. RIO TAMANDUATEÍ	95
5.2.2. RIO PINHEIROS	102
6. CONCLUSÕES	109
7. REFERÊNCIAS	111

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Número de pontos de amostragem no Rio Tietê.	66
Tabela 2. Descrição dos pontos de amostragem da Rede Básica de monitoramento da CETESB localizados no Rio Tietê.	68
Tabela 3. Descrição dos pontos de amostragem da Rede básica localizados no Rio Tamanduateí.	69
Tabela 4. Descrição dos pontos de amostragem da Rede básica localizados no Rio Pinheiros.	69
Tabela 5. Médias anuais das concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.	78
Tabela 6. Médias anuais das concentrações de DBO (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.	81
Tabela 7. Médias anuais das concentrações de DQO (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2010.	84
Tabela 8. Médias anuais das concentrações de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.	87
Tabela 9. Médias anuais das concentrações de Nitrato (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.	90
Tabela 10. Médias anuais das concentrações de Fósforo Total (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.	93
Tabela 11. Médias anuais das concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.	96
Tabela 12. Médias anuais das concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.	97
Tabela 13. Médias anuais das concentrações da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.	98
Tabela 14. Médias anuais das concentrações de Fósforo Total (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.	99
Tabela 15. Médias anuais das concentrações de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.	100
Tabela 16. Médias anuais das concentrações de Nitrato (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.	101
Tabela 17. Médias anuais das concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.	103
Tabela 18. Médias anuais das concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.	104

Tabela 19. Médias anuais das concentrações da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.....	105
Tabela 20. Médias anuais das concentrações da Fósforo Total (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.....	106
Tabela 21. Médias anuais das concentrações da Nitrogênio Amoniacal (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.....	107
Tabela 22. Médias anuais das concentrações da Nitrato (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo	21
Figura 2. Classificação das UGRHI do estado de São Paulo, de acordo com sua vocação.	22
Figura 3. Disponibilidade Hídrica per capita por UGRHI em 2015.....	23
Figura 4. Mapa da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.....	24
Figura 5. Mapa da UGRHI 5 – PCJ.	26
Figura 6. Mapa da UGRHI 10 - Tietê/Sorocaba.	28
Figura 7. Mapa da UGRHI 13 - Tietê/Jacaré.	30
Figura 8. Mapa da UGRHI 16 - Tietê/Batalha.	31
Figura 9. Mapa da UGRHI 19 - Baixo Tietê.....	33
Figura 10. Mapa do percurso do Rio Tietê no Estado de São Paulo.....	35
Figura 11. Mapa da Hidrovia Tietê – Paraná.	36
Figura 12. “A Partida da Monção”, quadro de 1897 de Almeida Júnior.....	38
Figura 13. “Carga de Canoas” – Oscar Pereira da Silva, 1920.	39
Figura 14. Rio Tietê na década de 1920.....	42
Figura 15. População do Estado de São Paulo por UGRHI em 2012.	45
Figura 16. População por município da Bacia do Rio Tietê.	45
Figura 17. Taxas anuais de crescimento populacional nos Municípios do Estado de São Paulo, 2010 – 2015.....	46
Figura 18. Sistema Principal de Esgotamento Sanitário da RMSP.....	57
Figura 19. Bacias Principais de Esgotamento da RMSP.....	57
Figura 20. Mapa dos pontos de monitoramento do Rio Tietê.....	70

Figura 21. Evolução da população das Bacias Hidrográficas do Tietê, 2000-2015.....	74
Figura 22. População por bacia de esgotamento da RMSP, 2000 a 2015.....	75
Figura 23. Evolução da Concentração de Oxigênio Dissolvido (mg/L) ao longo do Rio Tietê.....	79
Figura 24. Evolução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) ao longo do Rio Tietê.....	82
Figura 25. Evolução da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) ao longo do Rio Tietê.....	85
Figura 26. Evolução da Concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ao longo do Rio Tietê.....	88
Figura 27. Evolução da Concentração de Nitrato (mg/L) ao longo do Rio Tietê.....	91
Figura 28. Evolução da Concentração de Fósforo Total (mg/L) ao longo do Rio Tietê.....	94
Figura 29. Evolução do Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.....	96
Figura 30. Evolução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.....	97
Figura 31. Evolução da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.....	98
Figura 32. Evolução das concentrações de Fósforo Total (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.....	99
Figura 33. Concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.....	100
Figura 34. Concentração de Nitrato (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.....	101
Figura 35. Concentração de Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.....	103
Figura 36. Concentração de DBO (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.....	104
Figura 37. Concentração de DQO (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.....	105

Figura 38. Concentração de Fósforo Total (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.	106
Figura 39. Concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.....	107
Figura 40. Concentração de Nitrato (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.	108

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMS	Organização Mundial de Saúde
OD	Oxigênio Dissolvido
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

1. INTRODUÇÃO

Existe uma preocupação crescente em relação à limitação dos recursos hídricos, seja pela quantidade ou pela qualidade. A UNESCO (2012) estima que cerca de 2 bilhões de pessoas vivem em áreas de estresse hídrico e mais de 800 milhões de pessoas têm acesso insuficiente à água potável, o que torna essa questão um importante desafio ambiental global. Além disso, os riscos relacionados à água são responsáveis por cerca de 90% de todos os riscos naturais no mundo, destacando-se as inundações e secas como as duas ameaças naturais mais destrutivas. Somente em 2010, desastres relacionados à água mataram cerca de 300.000 pessoas, afetaram cerca de 208 milhões de outros e custaram quase US \$110 bilhões (UNESCO, 2012). Considerando esse contexto, alcançar a segurança hídrica em ambientes urbanos é de extrema importância, pois as cidades já englobam mais da metade da população mundial, como também a maior concentração de atividades socioeconômicas.

Na medida em que o crescimento populacional se intensificou nos grandes centros urbanos, o abastecimento público de água nessas megacidades se tornou cada vez mais complexo. Em vários territórios, a capacidade de gestão de saneamento básico não conseguiu acompanhar a velocidade da urbanização, o que levou à degradação dos corpos hídricos. Conseqüentemente, a perda na qualidade das águas dos mananciais, levou à uma diminuição na quantidade disponível para abastecimento público, gerando uma crise na disponibilidade hídrica.

É nesse contexto de alta urbanização e baixa disponibilidade hídrica que megacidades como São Paulo têm despertado o interesse pela preservação e recuperação da qualidade das águas de seus rios. Uma região que se viu obrigada a buscar água para abastecimento de mananciais cada vez mais distantes e custosos, agora luta para restaurar a qualidade das águas de seus rios, aumentando assim a abrangência de seus usos.

O rio Tietê, por exemplo, que antigamente era visto como fonte de alimento, sobrevivência e lazer, foi aos poucos perdendo sua utilidade, restando-lhe a função de afastar os esgotos da cidade. Conseqüentemente, a percepção da população em relação ao rio foi se transformando a medida que ele foi sendo degradado. O rio passou a ser visto como algo negativo e inútil, algo que atrapalhava o crescimento e desenvolvimento da cidade.

Com o objetivo de restaurar a qualidade das águas e a percepção positiva da população em relação aos rios paulistanos, várias ações foram implementadas ao longo dos últimos anos e décadas. Uma das principais iniciativas tem sido o Projeto Tietê, que teve início em 1992 e já investiu bilhões de dólares em obras de saneamento (JACOBI *et al.*, 2015).

Entretanto, para fazer o caminho inverso da poluição, é preciso considerar também os fatores que inicialmente causaram essa poluição em São Paulo. Esses fatores podem ser resumidos principalmente em: crescimento populacional, industrialização e cultivo agrícola. Eles representam a maior parte do uso e ocupação do Estado de São Paulo. Entender como se dá o uso e a ocupação do solo de cada região é essencial nos estudos de qualidade dos recursos hídricos, uma vez que as características das águas de determinada bacia hidrográfica têm relação direta com os uso e ocupação do solo da mesma (VON SPERLING, 1996).

O crescimento populacional transforma o uso e ocupação do solo, pois o mesmo gera necessidade de habitação, infraestrutura, transporte, agricultura, etc. Conseqüentemente, a urbanização também aumenta a impermeabilização do solo, a transformação dos leitos e margens dos rios, como também a diminuição da cobertura vegetal das cidades. Essas transformações provocam alterações no ciclo da água e conseqüentemente também afetam a qualidade (JACOBI *et al.*, 2015).

Além do crescimento populacional, a qualidade das águas superficiais também é afetada pela quantidade de indústrias em cada região. A industrialização, que teve papel essencial no desenvolvimento da cidade de São Paulo e da RMSP, deixou fortes efeitos colaterais no meio ambiente, e principalmente, nos rios paulistanos. As primeiras indústrias que se instalaram em São Paulo ocuparam o espaço das várzeas dos rios, já que estes terrenos eram próximos das ferrovias, o que facilitava o recebimento de matéria prima e maquinário (FRACALANZA, 2004).

Outro fator que também contribui para a degradação dos mananciais é o uso agrícola do solo, quando este aumenta a quantidade de fertilizantes, pesticidas e herbicidas em seus cultivos. Os fertilizantes, em especial, que são ricos em nitrogênio e fósforo, acabam disponibilizando uma quantidade excessiva de nutrientes nos corpos hídricos, ocasionando a eutrofização dos mesmos (GIRI & QIU, 2016).

Além do aporte de nutrientes, outro quesito essencial no estudo de qualidade das águas superficiais é o balanço de oxigênio, que é avaliado por parâmetros como Oxigênio

Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Segundo Piveli (2005), estes parâmetros também são importantes no controle da poluição das águas por matéria orgânica, como também no controle da eficiência das estações de tratamento de esgoto.

Os parâmetros acima mencionados, no Estado de São Paulo, são monitorados periodicamente pela CETESB, através da Rede de Monitoramento da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, a qual será utilizada como fonte de dados para esta pesquisa. O monitoramento da qualidade dessas águas é uma ação crucial no processo de avaliação das ações implementadas para melhoria da qualidade.

É com o mesmo objetivo, de avaliar a mudança na qualidade das águas e a influência das ações de gestão na mesma, que várias pesquisas foram feitas, analisando os rios da RMSP e do estado (JORGE, 2006; RUTKOWSKI *et al.*, 2010; ZANIRATO, 2011; JACOBI *et al.*, 2015). Dentre elas, se destaca o estudo realizado por Paganini (2008), que mostra como o rio Tietê possui diversas identidades e usos ao longo de seu curso, se regenerando a medida que se distancia da RMSP.

Segundo Paganini (2008), analisar os parâmetros de qualidade isoladamente não reflete a real situação da evolução da qualidade das águas de um rio. É importante que os resultados dos parâmetros de qualidade sejam analisados levando em conta dados referentes ao crescimento populacional, o que será feito neste estudo. O rio Tietê será analisado desde a nascente até a foz, observando os múltiplos usos ao longo do seu curso, como também a ocupação do solo que o acompanha. Embora cada trecho do rio Tietê seja diferente em suas características, é evidente que cada região é afetada pela outra, o que justifica o estudo do rio integralmente.

O estudo realizado por Paganini (2008) abrange os anos de 1986 a 2005. Entretanto, após 2005, não existe nenhum estudo, que faça essa análise da evolução do rio Tietê em todo o seu percurso. Com isso em mente, esta pesquisa se propõe a analisar a evolução da qualidade das águas do rio Tietê no período de 1986 a 2017 levando em consideração os impactos do crescimento populacional e das ações de saneamento nas bacias hidrográficas que compõem o Rio Tietê.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a evolução da qualidade das águas do Rio Tietê no período de 1986 a 2017, considerando os impactos do crescimento populacional e das ações de saneamento nas bacias hidrográficas que compõem o Rio Tietê.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a evolução do balanço de oxigênio e do aporte de nutrientes ao longo do rio Tietê, no período de 1986 a 2017;
- Apresentar uma análise específica para a Bacia do Alto Tietê, ampliando o estudo para os rios Tamanduateí e Pinheiros.
- Discorrer sobre a influência do crescimento populacional e outros fatores na qualidade das águas dos principais rios da RMSP: Tietê, Pinheiros e Tamanduateí.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ

3.1.1. A INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS

A qualidade das águas de um corpo hídrico é influenciada pela interação de fatores naturais (intensidade, frequência e quantidade de chuva, descarga do rio, formação geológica e tipo de solo, topografia e cobertura vegetal), como também de fatores antrópicos (urbanização, industrialização, agricultura, etc.) (BAKER, 2003). Portanto, os rios refletem tanto a configuração do solo que drenam, como também o uso e ocupação do solo da bacia na qual estão inseridos. Logo, a avaliação físico-química das águas pode ser usada para medir os efeitos que as atividades humanas têm sobre o ambiente (ALVES *et al.*, 2013; MENEZES, 2016).

O uso e a ocupação desordenada de determinado território, sem critérios de zoneamento ou infraestrutura, afeta decisivamente a qualidade das águas dos rios, a medida que vai modificando os ciclos biogeoquímicos e hidrológicos do mesmo e conseqüentemente, reduzindo sua disponibilidade e qualidade. Portanto, o estudo do uso e ocupação do solo de determinada região é essencial na compreensão da qualidade das águas superficiais dessa mesma região. Diversos estudos confirmam essa relação (LEE *et al.*, 2009; RODRIGUES; *et al.*, 2018; MENEZES, 2016; GIRI & QIU, 2016; BAKER, 2003), mostrando que, a falta de uma gestão adequada do uso do solo somada ao crescimento da população e à expansão industrial, afeta intensamente a qualidade da água de rios, lagos e reservatórios.

A degradação da qualidade das águas pode ser consequência de diversas atividades de uso da terra, portanto essa degradação é causada tanto por fontes pontuais, como também fontes não pontuais. A poluição difusa, como é chamada essas fontes não pontuais, é de difícil identificação. Principalmente em época de chuvas, a mesma depende fortemente do tipo de uso que é feito do solo naquela região. De acordo com Lee *et al.* (2009), o conhecimento do uso do solo ajuda a estimar e compreender a qualidade da água em rios que sofrem de poluição difusa.

O aumento da população é um importante fator nos estudos de qualidade das águas,

pois altera o uso do solo ao gerar necessidade de moradia, necessidade de alimento e a necessidade de transporte e infraestrutura, o que alavanca a urbanização e as atividades agrícolas. A urbanização aumenta a superfície impermeável, como estacionamentos, telhados, estradas e calçadas, resultando no aumento do escoamento, que leva resíduos sólidos e outros poluentes para os córregos e rios.

Por outro lado, as atividades agrícolas aumentam a quantidade de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e laticínios no solo para atender à demanda de alimentos da população humana. Esse excesso de fertilizantes, por exemplo, acaba escoando para os rios, causando a eutrofização e a morte de peixes e outros organismos aquáticos (CARPENTER, 2008). Portanto, o crescimento populacional tem impacto direto e indireto na degradação dos corpos hídricos (GIRI & QIU, 2016).

É importante lembrar também que, com a queda da qualidade desses recursos hídricos, as Estações de Tratamento de Água são obrigadas a investir mais no tratamento ou a buscar esse recurso de regiões cada vez mais afastadas, o que acaba onerando todo o processo. Portanto, compreender a relação entre o uso do solo e a qualidade das águas superficiais também é necessário para uma gestão eficaz dos recursos hídricos e para identificar ameaças à essa qualidade. Segundo Rodrigues *et al* (2018), a compreensão da relação entre o uso do solo e a qualidade da água pode auxiliar no aperfeiçoamento das políticas de uso e ocupação do solo, permitindo uma melhor gestão dos futuros impactos ambientais.

O próximo tópico traz uma visão geral do uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, que é o objeto desse estudo. Também caracteriza cada Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) contidos nessa Bacia, com o enfoque principal na RMSP, que corresponde à UGRHI 6 - Alto Tietê.

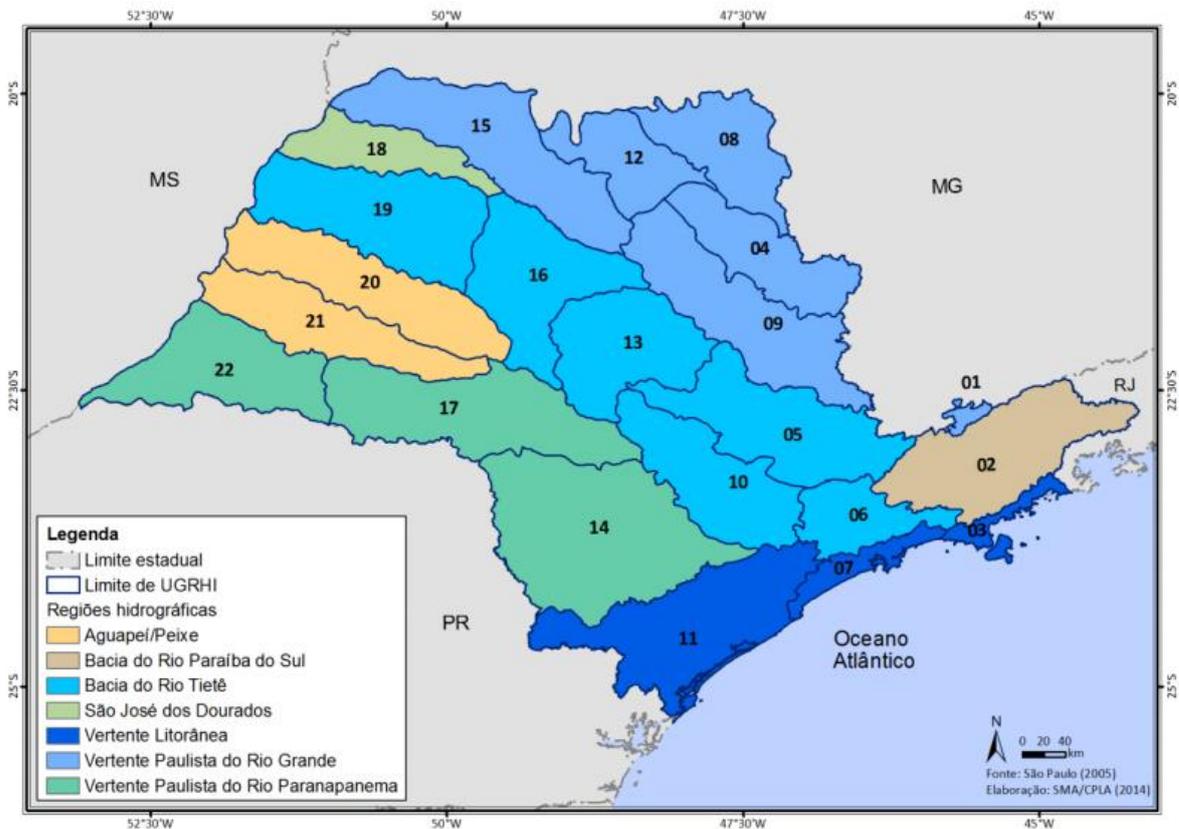
3.1.2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ

A Bacia do Rio Tietê pertence à Região Hidrográfica da Bacia do Paraná, de acordo com a divisão hidrográfica do Brasil adotada pelo IBGE e pela Agência Nacional de Águas (ANA). O Tietê é o rio de maior extensão do Estado de São Paulo e sua bacia apresenta área de aproximadamente 73.400 km² (SMA, 2016).

O Estado de São Paulo, para fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos, foi

dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), das quais seis fazem parte da Bacia Hidrográfica do Tietê: Alto Tietê, Tietê/Sorocaba, Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ), Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê (Figura 1). Essa divisão, junto com a criação dos Comitês de Bacia, tem como um dos princípios básicos a abertura para a participação da sociedade. (SIGRH, 2011). As UGRHIs pertencem a grandes Regiões Hidrográficas que compartilham um curso d'água principal. Essa divisão, realizada pela Lei nº 9.034/1994, levou em consideração para a sua definição, critérios hidrológicos, ambientais, socioeconômicos, políticos e institucionais. (SSRH, 2017).

Figura 1. Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo



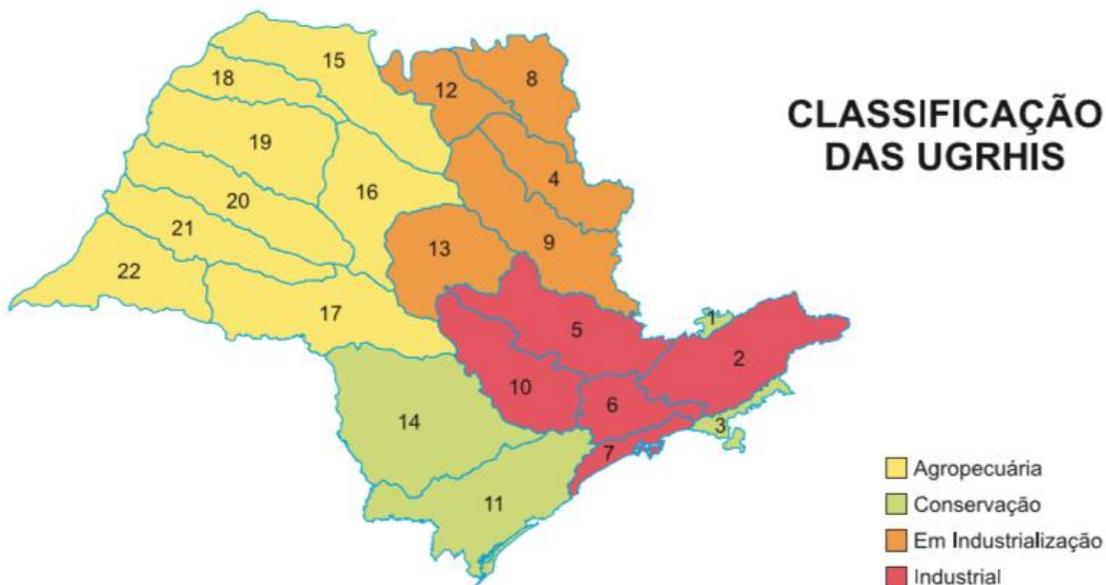
Fonte: SMA - RQA, 2016.

Cada UGRHI tem sua peculiaridade em relação ao uso e ocupação do solo, como pode ser visto na Figura 2. Entender esses diferentes usos e ocupações do solo de cada região é essencial, pois eles influenciam fortemente a característica e qualidade dos corpos hídricos. A Bacia Hidrográfica do Tietê percorre todo o estado e, conseqüentemente, percorre regiões com diferentes usos do solo. Nas UGRHIs 5, 6 e 10 o Tietê está inserido em uma área altamente industrializada, como também na UGRHI 13, embora em menor intensidade. Já nas

UGRHIs 16 e 19, a atividade agropecuária (principalmente cultivo de cana-de-açúcar e pecuária) é a predominante, o que é importante ter em mente ao interpretar os resultados de fósforo e nitrogênio.

É importante comentar também que as UGRHIs 5 e 6 estão localizadas na região mais próxima às nascentes e abrigam cerca de 60% da população do Estado de São Paulo e grande parte do potencial econômico-industrial (SIGRH, 2011).

Figura 2. Classificação das UGRHI do estado de São Paulo, de acordo com sua vocação.



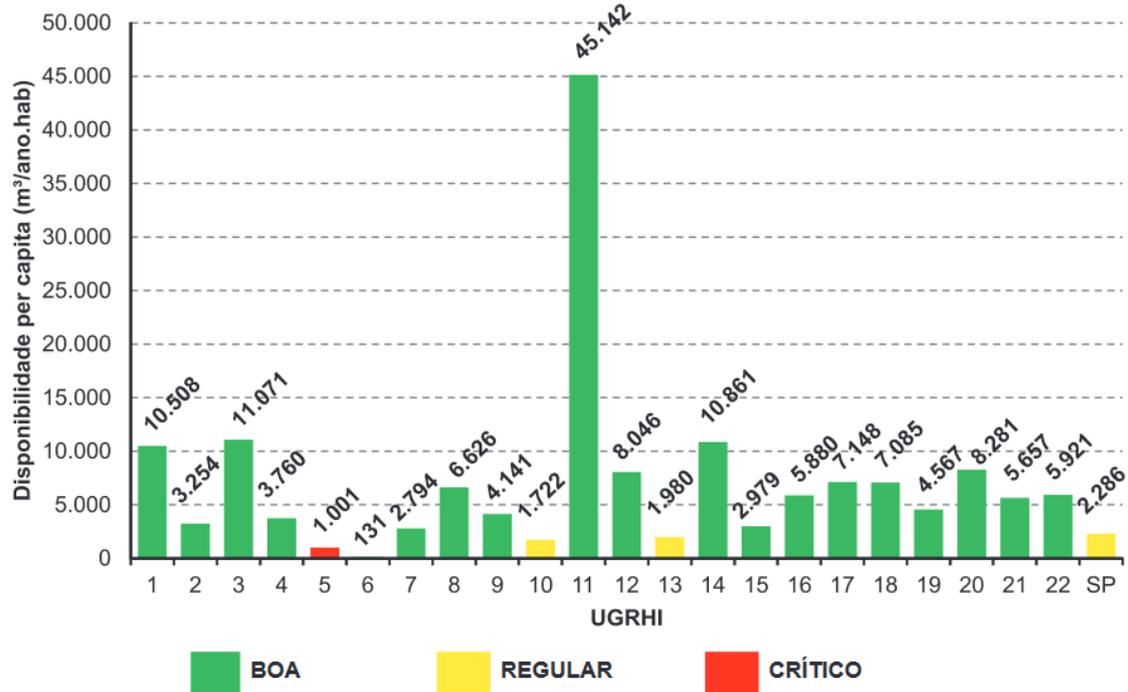
Fonte: CETESB, 2017.

De acordo com o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo de 2011, o eixo do Rio Tietê concentra uma importante força propulsora para o desenvolvimento econômico do Estado, sendo que algumas UGRHIs se destacam nos setores urbano e industrial, e outras no setor rural.

A forma como se deu o crescimento urbano no Estado de São Paulo também influenciou diretamente a disponibilidade hídrica de cada região. A distribuição heterogênea da população no estado agravou a demanda de água em algumas regiões mais que outras. A UGRHI 6, por exemplo, possui a menor disponibilidade hídrica per capita do estado, com aproximadamente 131 m³/hab.ano, muito abaixo da faixa considerada crítica (Figura 3) (SMA/CPLA, 2016).

Esta região, além de possuir um dos maiores aglomerados populacionais do país, está localizada em área de cabeceiras. É interessante observar na Figura 3 também que as UGRHIs 10-SMT e 13-TJ, apesar de apresentarem criticidade menor em relação à disponibilidade per capita de água, também estão caminhando para uma situação crítica.

Figura 3. Disponibilidade Hídrica per capita por UGRHI em 2015.

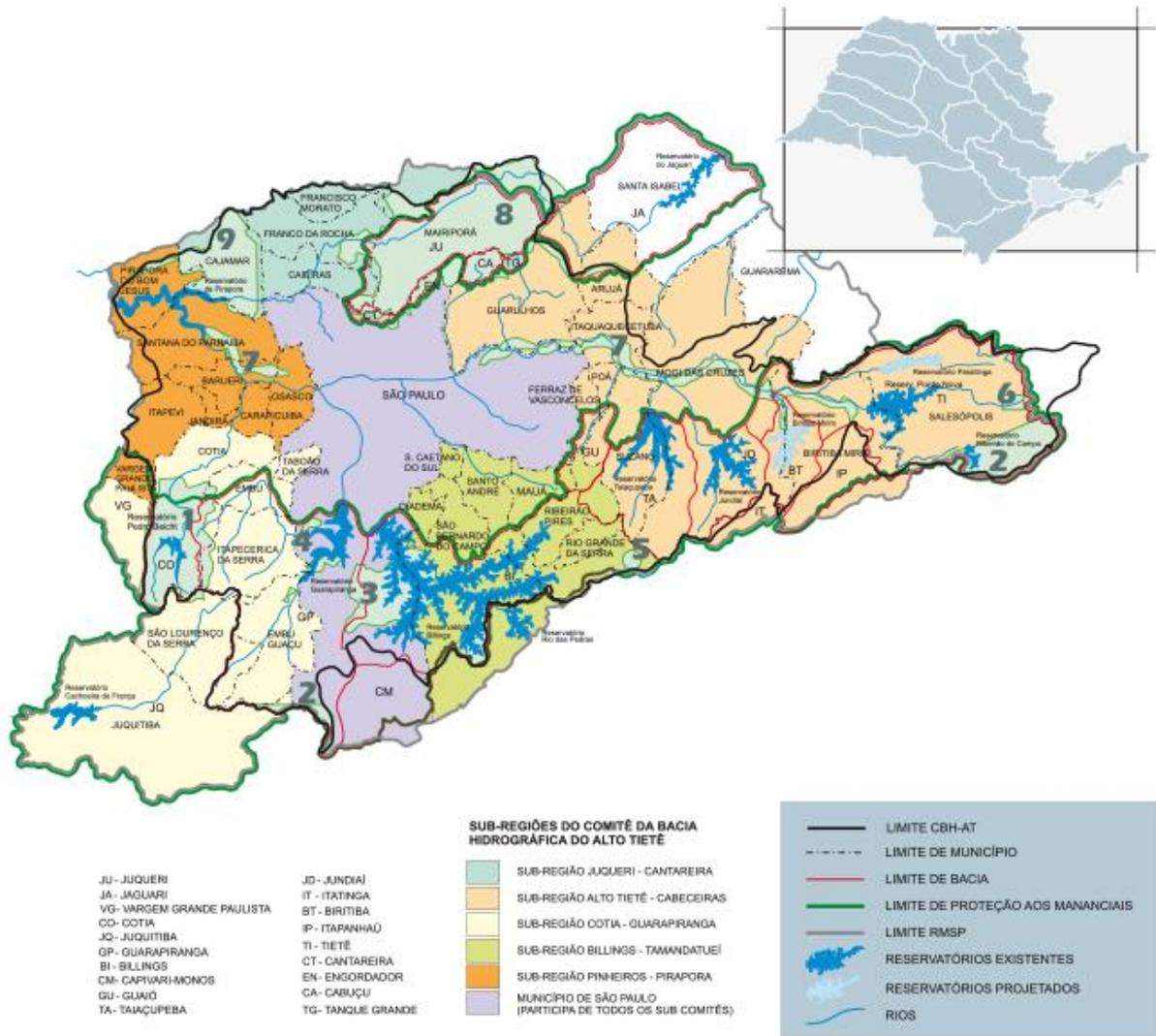


Fonte: SMA/CPLA, 2016.

Cada UGRHI é composta por diversos municípios. Pode ocorrer de um determinado município estar inserido em mais de uma UGRHI, já que a divisão não é definida pelo limite territorial dos municípios, mas sim pelo divisor de águas. Nesses casos, o município é considerado pertencente à UGRHI em que sua sede municipal se situa. A seguir são apresentadas algumas características gerais das 6 UGRHIs pertencentes à Bacia Hidrográfica do Tietê.

3.1.2.1. UGRHI 6 – Alto Tietê

Figura 4. Mapa da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.



Fonte: SigRH.

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT) corresponde à UGRHI 06 e coincide em grande parte com a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Abrange a porção leste do rio Tietê, delimitada por uma área de drenagem desde suas nascentes, na divisa dos municípios de Salesópolis e Paraibuna, seguindo a direção geral leste-oeste até atingir a Barragem de Ransão, em Pirapora do Bom Jesus (FABHAT, 2018).

Segundo o SigRH, os municípios que compõem a Bacia do Alto Tietê são: 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, Itaquaquecetuba, Jandira, Jquitiba, 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.

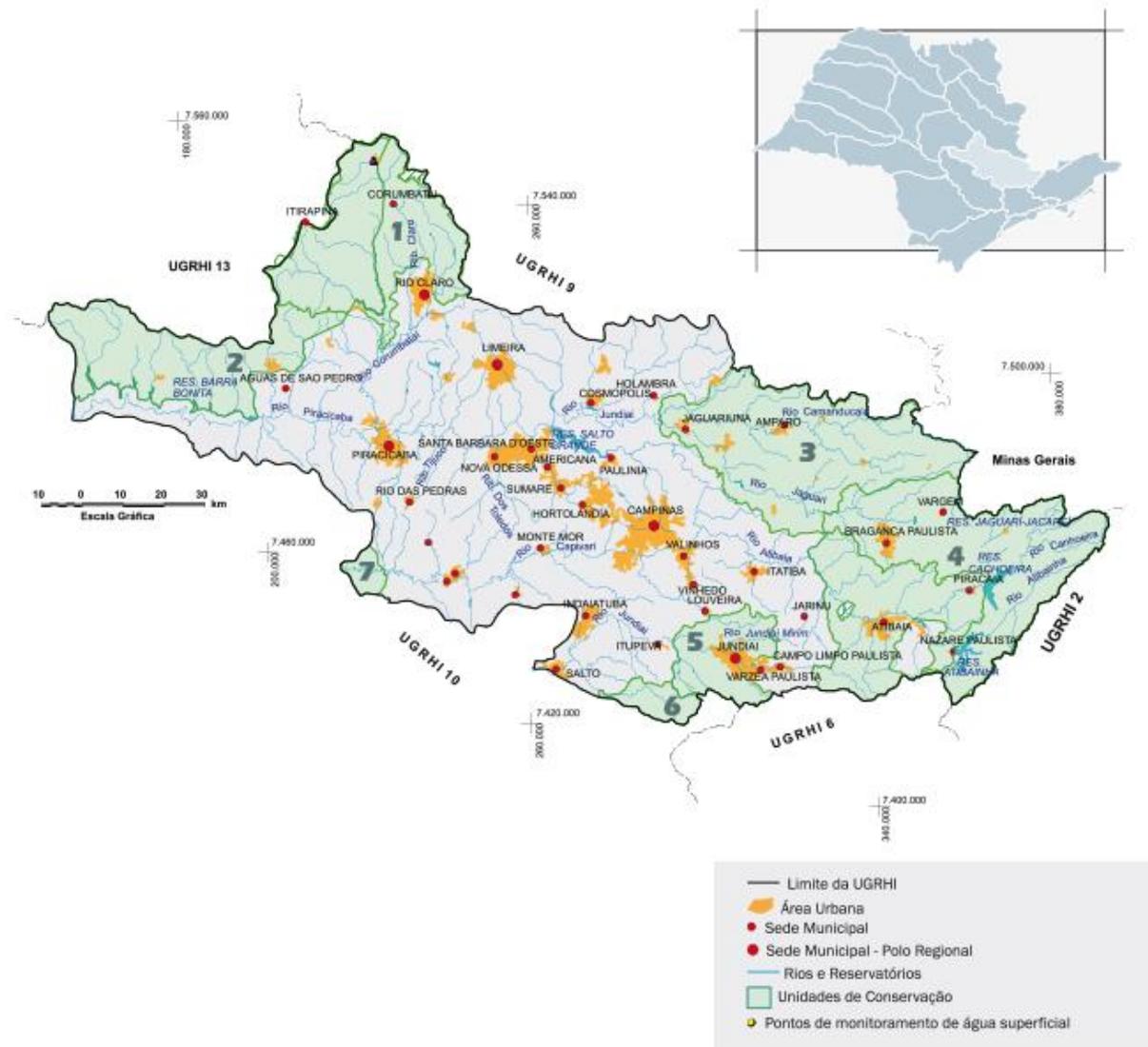
A bacia do Alto Tietê abrange uma vasta rede de tributários, no qual seus principais rios são: Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Claro, Paraitinga, Jundiaí, Biritiba-Mirim e Taiaçupeba. Os principais reservatórios existentes na bacia são: Billings, Guarapiranga, Pirapora, Reservatório das Graças, Cabuçu, Águas Claras, Tanque Grande, Paraitinga, Edgard de Souza, Ribeirão do Campo, Ponte Nova, Biritiba-Mirim, Jundiaí, Taiaçupeba, Paiva Castro, que recebe as águas das Represas do Sistema Cantareira localizadas na UGRHI 05 e Pedro Beicht (FABHAT, 2016).

A RMSP que está contida na BAT é considerada o maior polo econômico do país e abrange uma população total de 20.540.641 habitantes, onde 99% dessa população está em área urbana. A metrópole de São Paulo centraliza a sede dos mais importantes complexos industriais, comerciais e financeiros do país (FABHAT, 2018). Esse expressivo potencial econômico industrial e de serviços e o conseqüente aumento da população, torna a demanda de água elevada na UGRHI-6.

A oferta de água nos anos de 2014 e 2015, por exemplo, não foi suficiente para atender as demandas, resultando na maior crise hídrica do Sudeste brasileiro. Os dois principais sistemas produtores de água da BHAT, Sistema Cantareira e Sistema Alto Tietê, foram os mais impactados, causando prejuízos ao abastecimento público de toda a RMSP. Devido à essa crise, foram necessárias várias ações para buscar água de outros sistemas produtores para as áreas mais impactadas (FABHAT, 2016).

3.1.2.2. UGRHI 5 – PCJ

Figura 5. Mapa da UGRHI 5 – PCJ.



Fonte: SigRH

Segundo a Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (2018), a área de abrangência das Bacias PCJ é de aproximadamente 15.377,81 km², sendo 92,45% no Estado de São Paulo (SP) e 7,55% no Estado de Minas Gerais (MG). No Estado de São Paulo, as Bacias PCJ, todas afluentes do Rio Tietê, estendem-se por 14.216,57 km², sendo 11.492,84 km² correspondentes à Bacia do Rio Piracicaba, 1.568,68 km² à Bacia do Rio Capivari e 1.155,06 km² à Bacia do Rio Jundiaí.

Essa bacia abrange os municípios de Águas de São Pedro, Americana, Amparo, Analândia, Artur Nogueira, Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Cabreúva,

Campinas, Campo Limpo Paulista, Capivari, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Cosmópolis, Dois Córregos, Elias Fausto, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Ipeúna, Iracemápolis, Itatiba, Itirapina, Itu, Itupeva, Jaguariúna, Jarinu, Joanópolis, Jundiaí, Limeira, Louveira, Mairiporã, Mogi Mirim, Mombuca, Monte Alegre do Sul, Monte Mor, Morungaba, Nazaré Paulista, Nova Odessa, Paulínia, Pedra Bela, Pedreira, Pinhalzinho, Piracaia, Piracicaba, Rafard, Rio Claro, Rio das Pedras, Saltinho, Salto, Santa Bárbara D'Oeste, Santa Gertrudes, Santa Maria da Serra, Santo Antônio de Posse, São Pedro, Socorro, Sumaré, Torrinha, Tuiuti, Valinhos, Vargem, Várzea Paulista, Vinhedo (SigRH).

Os principais rios da Bacia do PCJ são: Atibaia, Atibainha, Cachoeira, Camanducaia, Capivari, Corumbataí, Jaguari, Jundiaí e Piracicaba. A bacia também possui vários reservatórios importantes: Usina de Barra Bonita (Rio Piracicaba), Salto Grande (Rio Atibaia), Jacareí e Jaguari (Rio Jacareí), Atibainha (Rio Atibainha) e Cachoeira (Rio Cachoeira). Os quatro últimos reservatórios fazem parte do Sistema Produtor Cantareira (SigRH).

A região da UGRHI 5 – PCJ possui uma população total de aproximadamente 5.529.450 habitantes (SEADE, 2017). A Região Metropolitana de Campinas, por exemplo, que se insere na UGRHI 5, está em constante crescimento, como será discutido nos resultados deste trabalho. Os dez municípios mais populosos da região são, em ordem decrescente: Campinas, Piracicaba, Jundiaí, Limeira, Sumaré, Hortolândia, Americana, Santa Bárbara d'Oeste, Rio Claro e Indaiatuba.

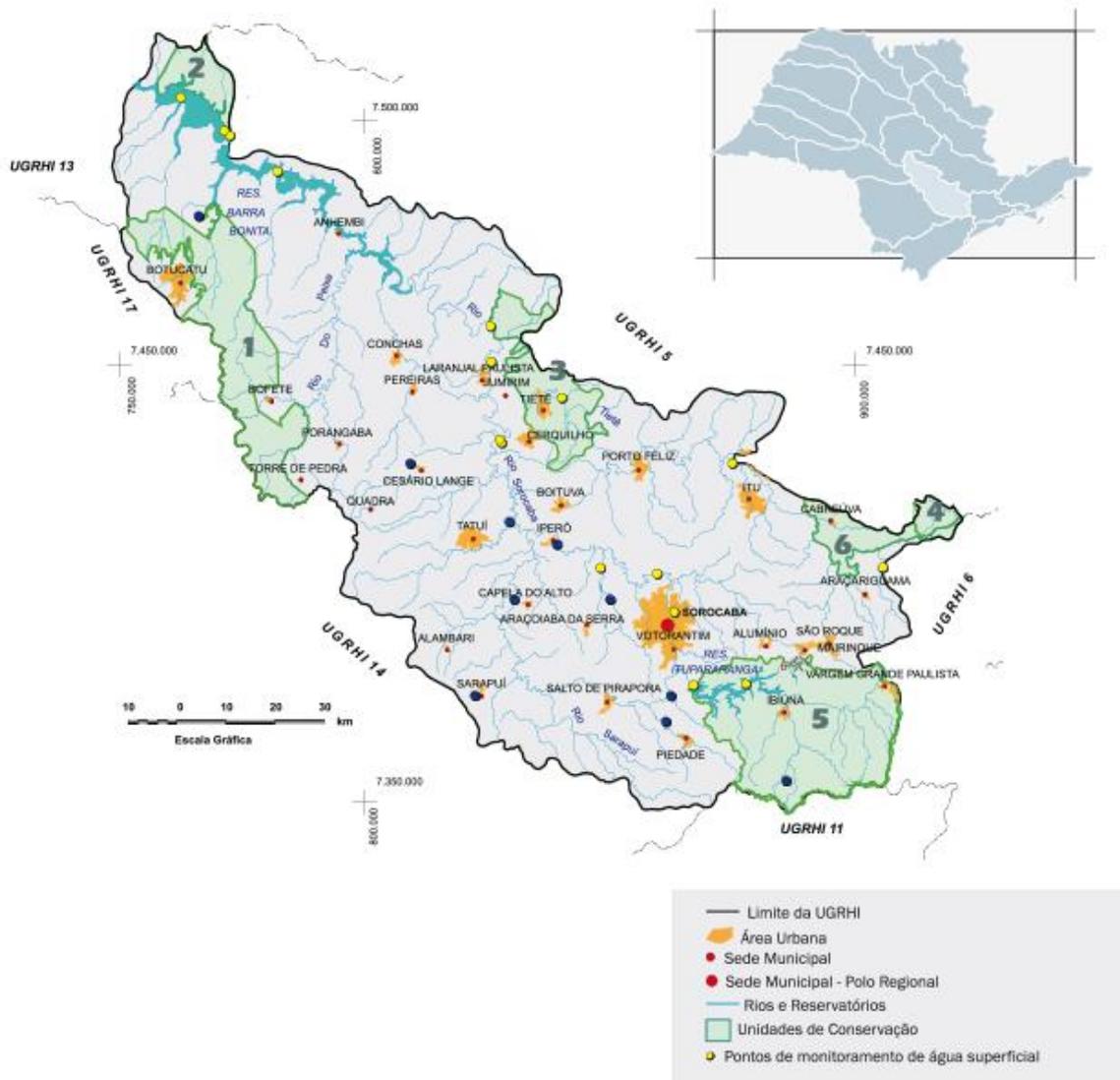
A indústria regional é bastante diversificada, podendo-se destacar: em Paulínia, o Pólo Petroquímico da Petrobras, e por outras empresas do setor químico e petroquímico; em Americana, Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste, o parque têxtil; em Campinas e Hortolândia, o pólo de alta tecnologia, formado por empresas ligadas à nova tecnologia de informação. Piracicaba se destaca pelas indústrias do setor metal - mecânico.

A região de Jundiaí, por exemplo, tem hoje um parque industrial com mais de 500 empresas atuando em variados setores, como: químico, embalagens, autopeças, metal - mecânico, alimentos, vestuário, cerâmico, etc., sendo parte da produção exportada para diversos países. Limeira é considerada a capital nacional do folheado, responsável por 60% da produção nacional. Já a região de Piracicaba consolidou-se como importante área de produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, em torno da qual se formou um complexo

agroindustrial de açúcar e álcool. Outra Região de Governo que tem como referência a agroindústria sucroalcooleira é a de Rio Claro. Ela possui um parque industrial diversificado que inclui destilarias de álcool e usinas de açúcar, indústrias de alimentos e de bens de capital, e muitas outras.

3.1.2.3. UGRHI 10 – Tietê Sorocaba

Figura 6. Mapa da UGRHI 10 - Tietê/Sorocaba.



Fonte: SigRH.

A Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10) está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo e é constituída pela Bacia do rio Sorocaba e de outros

tributários do rio Tietê. Todos os corpos d'água da UGRHI são de domínio estadual. A UGRHI 10 – Tietê/Sorocaba recebe as águas do Alto Tietê (UGRHI 06), a leste, e tem, a jusante (noroeste), a UGRHI 13 (Tietê/Jacaré).

A bacia do Tietê-Sorocaba abrange os municípios de Alambari, Alumínio, Anhembi, Araçariguama, Araçoiaba da Serra, Bofete, Boituva, Botucatu, Cabreúva, Capela do Alto, Cerquilha, Cesário Lange, Conchas, Ibiúna, Iperó, Itu, Jundiaí, Jundiaí Paulista, Mairinque, Pereiras, Piedade, Porangaba, Porto Feliz, Quadra, Salto, Salto de Pirapora, São Roque, Sarapuí, Sorocaba, Tatuí, Tietê, Torre de Pedra, Vargem Grande Paulista, e Votorantim. (SigRH)

Essa UGRHI possui uma área de drenagem de aproximadamente 11.829 km² e população de 1.811.904 habitantes. Seus principais rios são: Sorocaba, Tietê, Sorocabuçu, Sorocamirim, Pirajibu, Jundiuvira, Murundu, Sarapuí, Tatuí, Guarapó, Macacos, Ribeirão do Peixe, Alambari, Capivara e Araçua. Essa bacia possui dois reservatórios importantes: Represa Itupararanga e Represa Barra Bonita (SSRH/CRHi, 2011).

Na região de Sorocaba predominam as atividades industriais, embora na região como um todo, observa-se muito o cultivo da cana-de-açúcar e do citrus, além da pecuária. Segundo o SigRH, a vegetação remanescente dessa região apresenta 2.104 km² de cobertura vegetal nativa que ocupa, aproximadamente, 17,5% da área da UGRHI. As categorias de maior ocorrência são a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Estacional Semidecidual.

A região do Médio Tietê é muito influenciada pelas bacias a montante, tanto o Alto Tietê, que despeja grande parte do esgoto não tratados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) na calha do rio quanto as Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí que transporta os efluentes da Região Metropolitana de Campinas e do Município de Jundiaí e deságuam no trecho médio do Rio Tietê dentro da UGRHI10. Estas três bacias juntas UGRHI-6 (Alto Tietê), UGRHI-5 (Piracicaba, Capivari e Jundiaí) e UGRHI-10 (Sorocaba e Médio Tietê) são as três bacias mais industrializadas do Estado de São Paulo e concentram quase metade da população paulista.

3.1.2.4. UGRHI 13 – Tietê Jacaré

Figura 7. Mapa da UGRHI 13 - Tietê/Jacaré.



Fonte: SigRH.

A UGRHI 13 Tietê-Jacaré abrange os seguintes municípios: Agudos, Araraquara, Arealva, Areiópolis, Bariri, Barra Bonita, Bauru, Boa Esperança do Sul, Bocaina, Boracéia, Borebi, Brotas, Dois Córregos, Dourado, Gavião Peixoto, Iacanga, Ibaté, Ibitinga, Igarapé do Tietê, Itaju, Itapuí, Itirapina, Jaú, Lençóis Paulistas, Macatuba, Mineiros do Tietê, Nova Europa, Pederneras, Ribeirão Bonito, São Carlos, São Manuel, Tabatinga, Torrinhã, Trabalhiju

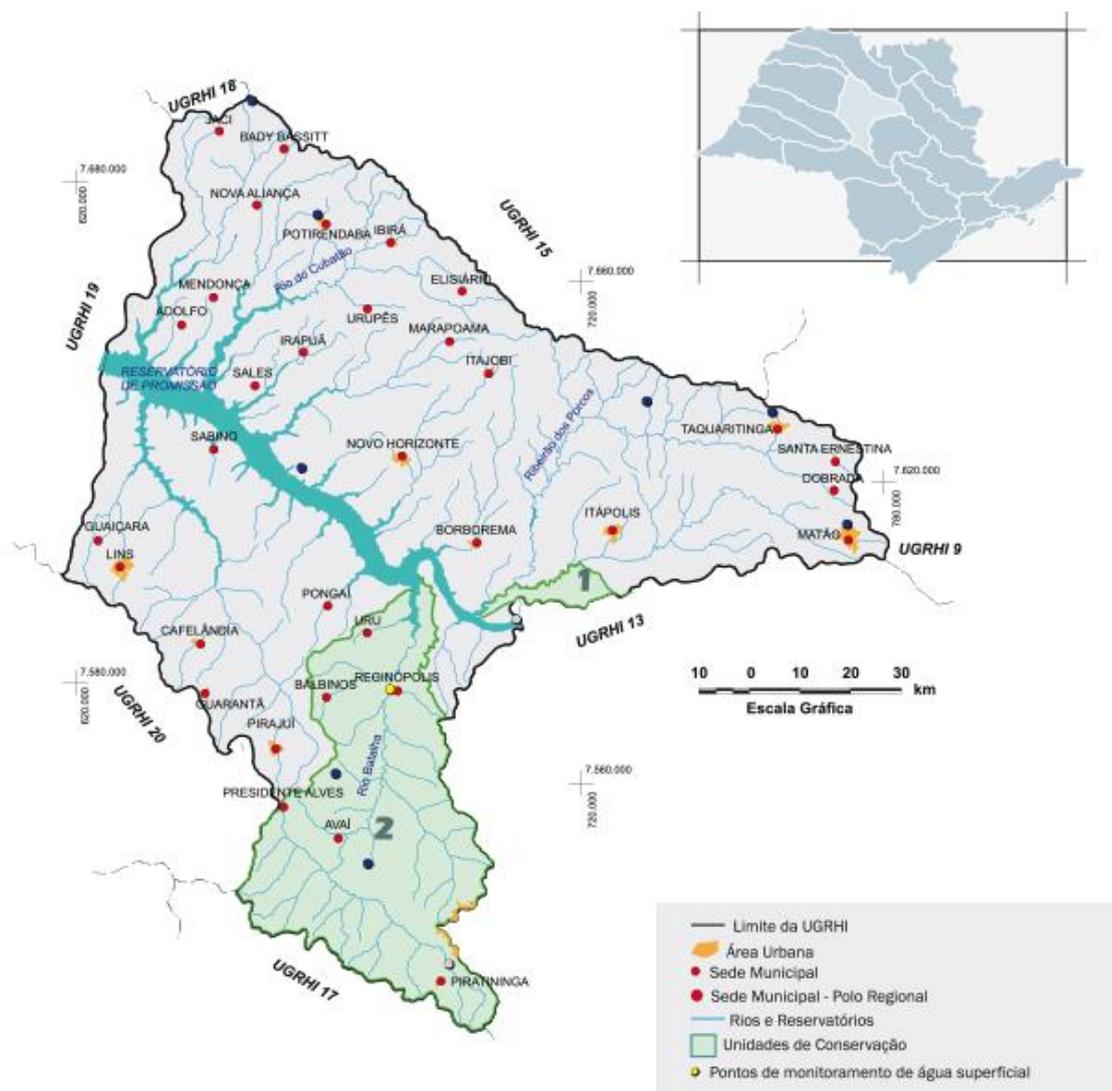
Segundo o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, essa bacia possui uma área de drenagem de 11.779 km² e uma população de aproximadamente 1.462.855 habitantes. Essa bacia compreende três rios importantes: Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. A bacia também abrange os reservatórios: Bariri, Ibitinga e Lobo.

Semelhante à UGRHI anterior, as principais atividades econômicas estão ligadas principalmente à agroindústria (açúcar, álcool, processamento de cítricos). Nos maiores municípios como Bauru, São Carlos, Araraquara e Jaú outros setores da indústria como papel, bebidas, calçados e metal mecânica também se destacam (SSRH/CRHi, 2011).

Essa região apresenta 1.106 km² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 9% da área da UGRHI. As categorias de maior ocorrência são a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana.

3.1.2.5. UGRHI 16 – Tietê Batalha

Figura 8. Mapa da UGRHI 16 - Tietê/Batalha.



A UGRHI 16 – Tietê/Batalha, abrange os seguintes municípios: Adolfo, Agudos, Avaí, Bady Bassit, Balbinos, Bauru, Borborema, Cafelândia, Dobrada, Elisiário, Guaiçara, Guarantã, Ibirá, Irapuã, Itajobi, Itápolis, Jaci, Lins, Marapoama, Matão, Mendonça, Nova Aliança, Novo Horizonte, Pirajuí, Piratininga, Pongá, Potirendaba, Presidente Alves, Promissão, Reginópolis, Sabino, Sales, Santa Ernestina, Taquaritinga, Uru, Urupês (SSRH/CRHi, 2011).

Os principais rios da bacia são: Rio Tietê, Rio Dourado, Rio São Lourenço, Rio Batalha e Ribeirão dos Porcos. A bacia também possui um importante reservatório, que é o Reservatório de Promissão (SigRH). As principais atividades econômicas da região são a agricultura, pecuária e atividades industriais nas áreas mecânica e alimentícia, predominando a sucroalcooleira. Entre as principais culturas destacam-se a da cana-de-açúcar e laranja. Ao longo da área de inundação da UHE Mário Leão observam-se atividades de recreação e lazer, demonstrando o potencial turístico da região.

A bacia ocupa área de 13.149 Km² possui uma população de aproximadamente 520.000 habitantes. Devido a sua localização central, e por possuir água em quantidade e qualidade, a bacia é um potencial atrativo para os investimentos no Estado de São Paulo. Como pontos fortes de desenvolvimento, podemos citar um completo sistema rodoviário que interliga todos os municípios; boa malha ferroviária que é utilizada para transportar minérios, combustíveis e cargas em geral. A Hidrovia Tietê-Paraná é outra opção de transporte, servindo como entrada do MERCOSUL no Estado.

Como potencial energético, a bacia possui a UHE Mário Leão, em Promissão, onde são gerados 265 megawatts de energia elétrica. Em seu território como um todo, a Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha possui potencial para instalação de usinas termoelétricas com capacidade de geração de até 1.200 megawatts. Já a vegetação remanescente da bacia apresenta 893 km² de vegetação natural que ocupa, aproximadamente, 6,5% da área da UGRHI. As principais formações são a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana.

3.1.2.6. UGRHI 19 – Baixo Tietê

Figura 9. Mapa da UGRHI 19 - Baixo Tietê.



Fonte: SigRH.

A ltima UGRHI da Bacia Hidrográfica do Tietê  a 19 (Baixo Tietê).  nessa bacia que o rio Tietê encontra a sua foz no rio Paraná. Essa bacia possui uma área de drenagem de 15.588 km² e aproximadamente 800 mil habitantes nos seguintes municípios: Alto Alegre, Andradina, Araçatuba, Avanhadava, Barbosa, Bento de Abreu, Bilac, Birigui, Braúna, Brejo Alegre, Buritama, Castilho, Coroados, Gastão Vidigal, Glicério, Guara, Guararapes, Itapira, José Bonifácio, Lavínia, Lourdes, Macaubal, Magda, Mirandópolis, Monções, Murutinga do Sul, Nipo, Nova Castilho, Nova Luzitânia, Penápolis, Pereira Barreto, Planalto, Polni, Promissão, Rubicea, Santo Antnio do Aracang, Sud Mennucci, Turiba,

Ubarana, União Paulista, Valparaíso, Zacarias (SSRH/CRHi, 2011).

Os principais rios da bacia são: Rio Tietê, Rio Paraná, Rio Água Fria, Rio das Oficinas, Ribeirão Santa Bárbara, Ribeirão dos Ferreiros, Ribeirão Mato Grosso, Rio dos Patos, Ribeirão Lajeado, Córrego dos Baixotes e Ribeirão Bagaçu. A região também possui importantes reservatórios: Usina Três Irmãos e Usina Nova Avanhandava. Estes reservatórios integram a Hidrovia Tietê-Paraná. Essas usinas hidrelétricas de Nova Avanhandava e Três Irmãos, reúnem imenso potencial turístico e disponibilidade de água.

A base da economia regional é a agropecuária, com destaque para a comercialização de bovinos. Configura-se como fronteira de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Estado. Na agroindústria destacam-se indústrias sucroalcooleiras, frigoríficas, calçadista, de massas, de polpas de frutas, de processamento de leite em pó, de curtimento de couro, de desidratação de ovos, entre outras (SigRH). A região também apresenta 874 km² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 5,5% da área da UGRHI. As principais formações são a Floresta Estacional Semidecidual e a Formação Arbórea/Arbustiva em Regiões de Várzea.

3.2. ASPECTOS HISTÓRICOS, SOCIAIS E CULTURAIS DO RIO TIETÊ

3.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RIO TIETÊ

O rio Tietê, em vez de correr para o mar, como outros rios, vai em direção ao interior e nasce a uma altitude de 1.030 metros na Serra do Mar. Sua nascente se situa no município de Salesópolis, a 22 km do oceano Atlântico e a 96 km da capital paulista (DAEE). Em sua jornada o Tietê banha 62 municípios ribeirinhos e seis sub-bacias hidrográficas.

Até o século XVII, o Tietê era chamado de Anhembi. Historiadores da época acreditam que o nome é derivado de uma ave muito comum na região, as anhumas, significando rio das Anhumas (DAEE). O verdadeiro ou os verdadeiros nomes do rio Tietê têm significado e origem ainda controversos, mas durante muitos anos o rio foi também conhecido como Rio Grande do Anhembi. Segundo Rocha (1991), ao longo da história, ambos os nomes Tietê e Anhembi, concomitantemente, persistiram. Até por volta de 1840, havia uma dualidade na nomenclatura do rio, o qual até a cidade de Salto era chamado de Tietê, enquanto que desta até a desembocadura no rio Paraná predominava a designação Anhembi (ROCHA, 1991).

Além da sua direção ser favorável à exploração do interior, o rio Tietê faz todo o seu percurso dentro do Estado de São Paulo, fato que o identifica ainda mais com este estado e o seu desenvolvimento. Ele atravessa a Região Metropolitana de São Paulo e desagua posteriormente no rio Paraná, fazendo um percurso de quase 1.100 km, como pode ser visto na figura abaixo (DAEE).

Figura 10. Mapa do percurso do Rio Tietê no Estado de São Paulo.



Fonte: DAEE.

Segundo Nóbrega (1981), “o Tietê identifica-se, em determinado período, com a própria vida – alma e corpo, tradição e progresso, glória e miséria – de São Paulo”.

É importante citar que o rio Tietê sofreu vários outros impactos ao longo dos anos, como a construção de barragens, por exemplo. O Tietê foi transformado em sucessíveis lagos, modificando suas características originais, sofrendo também em certos trechos a influência de dragagens e processos de retificação. O rio que antes era um ambiente lótico, cheio de quedas e cachoeiras, passou a ser lântico (ROCHA, 1992).

O rio teve suas águas represadas para a geração de energia, com a construção de usinas hidrelétricas, como as de Barra Bonita, Bariri, Itatinga e Promissão. Entretanto, essa mudança

permitiu a navegação em suas águas, servindo como meio de transporte da produção agrícola, o que trouxe vantagens econômicas e turísticas (Fundação SOS Mata Atlântica, 2004). Surgiu então um sistema de transporte hidroviário interligado às malhas rodoviária e ferroviária chamado Hidrovia Tietê-Paraná. A Hidrovia Tietê-Paraná atualmente possui 2.400 quilômetros de extensão, sendo 1.600 no rio Paraná e 800 quilômetros no Estado de São Paulo. Ela conecta cinco dos maiores estados produtores de grãos: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná, como pode ser visto na figura abaixo (Figura 11).

Figura 11. Mapa da Hidrovia Tietê – Paraná.



Fonte: DNIT, 2016 .

A Hidrovia Tietê-Paraná é considerada mais que um corredor de transporte de mercadorias, pois representa um eixo indutor de desenvolvimento no Estado de São Paulo. Devido à presença dessa hidrovia, vários municípios têm atraído empresas interessadas em aproveitar as vantagens do baixo frete hidroviário.

Outro fator que alterou e ainda altera drasticamente as características do rio Tietê é a descarga de esgoto sanitário e industrial que o mesmo sofre principalmente na Região Metropolitana de São Paulo, o maior centro urbano e industrial do país. Segundo o DAEE, o lançamento de esgotos industriais inicia-se a 45 km da nascente na cidade de Mogi das Cruzes.

3.2.2. O RIO TIETÊ E A EXPANSÃO PAULISTA

O Rio Tietê é considerado, por alguns autores, o segredo ou o motor da expansão paulista, considerando que o mesmo corre para o interior e não para o mar. Martim Afonso, citado por Nóbrega (1981, p. 27), comenta:

...Nascido junto ao mar, o rio dava as costas pro mar e lá se ia embora, como que determinando ao homem que fizesse o mesmo. Num simples pormenor – entrar pela foz de um rio ou entrar pela nascente de um rio – podia estar uma explicação muito grave para as coisas humanas. Assim como o destino histórico de certos povos foi tirado da respectiva posição geográfica à beira-mar, que os fez navegadores, assim o paulista foi fixado pelo seu rio, o Tietê que o fez sertanista e bandeirante

Ainda sobre o papel do Tietê na expansão paulista, Nóbrega (1981, p. 31) cita Taunay:

No conjunto das vias de penetração do Brasil selvagem e desconhecido, nenhuma tem a significação histórica que sequer de longe se aproxime da que empresta ao Tietê tão notável realce. Está o nome do grande rio de São Paulo indestrutivelmente ligado à história da construção territorial do Brasil.

Além de sua função de transporte para as monções, o Tietê teve várias outras funções que foram essenciais para o desenvolvimento de São Paulo. Segundo Nóbrega (1981), existem três aspectos na função civilizadora dos rios: matéria (abastecimento, irrigação, despejo); meio (transporte, pesca e piscicultura) e energia (quedas de água, moinhos).

A pesca em certos pontos do Tietê, por exemplo, fornecia à população diversas espécies de peixes (jaus, dourados, pacus, surubis, piranjubas e piabuços) como abastecimento. A caça era abundante ao longo de todo o percurso do rio e era comum ver capivaras, caetetus, pacas e tatus, além de várias espécies de aves, às margens do rio (NÓBREGA, 1981).

Segundo Nóbrega (1981), até o início do século XVIII, a atividade dos pioneiros mamelucos se deu preferencialmente por terra. Só depois desse período é que os rios tiveram a preferência das expedições. Entretanto, quase todas as excursões por terra acompanhavam os caudais dos rios paulistas. Os mesmos eram essenciais para nortear os viajantes, como também para prover recursos.

A preferência pelo rio Tietê como transporte, entretanto, se acentuou após 1720, com o descobrimento do ouro de Goiás e de Mato Grosso, quando a rede fluvial, abriu aos paulistas

a vastidão de novas terras, onde o ouro era fácil de se encontrar. Portanto, o descobrimento do ouro cuiabano impulsionou o êxodo das povoações paulistas. Como disse José Barbosa de Sá em “Relações das povoações do Cuiabá e Mato Grosso de seus princípios até os presentes tempos” (NÓBREGA, 1981, p. 62): “muitas gentes deixando casas, fazendas, mulheres e filhos e botando-se para estes sertões como se fora a terra da promessa ou o Paraíso encoberto em que Deus pôs nossos primeiros pais”.

A Figura 12 ilustra a partida de uma “Monção”, nome dado às expedições fluviais que adentravam o interior do Estado de São Paulo rumo ao Mato Grosso, em busca de ouro.

Figura 12. “A Partida da Monção”, quadro de 1897 de Almeida Júnior.



Fonte: Quadro pertencente ao Acervo do Palácio dos Bandeirantes.

E assim intensificou-se o movimento da navegação, pela necessidade de abastecimento das terras que os mineradores não cultivavam sequer para o próprio sustento, morrendo, muitas vezes, em meio ao ouro acumulado, ou pagando pelo alimento de um dia o produto de longas horas de trabalho. Aos poucos, o ouro foi escasseando e, conseqüentemente, o tráfego do rio, reduzido às frotas oficiais (NÓBREGA, 1981).

É interessante comentar, entretanto, que, nem mesmo o prolongamento da estrada do Anhanguera, ou a abertura de novos caminhos por terra conseguiu ofuscar a importância da via tieteana. A capacidade de transporte das canoas, apesar das dificuldades da navegação,

continuava oferecendo maior economia e rapidez. Uma só canoa conseguia carregar o equivalente aos cargueiros de quarenta ou cinquenta animais, além de carregar volumes que nenhum animal suportaria em longos percursos (NÓBREGA, 1981). A navegação do Tietê, entretanto, não era fácil. Almeida e Souza, citado por Nóbrega (1981), relatou:

Nas duzentas léguas de navegação do rio Tietê se incluem 75 precipícios de despenhadas cachoeiras e horrorosos saltos que se não transitam O perigo das cachoeiras minora-se com aumento de indizível trabalho e multiplicado tempo, descarregando as canoas duas e três vezes por dia....

Figura 13. “Carga de Canoas” – Oscar Pereira da Silva, 1920.



Fonte: Quadro pertencente ao acervo do Museu Paulista da USP.

No pequeno trecho do Tietê entre a barra do Pinheiros e o salto de Itu, em 1792, haviam cerca de quarenta e duas cachoeiras. Além do cansaço dos trabalhos de navegação, a preparação de pousos, o transbordo de carga e o arrastamento das canoas nas passagens difíceis do rio, havia também a luta incessante contra a natureza hostil do sertão. Não foi por acaso, portanto, que o governo colonial se esforçou na construção de estradas (NÓBREGA, 1981).

Com o tempo, o ciclo das Monções e expedições pelo rio Tietê foram declinando. Segundo Rocha (1991), várias questões influenciaram esse declínio: o advento do barco a vapor; a escassez do ouro; a abertura de estradas e o uso das mulas para carregar as mercadorias. Esses fatores, aliados ao grande esforço necessário para vencer os obstáculos naturais que obrigavam à retirada das canoas e respectivo carregamento, o ataque de índios, as febres, os ataques de insetos e os assaltos, fizeram com que a última Monção, fosse encerrada em 1826.

Entretanto, o transporte fluvial, comercial e recreativo, perdurou na zona metropolitana até ao início dos anos cinquenta. De acordo com Rocha (1991), em 1940 haviam 2500 embarcações que faziam o percurso da Penha de França a Moji das Cruzes, pois, nessa época, começaram os trabalhos de retificação desde aquele bairro até a Ponte Grande.

Embora o Rio Tietê não tenha oferecido ouro em suas margens, outros minerais, muitos ainda não explorados, atestam sua significação econômica. Todavia, Nóbrega (1981) comenta que o principal tesouro que as terras banhadas pelo Tietê deram aos paulistas foi a terra roxa, tão própria à cultura do café. O ressurgimento da força conquistadora do rio manifestou-se na expansão dos cafezais pelas terras roxas. Foi a expansão dos cafezais que reavivou a função povoadora do Tietê.

A contribuição do Rio Tietê para a expansão e desenvolvimento do estado não parou por aí. A energia elétrica do parque industrial de São Paulo veio, em grande parte, das águas do Tietê e de seus afluentes: em Parnaíba, no Rasgão, em Itu, em Porto de Góis, em Votorantim, em Cubatão. Em 1901, em Parnaíba, foram instalados os primeiros grandes geradores hidrelétricos do Brasil (NÓBREGA, 1981).

Nóbrega (NÓBREGA, 1981, p. 195) e Alcântara Machado resumem bem o papel do Rio Tietê na expansão paulista:

Do Tietê recebeu São Paulo quase todos os dons de que se constrói sua grandeza atual: não só a glória de altos feitos, senão também o conforto e o progresso. A crônica paulista é como estrada aberta ao lado do rio e nunca se afasta de suas margens. (NÓBREGA, 1981, pg. 194)E o Tietê deu a São Paulo quanto possuía: o ouro das areias, a força das águas, a fertilidade das terras, a madeira das matas, os mitos do sertão. Despiu-se de todo encanto e de todo mistério; despoetizou-se e empobreceu por São Paulo e pelo Brasil.

3.2.3. O RIO TIETÊ E A CIDADE DE SÃO PAULO

Segundo NÓBREGA (1981), os rios exercem três atividades, em relação às suas funções antropogeográficas: transportar, estabilizar e relacionar os grupos humanos. Segundo o mesmo autor, o rio também é elemento de fixação: a fertilidade dos vales, a abundância de pescado e da caça, as argilas plásticas para os utensílios domésticos, o suprimento de água potável, tudo atraía o homem primitivo à beira-rio. As civilizações antigas eram ribeirinhas e, ainda hoje, as grandes cidades não litorâneas se encontram às margens de importantes rios.

O rio Tietê não foi diferente, pois possibilitou o crescimento e desenvolvimento da cidade de São Paulo, ligando a história dessa cidade fortemente à história de seus rios. Por volta de 1554, a cidade, conhecida antigamente por São Paulo de Piratininga, começou a ser colonizada por padres jesuítas, que escolheram um local entre o rio Tamanduateí e o Anhangabaú (DAEE).

Entretanto, Nóbrega (1981) traz em seu livro a opinião do historiador Nuto Sant Ana, que afirma ser o Tietê o rio Piratininga dos velhos documentos e não, como muito se aceita, o Tamanduateí. Ele alega que a primitiva povoação de Piratininga, fundada em 1532 por ordem de Martim Afonso de Souza, ficava situada entre os atuais bairros da Luz, do Bom Retiro e dos Campos Elísios, longe, portanto, daquele curso de água. Só em 1553, por iniciativa do Padre Manoel da Nóbrega teria sido a aldeia transferida para o alto do espigão, à margem do Tamanduateí, um pouco a montante do desaguadouro do Anhangabaú.

Nos primeiros séculos de colonização o rio era um importante meio de transporte e fonte de abastecimento de água e de alimento. O principal centro de pesca da Piratininga colonial era na várzea situada entre o Tietê e seu afluente Tamanduateí, lugar ainda hoje chamado Pari, que significa o cercado de varas que os índios usavam para pescar (NÓBREGA, 1981).

Além da pesca, a população da cidade de São Paulo era beneficiada pela beleza do rio, que atraía vários clubes para as suas margens nas últimas décadas do século XIX. Assim surgiram o Espéria, o Tietê, o Atlético São Paulo e outros que proporcionaram grandes competições de remo e natação até o ano de 1972, quando a poluição finalmente venceu os desportistas (ROCHA, 1991).

Figura 14. Rio Tietê na década de 1920.



Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE.

Segundo Nóbrega (1981, pg. 199), “o paulista sempre gostou de seu rio, sempre precisou dele, mas não lhe perdoa as inundações periódicas das várzeas próximas. A questão é antiga. Vem desde a fundação da vila.” O mesmo autor comenta que a pequena declividade do leito do rio e de seus afluentes determinava, na estação chuvosa, o transbordamento das águas, notadamente no trecho situado entre a Penha e Osasco, em que o Tietê se enovela em meandros e coroas, em quase cinquenta quilômetros de curso.

A estagnação das águas favorecia a proliferação de dípteros, muitos dos quais transmissores de febres. Em 1848 votou-se a lei que autorizava o “encanamento” do Tamanduateí. Entretanto, somente em 1916, e ainda assim parcialmente, com o inaugurar-se o último trecho da canalização do Tamanduateí, colhiam-se resultados práticos da obra (NÓBREGA, 1981). É nesse contexto de crescimento urbano e priorização do desenvolvimento econômico que vemos os rios que, inicialmente, favoreceram o crescimento e desenvolvimento da cidade, começaram a se tornar um obstáculo para o mesmo.

3.3. O DESENVOLVIMENTO DA RMSP E SEUS RIOS

3.3.1. CRESCIMENTO POPULACIONAL E A INDUSTRIALIZAÇÃO DA RMSP

É impossível discutir evolução da qualidade das águas do Rio Tietê e seus afluentes sem considerar o crescimento populacional e seus efeitos sobre a qualidade dos corpos hídricos. O crescimento populacional transforma o uso e ocupação do solo, uma vez que gera necessidade de habitação, infraestrutura, transporte, agricultura, etc. Conseqüentemente, a urbanização também aumenta a impermeabilização do solo, a transformação dos leitos e margens dos rios, como também a diminuição da cobertura vegetal das cidades. Essas transformações provocam alterações no ciclo da água e conseqüentemente também afetam a qualidade (JACOBI et al., 2015).

O Estado detém a maior população do país, concentrando cerca de 43,3 milhões de habitantes, 21,7 % do total brasileiro, segundo estimativas da Fundação SEADE (SSRH, 2017). São 645 municípios e seis regiões metropolitanas: Baixada Santista, Campinas, Ribeirão Preto, São Paulo, Sorocaba e Vale do Paraíba e Litoral Norte. A maior parte da população concentra-se tradicionalmente no eixo das UGRHIs 05-PCJ, 06-AT, 07-BS, 02-PS e 03-LN

A Região Metropolitana de São Paulo abrange 39 municípios e é considerado o maior polo de riqueza nacional. A metrópole concentra quase metade da população do estado e centraliza importantes complexos industriais, comerciais e, principalmente, financeiros, que dinamizam as atividades econômicas no país. Em 2015, seu Produto Interno Bruto (PIB) correspondia a aproximadamente 17,63% do total brasileiro e mais da metade do PIB paulista (54,48%) (EMPLASA, 2018).

A RMSP passou por um processo de urbanização intensificado, sobretudo, a partir da primeira metade do século XX. A área urbana da RMSP passou de 1.064,93 km², em 1974, para 1.720,86 km², em 1990, números que indicam crescimento de 61,5% em 25 anos (FRACALANZA & CAMPOS, 2006).

Segundo Alvim, et al. (2015), essa expansão urbana se deu de forma horizontal e descontínua, em regiões, as quais, não conseguiram acompanhar o crescimento populacional com obras de saneamento e habitação, devido à rápida e inadequada ocupação. Infelizmente

esse fenômeno agravou a situação dos corpos hídricos, como também aumentou o desafio para o planejamento urbano e do saneamento. Essa expansão desordenada, associada à ausência de instalação de sistemas de infraestrutura de saneamento ambiental, acabou criando um cenário propício à degradação dos mananciais.

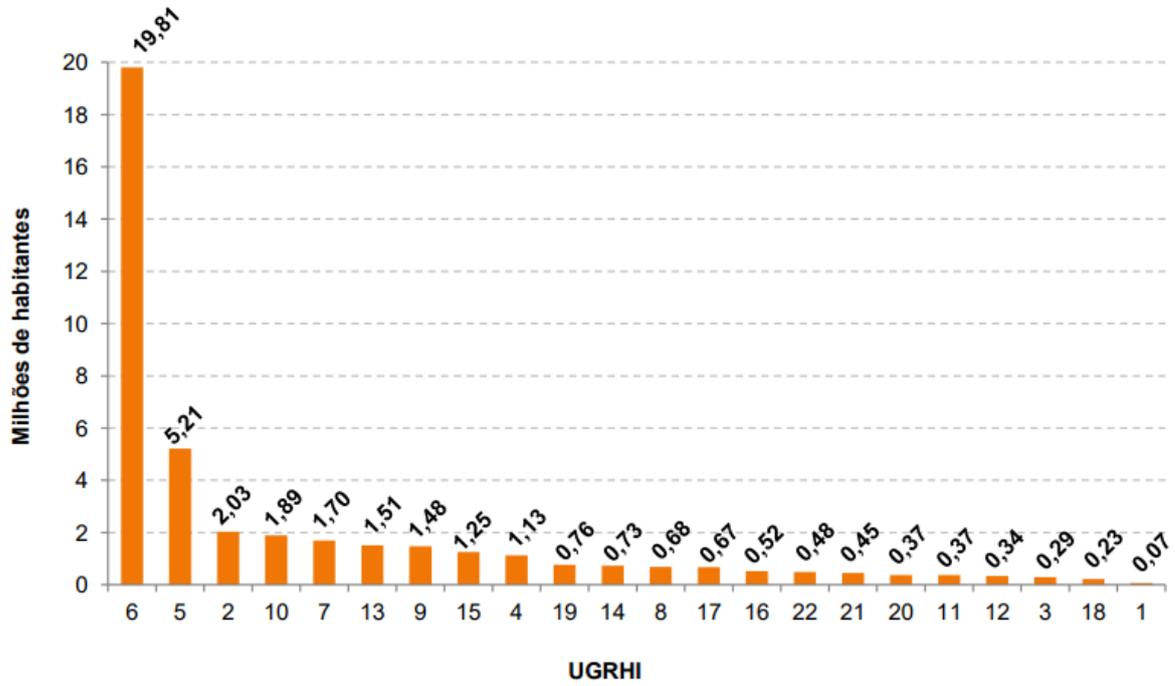
De acordo com o mesmo autor, nas três últimas décadas do século XX, a expansão da metrópole paulista se deu, prioritariamente, em direção às regiões leste e sul, e na última década intensificou-se para o norte. Portanto, houve em São Paulo e sua região metropolitana, uma expansão rumo às áreas periféricas da cidade, carentes de infraestrutura e serviços básicos, com características naturais desfavoráveis à ocupação, como solos frágeis, áreas mais suscetíveis à erosão e acentuada declividade.

As favelas e os assentamentos precários foram se consolidando em áreas que não interessavam ao mercado imobiliário formal, sobretudo áreas com sérias restrições ambientais ou que não eram passíveis de urbanização, pois se localizavam em terrenos frágeis, encostas íngremes, várzeas inundáveis, margens de córregos ou áreas de mananciais (JACOBI, et al., 2015). Em 1974, já se verificava uma ocupação significativa ao longo da região da Represa Guarapiranga, especialmente da margem esquerda, onde se situa a Capela do Socorro (SANTOS, 2005).

Portanto, devido à sua alta urbanização, a RMSP é um real desafio para o saneamento e para a preservação e recuperação de mananciais. Entretanto, o fator crescimento populacional por si mesmo não é responsável pela degradação dos corpos hídricos. Os efeitos do crescimento populacional em uma área de ocupação regular são totalmente distintos quando comparados com uma área de ocupação desordenada, sem infraestrutura urbana.

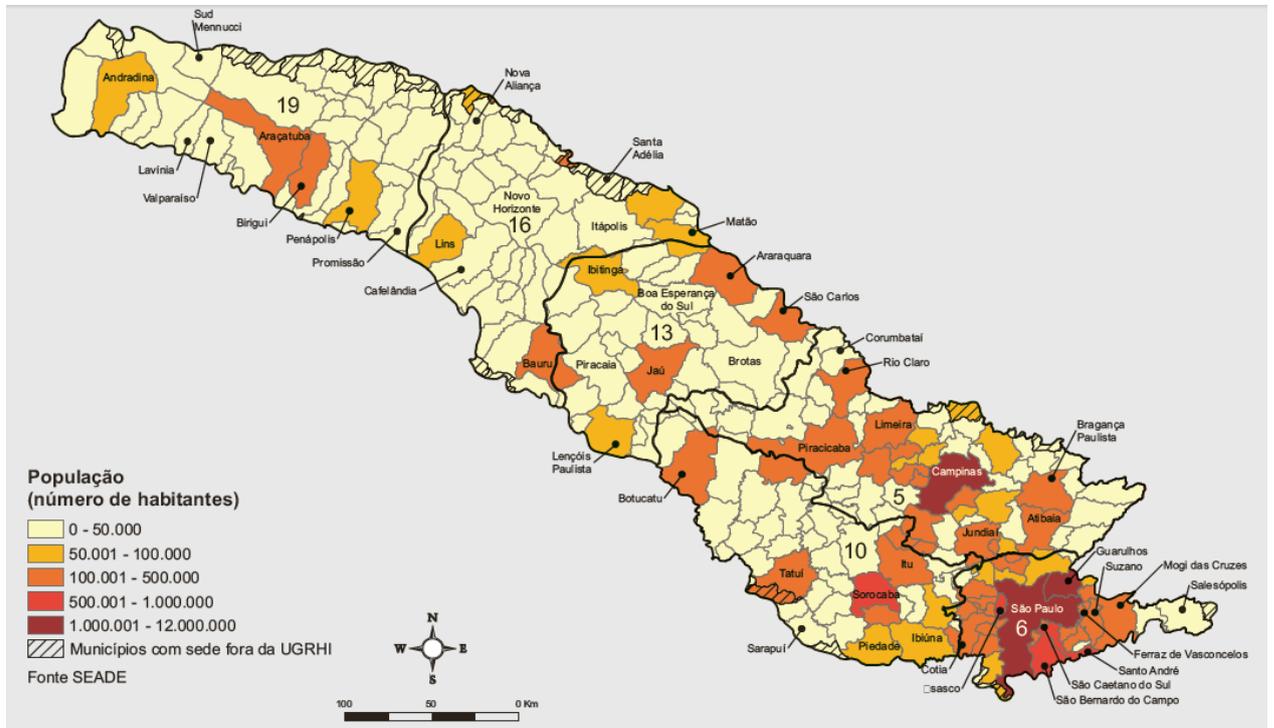
As Figuras 15 e 16 mostram a distribuição populacional do Estado de São Paulo por município e pelas UGRHIs da Bacia Hidrográfica do Tietê. Elas evidenciam que a Bacia do Alto Tietê é a mais afetada pelo fator populacional, seguida pela UGRHI 5 – PCJ. É importante lembrar que essas duas UGRHIs estão localizadas em região de cabeceiras e nascentes importantes para os recursos hídricos do Estado.

Figura 15. População do Estado de São Paulo por UGRHI em 2012.



Fonte: SMA/CPLA, 2016.

Figura 16. População por município da Bacia do Rio Tietê.

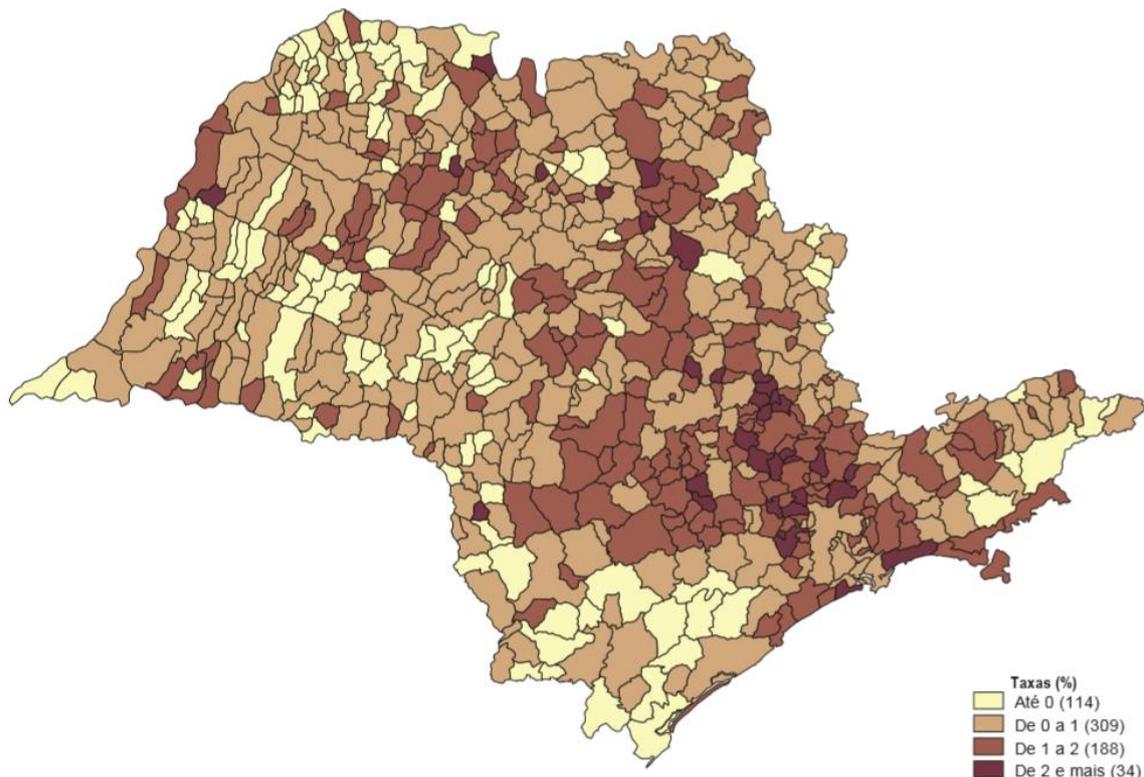


Fonte: SEADE - Elaborado por SIGRH, 2011.

Embora a UGRHI 5 – PCJ, tenha a população muito menor, comparada à RMSP, é importante comentar o seu crescimento populacional nas últimas décadas e como isso tem afetado a qualidade do rio Tietê. A Figura 17 mostra que a maior parte dos municípios da região de Campinas, como também da região de Sorocaba tiveram altas taxas de crescimento populacional de 2010-2017, maiores até do que o município de São Paulo. Embora o município de São Paulo não esteja mais crescendo no mesmo ritmo que antes, os outros municípios da sua Região Metropolitana ainda apresentam altas taxas de crescimento populacional. É importante lembrar também que, em valores absolutos, a RMSP abrange praticamente metade da população de todo o estado.

Esses dados de população estão intimamente relacionados com os resultados deste estudo, uma vez que a qualidade das águas do rio Tietê é diretamente influenciada pelo fator populacional. Essa tendência de crescimento nas regiões que correspondem à Bacia Hidrográfica do Tietê Sorocaba e da Bacia do PCJ, nos ajuda a entender o crescimento dos parâmetros DBO, DQO, Fósforo Total e Nitrogênio Amoniacal nessas regiões.

Figura 17. Taxas anuais de crescimento populacional nos Municípios do Estado de São Paulo, 2010 – 2015.



Fonte: Fundação SEADE, 2017.

3.3.3. AUMENTO DA POLUIÇÃO E SEUS EFEITOS NOS PRINCIPAIS RIOS DA RMSP

O crescimento urbano e industrial acelerado que a Região Metropolitana de São Paulo experimentou não tardou em trazer problemas para a várzea do Tietê. Um desses problemas foi o processo de impermeabilização do solo de São Paulo, quando a cidade recebeu os primeiros paralelepípedos em 1873. O aumento drástico da população somado às falhas na gestão da ocupação do solo, também culminou no desmatamento de áreas de proteção aos mananciais e de proteção ambiental (FRACALANZA, 2004).

O rio foi represado desde a sua nascente até a sua foz, sofrendo modificação no seu chamado regime reofílico. Foram feitas inúmeras dragagens e retificações; as corredeiras, cachoeiras e saltos, em sua maioria, ficaram submersas. As cidades foram crescendo à beira do rio, lançando os seus esgotos industriais e domésticos no mesmo, e as matas na sua orla foram sendo destruídas. No século XVII, o rio, embora não com a intensidade que hoje conhecemos, já sofria alterações da qualidade da água. A exploração do ouro e ferro em várias regiões traziam implicações à cor e à turbidez da água, devendo lançar metais pesados, cujas implicações, à época, eram desconhecidas (ROCHA, 1991).

Entretanto, a poluição e a contaminação não haviam comprometido totalmente o rio. Suas margens ainda eram vistas como um lugar pitoresco e agradável. Apenas na década de trinta, com a intensificação das descargas poluidoras, houve um agravamento da situação sanitária das águas. Pouco antes dos anos quarenta, João Havelange, atleta do Fluminense F.C. do Rio de Janeiro, em uma das disputas da tradicional Travessia de São Paulo a Nado, se contaminou com febre tifoide (ROCHA, 1991).

Após construir a represa Billings, e reverter o Pinheiros em 1942, o reservatório que até 1949 se constituiu em local aprazível, isento de poluição, passou gradativamente a ter o comprometimento da qualidade sanitária das águas. Nesse sentido, inúmeros são os trabalhos evidenciando a degradação do lago artificial (ROCHA, 1991).

A década de 1950 marcou como um momento de concentração industrial no Estado de São Paulo, com a instalação da indústria pesada de bens de produção, na região da Grande São Paulo (FRACALANZA, 2004). Tal fato igualmente levou ao aumento da poluição do rio Tietê e de seus afluentes, pelo lançamento de maior volume de esgotos industriais nesses rios.

Com o crescimento urbano de São Paulo houve a valorização mercantil das terras da

várzea e o avanço da urbanização pelas terras inundáveis. Nessas regiões também começaram a surgir habitações da população de baixa renda. Essas áreas eram ocupadas, muitas vezes, de forma irregular, avançando sobre as margens do rio Tietê e seus afluentes (ZANIRATO, 2011).

A preocupação com as crescentes enchentes levou a Companhia de Melhoramento do rio Tietê a solicitar em 1920, ao Engenheiro Saturnino de Brito, um projeto para a retificação desse rio (ALVIM, 2006). Saturnino previa a preservação das áreas alagadas, como recurso natural para ajudar na contenção das enchentes.

O seu projeto também previa um grande parque metropolitano que seria a faixa do leito maior, preservado como várzea ao longo do rio para as grandes vazões do Tietê na época das cheias. Na foz de cada afluente deveria ser preservada uma área para constituir um lago. Para Saturnino de Brito, a preservação dos rios Tietê, Pinheiros e Guarapiranga era importante para o abastecimento de água não só na Capital, como de grande parte do interior do estado (DAEE).

O projeto de Saturnino de Brito foi descartado pela administração seguinte que preferiu implantar o “Plano de Avenidas”, elaborado pelo engenheiro Francisco Prestes Maia, coordenador da Comissão de Melhoramentos do Rio Tietê. A partir deste plano, as várzeas foram aproveitadas para a construção de duas avenidas marginais, loteamentos e logradouros públicos, além da instalação de um grande terminal ferroviário (DAEE; ZANIRATO, 2011).

Foi realizada então a canalização e a instalação de empresas ao longo das margens do Tietê. O antigo leito foi aterrado o máximo possível a fim de possibilitar o loteamento e venda dessas áreas públicas (DAEE). O Tietê foi, assim, progressivamente sufocado com a ocupação de suas várzeas, ocupação urbana e industrial, sem controle. Os interesses econômicos impulsionaram o crescimento desordenado de loteamentos nessas regiões.

Conseqüentemente, as enchentes e a poluição do rio se intensificaram. Ocorreram enchentes históricas como a catastrófica de 1929, consequência da intensa urbanização que reduziu a área de absorção das chuvas, como também a má gestão das áreas de contenção das águas fluviais (DAEE).

A partir do “Plano de Melhoramentos do Rio Tietê” de 1922 e “Plano de Avenidas” de Prestes Maia de 1930, o aproveitamento dos fundos de vale para a construção de sistema

viário passou a ser uma ótima solução para ampliar a infraestrutura viária, transformando completamente o sistema hídrico da cidade de São Paulo. Portanto, as várzeas dos rios Tietê, Pinheiros e Anhangabaú, que até a década de 1920 ainda se constituíam em grandes vazios urbanos, foram aterradas e urbanizadas. (JACOBI et al., 2015).

Junto com a degradação das águas do Tietê, ocorreu uma mudança na percepção da população paulistana em relação aos seus rios. Entretanto, o rio Tietê, que na região da capital é hoje visto como imundo e fétido, já foi, em décadas passadas, local de recreação, onde grande parte da população desfrutava de diversos clubes. O Tietê era considerado um rio de lazer, um lugar de pescaria e esportes aquáticos. Suas margens eram repletas de piqueniques, partidas de futebol, serenatas, pescarias, esportes náuticos, como provas de remo e de natação. Os clubes possuíam canoas, piscinas naturais, cercadinhos de madeira feitos dentro do próprio rio, e proporcionavam aulas de natação para crianças e adultos, entre outras atividades de lazer (DAEE).

Entretanto, a degradação e a poluição reduziram os usos e utilidades do rio na RMSP apenas à função de auxiliar a drenagem, afastar esgotos sanitários e gerar energia elétrica. Com isso, os rios foram perdendo identidade e importância na visão da população, e acabaram sendo canalizados e retificados para ceder espaço para uma cidade que continuava crescendo em ritmo acelerado.

Essa mudança na utilização dos rios do município pode ser vista na história. A partir das décadas de 1920 e 1930, clubes a beira do Tietê já começaram a construir piscinas em suas dependências e o rio já não era amplamente usado para o lazer dos paulistanos. Em 1944, a tradicional “Travessia de São Paulo a nado” foi cancelada. As provas de remo foram transferidas para a Raia Olímpica de Remo da Universidade de São Paulo (DAEE).

Com a construção das rodovias nas margens do rio, os clubes foram perdendo seus atrativos. O rio Tietê, que antigamente era visto como fonte de alimento, sobrevivência e lazer, foi aos poucos perdendo sua utilidade. O aumento da poluição no rio obrigou os clubes de remo a abandonarem as competições. Conseqüentemente, a percepção da população em relação ao rio foi se transformando na medida em que ele foi sendo degradado. O rio passou a ser visto como algo negativo e inútil, algo que atrapalhava o crescimento e desenvolvimento da cidade. Este processo fez com que a cidade perdesse o seu mais importante recurso natural (DAEE).

Com o objetivo de restaurar a qualidade das águas e a percepção positiva da população em relação aos rios paulistanos, várias ações foram implementadas ao longo dos últimos anos e décadas, que serão comentadas no próximo tópico.

3.4. GESTÃO DA QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS

São diversas as ações de gestão destinadas à preservação e à restauração dos corpos hídricos do Estado de São Paulo. Essas ações envolvem questões legais, questões de gerenciamento e controle ambiental, como também ferramentas de monitoramento e aplicação de medidas punitivas. Neste tópico, o foco será direcionado para as principais ações e instrumentos de gestão implementadas para a melhoria da qualidade das águas do Tietê. Serão mencionadas algumas legislações concernentes à qualidade das águas superficiais, como também o monitoramento da qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo, que é realizado pela CETESB e será utilizado como fonte de dados para este trabalho. Por fim serão abordadas ações e obras de saneamento realizadas visando a melhoria do Rio Tietê.

3.4.1. INSTRUMENTOS CHAVE NA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Várias outras ações e instrumentos voltados para a recuperação e preservação dos corpos hídricos foram implementados, por parte de diferentes setores e atores da sociedade. A lista abaixo relata resumidamente alguns instrumentos chave na gestão da qualidade dos corpos hídricos e no uso e ocupação do solo:

- **Plano Diretor Estratégico Municipal**

Instrumento básico da política de desenvolvimento e crescimento da cidade, regulamentando o uso e ocupação do solo de cada município. Elaborado com a participação da sociedade, o PDE direciona as ações dos produtores do espaço urbano, públicos ou privados, para que o desenvolvimento da cidade seja feito de forma planejada e atenda às necessidades coletivas de toda a população.

O Plano Diretor Estratégico de São Paulo (2002), por exemplo, incorporou o conceito

de parque linear, que afeta muito a preservação dos mananciais (JACOBI et al., 2015). A recente revisão do Plano (2014) manteve este projeto e abriu novas oportunidades para políticas integradas, capazes de abranger a infraestrutura viária até agora praticamente ausente das políticas públicas de recuperação de recursos hídricos (ANELLI, 2015).

- **Plano de Recursos Hídricos**

O Plano de Recursos Hídricos estabelece diretrizes que buscam orientar o gerenciamento dos recursos hídricos e a implementação de programas voltados ao desenvolvimento sustentável, devendo estar em sintonia com o Plano Diretor de cada município.

- **Comitês de Bacia Hidrográfica**

Comitê de Bacia é um colegiado deliberativo que reúne membros da sociedade civil, dos municípios e de órgãos estaduais e federais. Ele tem o objetivo de descentralizar o gerenciamento dos recursos hídricos, onde, no Estado de São Paulo, adotam-se as UGRHIs para delimitar as regiões.

- **Enquadramento dos Corpos d'Água**

O enquadramento dos cursos d'água é um instrumento essencial na gestão da qualidade das águas. A sua elaboração leva em conta os usos preponderantes dos recursos hídricos, visando assegurar às águas a qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas. É importante comentar que o enquadramento dos corpos hídricos não se baseia necessariamente no seu estado atual de qualidade de água, mas nos níveis de qualidade que o curso de água deveria possuir para atender às necessidades definidas pela sociedade (PORTO, 2002).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA definiu as classes de qualidade de águas doces através da Resolução CONAMA 357/2005. Posteriormente, a Resolução CONAMA 430/2011 alterou e complementou resolução citada, fixando condições e padrões de emissão para lançamentos de efluentes em corpos d'água receptores. Para cada classe de qualidade, são associados usos preponderantes atuais ou futuros, fixando ou adotando padrões de qualidade, sendo os valores limite estabelecidos em legislação. Dessa forma, os resultados obtidos no monitoramento das águas doce são comparados com os respectivos padrões de

qualidade das classes de enquadramento, de cada corpo d'água (FABHAT, 2016).

- **Outorga de Direito de Uso**

A outorga de direito de uso é um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos importante no planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica e é estabelecida pela Lei Federal 9.433/97. De acordo com o artigo 11, a outorga tem como objetivo “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água” (BRASIL, 1997). No Estado de São Paulo o Departamento de Água e Energia Elétrica – DAEE é o responsável pela emissão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (FABHAT, 2016).

- **Cobrança pelo uso da água**

A Cobrança é o instrumento da Política Estadual de Recursos Hídricos que confere à água um valor econômico e incentiva o seu uso racional. A Cobrança foi instituída como um instrumento de planejamento, gestão integrada e descentralizada do uso da água e de seus conflitos, bem como de promoção do uso racional, frente ao crescente desequilíbrio na sua utilização e à sua iminente escassez (PERH, 2016-2019).

No Estado de São Paulo, a lei 12.183/05 dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do estado, bem como estabelece os procedimentos para a fixação dos seus limites, condicionantes e valores. Determina ainda que a cobrança será vinculada à implementação de programas, projetos, serviços e obras de interesse público, definidos no Plano de Recursos Hídricos e aprovados pelos Comitês de Bacia e pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Portanto, os recursos oriundos da cobrança estão vinculados às bacias hidrográficas da qual são originários.

- **Sistema Integrado de Informação**

Estabelecido pela Lei Federal 9.433/97, o Sistema Integrado de Informação é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

- **Licenciamento Ambiental**

Tendo como base o Decreto nº 8.468/76, o licenciamento ambiental é um procedimento administrativo onde o órgão competente, a CETESB no Estado de São Paulo, licencia a localização, a instalação e a operação dos empreendimentos e atividades que necessitem utilizar recursos ambientais, que são possíveis poluidores, ou que possam causar algum impacto no meio ambiente.

- **Monitoramento**

Outro instrumento de gestão hídrica é o monitoramento da qualidade das águas, que no Estado de São Paulo é realizado pela CETESB.

Segundo a CETESB (2017), os principais objetivos desse monitoramento são:

- Fazer um diagnóstico da qualidade das águas superficiais do Estado, avaliando sua conformidade com a legislação ambiental;
- Avaliar a evolução temporal da qualidade das águas superficiais do Estado;
- Identificar áreas prioritárias para o controle da poluição das águas, tais como trechos de rios e estuários onde a sua qualidade possa estar mais comprometida, possibilitando, assim, ações preventivas e corretivas da CETESB e de outros órgãos;
- Subsidiar o diagnóstico e controle da qualidade das águas doces utilizadas para o abastecimento público, verificando se suas características são compatíveis com o tratamento existente, bem como para os seus usos múltiplos;
- Subsidiar a execução dos Planos de Bacia e Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, para a cobrança do uso da água e estudo do enquadramento dos corpos hídricos;
- Subsidiar a implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei 11.445/2007).

Em 2013, a CETESB integrou os primeiros pontos provenientes do acordo de Cooperação Técnica firmado, em 2010, com a ANA – Agência Nacional de Águas, dentro do PNQA – Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas, programa este que visa ampliar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais em todo o Brasil. Portanto,

com os 19 novos pontos que foram integrados à rede básica da CETESB, a rede Federal da ANA no Estado de São Paulo já conta com 227 pontos operados em 2016 (CETESB, 2017).

O monitoramento da qualidade das águas superficiais em corpos de água doce é constituído pelas redes de amostragem manual e automática da CETESB. A rede de monitoramento manual, que será a fonte de dados para este trabalho, é formada pelas redes: básica, de sedimento e de balneabilidade de águas interiores.

Em 2016, a rede básica da CETESB operou com 449 pontos, perfazendo uma densidade média de 1,81 pontos por 1.000 km. Dentre os 449 pontos da rede básica em atividade, 90 deles já possuem mais de 30 anos de monitoramento. O número de pontos de amostragem da rede básica vem aumentando ao longo dos anos, o que amplia cada vez mais a abrangência e qualidade do monitoramento, permitindo à CETESB, acompanhar a qualidade da água bruta para cerca de 26 milhões de habitantes (CETESB, 2017).

No Estado de São Paulo, desde 1974, o monitoramento das águas superficiais em corpos de água doce, como rios e reservatórios, é realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Esse monitoramento é constituído pelas redes de amostragem manual e automática. Para o acompanhamento das condições de contato primário das praias de água doce, é realizado um monitoramento específico. A análise das distribuições geográficas dos pontos por UGRHI, município e corpo hídrico constitui-se em ferramenta para subsidiar a avaliação dos rios e reservatórios (CETESB, 2017).

Conclui-se nesse tópico que, para promover a recuperação do Rio Tietê e garantir o uso múltiplo de suas águas, é preciso promover diversas ações integradas que envolvam o poder público, a sociedade civil organizada e a iniciativa privada. Pois, de forma isolada, com programas e obras pontuais e sem envolvimento da comunidade, os resultados serão sempre insuficientes.

3.4.2. LEGISLAÇÃO

Desde o começo do século XX já havia uma preocupação com a poluição dos rios de São Paulo, o que, ao longo dos anos resultou na criação de leis e decretos que tentam amenizar este dano, como também várias ações e programas que tentam reverter este quadro. A lista abaixo descreve as principais leis, decretos e resoluções que regulamentam a gestão

das águas superficiais no Estado de São Paulo:

- Decreto nº8.468/76: Regulamenta a Lei 997/76, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. A mesma também contém diretrizes gerais em relação à atuação da CETESB.
- Decreto nº 10.755 de 22/11/1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores.
- Lei nº7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- Lei Estadual 9.034/94: Determina as diretrizes e objetivos gerais do Plano Estadual de Recursos Hídricos, junto com os critérios e diretrizes gerais para o gerenciamento do mesmo. Determina também a divisão do Estado de São Paulo em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs), em atendimento ao artigo 20 da Lei 7.663/91.
- Lei Federal 9.433/97: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, como também busca integrar a gestão dos recursos hídricos à gestão ambiental. Para sua implementação, criou-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Os instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos nesta lei são o plano de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água, a outorga de direito de uso da água, a cobrança pelo uso do recurso hídrico e o sistema integrado de informações.
- Lei nº9.984, de 17 de Julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.
- CONAMA nº357/2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, como também as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- Lei 12.183/05: Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo, bem como estabelece os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores. Segundo a lei, os recursos provenientes da cobrança estarão vinculados às bacias hidrográficas de origem, sendo utilizadas para o

financiamento de projetos, empréstimos, etc., de acordo com a aprovação do Comitê de Bacia.

- Lei nº 11.445/07: Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
- Resolução Conama nº 430/2011 – Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

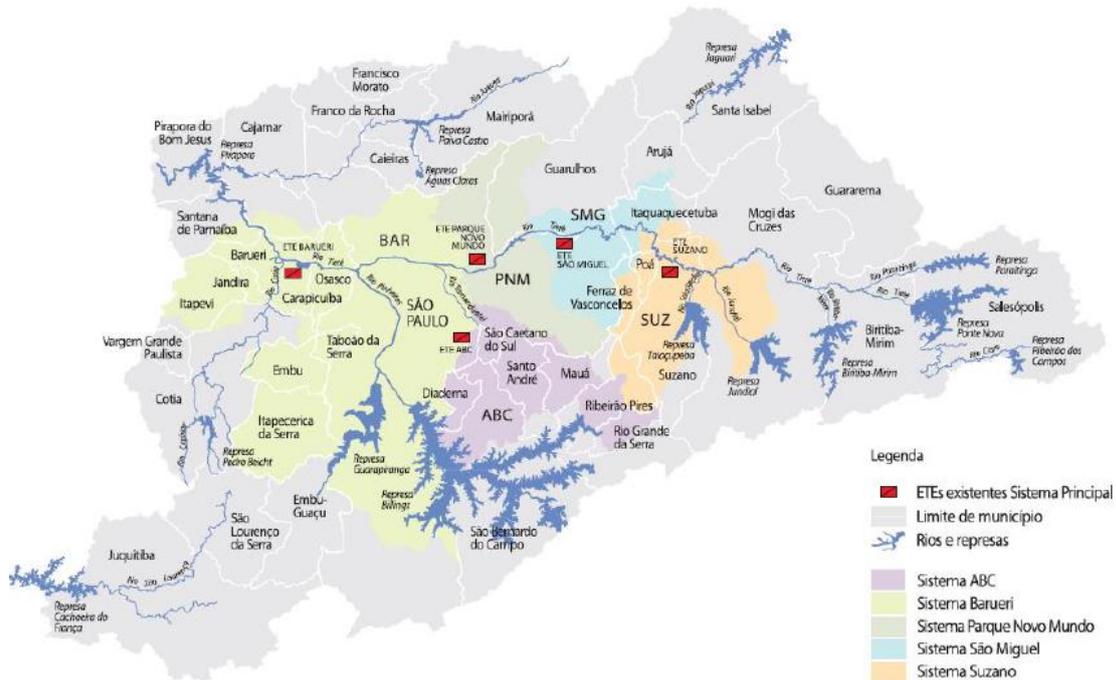
3.4.3. SANEAMENTO NA RMSP E O PROJETO TIETÊ

Assim como o fator população, a análise do saneamento em determinada região é fundamental para o estudo de qualidade das águas dessa mesma região. O sistema de esgotamento sanitário é composto por um conjunto de condutos e obras destinadas a coletar, transportar e dar destino final adequado ao esgoto sanitário (FABHAT, 2016).

A infraestrutura de interceptores e tratamento de esgotos nas áreas centrais da BHAT, denominado Sistema Principal, está implantada em praticamente todos os rios principais (Tietê, Tamanduateí e Pinheiros). Entretanto, a afluência dos esgotos para as ETEs ainda tem grandes desafios, pois existe uma dificuldade de implantação dos coletores tronco nos fundos de vale dos tributários (PBHAT, 2016). Em 2010, as redes coletoras da RMSP contavam com 21.082 km de extensão e os coletores tronco perfaziam 1.050 km de extensão. Quanto aos interceptores e/ou emissários, existiam 179 km em operação no Sistema Principal, distribuídos pelos sistemas de esgotamento (PBHAT, 2016).

Na RMSP, o Sistema Principal de Esgotamento Sanitário, também chamado de Sistema Integrado, é formado por cinco sistemas de esgotamento sanitário: Barueri (BAR), ABC (ABC), Parque Novo Mundo (PNM), São Miguel (SMG) e Suzano (SUZ), cada um deles constituído por uma rede de coletores, interceptores e uma grande estação de tratamento de esgotos – ETE. Esse sistema, coincide aproximadamente com a porção mais densa da RMSP e BHAT em termos de habitantes por quilômetro quadrado, como pode ser visto na Figura 18 abaixo. É importante lembrar, no entanto, que nem todos os municípios da RMSP são operados pela SABESP, como é o caso de Guarulhos, por exemplo.

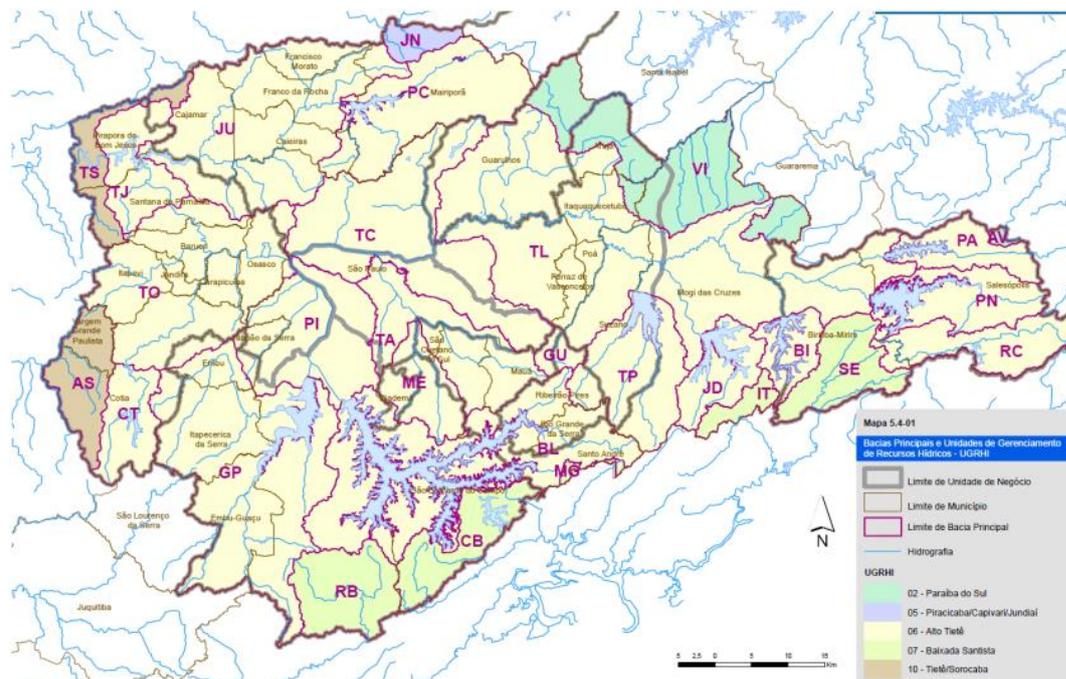
Figura 18. Sistema Principal de Esgotamento Sanitário da RMSP.



Fonte: CBHAT, 2014

As Bacias Principais são subdivididas em bacias de esgotamento onde o sistema de coleta e afastamento é projetado. A Figura 19 abaixo mostra essa divisão na RMSP.

Figura 19. Bacias Principais de Esgotamento da RMSP.



Fonte: CBHAT, 2014

O sistema de coleta e afastamento dos esgotos sanitários é composto pelas redes coletoras, coletores tronco, interceptores, emissários e estações elevatórias. As redes coletoras são compostas por tubulações que recebem diretamente o esgoto domiciliar, sendo localizadas sob o leito da rua ou passeios. Segundo dados de 2010, na área de atuação da diretoria metropolitana da SABESP as redes coletoras contam com 21.082 km de extensão (SABESP, 2011).

É importante lembrar que nem todas as áreas que possuem redes coletoras encaminham efetivamente o esgoto para as ETES. Há casos de redes coletoras não conectadas aos coletores tronco; e redes conectadas aos coletores tronco, mas que não encaminham os esgotos para tratamento; resultando em inúmeros pontos de lançamentos provisórios no Sistema Principal da RMSP. Portanto, nem toda obra de saneamento concluída terá efeito imediato sobre os parâmetros de qualidade. As ocupações desordenadas das áreas de fundo de vale dificultam a construção dos coletores-tronco, pela falta de espaço ou alto custo.

A Tabela 1 mostra o ano de implantação e capacidade das ETES que compõem o Sistema Principal de Esgotamento da RMSP.

Table 1. Características das ETES do Sistema Principal de Esgotamento, 2010.

Estação de Tratamento de Esgoto	Ano de implantação	Capacidade Nominal (m³/s)	Vazão Média Tratada (m³/s)
ABC	1998	3,0	1,896
Barueri	1988	9,5	9,644
Parque Novo Mundo	1998	2,5	2,481
São Miguel	1998	1,5	0,805
Suzano	1982	1,5	0,848
Total	-	18,0	15,674

Fonte: PIR (SABESP, 2011).

As ações para minimizar os efeitos da degradação da qualidade das águas na RMSP são diversas, mas este tópico não tem o objetivo de esgotar o assunto, focando apenas nas principais ações e instrumentos de recuperação e melhoria da qualidade das águas do rio Tietê.

Em 1975, a Cetesb, que era vinculada à estrutura de saneamento, passou a controlar a poluição das águas, do ar e do solo. Em seguida, em 1983, é criado o Conselho Estadual de Meio Ambiente (Consema), com representantes da sociedade civil. Nessa época, o estado

começou a se preocupar com questões de descentralização e municipalização, criando também diversos Conselhos Municipais de Meio Ambiente (Fundação SOS Mata Atlântica, 2004).

Em 1991, ano marcado pela mobilização em torno da despoluição do Rio Tietê, o governo federal encaminhou ao Congresso Nacional o primeiro projeto de lei que tratava da Política Nacional de Recursos Hídricos. A sociedade brasileira percebeu a necessidade de integração entre os sistemas de recursos hídricos e meio ambiente. Assim, São Paulo instituiu, pela Lei 7.663/91, o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, o primeiro modelo de lei participativa para as águas (Fundação SOS Mata Atlântica, 2004).

A partir do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, o território paulista foi dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, instituindo assim uma gestão por bacia hidrográfica, com participação efetiva da sociedade civil no processo decisório. A lei paulista reforçou preceitos do Código de Águas e da Constituição ao contemplar instrumentos de gestão, como o Plano de Bacias, a cobrança pelo uso da água e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fehidro), para utilização direta pelos Comitês de Bacias, com poder deliberativo.

No ano seguinte, durante a Eco 92, realizada no Rio de Janeiro, o Brasil foi signatário da Agenda 21, documento assinado por 170 países, que destaca a importância do fortalecimento da participação de todos os grupos sociais na gestão do meio ambiente e dos recursos naturais. Em 1995, a União criou o Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e, no dia 08 de janeiro de 1997, foi sancionada a Lei 9.433, que define a Política Nacional de Recursos Hídricos e instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Portanto, a década de 1990 trouxe várias alterações na gestão das águas na Região Metropolitana de São Paulo, e um aumento no interesse em questões relacionadas a degradação das águas da região. Estas mudanças podem ser observadas na proposta e implementação do Programa de Despoluição do Rio Tietê, conhecido também como Projeto Tietê, anunciado pelo Governo do Estado de São Paulo como um projeto ambiental, em janeiro de 1992 (Fundação SOS Mata Atlântica, 2004).

Diferente de projetos anteriores propostos para a Região Metropolitana de São Paulo que determinavam ações isoladas de coleta e tratamento de esgotos, o Projeto Tietê procurou

unir um conjunto de ações que envolveram diferentes órgãos estaduais de gestão das águas: a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), e o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).

Portanto, o Projeto Tietê busca contribuir para a revitalização progressiva do rio Tietê e seus afluentes, e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade de vida da população, por meio da ampliação e otimização do sistema de coleta, transporte e tratamento de esgotos na RMSP. Desde o seu início até hoje, foram obtidos importantes avanços na ampliação da infraestrutura sanitária com intervenções em 29 municípios metropolitanos. Ao longo desses 26 anos, foram instalados aproximadamente 4.400 km de coletores tronco, interceptores e redes coletoras de esgoto. Segundo a SABESP, o volume de esgoto tratado saltou de 4m³/s para os atuais 18,3m³/s.

O destaque recente do Projeto Tietê, atualmente em sua terceira etapa, foi a conclusão das obras de ampliação da ETE Barueri, maior estação de tratamento de esgotos da América do Sul. A capacidade da ETE foi de 9,5 m³/s para 16m³/s, passando a tratar o esgoto de mais 1,6 milhão de pessoas. Com isto, a capacidade instalada do sistema de tratamento da RMSP passou para 20,5 m³/s.

Esta terceira etapa, que já está com 69% das obras concluídas, complementa as ações empreendidas na primeira e segunda etapas, realizadas entre os anos de 1992 e 2010. Além da ETE Barueri, também houve vários avanços na construção de coletores tronco nas regiões norte, oeste e leste da RMSP, além do lançamento de processos de licitação para instalação de grandes tubulações e de estações de bombeamento que vão beneficiar mais áreas das zonas leste, norte e oeste da capital.

A partir de 2014, também foi iniciada a quarta etapa do Projeto. Algumas obras desse período consideradas prioritárias, foram antecipadas e encontram-se em fase de execução de obras, com destaque para a construção do interceptor de esgotos ITi-7, com 7,5 km de extensão sob a marginal Tietê e que contempla ainda a instalação de coletores-tronco na região do Vale do Anhangabaú e do interceptor Tamanduateí (ITa.1-J). Quando pronto, o sistema transportará o esgoto para a ETE Barueri. Com a obra serão beneficiados bairros da região central e sul da capital, locais de grande verticalização com tubulações coletoras operando próximas do limite.

Entretanto, é importante ressaltar que para a efetiva revitalização do mais extenso rio paulista, incluindo o trecho metropolitano, é preponderante a atuação de todos os atores sociais envolvidos, com ações complementares ao saneamento, tais como regularização e urbanização fundiária, destinação correta de resíduos sólidos, limpeza urbana e a ampliação da conscientização ambiental.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido com dados secundários provenientes da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo operacionalizado pela CETESB. Os dados são publicados todos os anos por meio dos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo, disponíveis no endereço eletrônico da CETESB. O período escolhido para a pesquisa foi de 1986 a 2017. Entretanto, os dados para os rios Tamanduateí e Pinheiros foram computados a partir de 1990 até 2017. É importante comentar que os dados do parâmetro DQO não foram monitorados de 2010 em diante, o que limitou o estudo da evolução deste parâmetro.

4.1. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA SELECIONADOS PARA O ESTUDO

4.1.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de qualidade das águas naturais, já que é fundamental para a existência de vida nos rios. Ele é essencial para o metabolismo dos microrganismos aeróbios, como também para outros seres vivos. A maioria das espécies de peixes, por exemplo, não sobrevivem com concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 4,0 mg/L (PIVELI, 2005). Portanto, os níveis de oxigênio dissolvido são indicadores da capacidade de um corpo hídrico manter a vida aquática (PHILIPPI JR., et al, 2014).

Os processos de autodepuração também dependem de uma adequada provisão de oxigênio dissolvido, e esses processos são fundamentais tanto em ambientes aquáticos naturais, como em estações de tratamento de esgoto (PHILIPPI JR. et al., 2014).

Conseqüentemente, ele é um parâmetro importante na classificação das águas naturais, assim como na construção do Índice de Qualidade da Água (IQA). O OD também é utilizado na análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que será abordado em seguida.

O oxigênio nas águas é proveniente da atmosfera e é dissolvido pela diferença de pressão parcial, sendo essa concentração influenciada pela temperatura, salinidade, como também pela velocidade e características hidráulicas do corpo hídrico. Um rio lótico, por exemplo, terá uma capacidade de aeração muito maior que um ambiente lântico (PIVELI, 2005).

Existem também outras fontes de oxigênio nas águas, como a fotossíntese de algas ou a aeração superficial, usada em estações de tratamento de esgoto. A fotossíntese de algas ocorre em maior extensão em águas eutrofizadas, nas quais o excesso de, principalmente, fósforo e nitrogênio, é utilizado pelas algas como nutrientes (PIVELI, 2005).

4.1.2. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio de um corpo hídrico é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Segundo Philippi Jr et al. (2014), DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumida durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção de oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (PHILIPPI Jr. et al., 2014).

Segundo Piveli (2005), a Demanda Bioquímica de Oxigênio é um parâmetro que representa o potencial de matéria orgânica biodegradável nas águas naturais, esgotos sanitários ou efluentes industriais. Ele se baseia na diferença de concentrações de oxigênio dissolvido em amostras integrais ou diluídas, durante um período de incubação de 5 dias a 20°C. Essa análise, nada mais é que a concentração de oxigênio dissolvido antes e depois do período de incubação.

Este parâmetro é crucial no controle da poluição das águas por matéria orgânica, como também no controle da eficiência das estações, tanto de tratamento biológico aeróbio, como o de tratamento anaeróbio. Segundo a Resolução n° 357 do CONAMA (2005), os limites

máximos de DBO para águas doces de classe 1, 2 e 3 são: 3, 5 e 10mg/L respectivamente.

4.1.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

Demanda Química de Oxigênio (DQO) pode ser entendida como sendo a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica por um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, e o teste se realiza num prazo menor e em primeiro lugar, uma vez que os resultados servem de orientação para o teste da DBO. O aumento da concentração de DQO é consequência, principalmente, de despejos de origem industrial (PHILIPPI Jr., et al., 2014).

A Demanda Química de Oxigênio se torna importante devido ao fato da DBO identificar apenas a fração biodegradável dos compostos orgânicos. Na análise da DQO, é utilizado um oxidante químico forte, o dicromato de potássio, que oxida um número maior de compostos do que o que ocorre na reação bioquímica. Por isso, os resultados da DQO de uma amostra são sempre superiores aos de DBO.

A relação entre a DBO e a DQO é bastante utilizada em caracterizações das condições de degradabilidade de determinado efluente. A DQO também é muito utilizada no controle de sistemas de tratamento anaeróbio de esgotos sanitários e de efluentes industriais (PIVELI, 2005).

4.1.4. NITROGÊNIO AMONIACAL E NITRATO

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Existem várias fontes de nitrogênio nas águas superficiais, sendo os esgotos sanitários a principal fonte, devido a presença de proteínas e nitrogênio amoniacal nos mesmos. Entretanto, o nitrogênio presente na atmosfera também é uma fonte para as águas superficiais, através das chuvas.

Concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal também podem ser resultados de efluentes industriais, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas e farmacêuticas (JORDÃO & PESSÔA, 2009). Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelo solo fertilizados também contribui para o aumento de nitrogênio nos corpos

hídricos.

Segundo Piveli (2006), a idade da poluição está diretamente relacionada com as formas de nitrogênio encontradas nos corpos hídricos. Os esgotos recentes são ricos em nitrogênio orgânico e amoniacal, mas são praticamente desprovidos de nitrito e nitrato. Por isso, o nitrito é geralmente encontrado em águas que estão finalizando o processo de autodepuração, e o nitrato é encontrado já na zona de águas limpas.

O Nitrogênio amoniacal na água é um importante indicador de poluição de origem doméstica ou industrial, como também de resíduos agrícolas. Ele é identificado na forma predominante de íon amônia, podendo ser também apresentado como amoníaco (NH_3), amônia ou nitrogênio amoniacal (quando expresso em mg/L de nitrogênio). Ele resulta da decomposição da matéria orgânica, podendo ser um constituinte natural de águas superficiais ou subterrâneas (SANTOS, 2005).

4.1.5. FÓSFORO TOTAL

O fósforo, cuja fonte natural é a litosfera, é um elemento químico amplamente utilizado em processos industriais como matéria-prima, tanto na composição como no processamento de produtos. Entretanto, nas últimas décadas, as previsões sobre o esgotamento das fontes de fósforo e a impossibilidade de substituí-lo por processos biológicos levaram a discussões sobre os impactos de seus usos industriais (QUEVEDO & PAGANINI, 2017).

O Fósforo é um nutriente encontrado nos esgotos domésticos e é essencial para a reprodução de microrganismos. Esses microrganismos, por sua vez, são responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e, em certas condições, podem causar a eutrofização de lagos e represas. Portanto, esse parâmetro pode ser utilizado como indicativo para estimativa do nível trófico (VON SPERLING, 2005).

Altas concentrações de fósforo na água estão associadas com a eutrofização da mesma, provocando o desenvolvimento de algas ou outras plantas aquáticas indesejáveis em reservatórios ou águas paradas (PHILIPPI Jr. et al., 2014).

Os fertilizantes, em especial, que são ricos em fósforo, acabam disponibilizando uma quantidade excessiva de nutrientes nos corpos hídricos, ocasionando a eutrofização dos mesmos (GIRI & QIU, 2016). Esse processo contribui para a degradação da qualidade dos

mananciais, o que torna o fósforo, como também o nitrogênio, parâmetros importantes no estudo de qualidade das águas (QUEVEDO & PAGANINI, 2017).

4.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS

O uso e ocupação inadequado do solo potencializa os efeitos da poluição difusa, dos resíduos sólidos e efluentes industriais, como também da clandestinidade. Por isso, foi realizada uma busca bibliográfica para identificar os diversos usos do solo na Bacia Hidrográfica do Tietê e suas seis UGRHIs. Essas informações estão contidas no capítulo de Revisão da Literatura e contextualizam os resultados deste trabalho.

A variável concentração populacional foi estudada através de dados de população total e urbana, disponíveis no portal eletrônico da Fundação Sistema Nacional de Análise de Dados (SEADE). Os dados da Fundação SEADE provêm do sistema de Informações dos Municípios Paulistas (IMP). Foi observado também a Taxa Geométrica de Crescimento Anual (TGCA) das regiões metropolitanas do Estado.

As informações a respeito das principais obras e ações de saneamento em cada Bacia de Esgotamento da RMSP foram obtidas junto à SABESP. Entretanto, por questões de tempo e acessibilidade, não foi possível obter o ano de início de operação de cada obra (coletores, interceptores, Estações de Elevatória de Esgoto, etc.). A SABESP também disponibilizou dados de população por bacias de esgotamento na RMSP que foram utilizados para a construção do gráfico da Figura 22.

4.3. DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO ESTUDADOS

Como foi mencionado no início deste capítulo, este trabalho foi desenvolvido com dados secundários provenientes da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo operacionalizado pela CETESB. O monitoramento de parâmetros de qualidade da água é uma ferramenta importante na gestão ambiental, uma vez que permite localizar as fontes poluidoras e identificar os fatores de risco, auxiliando assim na

adoção de medidas preventivas e corretivas (MAGALHÃES, 2000).

Grande parte desses pontos de amostragem estão distribuídos ao longo dos 1.100 km de extensão do Rio Tietê, já que ele é um dos mais importantes do Estado de São Paulo. Entre os 30 pontos monitorados em seu próprio leito e reservatórios, 25 estão na rede básica, 1 na rede de sedimentos e 4 no monitoramento automático, como mostra a Tabela 2.

Tabela 1. Número de pontos de amostragem no Rio Tietê.

Corpo Hídrico	R.B.	Baln.	Monit. Aut.	Sed.	Total
Rio Tietê	15		3		18
Res. Edgard de Souza	1				1
Res. De Pirapora	1			1	2
Res. De Rasgão	1		1		2
Braço do Rio Tietê	1				1
Res. De Barra Bonita	2				2
Res. De Promissão	2				2
Res. De Três Irmãos	2				2
Rio Tietê + Braços + Reservatórios	25	0	4	1	30

Fonte: CETESB, 2017.

Estes pontos foram alocados desde a cabeceira, em Salesópolis, até a sua foz, localizado depois de Pereira Barreto. Ao longo desse percurso, o Rio Tietê atravessa seis UGRHI, destacando-se a UGRHI 06- Alto Tietê que, devido a sua intensa urbanização e industrialização, contribui com uma carga de poluentes orgânicos e inorgânicos acima de sua capacidade de assimilação (CETESB, 2017).

Esta pesquisa irá focar apenas o caudal do Rio Tietê, já que o impacto dos seus afluentes poderá ser visualizado na qualidade deste rio. Uma análise ampliada para a RMSP também foi realizada, na qual os dados dos mesmos parâmetros dos rios Tamanduaté e Pinheiros foram estudados. As Tabelas 3, 4 e 5 descrevem os pontos de monitoramento da CETESB utilizados do rio Tietê, Tamanduaté e Pinheiros, respectivamente. Do rio Tietê foram estudados todos os 25 pontos de monitoramento do caudal do rio Tietê.

Nas tabelas de resultados dos parâmetros, é possível observar que alguns pontos foram criados recentemente, como o TIET03130 que começou a ser monitorado em 2012, ou ainda

mais recente, os pontos TIPR02400 e TIET02900, que surgiram em 2014. Dois importantes pontos de monitoramento localizados no município de São Paulo, TIET04170 e TIET04180, foram começaram a funcionar em 2001 e 1998, respectivamente. A ausência do monitoramento nos anos anteriores à atuação do Projeto Tietê limita a compreensão da evolução da qualidade das águas do rio Tietê neste trecho.

Tabela 2. Descrição dos pontos de amostragem da Rede Básica de monitoramento da CETESB localizados no Rio Tietê.

Sistema Hídrico	Código CETESB	UGRHI	Local de amostragem	Município	Latitude S	Longitude W	Distância da nascente** (km)
Rio Tietê	TIET02050	6 - Alto Tietê	Ponte na SP-088 que liga Mogi das Cruzes a Salesópolis, junto à régua do SAISP.	BIRITIBA MIRIM	23 33 54	46 00 57	30
	TIET02090		Na captação principal do município de Mogi das Cruzes	MOGI DAS CRUZES	23 32 55	46 08 09	50
	TIET03120		A jusante da ETE de Suzano	SUZANO	23 30 11	46 20 13	100
	TIET03130*		Ponte na Estrada de Santa Isabel, na entrada de Itaquaquecetuba	ITAQUAQUECETUBA	23 28 19	46 20 50	106
	TIET04150		Ponte na Rod. Ayrton Senna, a montante do Parque Ecológico, antes da saída 19 - Aeroporto Guarulhos.	GUARULHOS	23 28 36	46 29 59	131
	TIET04170		Ponte na Av. Aricanduva	SÃO PAULO	23 31 22	46 33 29	140
	TIET04180		Ponte das Bandeiras, na Av. Santos Dumont.	SÃO PAULO	23 31 18	46 37 52	148
Res. Edgard de Souza	TIET04200		Ponte dos Remédios, na Av. Marginal (Rodovia Pres. Castelo Branco).	SÃO PAULO	23 31 11	46 44 47	160
Res. Pirapora	TIES04900		Próximo às comportas da barragem do reservatório, após a rede para retenção de aguapés.	SANTANA DO PARNAIBA	23 27 16	46 54 36	181
	TIP04900		Próximo às comportas da barragem do Reservatório de Pirapora	PIRAPORA DO BOM JESUS	23 23 27	46 59 41	202
Res. Rasgão	TIRG02900	10 - Tietê Sorocaba	Próximo das comportas do Reservatório de Rasgão.	PIRAPORA DO BOM JESUS	23 22 58	47 01 46	210
Rio Tietê	TIET02350		Ponte na Rua Estado de S. Paulo, junto ao medidor de nível, em Salto	SALTO	23 12 13	47 18 07	287
	TIET02400		Ponte na rodovia SP-113, que liga Tietê a Capivari, em Tietê.	TIETÊ	23 05 12	47 40 41	380
	TIET02450		Ponte na estrada para a fazenda Sto Olegário, em Laranjal Paulista	LARANJAL PAULISTA	22 57 25	47 49 23	445
Braço do Rio Tietê	TIBT02500		Ponte na rodovia SP-191 que liga Santa Maria da Serra a S Manoel	BOTUCATU	22 40 41	48 15 06	556
Res. Barra Bonita	TIBB02100		No meio do corpo central, a jusante da confluência - Braços Tietê e Piracicaba.	BOTUCATU	22 36 46	48 20 52	580
	TIBB02700		No meio do corpo central, na direção do Córrego Araquazinho.	SÃO MANUEL	22 32 30	48 26 42	593
Rio Tietê	TIET02500	13 - Tietê Jacaré	Ponte na rodovia SP-255 que liga São Manuel a Jaú, a jusante do res. de Barra Bonita.	BARRA BONITA	22 30 26	48 32 46	607
	TIET02600		Margem direita, jusante do canal de fuga da casa de força da Usina Hidrelétrica de Ibitinga.	IBITINGA	21 45 31	48 59 39	753
Res. Promissão	TIPR02400*	16 - Tietê Batalha	Ponte na rodovia SP-333, no trecho que liga Pongai a Borborema	PONGAI	21 38 25	49 17 07	796
	TIPR02990*		A montante da barragem de Promissão, próximo do vertedouro.	PROMISSÃO	21 17 50	49 46 57	862
Rio Tietê	TIET02700	19 - Baixo Tietê	Ponte na rod. BR-153, no trecho que liga Lins a José Bonifácio, a jusante da barragem de Promissão.	PROMISSÃO	21 17 49	49 47 42	864
Res. Três Irmãos	TITR02100		Ponte na rodovia SP-463, no trecho que liga Araçatuba a Jales.	ARAÇATUBA	21 02 54	50 28 03	961
	TITR02800		Ponte na rod SP-563, no trecho que liga Pereira Barreto a Andradina	PEREIRA BARRETO	20 39 35	51 08 48	1046
Rio Tietê	TIET02900*		Ponte sobre o Rio TIETÊ na SP-595, próximo da sua foz com o Rio Paraná	ITAPURA	20 40 10	51 26 41	1080
*Pontos de monitoramento que surgiram após 2005.							1100
**Distância aproximada calculada utilizando o Google Maps							

Tabela 3. Descrição dos pontos de amostragem da Rede básica localizados no Rio Tamanduateí.

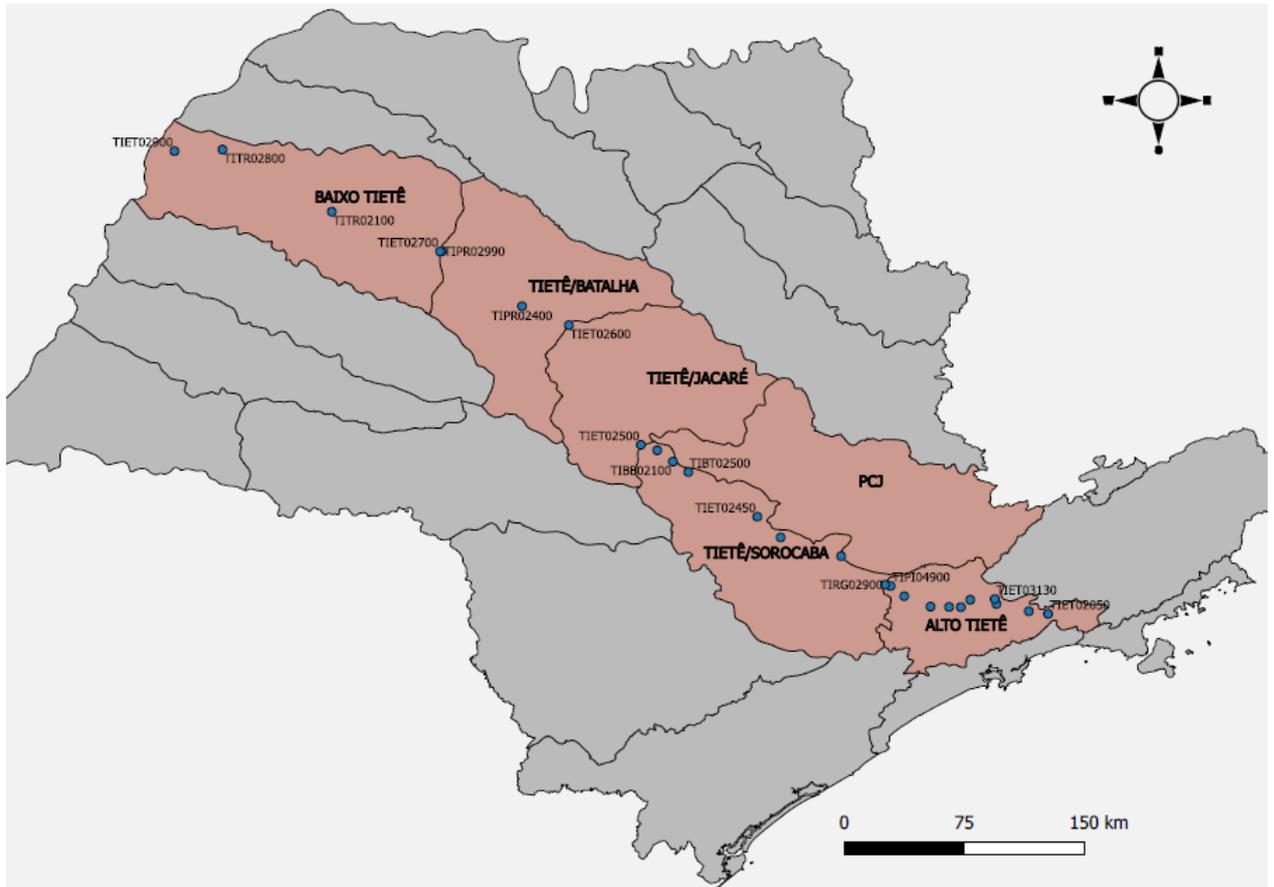
Sistema Hídrico	Código CETESB	UGRHI	Local de amostragem	Município	Latitude S	Longitude W	Distância da nascente (km)*
Rio Tamanduateí	TAMT04250	6 - Alto Tietê	Na ponte da Av. do Estado, na divisa de Santo André com Mauá.	MAUÁ	23 39 00	46 29 20	10
	TAMT04500		Ponte na Avenida do Estado X Rua do Ouro, na divisa entre São Caetano do Sul e Santo André, em frente à Akzo Nobel.	SÃO CAETANO DO SUL	23 36 38	46 32 39	19
	TAMT04600		Ponte na Av. Francisco Mesquita, 1000, em frente ao Plaza Shopping, junto a régua DAEE para PQS.	SÃO PAULO	23 35 41	46 34 56	24
	TAMT04900		Ponte na Av. Santos Dumont, em frente à Secretaria dos Transportes, em São Paulo	SÃO PAULO	23 31 36	46 37 56	34
*A nascente foi considerada como sendo o Parque Ecológico da Gruta Santa Luzia, em Mauá.							35

Tabela 4. Descrição dos pontos de amostragem da Rede básica localizados no Rio Pinheiros.

Sistema Hídrico	Código CETESB	UGRHI	Local de amostragem	Município	Latitude S	Longitude W	Distância da nascente (km)*
Rio Pinheiros	PINH04100	6 - Alto Tietê	Na Usina Elevatória de Pedreira, no centro do canal.	SÃO PAULO	23 42 09	46 40 26	0
	PINH04250		Na Ponte do Socorro.		23 39 53	46 42 35	6
	PINH04500		Embaixo da Ponte Ari Torres (Av. Bandeirantes).		23 35 38	46 41 37	16
	PINH04900		Próximo à sua foz no Rio Tietê, na Estrutura de Retiro.		23 31 52	46 44 54	26
*Adotou-se a nascente como sendo o ponto de amostragem da Usina Elevatória de Pedreira							26,5

A figura abaixo (Figura 20) ilustra a distribuição dos pontos de monitoramento da CETESB ao longo de todo o caudal do rio Tietê e, conseqüentemente, ao longo de todo o Estado de São Paulo.

Figura 20. Mapa dos pontos de monitoramento do Rio Tietê.



*Mapa construído no QGIS utilizando as coordenadas da CETESB.

4.4. TRATAMENTO DOS DADOS

As distâncias em relação à nascente de cada ponto de monitoramento do rio Tietê foram calculadas, utilizando as coordenadas geográficas disponibilizadas pelos relatórios da CETESB. Essas coordenadas foram plotadas no Google maps e calculadas a distância utilizando o comando “medir distância”. O mesmo foi feito para os rios Tamanduateí e Pinheiros. A nascente do rio Pinheiros foi considerada como sendo na Elevatória de Pedreira.

Os dados dos parâmetros para cada ponto de monitoramento, que estão disponíveis em PDF nos relatórios da CETESB ou em seus anexos, foram digitados para uma planilha do Excel. Para demonstrar a evolução no tempo desses parâmetros no rio Tietê, foram calculadas médias anuais de cada parâmetro, a partir dos resultados bimestrais. Os 32 anos de dados foram divididos em 4 períodos de 8 anos e os gráficos foram construídos com a média de cada período. Os anos de estudo foram agrupados de acordo com os períodos de conclusão das obras de saneamento realizadas no rio Tietê. A decisão de utilizar os períodos correspondentes às Etapas de financiamento do Projeto Tietê foi devido ao mesmo representar um importante contingente de obras realizadas no rio Tietê, que é o foco desta pesquisa.

1º Período: 1986 – 1994: Período anterior ao início das obras.

2º Período: 1995 – 1999: Período correspondente à conclusão das primeiras obras.

3º Período: 2000 – 2009: Período correspondente ao 2º período de obras.

4º Período: 2010 – 2017: Período correspondente ao 3º período de obras.

É importante lembrar que os dados de DQO não foram monitorados após o ano de 2010.

Os dados de obras de saneamento na RMSP também passaram por um tratamento, no qual foram eliminadas as duplicações. Foram selecionadas apenas as obras concluídas e as mesmas foram agrupadas por períodos de execução das obras de saneamento do Projeto Tietê. Mediante essas tabelas e o mapa disponibilizado pela SABESP, foi possível observar as principais obras de saneamento e onde as mesmas estão localizadas, o que foi comentado nos resultados deste trabalho.

4.5. ANÁLISES

O presente estudo realizou uma série temporal com demonstração gráfica linear da dispersão do comportamento das concentrações de cada parâmetro. Os gráficos foram plotados com os pontos de forma interpolada, onde o eixo das abscissas representa a distância dos pontos de monitoramento, desde a nascente até a foz do rio Tietê, e o eixo das ordenadas representa a concentração de cada parâmetro analisado (OD, DBO, DQO, F total e N amoniacal).

Foram identificados nos gráficos através de barras verticais as regiões correspondentes à cada trecho, como também a localização de reservatórios e as entradas dos principais afluentes do Tietê. Também foram demonstrados nos gráficos os padrões permitidos pela legislação vigente, para facilitar a comparação. É importante comentar que a ligação dos pontos é meramente um ajuste gráfico, e não fruto de modelagem matemática. Portanto, a interpretação dos gráficos deve ser feita com cautela, levando em conta também que alguns pontos não dispõem de dados para todos os anos de estudo.

Também foram incluídas nos gráficos dos rios Tamanduateí e Pinheiros as linhas de tendência de cada ponto de monitoramento. A função de linha de tendência linear calcula o ajuste por mínimos quadrados para uma linha representada pela seguinte equação:

$$y = mx + b$$

onde m é a inclinação e b é a interseção.

Devido à grande quantidade de pontos de monitoramento no rio Tietê, não foram construídos os mesmos gráficos para esse rio, pois seria necessária uma análise por trecho/região para cada parâmetro de qualidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

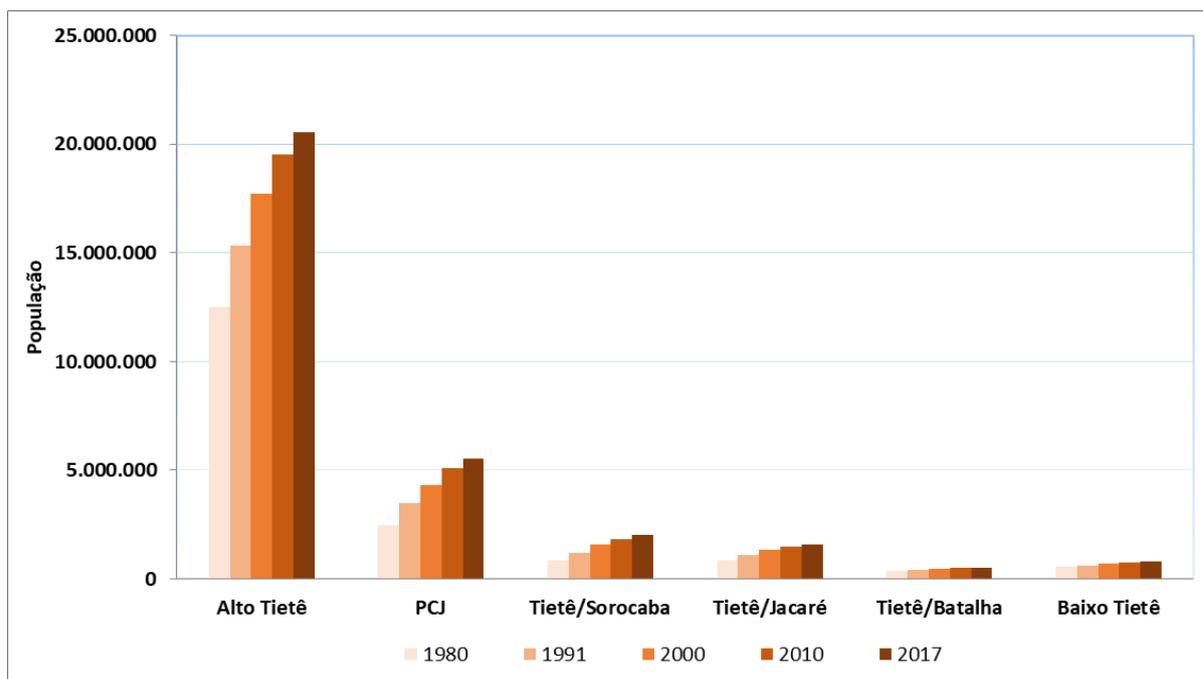
5.1. EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO TIETÊ 1986 – 2017

Os resultados obtidos dos pontos de monitoramento da CETESB estão apresentados separadamente por cada parâmetro de qualidade escolhido para este estudo (OD, DBO, DQO, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal e Nitrato) e em toda a trajetória do Rio Tietê por períodos de anos. As médias anuais foram agrupadas em 4 períodos para facilitar a visualização dos dados. Esses intervalos de tempo correspondem aos períodos de execução das principais obras de saneamento na RMSP. Para atender aos objetivos propostos pelo estudo, os dados de população e obras de saneamento serão discutidos paralelamente aos resultados dos parâmetros.

É importante lembrar que a RMSP, como foi abordado no tópico 3.3, passou por um processo de urbanização intensificado, sobretudo, a partir da primeira metade do século XX. Esse rápido crescimento populacional, somado ao uso e ocupação desordenado do solo, prejudicou intensamente os recursos hídricos dessa região. Como pode ser visto na Figura 21, a RMSP, que corresponde à UGRHI 6 – Alto Tietê, abriga metade da população de todo o Estado de São Paulo.

Apesar desse crescimento, os resultados deste estudo mostraram uma estabilização, com sinais de melhoria na qualidade das águas do Rio Tietê na RMSP, como será visto mais adiante. Esse resultado nos leva a considerar outro fator essencial no estudo de qualidade das águas, que é o saneamento. Ao disponibilizar obras para coletar, afastar e tratar os esgotos da população, o mesmo ajuda a proteger e recuperar a qualidade das águas superficiais, equilibrando assim, o efeito do crescimento populacional.

Figura 21. Evolução da população das Bacias Hidrográficas do Tietê, 2000-2015.

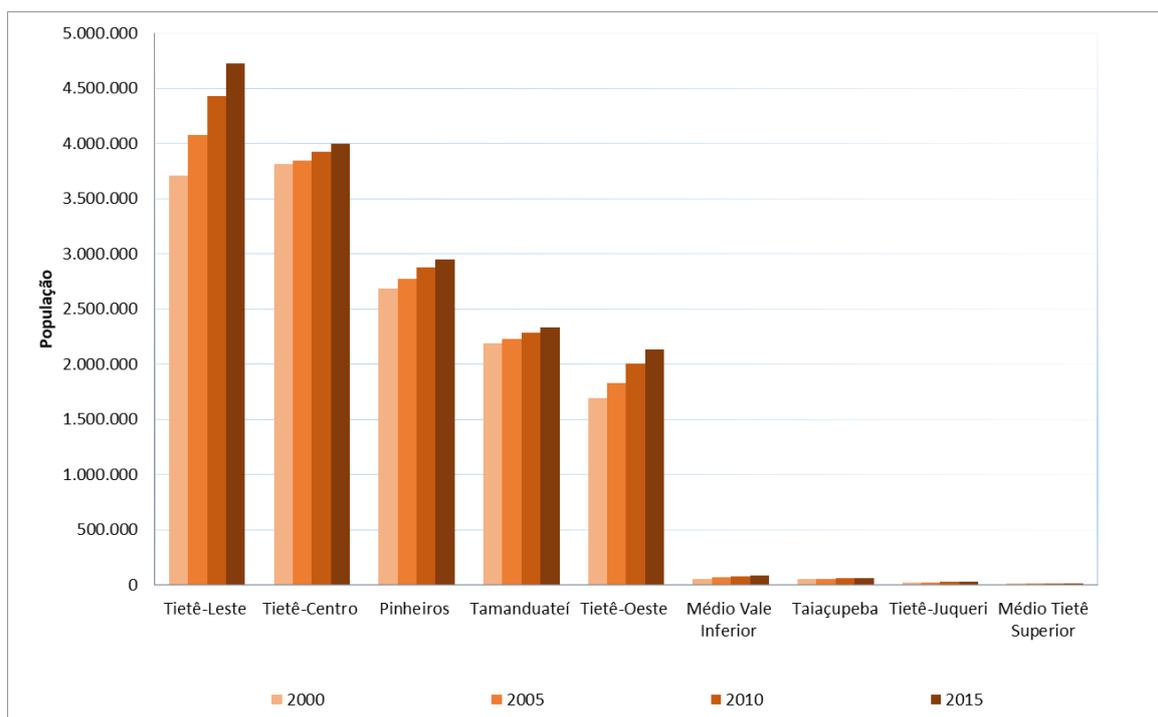


Fonte: Gráfico construído a partir dos dados do PERH 2016-2019 (SSRH, 2017).

Como foi abordado anteriormente neste trabalho, a RMSP é subdividida em várias sub-bacias de esgotamento onde o sistema de coleta e afastamento é projetado. A Figura 22 mostra a evolução da população dessas sub-bacias de esgotamento da RMSP. Como pode ser visto na mesma figura, as sub-bacias que são mais afetadas pelo fator população são: Tietê-Leste, Tietê-Centro, Pinheiros, Tamanduateí e Tietê-Oeste.

É interessante observar, no entanto, que embora a região do Tietê-Centro tenha um alto contingente de população, as sub-bacias que mais cresceram de 2000 a 2015 foram as localizadas fora do município de São Paulo ou em sua zona periférica, como a do Tietê-Leste e Tietê-Oeste. É considerando esse fator que tem sido investido bastante na construção de obras de saneamento nessas duas regiões.

Figura 22. População por bacia de esgotamento da RMSP, 2000 a 2015.



Fonte: Gráfico construído a partir dos dados disponibilizados pela Sabesp.

A bacia de esgotamento do Tietê-Leste compreende uma vasta extensão de território e perpassa outros municípios como Biritiba- Mirim, Mogi das Cruzes, Ferraz de Vasconcelos, Poá, Itaquaquecetuba e Guarulhos. Pela característica do seu território e demografia, essa bacia envia seus esgotos para 3 ETEs diferentes: Suzano, São Miguel e Pq. Novo Mundo. A bacia de esgotamento do Tietê-Leste foi beneficiada por várias obras de saneamento ao longo dos anos.

A bacia de esgotamento do Tietê-Centro também foi beneficiada por várias obras realizadas ao norte do rio Tietê. A partir de 2010, houve um grande investimento na construção de coletores na bacia de esgotamento TC-28, região de Tremembé/Tucuruvi. É importante comentar que essa região pertence ao Sistema PNM, enquanto que a maior parte da bacia de esgotamento do Tietê-Centro pertence ao Sistema Barueri. A bacia do Tietê-Centro também teve a conclusão de uma obra importante recentemente, que foi a construção do interceptor ITI – 7, localizado na margem esquerda do rio.

A bacia de esgotamento Tietê-Oeste começa assim que o rio Tietê recebe as águas do seu afluente Pinheiros, saindo do município de São Paulo e passando pelos municípios de Osasco, Carapicuíba, Barueri, até sair da RMSP. Toda essa região

também faz parte do Sistema Barueri. Essa bacia também teve um grande avanço após o início das obras de saneamento em 1995, com a construção de vários coletores, EEEs e interceptores na região.

O tópico seguinte traz uma descrição mais detalhada dos resultados obtidos para cada parâmetro de qualidade estudado no Rio Tietê de 1986 a 2017. É importante lembrar que as médias de cada ano para os devidos parâmetros foram plotadas nos gráficos com objetivos descritivos, portanto, a interligação de seus pontos não é fruto de um modelo matemático.

5.1.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

Apesar da influência da alta urbanização na qualidade das águas do rio Tietê na RMSP, percebe-se uma tendência de estabilização, com sinais de melhoria nos níveis de OD ao longo do tempo. Ao se distanciar da RMSP, as concentrações de OD sobem rapidamente, embora sofram fortemente a influência da entrada dos rios Jundiáí, Sorocaba e Piracicaba.

Além de sofrer interferência da contribuição dos afluentes, a concentração de OD também é influenciada por inúmeros fatores, como insolação, simbiose entre algas e bactérias, declividade do rio, demanda bentônica, autodepuração, etc. Fazendo uma análise geral do caudal do rio, percebe-se também que, no trecho após o reservatório de Pirapora e Rasgão, há um rápido crescimento das concentrações de OD. Esse fenômeno pode ser explicado pela presença de quedas e corredeiras nessa região, o que aumenta a aeração do corpo hídrico e conseqüentemente, seu nível de Oxigênio Dissolvido.

Já as regiões de Jundiáí, Sorocaba e Piracicaba têm um efeito contrário sobre as águas do Tietê, o que reflete a alta urbanização e industrialização dessas áreas, como foi discutido anteriormente.

Em alguns trechos do rio após a entrada do Rio Piracicaba, percebe-se uma leve diminuição dos níveis de OD ao longo dos anos. Essa tendência, com exceção de um ponto do último período, parece se manter até chegar na foz do rio. É importante levar

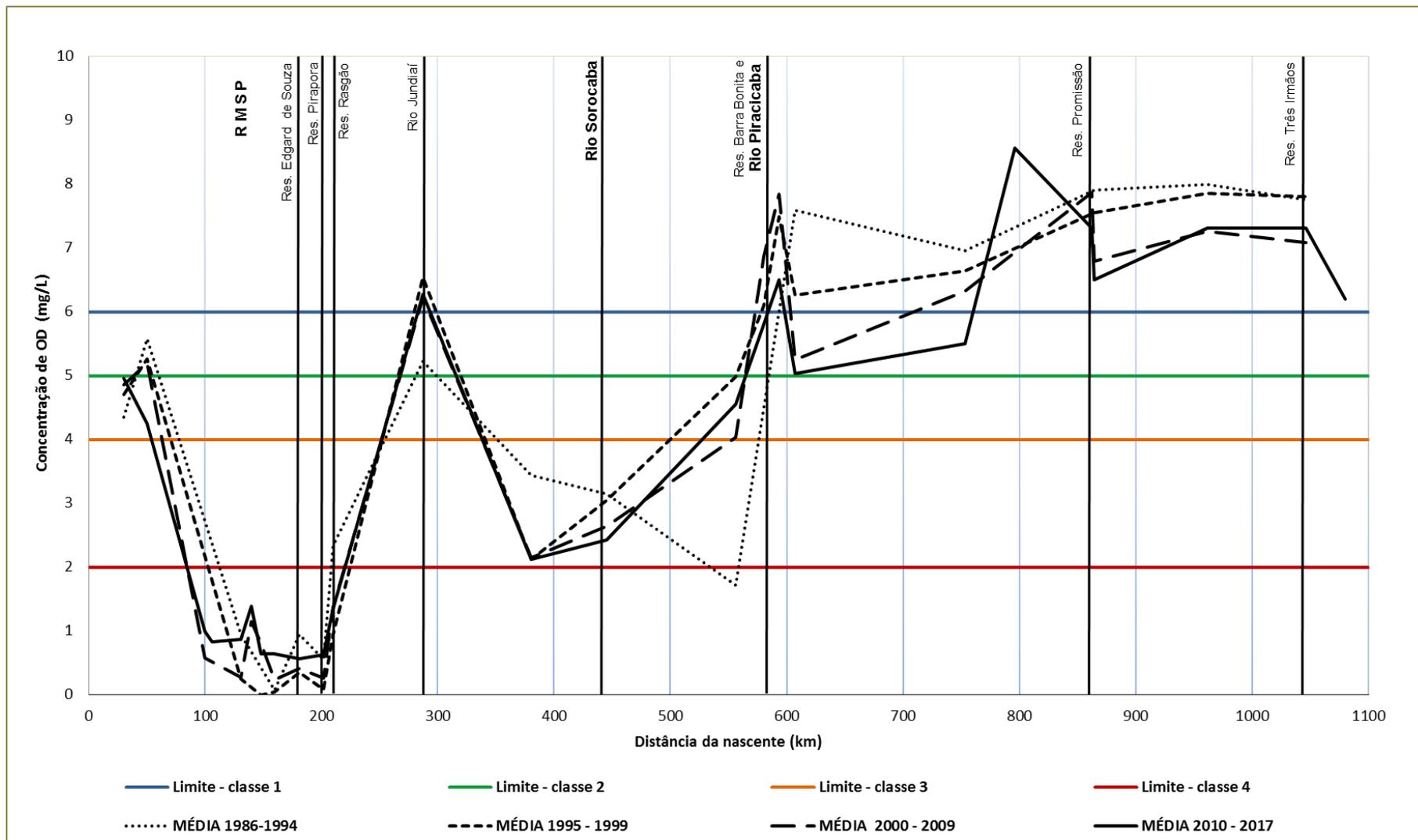
em conta o uso e ocupação do solo dessa região para compreender essa diminuição. O uso das terras dessa região se caracteriza por ser majoritariamente utilizada para a agricultura.

É interessante observar também que o primeiro período de anos se destacou com tendência diferente dos demais em alguns trechos. Entretanto, é preciso ter cautela ao interpretar esses dados, pois, como pode ser visto na Tabela 6, nove dos vinte e cinco pontos de monitoramento não eram existentes no período avaliado (1986 – 1994), o que dificulta a interpretação dos dados em alguns trechos do rio, pois os valores no gráfico foram interligados para evitar lacunas.

Tabela 5. Médias anuais das concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	MÉDIA 1986 - 1994	MÉDIA 1995 - 1999	MÉDIA 2000 - 2009	MÉDIA 2010 - 2017		
		TIET02050	30	4,5	4,2	4,3	4,2	3,9	4,5	4,1	5,2	4,4	3,7	4,3	5,5	4,3	5,8	4,4	4,7	5,7	5,2	5,7	5,2	4,6	4,3	4,4	4,5	4,9	5,2	5	5,6	5,4	5,3	4,1	4,2	4,4	4,7	4,9	5,0
TIET02090	50	5,8	5,2	5,9	5,6	5,4	5,1	6,2	5,1	6,0	4,4	4,6	5,9	5,7	5,7	4,9	4,8	5,8	5,9	5,6	5,5	4,8	5,3	5,1	4,3	4,8	5,1	5,2	4,9	4,2	2,6	3,9	3,3	5,6	5,3	5,2	4,3		
TIET03120	100																0,5	0,7	0,2	0,7	0,5	0,4	0,7	0,5	0,9	0,9	1,4	0,8	1,2	0,6	0,5	1,6	0,93		0,6	1,0	0,8		
TIET03130	106																												0,6	1,1	0,9	0,52	1,0	0,84				0,8	
TIET04150	131	0,3	1,3	1,1	1,3	0,9	2,0	0,3	1,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,7	0,2	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	1	0,5	0,5	1,2	1,5	0,6	0,57	1,2	0,85	0,9	0,2	0,3	0,9		
TIET04170	140																2,4	0,9	0,2	0,5	1,0	0,7	1,8	0,8	2	1,5	0,9	0,9	1,7	1,4	1,4	1,8	1,5			1,1	1,4		
TIET04180	148												0,0	0	0	0,3	1,7	2,9	0,1	0,2	0,5	0,1	0,4	0,4	1,4	0,8	0,4	0,5	0,6	0,6	0,66	0,82	0,71			0,8	0,6		
TIET04200	160	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,7	0,9	0,5	0,4	1	0,5	0,45	0,66	0,75	0,1	0,0	0,2	0,6		
TIET04900	181	1,3	0,0	0,0	3,3	2,6	1,1	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,6	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,2	0,9	0,8	0	0,5	0,5	0,6	0,3	1	0,5	0,7	0,4	0,32	0,69	0,66	0,9	0,4	0,4	0,6		
TIPI04900	202	2,3	0,8	0,1	0,9	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0,3	0,9	0,6	0,5	0,3	1,4	0,9	0,3	0,42	0,63	0,58	0,5	0,1	0,3	0,6		
TIRGO2900	210	4,0	4,5	3,1	3,8	1,6	2,3	0,9	0,5	0,5	1,6	0,6	1,6	0,1	0,8	2,2	0,6	0,1	0,8	2,4	1,6	0	1,5	1,9	2,5	1,3	0,4	2,3	1,8	0,7	1,1	1,6	1,6	2,3	0,9	1,4	1,4		
TIET02350	287	4,0	6,0	5,3	5,7	3,9	5,2	5,3	5,4	6,3	6,0	6,9	6,3	6,4	7,1	7,0	6,1	5,8	6,5	6,6	7,1	5	4,9	6,4	6,9	7	6,2	6,8	6,7	5,6	4	6,3	7,6	5,2	6,5	6,2	6,3		
TIET02400	380	3,0	4,0	4,0	5,0	4,5	3,8	2,1	2,7	2,0	3,2	1,8	2,2	1,7	1,7	2,0	2,2	1,9	2,4	2,7	2,4	0,7	2,8	2,4	1,9	1,7	2,8	2,1	1,5	1,5	2	2,3	3,1	3,4	2,1	2,2	2,1		
TIET02450	445											3,5	2,8			3,5	2,1	3,2	2,9	3,5	2,4	2,7	2,7	3,0	1,9	2,6	1,3	2,7	3	4,1	2,2	2,6	2	1,8	1,6	2,4	3,3	3,5	
TIBT02500	556											1,7	1,7			5,3	6,6	4,2	4,6	4,3	3,5	6,8	5,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,3	3,7	2,9	2,1	2,8	5,5	4,7	6,7	5,7	4,8	4,1	
TIBB02100	580											5,8	6,4	5,0	6,8	6,4	6,5	8,3	7,0	6,5	6,9	6,4	6,7	4,8	6,7	8,9	5,9	5,6	6,2	4,4	7,1	7,2	4,4	5,6		6,1	6,9	5,8	
TIBB02700	593											6,4	8,3	7,4	7,5	7,9	7,6	9,5	9,9	7,8	8,5	7,3	8,9	4	6,7	8,2	6,4	6,7	6,6	5,2	7,1	7,7	6,0	6,3		7,5	7,8	6,5	
TIET02500	607	8,0	7,9	8,9	8,1	8,0	7,5	7,3	6,2	6,6	6,5	6,7	5,4	5,9	6,8	4,5	5,6	5,6	6,7	6,0	5,5	5,6	4,8	4,6	3,7	4,6	5,5	4,3	5,8	5,7	4,2	4,9	5,3	7,6	6,3	5,2	5,0		
TIET02600	753	6,7	7,2	7,6	7,4	7,6	6,7	6,8	6,1	6,6	6,8	7,2	6,2	6,5	6,5	5,9	7,0	6,7	6,2	6,3	5,9	5,7	6,8	6,7	6,1	6,5	5	5,5	5,5	4,8	4,6	6,2	5,9	7,0	6,6	6,3	5,5		
TIPRO2400	796																															9,6	8,2	7,9				8,6	
TIPRO2990	862																							7,6	8,1	7,9	7,6	6,8	7	7,2	7,4		7,6	7,6			7,9	7,3	
TIET02700	864	8,6	8,5	8,2	7,9	7,9	7,7	7,8	7,1	7,6	8,4	7,6	7,4	6,9	7,5	7,9	6,6	6,5	7,0	6,6	7,0	7,3	7	6,5	5,6	6,3	6,2	6,6	6,9	6,7	6,2	6,5	6,6	7,9	7,6	6,8	6,5		
TITRO2100	961					7,8	7,4	8,1	8,2	8,5	8,8	8,4	7,7	7,0	7,4	7,4	7,5	7,2	8,1	7,0	7,2	6,6	6,8	7,4	7,5	7,5	7,4	7,4	7,5	7,9	6,8	6,8	7,2	8,0	7,9	7,3	7,3		
TITRO2800	1046	8,7	8,9	8,7	8,2	5,3	6,5	7,7	7,8	7,9	8,7	8,1	7,7	7,2	7,3	7,5	7,7	6,8	7,2	6,8	7,1	6,8	7,1	7	6,9		7	7,1	7,3	7,5	7,4	7,4	7,0	7,8	7,8	7,8	7,1	7,3	
TIET02900	1080																															6,8	5,7	5,9	6,4				6,2

Figura 23. Evolução da Concentração de Oxigênio Dissolvido (mg/L) ao longo do Rio Tietê.



5.1.2. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

No gráfico das concentrações de DBO (Figura 24), verifica-se uma tendência compatível com as flutuações dos valores de OD. O rio Tietê, após sair da RMSP, começa a mostrar sinais de autodepuração já no Reservatório Edgard de Souza, ponto em que os níveis de DBO começam a baixar rapidamente e as concentrações de OD a subir. Entretanto, ao passar pelas regiões de Jundiaí e Sorocaba, observa-se uma saliência que não é semelhante ao pico da RMSP, mas continua com valores de DBO acima do limite para a classe 3. Esse parâmetro ainda sofre levemente com a entrada do Piracicaba e depois se estabiliza dentro dos limites estabelecidos para a Classe 2.

O ponto de monitoramento que corresponde à entrada do rio Jundiaí (TIET02350) se situa no município de Salto e o que corresponde à entrada do Piracicaba (TIBB02100) está inserido no município de Botucatu. É interessante comentar que, no trecho do rio que vai de Santana do Parnaíba até Salto, o solo é ocupado por áreas mais verdes e menos urbanizadas, em comparação com a RMSP. Nesse mesmo trecho, o rio Tietê também atravessa várias corredeiras. Já o trecho no qual foi observado uma saliência (Salto até Botucatu), compreende uma região muito mais urbanizada, que sofre alta influência da Bacia Hidrográfica do PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí).

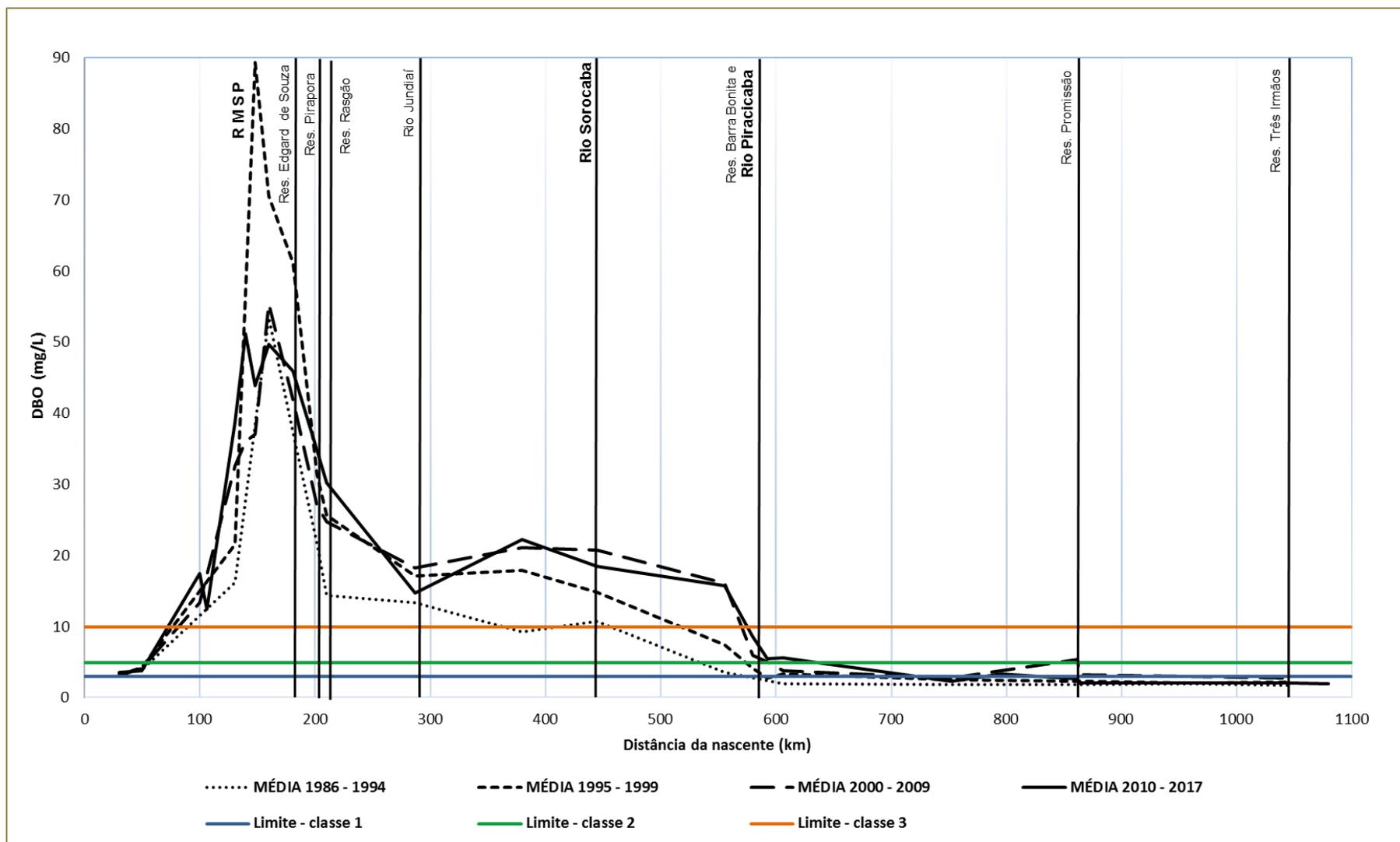
Neste mesmo trecho (Salto até Botucatu), também é observada uma tendência de aumento ao longo dos anos. Depois da bacia do Alto Tietê, a Bacia do PCJ é a que tem o maior contingente populacional do estado e sua taxa de crescimento populacional está aumentando, o que nos ajuda a explicar o aumento das concentrações de DBO ao longo dos anos nesse trecho do rio.

A Figura 25 também mostra um pico exagerado da média de DBO para o período de 1995 – 1999 na RMSP. Este pico se deve à média alta de DBO no ano de 1998 para o ponto TIET04180. Cabe lembrar, que os pontos TIET04170 e TIET04180 não possuem dados para o primeiro período de anos. Por isso, não é possível saber se os anos anteriores à 1994 também tinham valores elevados nesses dois trechos. Entretanto, podemos afirmar que depois dos anos 2000, as concentrações de DBO reduziram drasticamente na RMSP, tempo que corresponde ao 2º e 3º período de execução de obras de saneamento na RMSP.

Tabela 6. Médias anuais das concentrações de DBO (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	MÉDIA 1986 - 1994	MÉDIA 1995 - 1999	MÉDIA 2000 - 2009	MÉDIA 2010 - 2017		
		TIET02050	30	3,5	3,5	2,0	3,7	2,8	2,2	4,5	6,0	3,0	4,0	2,0	2,0	3,8	4,5	3,3	3,7	3,5	3,0	3,2	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,2	6,0	4,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,5	3,3	3,2	3,7
TIET02090	50	3,0	3,0	3,7	3,8	3,8	2,5	3,0	8,5	4,7	5,0	2,2	6,0	5,3	2,7	3,2	3,7	13,7	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	7,0	3,0	3,0	4,0	3,0	4,3	4,0	4,2	4,2	3,8	
TIET03120	100																8,3	11,0	30,5	13,0	13,8	12,0	10,2	12,7	8,7	5,8	8,0	11,0	13,0	33,0	14,0	18,0	37,0			13,4	17,5		
TIET03130	106																												9,0	12,0	22,0	11,0	10,0	11,0				12,5	
TIET04150	131	20,3	18,5	17,0	12,8	8,5	8,0	17,0	21,0	23,5	20,9	6,5	24,5	23,3	32,8	22,8	24,7	33,0	41,3	23,0	34,3	27,0	40,7	49,4	30,8	27,3	32,0	30,0	41,0	56,0	51,0	37,0	36,0	16,3	21,6	32,7	38,8		
TIET04170	140																35,0	27,2	32,7	51,0	23,7	36,5	21,8	55,5	41,7	31,7	49,0	33,0	41,0	55,0	58,0	53,0	89,0			36,1	51,2		
TIET04180	148												125,0	53,8	39,7	39,7	33,3	36,7	40,0	31,7	37,7	40,5	36,2	35,7	36,8	39,0	31,0	53,0	53,0	41,0	41,0	57,0			89,4	37,1	44,0		
TIET04200	160	72,3	34,8	56,8	55,0	52,3	40,8	63,3	40,0	66,0	77,4	54,8	53,9	79,3	87,8	45,3	65,2	70,2	46,3	50,0	90,7	42,3	47,8	51,3	44,8	40,8	53,0	33,0	55,0	64,0	58,0	47,0	47,0	53,5	70,7	55,4	49,7		
TIES04900	181	21,0	23,7	34,3	50,2	41,0	36,3	31,5	35,3	63,2	81,0	62,5	49,4	64,0	49,3	39,7	63,8	37,7	42,2	35,2	32,0	47,7	50,0	42,2	29,8	45,3	54,0	33,0	50,0	56,0	57,0	37,0	36,0	37,4	61,2	42,0	46,0		
TIPI04900	202	6,7	9,5	16,6	19,0	20,8	14,8	37,8	33,8	36,7	32,5	26,0	30,0	27,7	41,0	16,4	29,7	20,3	31,5	31,2	21,2	27,8	37,0	29,0	26,2	33,2	31,0	26,0	45,0	43,0	42,0	28,0	30,0	21,8	31,4	27,0	34,8		
TIRGO2900	210	8,7	8,0	11,3	9,2	16,5	10,2	13,7	24,4	27,7	28,2	26,5	22,0	21,9	30,2	16,7	23,5	39,0	20,8	19,7	15,5	23,2	37,2	26,5	26,2	26,3	46,0	18,0	42,0	35,0	29,0	22,0	24,0	14,4	25,7	24,8	30,3		
TIET02350	287	17,0	13,0	21,3	12,3	8,0	7,2	9,0	14,0	18,3	17,7	27,5	13,6	13,0	14,2	19,7	16,7	14,0	23,8	20,0	12,3	18,7	15,3	18,2	23,8	17,2	13,0	13,0	11,0	18,0	16,0	14,0	16,0	13,4	17,2	18,3	14,8		
TIET02400	380	4,8	8,5	16,7	6,7	8,2	5,5	7,2	12,3	13,6	12,7	24,3	16,7	17,0	19,3	18,7	22,2	25,7	17,5	23,0	19,5	22,7	22,7	18,8	20,3	26,3	21,0	13,0	37,0	32,0	32,0	13,0	3,8	9,3	18,0	21,1	22,3		
TIET02450	445								10,1	11,4	13,0	17,9	14,6	12,7	16,3	22,0	25,0	19,0	15,8	26,0	22,8	26,8	18,3	19,8	12,5	22,7	16,0	10,0	36,0	26,0	25,0	8,7	4,0	10,8	14,9	20,8	18,6		
TIBT02500	556								3,0	4,3	6,1	8,5	9,8	7,8	5,0	14,2	12,7	12,8	23,3	35,0	19,0	14,5	13,5	4,2	12,2	19,2	18,0	25,0	26,0	22,0	6,0	4,3	6,0	3,6	7,4	16,1	15,8		
TIBB02100	580										1,8	2,8	4,5	4,8	7,3	6,8	6,3	5,7	3,5	6,2	4,0	7,2	4,3	5,7	10,7	12,0	8,0	7,0	9,0	12,0	7,0	6,7	7,5		4,2	6,0	8,7		
TIBB02700	593										1,4	2,8	3,5	3,4	3,2	6,0	4,0	3,8	4,2	4,2	3,5	7,8	4,0	4,2	8,7	4,5	7,0	5,0	4,0	6,5	8,0	4,3	5,2		2,9	5,0	5,6		
TIET02500	607	1,7	1,8	1,7	2,2	2,2	2,5	2,5	1,7	2,2	3,7	3,3	3,8	2,8	3,5	6,4	3,3	3,2	3,2	3,0	3,3	3,7	3,5	3,8	4,7	3,8	5,0	3,0	4,0	7,2	8,0	10,0	4,5	2,0	3,4	3,8	5,7		
TIET02600	753	1,2	1,7	1,8	2,3	2,4	2,2	2,3	1,7	1,7	1,8	2,0	2,3	3,3	3,3	2,3	3,7	3,0	3,5	2,0	3,0	3,5	2,3	2,3	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	3,7	3,0	2,2	2,0	1,9	2,6	2,8	2,4		
TIPRO2400	796																																					3,3	
TIPRO2990	862																							3,5	2,7	10,0	5,7	2,0	2,0	2,0	2,0		2,7	2,2			5,4	2,7	
TIET02700	864	1,7	2,0	1,3	1,7	1,6	2,8	2,3	1,8	1,7	1,7	1,8	2,0	2,3	3,7	3,5	3,0	4,3	3,2	7,0	3,0	2,8	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	1,9	2,3	3,2	2,1		
TITRO2100	961					1,0	3,0	2,2	2,0	2,0	2,2	2,0	1,7	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0	2,8	2,8	2,0	2,7	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,2	
TITRO2800	1046	2,2	2,0	1,5	1,7	1,0	2,5	1,8	2,0	1,7	2,2	2,0	2,2	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,3	2,7	2,0	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	1,8	2,3	2,8	2,1		
TIET02900	1080																															2,2	2,0	2,0	2,0				2,1

Figura 24. Evolução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) ao longo do Rio Tietê.

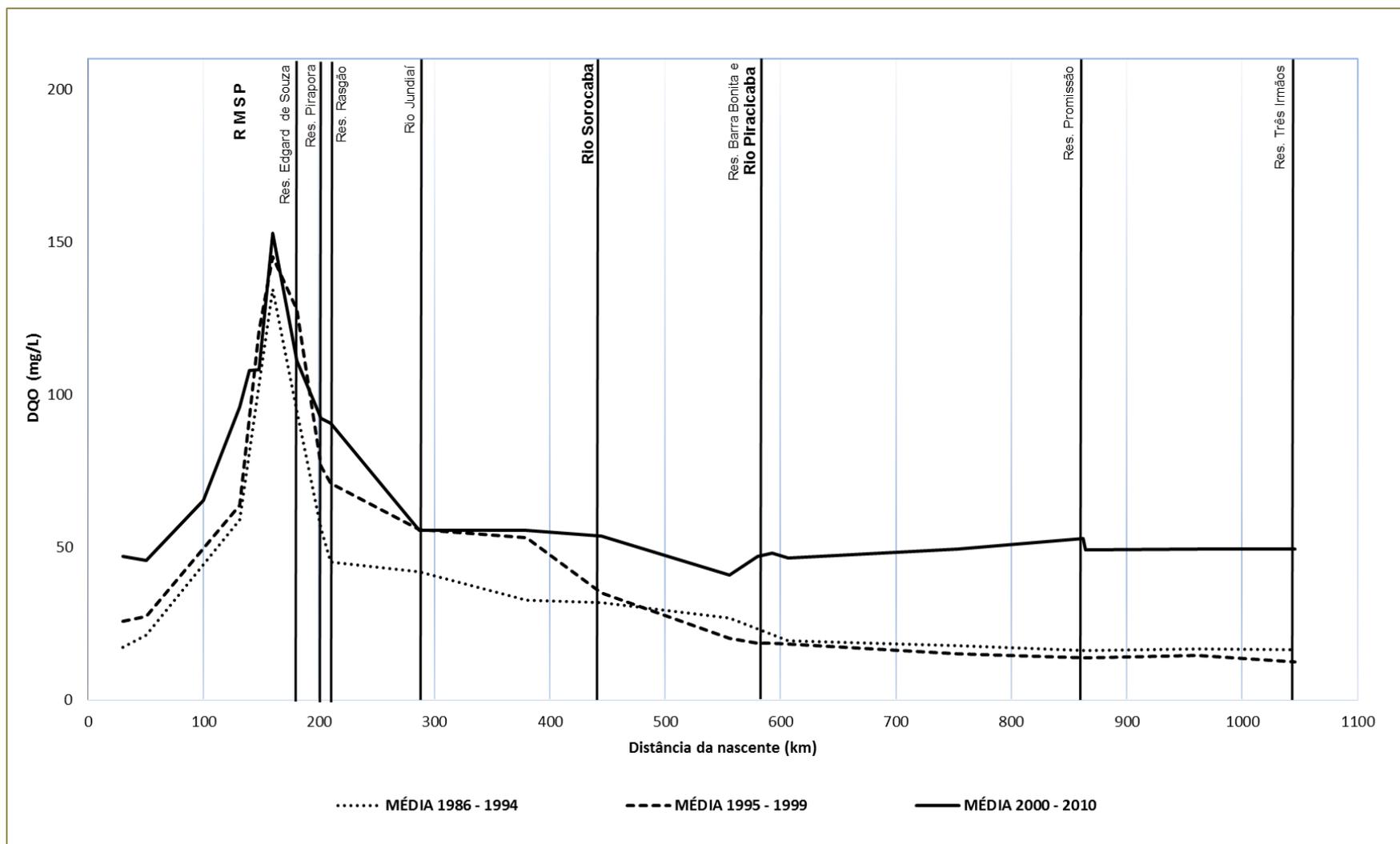


5.1.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

Os dados de Demanda Química de Oxigênio (DQO), expostos na Figura 25, não abrangem os anos após 2010 devido à disponibilidade limitada desse parâmetro nos relatórios da CETESB. As médias dos anos desse parâmetro foram, portanto, avaliadas em apenas 3 períodos.

Assim como nos valores de DBO, as concentrações de DQO na RMSP são altas e sofrem queda após o Reservatório de Rasgão. Entretanto, percebe-se que o último período, que compreende os anos de 2000 a 2010 mantém concentrações constantes a partir da entrada do Jundiaí, diferente dos períodos anteriores à 2000, que sofrem uma queda maior à medida que vão adentrando o interior.

É interessante notar que os valores de DQO, que nos primeiros dois períodos desciam após passar a região de Sorocaba, se mantêm constantes até chegar no Reservatório de Três Irmãos, o que indica que as concentrações de DQO subiram nessa região depois dos anos 2000. O aumento da concentração de DQO é consequência, principalmente, de despejos de origem industrial (PHILIPPI Jr., et al., 2014), portanto, o aumento das concentrações de DQO nessa região ao longo dos anos pode ser consequência da migração de vários setores industriais para o interior.

Figura 25. Evolução da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) ao longo do Rio Tietê.

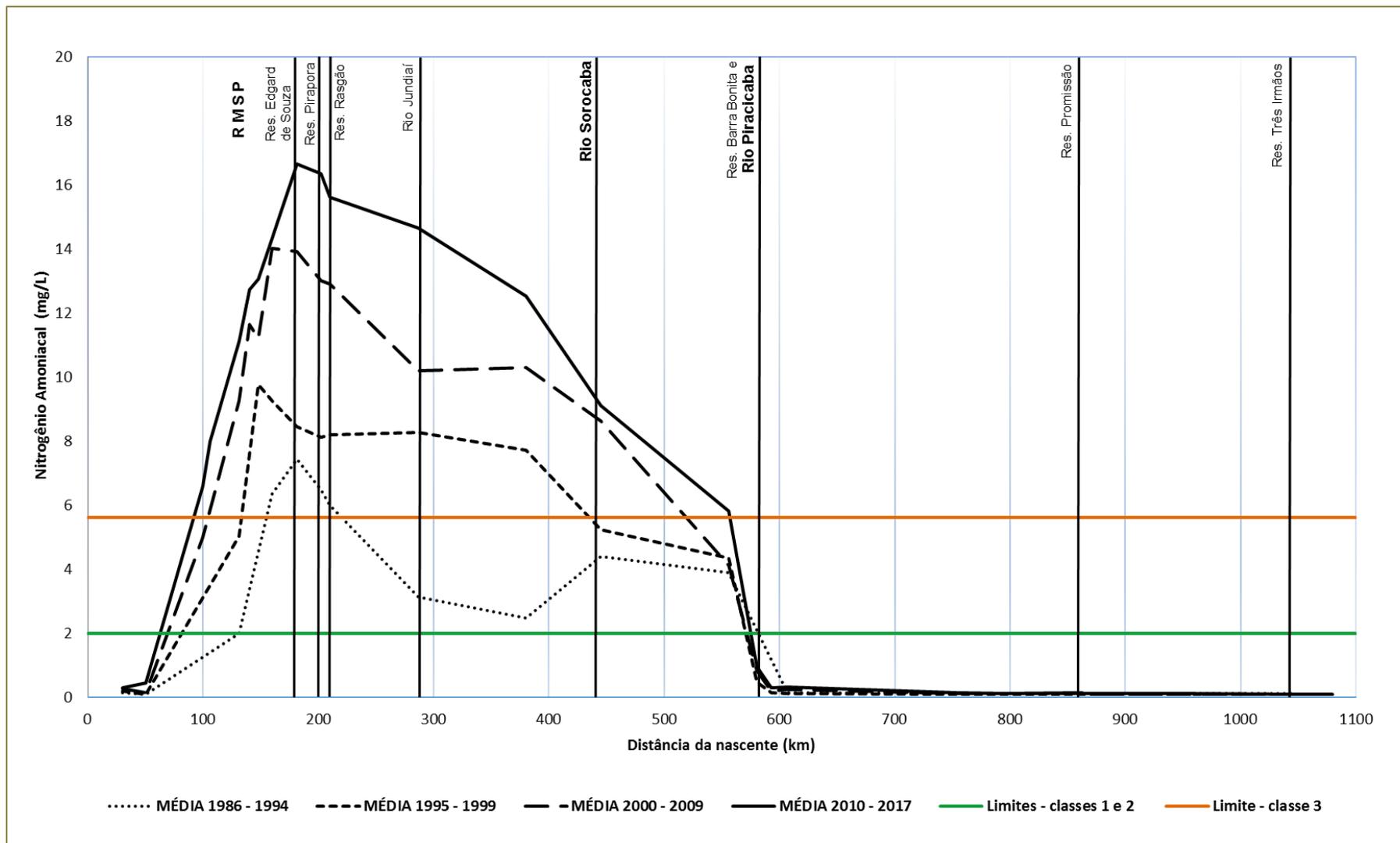
5.1.4. NITROGÊNIO AMONIAICAL

Embora as médias de Nitrogênio Amoniacal para todos os períodos sejam maiores na RMSP, resultado semelhante aos parâmetros anteriores, não há um pico exagerado como nos outros. Os valores de Nitrogênio Amoniacal no rio Tietê, com exceção do primeiro período, permanecem altos ao passar pela região de Jundiaí e Sorocaba e só sofrem uma queda brusca após a entrada do rio Piracicaba, próximo ao Reservatório da Barra Bonita. A partir deste trecho, o rio manifesta valores abaixo dos limites de classe 1 e 2 estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (MMA, 2005) (Tabela 9 e Figura 26).

Diferente dos gráficos anteriores, os dados de Nitrogênio Amoniacal mostram um aumento nítido das concentrações ao longo dos anos em toda a primeira metade do rio. Entretanto, o estudo desse parâmetro é complexo devido às diversas fontes de nitrogênio que existem. Se faz necessário analisar fatores como crescimento populacional e industrial, já que este parâmetro na água é um importante indicador de poluição antrópica urbana. O Nitrogênio Amoniacal também sofre forte influência das atividades agrícolas, pela utilização indiscriminada de fertilizantes que se infiltram no solo e alcançam os corpos d'água.

A região que compreende este trecho do rio Tietê é fortemente influenciada pela UGRHI 5 - PCJ, unidade essa que abrange a Região Metropolitana de Campinas e que possui altas taxas de crescimento geométrico de população. Cabe lembrar também que o avanço da coleta, afastamento e tratamento dos esgotos sanitários não afeta o nível de Nitrogênio Amoniacal nos corpos hídricos, uma vez que o tratamento a nível secundário oxida a matéria orgânica, mas não elimina os nutrientes (nitrogênio e fósforo) de seu efluente.

Figura 26. Evolução da Concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ao longo do Rio Tietê.



5.1.5. NITRATO

No geral, as concentrações de Nitrato são baixas no trecho da RMSP, mas crescem rapidamente após o Reservatório de Pirapora e de Rasgão e começam a se estabilizar após o reservatório de Promissão. Os valores máximos dos 3 primeiros períodos estão localizados entre o Rio Jundiá e o Rio Sorocaba, enquanto que o último grupo (2010 – 2017) tem o seu pico de concentração depois da entrada do Rio Piracicaba. Todas as médias, de todos os períodos de anos de Nitrato começam a declinar depois que o mesmo recebe o Rio Piracicaba e adentra o interior. (Figura 27)

É interessante observar uma nítida tendência de aumento ao longo dos anos, só que dessa vez no trecho do rio após a entrada do rio Piracicaba, o que pode ser reflexo da intensidade de atividades agrícolas nesta região, o que aumenta o uso de fertilizantes e conseqüentemente, a concentração de nutrientes no solo e na água.

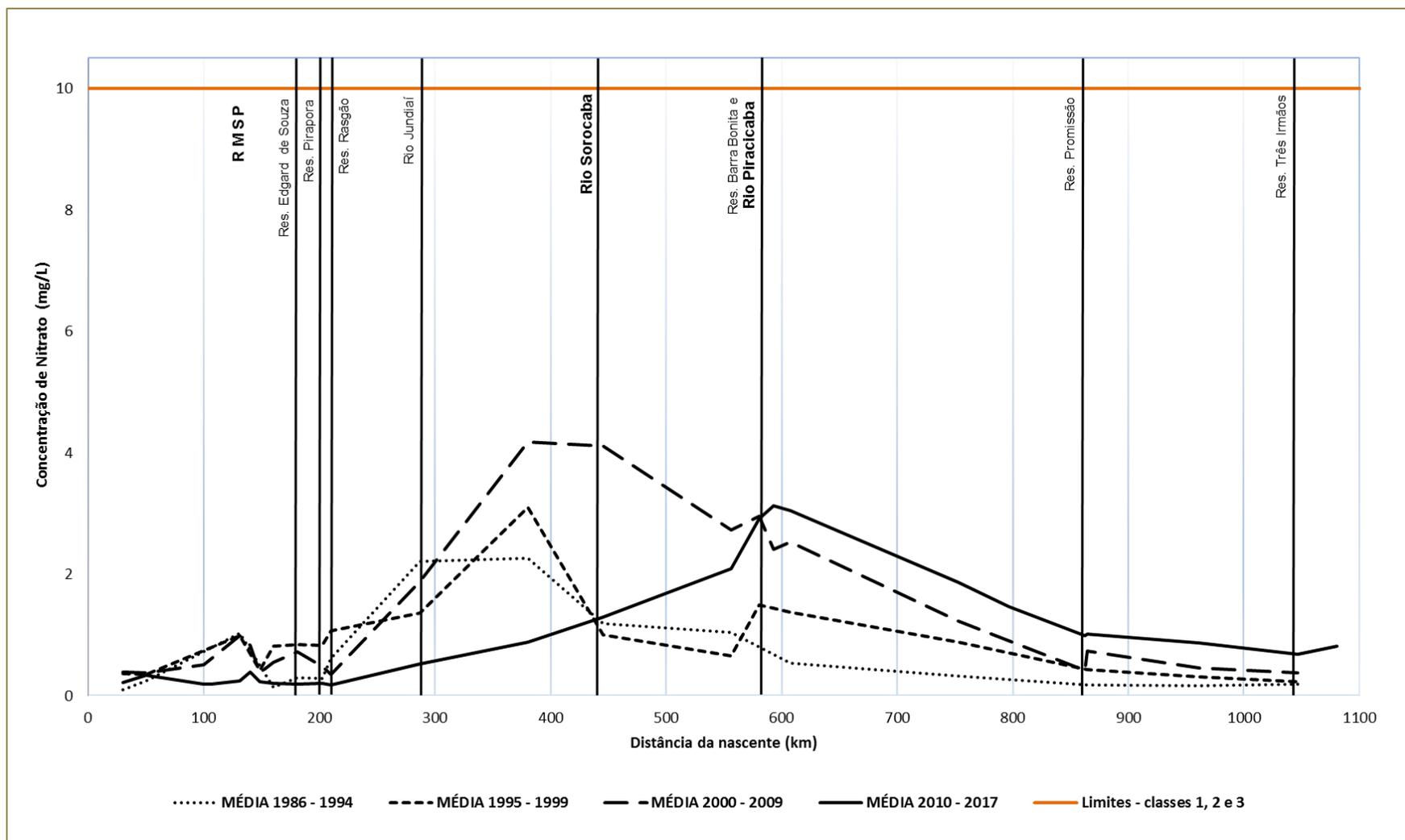
Fica evidente que nas décadas de 80 e 90 e início dos anos 2000 os picos de concentração de Nitrato estavam concentrados na região que vai da entrada do Jundiá até a entrada do Sorocaba, enquanto que a partir de 2010 a concentração de Nitrato vai crescendo e atinge seu ápice próximo à entrada do Piracicaba. No entanto, em todos os anos e trechos do rio os valores de Nitrato estão abaixo dos limites determinados pela legislação.

Contudo, a análise mais importante desse parâmetro é ver como o mesmo reflete as concentrações de Nitrogênio Amoniacal, uma vez que o Nitrato é produto do Nitrogênio Amoniacal (amônia) transformado em Nitrito. Portanto, as concentrações de Nitrato no gráfico refletem os picos de Nitrogênio Amoniacal nas regiões anteriores.

Tabela 9. Médias anuais das concentrações de Nitrato (mg/L) no Rio Tietê entre 1986 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	MÉDIA 1986 - 1994	MÉDIA 1995 - 1999	MÉDIA 2000 - 2009	MÉDIA 2010 - 2017	
		TIETO2050	30	0,21	0,10	0,10	0,12	0,12	0,08	0,05	0,11	0,09	0,33	0,12	0,41	0,31	0,68	0,27	1,31	0,64	0,23	0,23	0,21	0,20	0,31	0,20	0,38	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,21	0,22	0,11	0,37	0,40	0,22
TIETO2090	50	0,25	0,28	0,14	0,32	0,23	0,22	0,30	0,28	0,27	0,43	0,17	0,34	0,42	0,42	0,36	0,48	0,50	0,22	0,28	0,27	0,41	0,46	0,28	0,54	0,28	0,20	0,24	0,43	0,29	0,40	0,56	0,33	0,25	0,36	0,38	0,34	
TIETO3120	100																1,03	0,92	0,25	0,47	0,60	0,35	0,52	0,25	0,21	0,20	0,10	0,26	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20		0,51	0,20		
TIETO3130	106																											0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20			0,20	
TIETO4150	131	1,08	0,55	1,19	0,70	0,54	0,54	0,21	2,46	2,05	1,74	0,64	1,85	0,35	0,41	0,72	0,43	1,00	0,29	5,45	1,04	0,22	0,20	0,20	0,33	0,26	0,10	0,22	0,20	0,22	0,40	0,20	0,37	1,04	1,00	0,99	0,25	
TIETO4170	140																2,70	0,58	0,64	1,27	1,12	0,20	0,38	0,21	0,38	0,57	0,40	0,19	0,27	0,20	0,60	0,24	0,64			0,83	0,39	
TIETO4180	148													0,20	0,65	0,20	0,58	1,08	0,20	0,26	0,27	0,28	0,28	0,20	0,41	0,32	0,20	0,18	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20			0,42	0,38	0,24
TIETO4200	160	0,05	0,13	0,18	0,28	0,20	0,22	0,09	0,06	0,13	2,32	0,55	0,51	0,27	0,42	0,40	0,57	1,24	0,23	0,36	0,88	0,20	1,11	0,20	0,37	0,24	0,10	0,18	0,20	0,20	0,20	0,31	0,20	0,15	0,81	0,55	0,20	
TIESO4900	181	0,04	0,04	0,06	0,25	2,00	0,06	0,08	0,09	0,06	1,68	1,61	0,48	0,28	0,20	0,20	2,37	0,50	0,39	1,27	1,56	0,20	0,20	0,20	0,37	0,20	0,20	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,85	0,73	0,20
TIPI04900	202	0,28	0,08	0,05	0,30	1,50	0,03	0,25	0,06	0,06	1,93	1,30	0,37	0,31	0,21	1,26	0,64	0,29	0,51	0,29	1,04	0,20	0,20	0,20	0,26	0,20	0,10	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,39	0,29	0,83	0,49	0,21	
TIRG02900	210	0,90	0,10	0,11	0,29	0,14	0,03	0,89	0,08	3,02	3,29	1,18	0,38	0,28	0,24	0,20	0,61	0,24	0,42	0,40	0,76	0,20	0,20	0,20	0,27	0,20	0,10	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,62	1,07	0,35	0,19	
TIETO2350	287	1,25	1,77	2,17	2,18	3,15	3,76	2,08	0,87	2,75	4,80	0,96	0,50	0,23	0,33	0,31	0,13	1,36	1,44	1,90	4,33	1,98	2,92	3,70	0,72	0,47	0,50	0,55	0,70	0,35	0,50	0,50	0,66	2,22	1,36	1,88	0,53	
TIETO2400	380	1,27	1,84	2,29	2,36	2,23	3,36	2,51	2,27	2,33	4,57	2,29	5,52	1,07	2,06	1,59	1,47	5,34	20,02	3,51	6,12	0,34	1,31	1,20	0,93	0,84	0,70	0,72	0,82	0,84	1,00	0,83	1,30	2,27	3,10	4,18	0,88	
TIETO2450	445								1,55	0,83	0,41	0,34	1,64	1,00	1,64	2,04	1,81	7,98	13,65	4,09	7,09	0,78	1,47	1,28	1,02	1,17	1,20	1,10	1,20	1,10	1,60	1,20	1,80	1,19	1,01	4,12	1,30	
TIBT02500	556								1,34	0,74	0,68	0,56	0,77	0,69	0,60	0,70	1,18	3,95	3,80	3,65	4,07	1,92	1,96	4,59	1,58	1,19	2,40	2,22	2,50	2,50	1,60	2,60	1,80	1,04	0,66	2,74	2,10	
TIBB02100	580										1,60	0,75	1,16	1,91	2,05	1,72	2,43	2,75	6,55	4,64	1,76	2,35	2,48	2,53	2,40	3,18	2,50	3,42	3,40	3,60	2,10	2,50	2,70			1,49	2,96	2,93
TIBB02700	593										1,53	0,78	0,90	1,81	2,21	1,53	1,96	2,11	1,93	2,92	1,93	2,89	2,75	3,01	3,09	2,79	3,20	3,28	3,50	3,70	2,90	2,70	3,00			1,45	2,41	3,13
TIETO2500	607	0,22	0,26	0,44	0,48	0,50	0,50	0,57	0,70	1,15	0,83	0,83	0,90	1,99	2,32	2,41	2,37	2,17	2,65	2,53	1,96	3,01	2,71	2,35	3,16	2,75	3,10	2,68	3,60	3,40	3,10	2,80	3,00	0,54	1,37	2,53	3,05	
TIETO2600	753	0,12	0,19	0,25	0,47	0,28	0,47	0,24	0,42	0,55	0,95	0,62	0,68	0,95	1,23	1,14	0,75	0,91	1,04	1,16	0,97	1,63	1,75	1,17	1,74	1,83	1,70	1,89	2,30	1,10	1,80	2,10	2,20	0,33	0,88	1,23	1,87	
TIPRO2400	796																													1,00			1,70	1,70				1,47
TIPRO2990	862																							0,30	0,38	0,60	0,82	0,90	1,12	1,10	1,00		1,00	0,98			0,43	0,99
TIETO2700	864	0,06	0,12	0,11	0,26	0,19	0,20	0,13	0,31	0,28	0,36	0,34	0,31	0,69	0,49	0,66	0,38	0,39	0,97	0,38	0,32	1,36	1,93	0,38	0,57	0,86	0,90	1,28	1,10	1,00	1,00	1,00	0,98	0,18	0,44	0,73	1,02	
TITRO2100	961					0,17	0,19	0,10	0,15	0,20	0,25	0,27	0,36	0,41	0,31	0,44	0,36	0,43	0,35	0,34	0,30	0,89	0,78	0,27	0,40	0,62	0,80	1,13	0,79	0,95	0,90	1,00	0,74	0,16	0,32	0,45	0,87	
TITRO2800	1046	0,09	0,70	0,10	0,24	0,11	0,15	0,08	0,15	0,13	0,22	0,19	0,19	0,21	0,34	0,31	0,36	0,31	0,30	0,30	0,30	0,86	0,65	0,19	0,25	0,53	0,60	0,57	0,52	0,90	0,90	1,00	0,50	0,19	0,23	0,38	0,69	
TIETO2900	1080																														0,92	0,90	1,00	0,47				0,82

Figura 27. Evolução da Concentração de Nitrato (mg/L) ao longo do Rio Tietê.



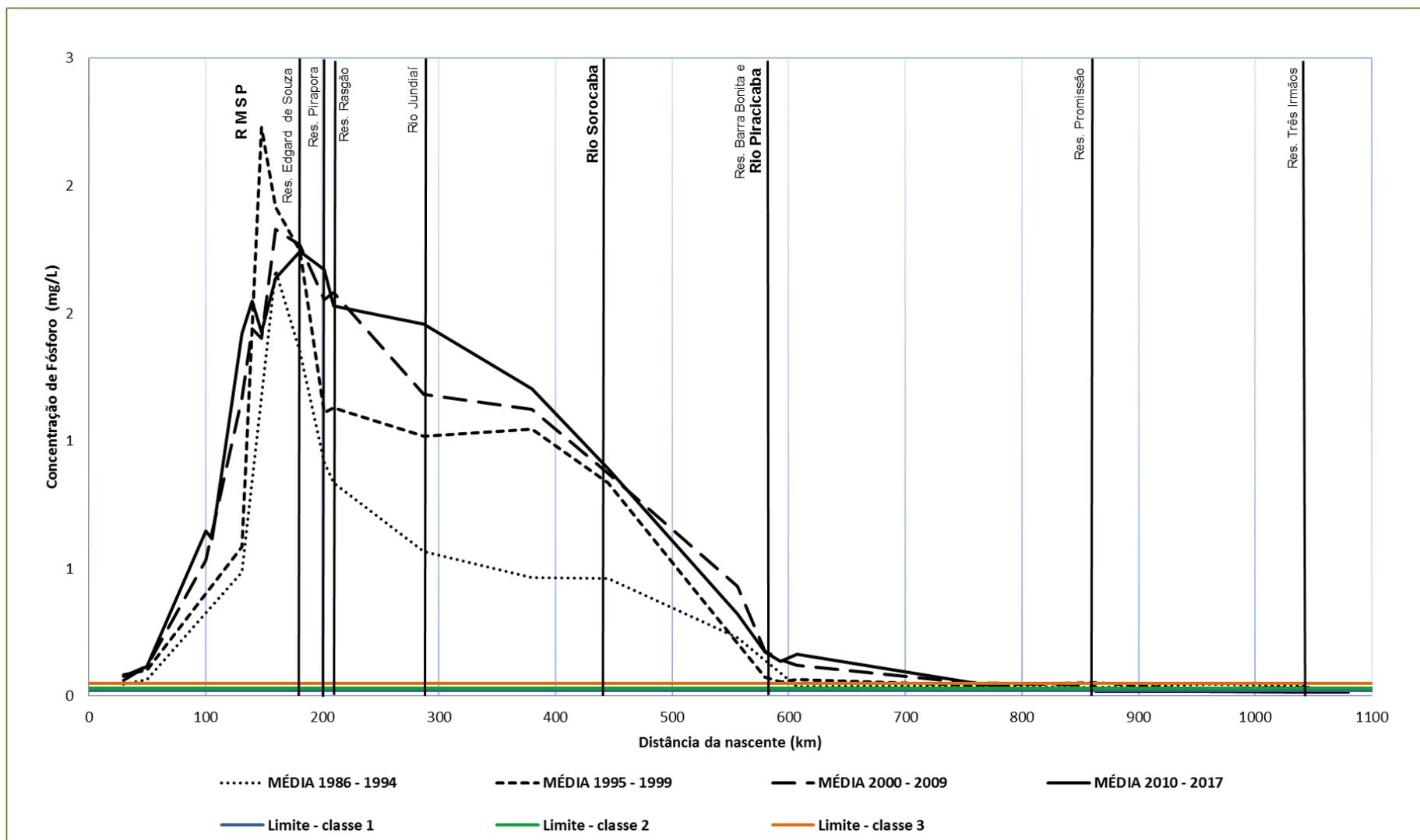
5.1.6. FÓSFORO TOTAL

Em relação ao Fósforo Total, a Resolução CONAMA 357/2005 (MMA, 2005) estabelece limites diferenciados para as concentrações em ambientes lênticos, lóticos e intermediários. Neste trabalho foram adotados os valores para ambientes lênticos, que são os mais restritivos. Como foi mencionado, o Fósforo é um forte indicador de poluição por atividades antrópicas, até mais que o nitrogênio, devido ao último ser influenciado também pelas chuvas. Portanto, é essencial que a interpretação desse parâmetro leve em consideração o crescimento populacional de cada região e trecho do rio. Cabe lembrar que esse parâmetro também tem como importante contribuição os efluentes industriais.

Pode-se verificar na Figura 28 que os resultados de Fósforo Total também revelam picos na RMSP em todos os períodos avaliados, com menores concentrações entre 1986 a 1994. O segundo período apresentou um pico semelhante ao de DBO na RMSP. Como pode ser visto na tabela 11, esse pico também é resultado da média de 1998 do ponto TIET04180. É interessante notar, no entanto, que esse pico vai diminuindo ao longo do tempo até chegar no último período de anos, o que pode ser reflexo do investimento em obras de saneamento na RMSP. Novamente é possível observar no trecho do Reservatório de Pirapora até à região da entrada do Rio Sorocaba, uma tendência de aumento das concentrações do parâmetro ao longo dos anos, o que pode ser consequência do rápido crescimento demográfico dessa região, como foi mencionado anteriormente.

É perceptível também que a entrada do rio Piracicaba produz um leve aumento nas concentrações de Fósforo, alterando um pouco a tendência de queda abrupta das médias. Nesse trecho, percebe-se um aumento recente das concentrações, ou seja, nos últimos dois períodos. Cabe lembrar aqui que essa região de Piracicaba, como foi descrito nos capítulos iniciais deste trabalho, é uma importante área de produção de cana-de-açúcar, entre outras atividades agroindustriais. A região de Rio Claro também é forte na agroindústria sucroalcooleira. Ela possui um parque industrial diversificado que inclui destilarias de álcool e usinas de açúcar, indústrias de alimentos e de bens de capital. Por fim, é importante lembrar que, como o nitrogênio, o fósforo não é retirado dos esgotos sanitários pelo processo de tratamento a nível secundário, o que faz com que os efluentes das ETEs tenham consideráveis níveis de Fósforo Total.

Figura 28. Evolução da Concentração de Fósforo Total (mg/L) ao longo do Rio Tietê.



5.2. UMA VISÃO AMPLIADA DA RMSP: QUALIDADE DAS ÁGUAS DOS RIOS PINHEIROS E TAMANDUATEÍ

5.2.1. RIO TAMANDUATEÍ

O rio Tamanduateí é um importante afluente do Tietê e influencia diretamente na qualidade das águas do mesmo. O Tamanduateí tem sua nascente no município de Mauá e desagua no Tietê na região do bairro da Luz. Apenas a sua bacia de esgotamento compreende quase 2 milhões e meio de habitantes, como foi mostrado pela Figura 22. Apesar do desafio desse alto contingente populacional, os dados deste trabalho mostram uma significativa melhora na qualidade das águas do rio Tamanduateí ao longo dos anos, com exceção dos parâmetros de nitrogênio.

Segundo dados da SABESP, nas bacias de esgotamento do Tamanduateí, foram feitas extensas obras de saneamento a partir de 1995. Somente no segundo período foram construídos vários coletores, um emissário na bacia de esgotamento TA-21, duas Estações Elevatórias de Esgoto (EEEs) e o interceptor ITA-4, localizado no município de Mauá. Boa parte das obras do primeiro período foram realizadas a montante do ponto TAMT04500 (T1).

O Tamanduateí foi muito beneficiado também pelas obras que foram concluídas no Ribeirão dos Meninos, um dos seus principais afluentes. Esse afluente entra depois do ponto T1 e os efeitos das obras de saneamento no mesmo são, portanto, sentidos no último ponto do rio (T2).

É importante observar que a primeira parte da bacia de esgotamento do Rio Tamanduateí, próxima à nascente e com maior extensão, pertence ao Sistema ABC e a segunda metade, ao Sistema Barueri. Algumas mais recentes, iniciadas em 2014, já foram concluídas, como é o caso do coletor Anhangabau – TA 03.

Para o estudo da qualidade das águas do Rio Tamanduateí, foram escolhidos apenas dois pontos (TAMT04500 e TAMT04900) de monitoramento, dos quatro atualmente existentes. Essa escolha levou em consideração a disponibilidade de dados ao longo dos 28 anos que serão analisados. Os pontos TAMT04250 e TAMT04600 só dispunham de dados a partir de 2014 e 2012, respectivamente. Para facilitar a interpretação dos dados, foram inseridas nos gráficos as linhas de tendência para os

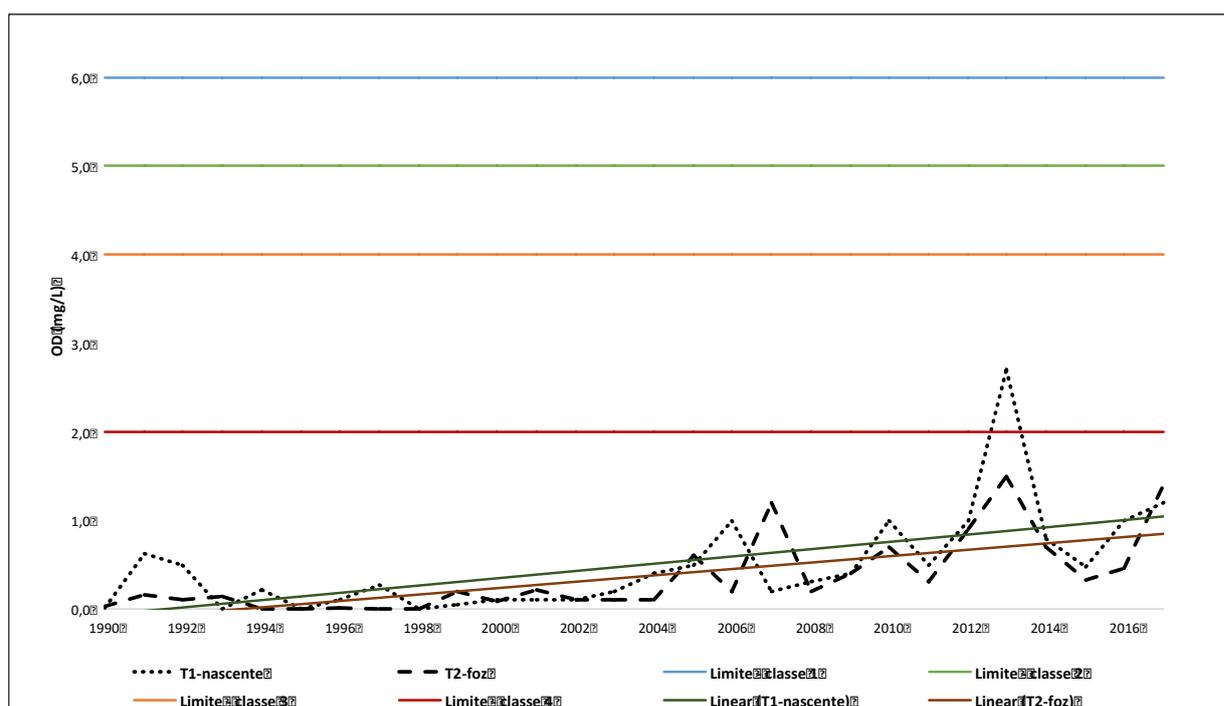
pontos de monitoramento de cada parâmetro.

A Figura 29 mostra um aumento das concentrações de Oxigênio Dissolvido nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí. As linhas de tendência no gráfico, identificadas pelas cores verde e laranja, revelam uma melhora constante e real desse parâmetro. O ponto TAMT04900 (T2) está localizado próximo à foz, um pouco antes do Rio Tamanduateí desaguar no Tietê, já o ponto TAMT04500 (T1) está localizado mais próximo da nascente. Com exceção do valor de OD em 2015 do ponto T1, todas as médias anuais, de 1990 a 2017 se encontram abaixo do limite da Classe 4 estabelecido pelo CONAMA, o que mostra que o Tamanduateí ainda está longe de ter boas condições sanitárias. Entretanto, é evidente que as obras de saneamento têm tido um constante progresso em relação às concentrações de OD.

Tabela 11. Médias anuais das concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)																													
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
TAMT04250	10																										0,60	0,47	1,60	1,50
TAMT04500	19	0,02	0,62	0,50	0,00	0,22	0,00	0,10	0,27	0,00	0,05	0,10	0,10	0,10	0,20	0,40	0,50	1,00	0,20	0,30	0,40	1,00	0,50	1,00	2,70	0,80	0,47	0,99	1,20	
TAMT04600	24																							0,90	1,00	1,10	0,96	0,88	1,60	
TAMT04900	34	0,03	0,17	0,10	0,13	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,20	0,08	0,22	0,10	0,10	0,10	0,60	0,20	1,20	0,20	0,40	0,70	0,30	0,90	1,50	0,70	0,32	0,46	1,40	

Figura 29. Evolução do Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.

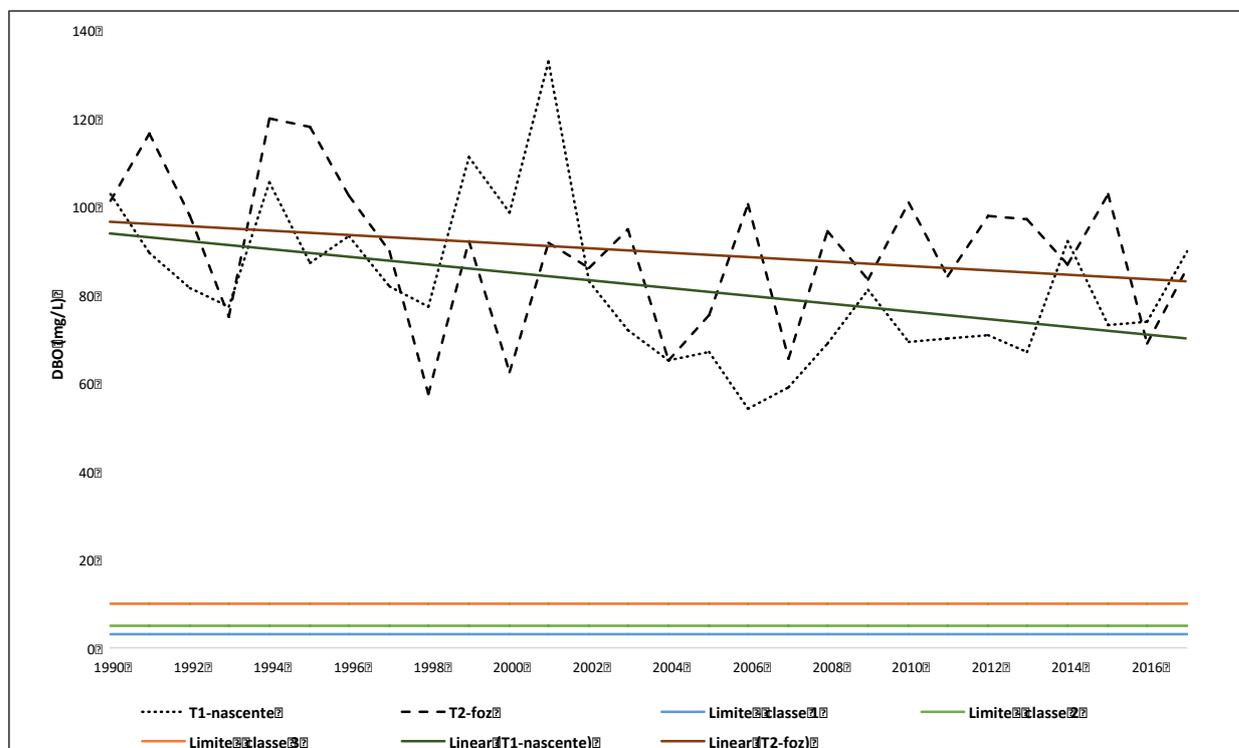


As concentrações de DBO apresentadas na Figura 30, mostram oscilações constantes entre um ano e outro. Entretanto, ao longo dos anos, as médias revelam uma tendência de diminuição. É interessante notar que entre o período de 1998 e 2002, as médias de DBO do ponto T1 são maiores que o ponto T2, que está mais próximo da foz do rio. Todas as concentrações ao longo dos anos estão acima do permitido para a Classe 3.

Tabela 12. Médias anuais das concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
		TAMT04250	10																									86,0	86,0	82,0
TAMT04500	19	103,0	89,7	81,7	77,4	105,7	87,2	93,2	82,0	77,2	111,3	98,7	132,8	83,0	72,0	65,0	67,0	54,2	59,0	68,8	81,3	69,3	70,0	71,0	67,0	92,0	73,0	74,0	90,0	
TAMT04600	24																								56,0	63,0	75,0	102,0	83,0	70,0
TAMT04900	34	101,2	116,5	98,0	75,0	120,0	118,2	102,3	89,8	57,5	92,0	62,5	91,7	86,0	95,0	65,0	75,3	100,7	65,5	94,5	83,5	101,0	84,0	98,0	97,0	87,0	103,0	69,0	86,0	

Figura 30. Evolução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.



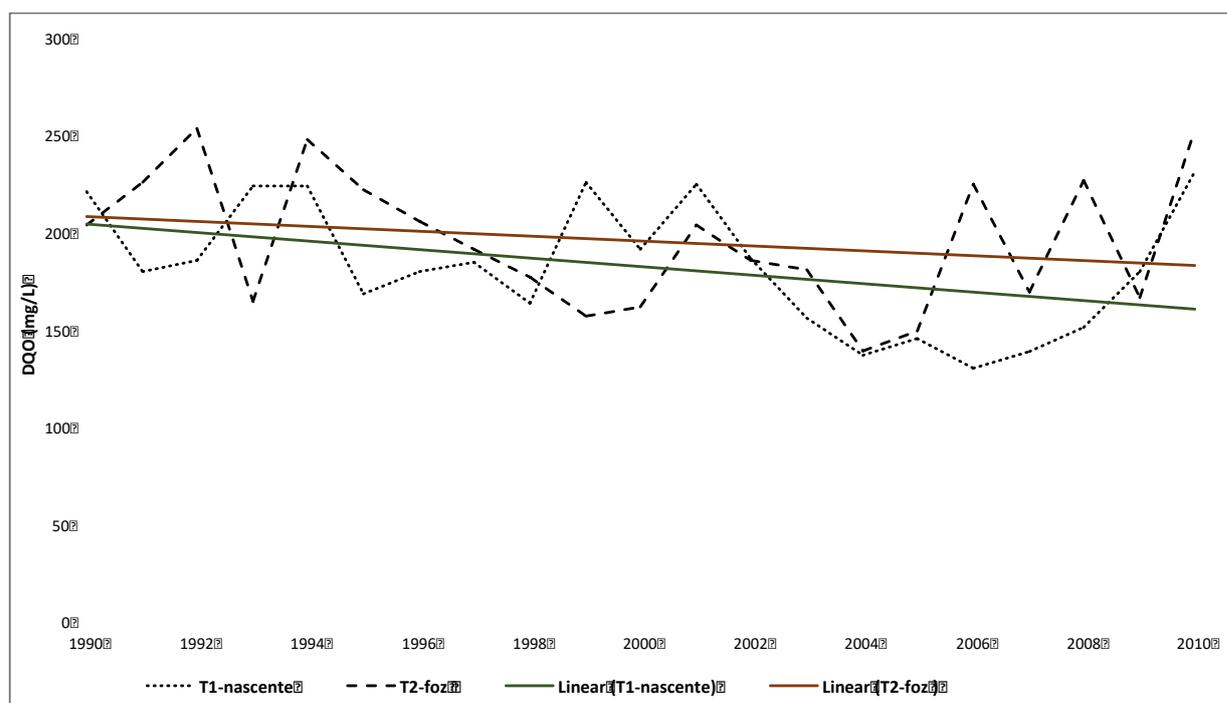
A Figura 31 mostra as concentrações da Demanda Química de Oxigênio ao longo do tempo no Rio Tamanduateí. Apesar das oscilações também presentes neste parâmetro, os valores de DQO aparentam ter um declínio de 1990 até 2005, quando as concentrações voltam a subir. Entretanto, as linhas de tendência geral mostram uma diminuição real dessas concentrações ao longo dos anos. É interessante observar que, diferente dos outros parâmetros, as oscilações dos valores de DBO e de DQO não possuem semelhança entre um ponto com o outro.

É importante comentar que a baixa inclinação das linhas de tendência, principalmente no último ponto (T2), pode ser reflexo de vários fatores, como a poluição difusa, clandestinidade, como também a presença de esgotos industriais.

Tabela 13. Médias anuais das concentrações da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TAMT04250	10																					
TAMT04500	19	221	180	186	224	224	169	180	185	164	226	191,6	224,5	186,8	156,3	136,6	145,7	130	138,3	151,5	180	230
TAMT04600	24																					
TAMT04900	34	204	225	253	164	248	222	206	192	177	156,8	161,3	203,3	185,5	181,2	139	148,8	224	169,2	227	166	252

Figura 31. Evolução da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.



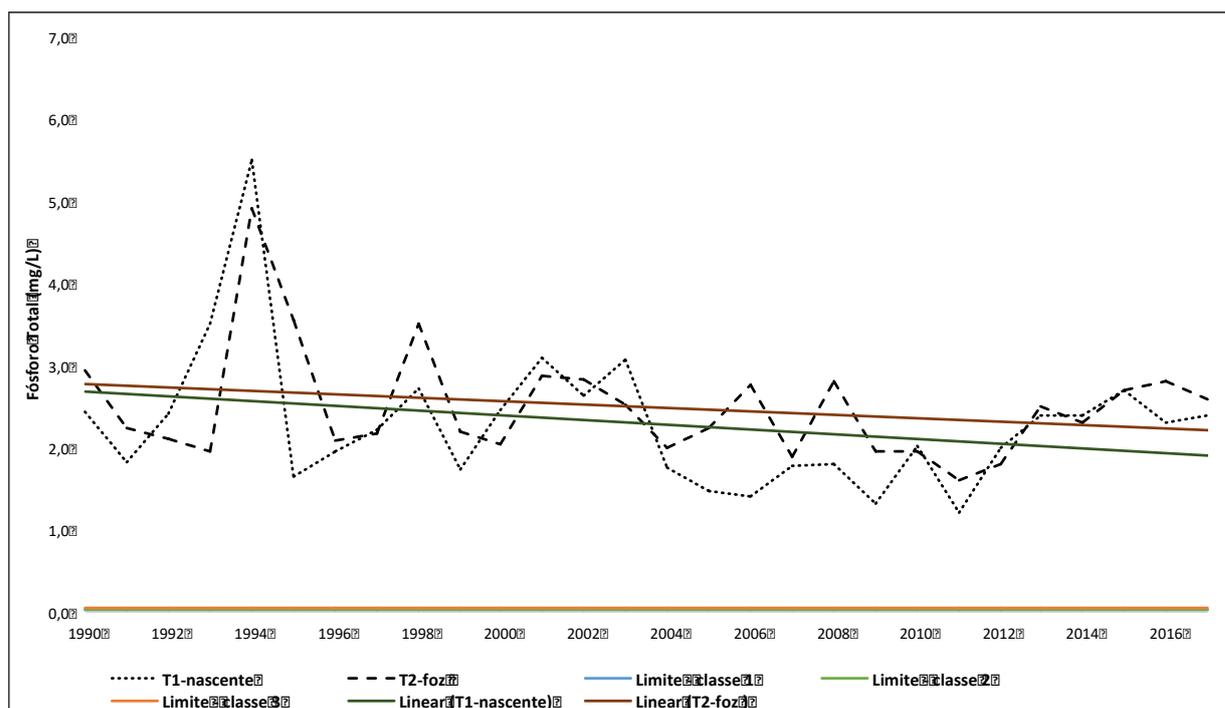
Os dados das concentrações de Fósforo Total no Rio Tamandateí, presentes na Figura 32 mostram que os picos das oscilações de ambos os pontos de monitoramento vão diminuindo ao longo dos anos, embora no geral, a concentração de Fósforo aparente estar constante. Em todos os anos, as médias de Fósforo Total estão acima do permitido pelo CONAMA.

Novamente é interessante comentar que, mesmo os esgotos sendo coletados, afastados e tratados pelas ETEs de cada região, o fósforo continua indo para os corpos hídricos, pois os sistemas de tratamento convencionais no Brasil degradam a matéria orgânica, mas não retiram por completo os nutrientes resultantes desse processo. Isso talvez explique a lenta redução dos níveis de Fósforo no Tamandateí.

Tabela 14. Médias anuais das concentrações de Fósforo Total (mg/L) no Rio Tamandateí entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
		TAMT04250	10																									2,60	3,90	2,10
TAMT04500	19	2,44	1,83	2,42	3,50	5,49	1,66	1,95	2,23	2,71	1,75	2,45	3,10	2,64	3,08	1,77	1,47	1,41	1,79	1,81	1,33	2,03	1,20	2,00	2,40	2,40	2,70	2,30	2,40	
TAMT04600	24																								1,80	2,20	2,20	2,80	2,30	2,30
TAMT04900	34	2,95	2,23	2,11	1,95	4,91	3,56	2,08	2,18	3,51	2,20	2,04	2,88	2,83	2,52	1,99	2,24	2,76	1,88	2,80	1,96	1,95	1,60	1,80	2,50	2,30	2,70	2,80	2,60	

Figura 32. Evolução das concentrações de Fósforo Total (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamandateí, por ano.



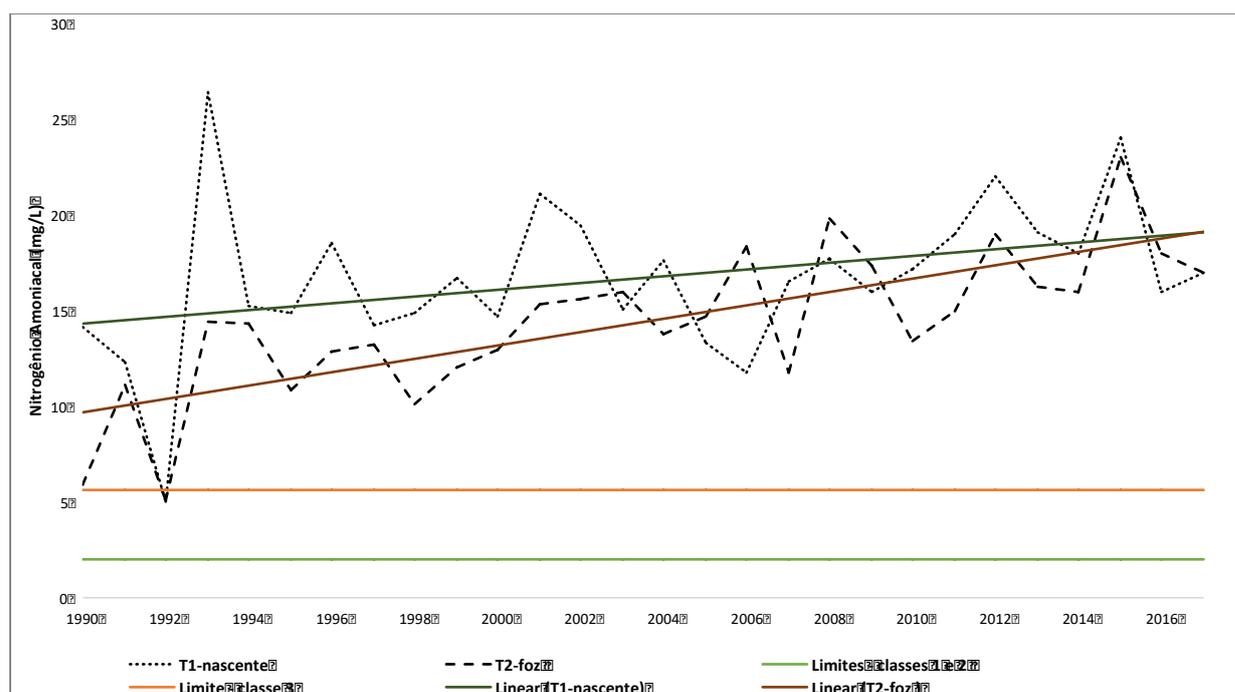
Assim como nos outros parâmetros, as concentrações de Nitrogênio Amoniacal oscilam entre um ano e outro. Entretanto, diferente dos outros parâmetros no rio Tamanduateí, as concentrações de Nitrogênio Amoniacal estão aumentando ao longo dos anos, como também estão acima do permitido para Classe 3 (Figura 33).

O estudo deste parâmetro é complexo devido à sua presença na atmosfera, como também da sua não eliminação pelo processo de tratamento a nível secundário, assim como o fósforo. As repetidas mudanças que o nitrogênio sofre em seu ciclo natural (nitrificação e desnitrificação), também ajudam a aumentar a complexidade do mesmo. Portanto, se faz necessário um estudo aprofundado desse parâmetro no Rio Tamanduateí, Pinheiros, como também no Tietê, para entender melhor as causas desse aumento.

Tabela 15. Médias anuais das concentrações de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) no Rio Tamanduateí entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
		TAMTO4250	10																									21,0	34,0	21,0
TAMTO4500	19	14,1	12,3	5,0	26,4	15,3	14,8	18,5	14,2	14,8	16,7	14,7	21,1	19,4	15,1	17,6	13,3	11,8	16,5	17,7	16,0	17,2	19,0	22,0	19,1	18,0	24,0	16,0	17,0	
TAMTO4600	24																								15,0	14,3	13,0	20,0	14,0	14,0
TAMTO4900	34	5,9	11,1	5,1	14,5	14,4	10,8	12,9	13,2	10,2	12,0	12,9	15,3	15,6	16,0	13,8	14,6	18,4	11,7	19,8	17,3	13,4	15,0	19,0	16,2	16,0	23,0	18,0	17,0	

Figura 33. Concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamanduateí, por ano.

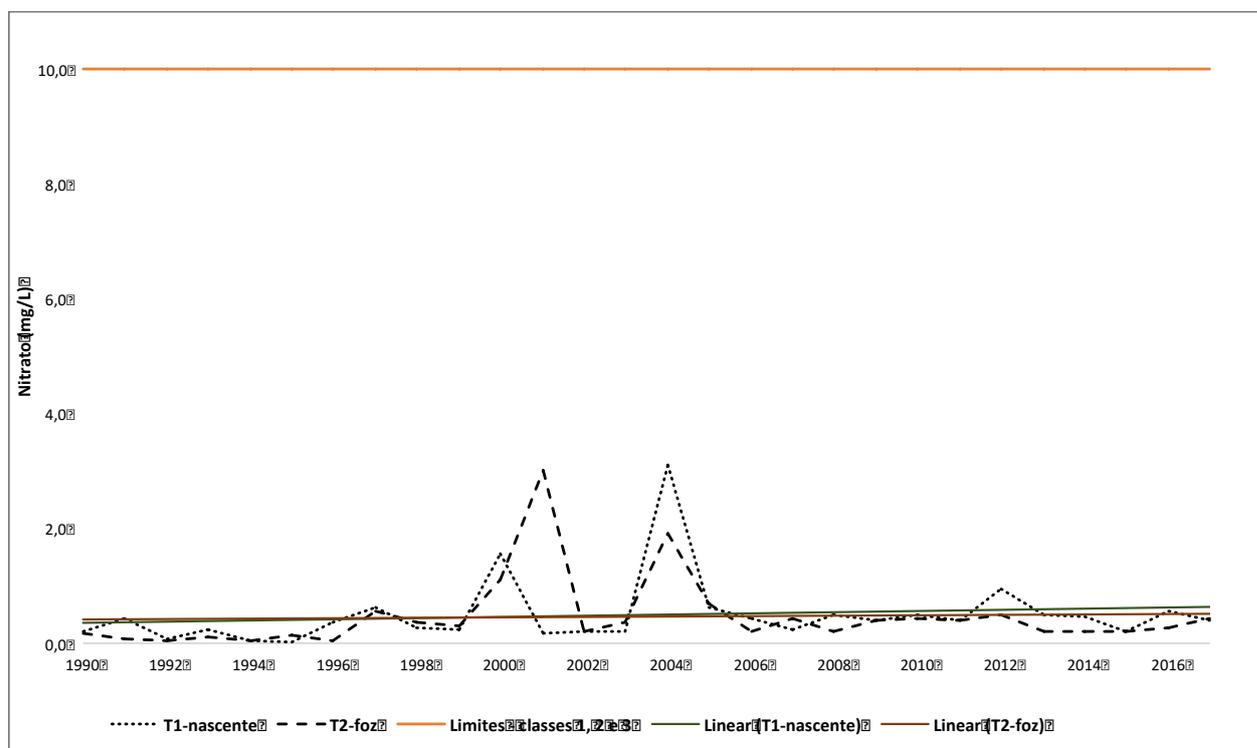


A Figura 36 mostra a evolução das concentrações de Nitrato no Rio Tamandateí. A Figura 34 mostra dois picos de concentração de nitrato, um entre 2000 e 2002, e o outro entre 2003 e 2005. Entretanto, as concentrações de Nitrato se mantêm constantes ao longo dos anos e muito abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA para as classes 1, 2 e 3 (10 mg/L).

Tabela 16. Médias anuais das concentrações de Nitrato (mg/L) no Rio Tamandateí entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
		TAMT04250	10																									0,70	0,90	1,10
TAMT04500	19	0,22	0,42	0,07	0,23	0,04	0,02	0,36	0,64	0,26	0,24	1,57	0,18	0,20	0,21	3,09	0,62	0,43	0,24	0,49	0,39	0,50	0,40	0,93	0,48	0,45	0,20	0,55	0,39	
TAMT04600	24																								0,39	0,64	0,78	0,50	1,10	1,70
TAMT04900	34	0,18	0,09	0,04	0,10	0,03	0,13	0,05	0,56	0,36	0,30	1,11	3,00	0,20	0,35	1,91	0,68	0,20	0,42	0,20	0,39	0,43	0,40	0,49	0,20	0,21	0,20	0,26	0,43	

Figura 34. Concentração de Nitrato (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Tamandateí, por ano.



5.2.2. RIO PINHEIROS

Os resultados dos parâmetros de qualidade das águas do rio Pinheiros também foram plotados em gráficos com a inclusão das linhas de tendência de cada ponto de monitoramento. Embora o presente estudo não faça uma extensa análise do Pinheiros, é importante ter em mente que qualquer análise desse rio se torna complexa, pelas características peculiares do mesmo. O Pinheiros não é considerado um rio normal, devido ao seu ocasional bombeamento e reversão para a Represa Billings, processo realizado para o controle de cheias. Esse fato deve ser levado em consideração ao observar as constantes oscilações das médias de cada parâmetro.

A bacia de esgotamento do Rio Pinheiros, como foi mostrado na Figura 22, é a 3ª maior da RMSP em relação ao número total de habitantes e, comparada à do Tamanduateí e do Tietê, teve poucas obras de saneamento realizadas no primeiro período de anos. Entretanto, a bacia rio Pinheiros foi muito beneficiada a partir dos anos 2000, com extensas obras de saneamento.

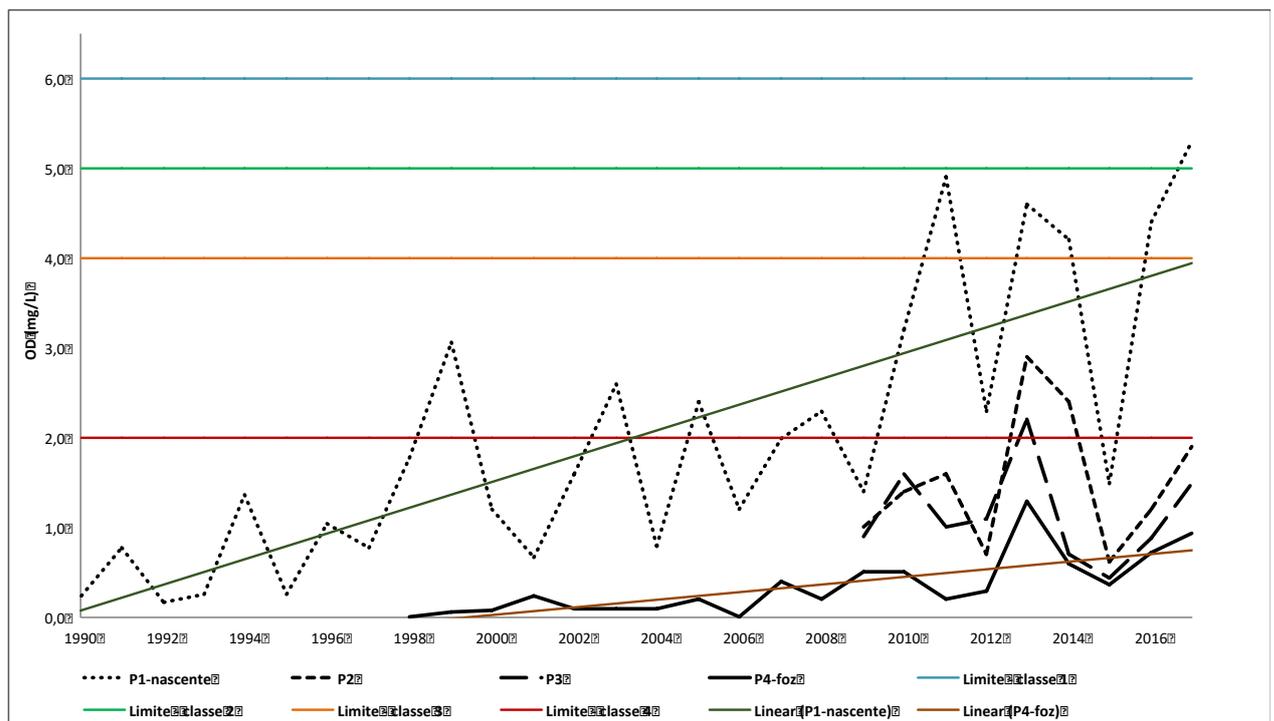
É relevante para o estudo comentar que os esgotos coletados na bacia de esgotamento do Pinheiros são encaminhados para a ETE de Barueri, localizada no rio Tietê, à jusante da entrada do Pinheiros. Portanto, o avanço da coleta e tratamento dos esgotos dessa região tem um efeito ainda maior sobre os parâmetros, comparado aos outros trechos que recebem de volta os efluentes tratados.

Pela figura 35, que mostra as concentrações de OD nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, fica evidente que o ponto PINH04100 (P1) tem o crescimento do nível de oxigênio muito mais acelerado que o último ponto próximo à foz. Embora as variações entre um ano e outro sejam grandes, as linhas de tendência do gráfico mostram claramente um crescimento das concentrações de OD tanto no primeiro ponto de monitoramento, como no último (Figura 35). É gratificante observar o constante crescimento dos níveis de OD do ponto PINH04900 (P4), que por ser o último do rio Pinheiros antes de desembocar no Tietê, representa toda a sub-bacia.

Tabela 17. Médias anuais das concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		PINH04100	0	0,2	0,8	0,2	0,3	1,4	0,3	1,1	0,8	1,8	3,1	1,2	0,7	1,6	2,6	0,8	2,4	1,2	2,0	2,3	1,4	3,2	4,9	2,3	4,6	4,2	1,5
PINH04250	6																				1,0	1,4	1,6	0,7	2,9	2,4	0,6	1,2	1,9
PINH04500	16																				0,9	1,6	1,0	1,1	2,2	0,7	0,4	0,9	1,5
PINH04900	26									0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,4	0,2	0,5	0,5	0,2	0,3	1,3	0,6	0,4	0,7	0,9

Figura 35. Concentração de Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.

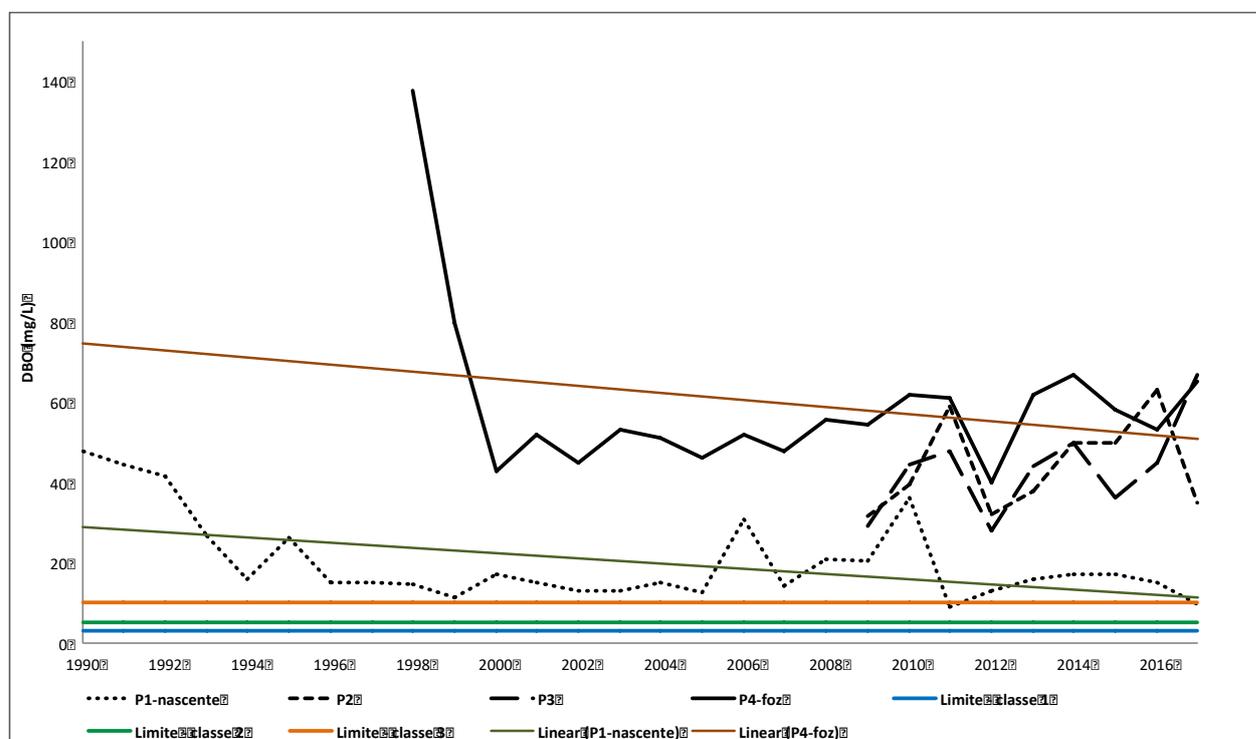


A Figura 36 mostra claramente como as concentrações de DBO estão declinando ao longo dos anos, embora ainda não estejam atendendo os limites determinados pelo CONAMA. A linha de tendência é influenciada pela média de DBO de 1998. Infelizmente, esse ponto (PINH04900 – P4) não possui dados anteriores a esse ano, o que seria útil para verificar se esse declínio é real. Os dados do ponto PINH04100 (P1), contudo, mostram que no começo do rio essa queda é real, embora um pouco ainda discreta.

Tabela 18. Médias anuais das concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
		PINH04100	0	48,0	44,4	41,5	26,8	15,8	26,3	15,0	15,0	14,7	11,5	17,0	15,2	13,0	13,0	15,0	12,4	30,7	14,2	20,7	20,5	36,0	9,0	13,0	16,0	17,0	17,0	15,0
PINH04250	6																					31,6	39,5	59,0	32,0	38,0	50,0	50,0	63,0	35,0
PINH04500	16																					29,3	44,3	48,0	28,0	44,0	50,0	36,0	45,0	67,0
PINH04900	26									137,5	79,7	42,8	51,8	45,0	53,0	51,0	46,3	51,8	47,7	55,7	54,6	61,8	61,0	40,0	62,0	67,0	58,0	53,0	65,0	

Figura 36. Concentração de DBO (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.

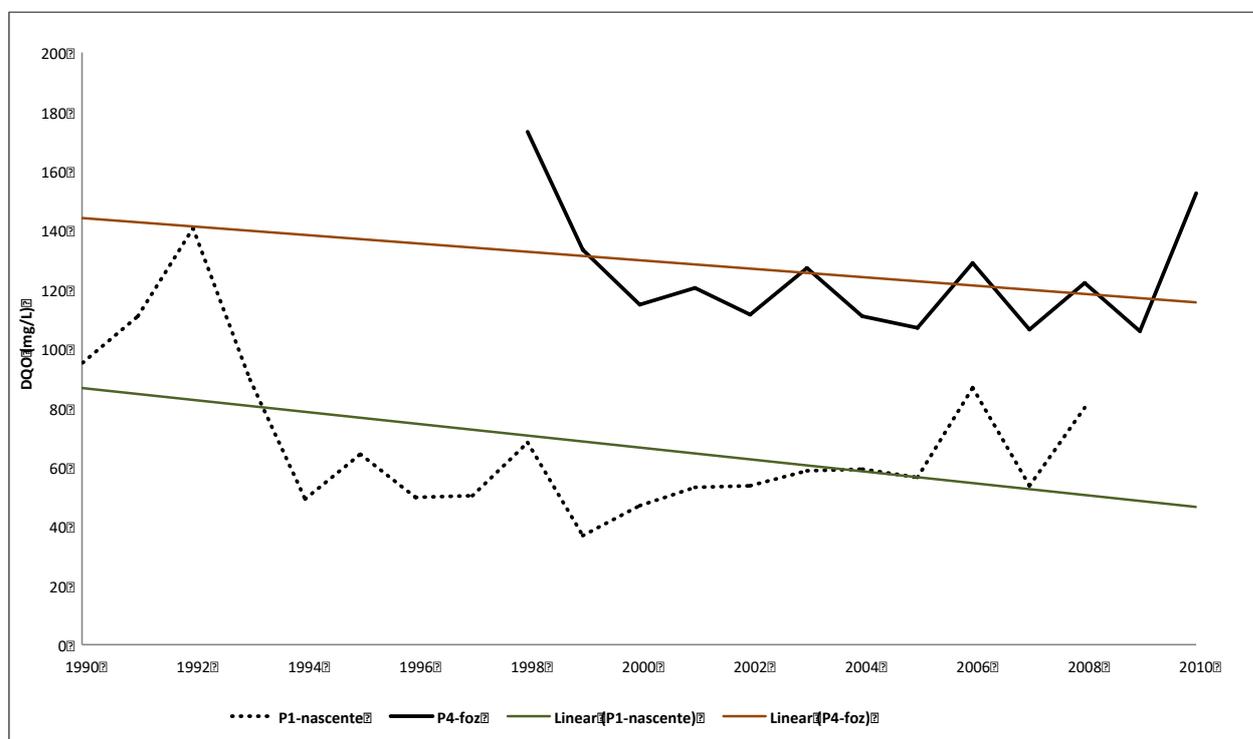


O gráfico dos dados de DQO foram construídos incluindo apenas os dois pontos de monitoramento principais, pois os demais só estavam disponíveis para 2009 e 2010, o que não justificaria os incluir. Embora o gráfico de DQO mostre apenas 20 anos de informação, ele também confirma uma melhoria ao longo dos anos, apesar das oscilações (Figura 37).

Tabela 19. Médias anuais das concentrações da Demanda Química de Oxigênio (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PINH04100	0	95,2	111,0	140,5	89,7	49,2	64,2	49,5	50,5	68,2	36,8	46,7	53,2	53,7	58,8	59,0	56,7	86,8	53,5	80,3		
PINH04250	6																					
PINH04500	16																					
PINH04900	26									173,0	133,2	114,8	120,7	111,5	127,2	110,8	107,0	128,7	106,3	122,2	105,7	152,7

Figura 37. Concentração de DQO (mg/L) nos dois pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.

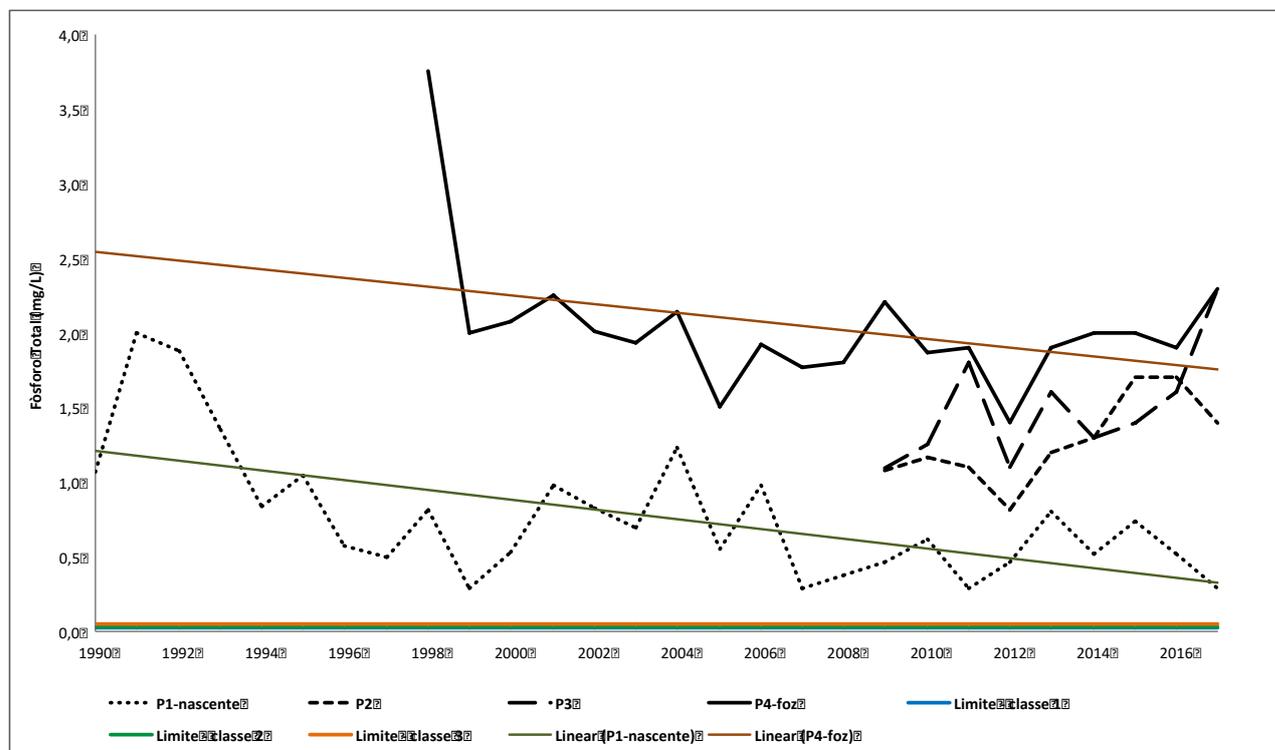


Nos resultados para o parâmetro Fósforo Total, o ponto PINH04100 (P1) novamente se destaca como tendo uma situação mais crítica, o que é esperado, pois o mesmo se encontra próximo à foz e, conseqüentemente, é influenciado pela população de toda sub-bacia. As linhas de tendência para Fósforo Total também apresentam considerável queda ao longo dos anos. Percebe-se novamente um pico de concentração no ano de 1998 para o ponto PINH04900 (P4) (Figura 38).

Tabela 20. Médias anuais das concentrações da Fósforo Total (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		PINH04100	0	1,06	2,00	1,88	1,35	0,83	1,04	0,57	0,50	0,82	0,29	0,53	0,98	0,83	0,70	1,23	0,55	0,98	0,29	0,38	0,46	0,62	0,29	0,46	0,80	0,52	0,74
PINH04250	6																				1,08	1,16	1,10	0,81	1,20	1,30	1,70	1,70	1,40
PINH04500	16																				1,09	1,25	1,80	1,10	1,60	1,30	1,40	1,60	2,30
PINH04900	26									3,75	2,00	2,08	2,25	2,01	1,94	2,15	1,51	1,92	1,77	1,81	2,21	1,87	1,90	1,40	1,90	2,00	2,00	1,90	2,30

Figura 38. Concentração de Fósforo Total (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.

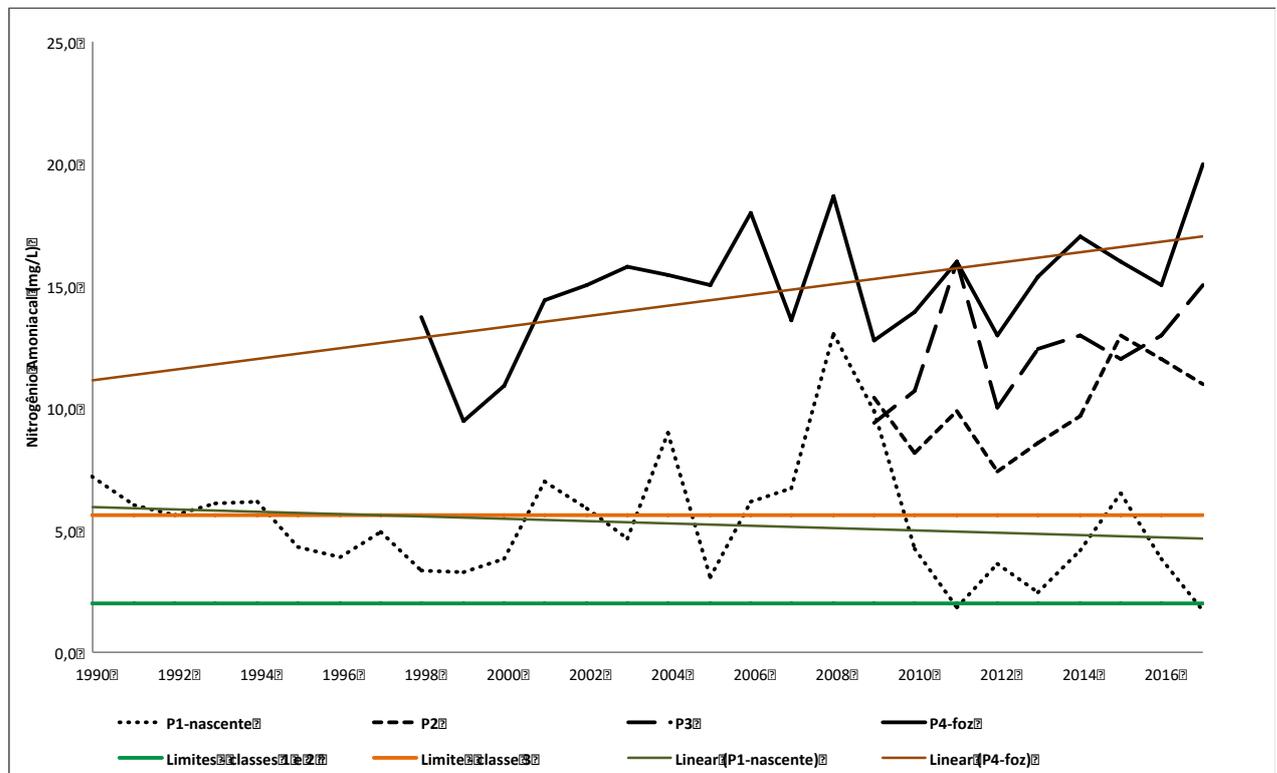


Diferente dos outros parâmetros, a linha de tendência de Nitrogênio Amoniacal para o ponto PINH04900 (P4) mostra um crescimento das concentrações desse parâmetro ao longo dos anos. Já no ponto PINH04100 (P1) há um leve declínio das concentrações ao longo do tempo. Apenas o ponto P1, localizada na Usina Elevatória de Pedreira, revelou médias de Nitrogênio amoniacal dentro do limite para a Classe 3 (Figura 39).

Tabela 21. Médias anuais das concentrações da Nitrogênio Amoniacal (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		PINH04100	0	7,2	6,1	5,6	6,1	6,1	4,3	3,9	5,0	3,4	3,3	3,8	7,0	5,9	4,6	9,0	3,1	6,2	6,7	13,0	9,9	4,3	1,8	3,6	2,5	4,2	6,5
PINH04250	6																				10,4	8,2	9,9	7,4	8,6	9,7	13,0	12,0	11,0
PINH04500	16																				9,4	10,7	16,0	10,0	12,4	13,0	12,0	13,0	15,0
PINH04900	26									13,8	9,4	10,9	14,4	15,0	15,8	15,4	15,0	18,0	13,6	18,7	12,8	13,9	16,0	13,0	15,4	17,0	16,0	15,0	20,0

Figura 39. Concentração de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.



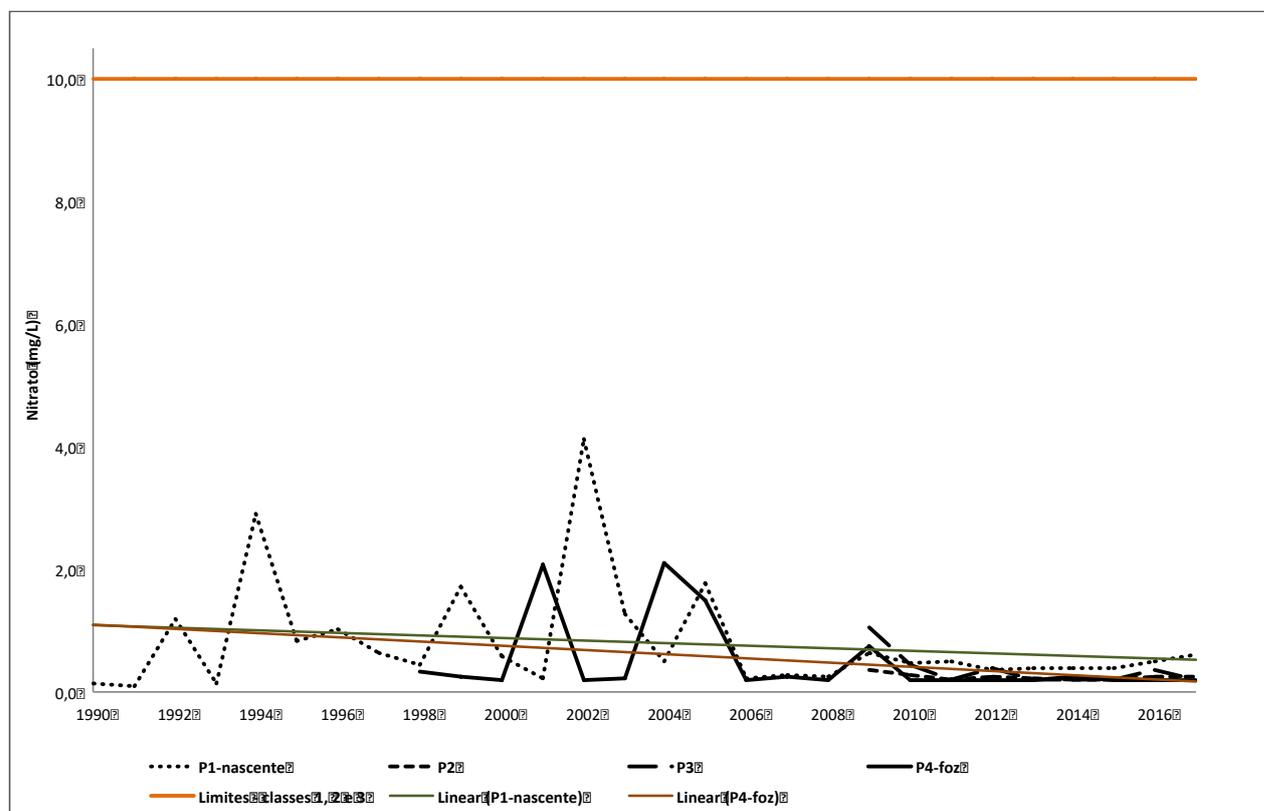
A figura 40 mostra que as concentrações de Nitrato também melhoraram ao longo dos anos, como confirma as linhas de tendência para os pontos PINH04100 (P1) e PINH04900 (P4). As linhas de tendência também mostram que a média de Nitrato do último ponto, perto da foz, parece ter sofrido uma queda maior do que o ponto inicial, P1.

É muito interessante notar também que, no último período de anos não há oscilações excessivas das médias de Nitrato, como nos anos anteriores.

Tabela 22. Médias anuais das concentrações da Nitrato (mg/L) no Rio Pinheiros entre 1990 e 2017.

Código do ponto	Distância a partir da nascente (km)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
		PINH04100	0	0,13	0,09	1,18	0,14	2,90	0,83	1,03	0,64	0,45	1,71	0,59	0,23	4,13	1,28	0,50	1,77	0,23	0,28	0,26	0,64	0,48	0,50	0,35	0,39	0,38	0,40	0,50
PINH04250	6																					0,35	0,28	0,20	0,24	0,21	0,20	0,20	0,24	0,26
PINH04500	16																					1,05	0,43	0,20	0,38	0,20	0,20	0,20	0,36	0,20
PINH04900	26										0,34	0,24	0,20	2,07	0,20	0,22	2,11	1,50	0,20	0,26	0,20	0,74	0,20	0,20	0,18	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20

Figura 40. Concentração de Nitrato (mg/L) nos pontos de monitoramento do Rio Pinheiros, por ano.



6. CONCLUSÕES

Como resultado deste trabalho, foi possível visualizar a evolução da qualidade das águas durante o período de 1986 a 2017, identificando os trechos notáveis em relação à qualidade das águas do rio Tietê.

Ao longo do seu percurso, o Rio Tietê atravessa seis UGRHIs, começando pela UGHRI 06 – Alto Tietê que, devido à sua intensa urbanização e industrialização, afeta as outras regiões com sua carga de poluentes orgânicos e inorgânicos. Ficou evidente nos gráficos que o Rio Tietê tem sua qualidade drasticamente afetada ao passar pela RMSP. Entretanto, este estudo mostrou uma tendência de estabilização, com sinais de melhoria para a qualidade das águas do Rio Tietê na RMSP, mesmo considerando o forte crescimento populacional que essa região tem sofrido. Esse resultado é reflexo das obras de infraestrutura implantadas ao longo do tempo na RMSP.

Apesar da influência negativa da entrada dos rios Jundiaí, Sorocaba e Piracicaba, existe uma forte tendência de melhoria na direção do interior, sendo que esta melhoria se estabiliza de forma definitiva a partir do remanso da Barra Bonita.

Houve uma significativa melhora da qualidade das águas do Rio Tamanduateí e do Pinheiros ao longo dos anos. Entretanto, é importante ter em mente a complexidade do rio Pinheiros e conseqüentemente, a cautela que deve ser usada para interpretar os resultados dos parâmetros de seu monitoramento.

É evidente que o crescimento populacional, como também a presença de obras de saneamento ou a ausência das mesmas, são fatores que interferem diretamente na qualidade das águas de determinado rio. O rio Tietê sentiu e ainda sente fortemente a influência do rápido e desordenado crescimento populacional nas cidades e regiões que o cercam. Entretanto, a qualidade de suas águas também tem respondido aos investimentos constantes em obras de saneamento e infraestrutura. Se não fosse o crescimento populacional nos grandes centros, além do uso e ocupação do solo inadequados, a influência positiva das obras de saneamento e infraestrutura implantadas se mostraria muito mais evidente em termos de melhoria ambiental.

São necessários mais estudos que pesquisem o uso do solo e a sua interferência

na qualidade das águas superficiais ao longo do tempo nessas regiões. Esses estudos são essenciais para compreender os processos que levam à degradação dos corpos hídricos e devem ser usados na gestão da recuperação e proteção da qualidade dos mesmos. É importante lembrar também que, a sociedade e os costumes de determinado local devem ser considerados como fatores indispensáveis na gestão da qualidade das águas, pois sem o envolvimento da sociedade é impossível ter eficiência na proteção e recuperação dos recursos hídricos.

É de grande importância a elaboração de estudos adicionais para avaliar a influência da atividade agrícola, principalmente da monocultura na qualidade das águas do Rio Tietê, ao longo de toda a sua extensão.

Recomenda-se também um estudo aprofundado do Rio Pinheiros, levando em consideração toda a sua complexidade. Para que haja uma melhor interpretação da evolução dos parâmetros de qualidade das águas do rio Pinheiros, se faz necessário descrever melhor todos os fatores que interferem em sua dinâmica, como a inversão do seu curso na presença de chuvas fortes, por exemplo.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, R.I.S.; CARDOSO, O.O.; TONANI, K.A.A.; JULIÃO, F.C.; TREVILATO, T.M.B; SEGURA-MUÑOZ, S.I. (2013). Water quality of the Ribeirão Preto Stream, a water course under anthropogenic influence in the southeast of Brazil. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 185, p. 1.151-1.161.

ALVIM, A.T.B.; KATO, V.R.C.; ROSIN, J.R.G. A urgência das águas: intervenções urbanas em áreas de mananciais. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 17, n. 33, pp. 83-107, 2015.

ALVIM, A.T.B.; et al. A modernidade e os conflitos socioambientais em São Paulo: um olhar sobre o Plano Diretor Estratégico Municipal. Encontro da ANPPAS, Brasília-DF, 2006.

ANELLI, R.L.S. Uma nova cidade para as águas urbanas. **Estudos Avançados** 29 (84), 2015.

BAKER, A. Land use and water quality. **Hydrol. Process.** 17 (12), 2499–2501, 2003.
BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº9.984, de 17 de Julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. [lei na internet]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm

BRASIL. Lei nº9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº8.001, de 1990, que modificou a Lei nº7.990, de 1989. [lei na internet]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm

CARPENTER, S.R., 2008. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.** 105, 11039 e 11040.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade de Águas Interiores do estado de São Paulo: relatório técnico. São Paulo: CETESB; 2017.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. [lei na internet]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº357, 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. [lei na internet]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> .

CUNHA, D.G.F.; SABOGAL-PAZ, L.P.; DODDS, W.K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, 94, (2016) 516–524.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo [homepage na internet]. [Acesso em 12/02/2018]. Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=793:historico-do-rio-tiete&Itemid=53

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. [homepage na internet]. Hidrovia Paraná-Tietê. [Acesso em 17/12/2018]. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/hidrovias/hidrovias-interiores/hidrovia-parana>

EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A. Portal do Governo do Estado de São Paulo. [homepage na internet]. [Acesso em 06/03/2018]. Disponível em: <https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP>

FABHAT – Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. RELATÓRIO DE SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. Junho, 2018.

FABHAT – Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06 (Ano Base 2016/2035). São Paulo, 2016.

FRACALANZA, A.P.; CAMPOS, V.N.O. Produção social do espaço urbano e conflitos pela água na região metropolitana de São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 2, p. 32-45, abr./jun. 2006.

FRACALANZA, A.P. Produção Social do Espaço e Degradação da Água na Região Metropolitana de São Paulo. Encontro da ANPPAS, 2004.

Fundação SOS Mata Atlântica, Núcleo União Pró-Tietê. **Observando o Tietê**. RIBEIRO, M.L.B.(org). São Paulo - SP, 2004.

GIRI, S.; QIU, Z. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. **Journal of Environmental Management**. v173; 41e 48, 2016.

GOUVEIA, I.C.M.C. Da originalidade do sitio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí na RMSP. Tese doutorado geografia física, São Paulo - USP, 2010.

JACOBI, P.R.; FRACALANZA, A.N.; SILVA-SÁNCHEZ, S. Governança da água e

inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 17, n. 33, pp. 61-81, maio 2015.

JORGE, J. **O rio que a cidade perdeu**. São Paulo: Alameda, 2006.

LEE, S; et al. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Landscape and Urban Planning**. vol 92 (2009) 80–89.

MAGALHÃES, A.P. A situação do monitoramento das águas do Brasil. **Rev Bras Recursos Hídricos**. vol 5:113-135; 2000.

MENEZES, J.P.C.; et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Eng Sanit Ambient*. v.21 n.3: 519-534, jul/set, 2016.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 40 ed. Nova York: McGraw-Hill; 2003.

NAZEMIA, A.; MADANI, K. Urban water security: Emerging discussion and remaining challenges. **Sustainable Cities and Society**, 41 (2018) 925–928.

NÓBREGA, M. História do Rio Tietê. Belo Horizonte: Editora Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1981. (Reedição da obra de 1948).

PAGANINI, W.S. **A Identidade de um rio de contrastes: o Tietê e seus múltiplos usos**. 2.ed. São Paulo: ABES, AESABESP, 2008.

PHILIPPI Jr., A.(org); ROMERO, M.A.(org); BRUNA, G.C(org). **Curso de gestão ambiental**. 2ed. São Paulo: Manole, 2014.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005.

PORTO, K.G.; FERREIRA, I.M. Gestão das Bacias Hidrográficas Urbanas e a Importância dos Ambientes Ciliares. **Geografia em Questão**. v.5, n.2, 2012.

PORTO, M.F.A. **Sistema de Gestão da Qualidade das Águas: Uma Proposta para o Caso Brasileiro**. São Paulo, 2002.

QUEVEDO, C.M.G.; PAGANINI, W.S. Management of phosphorus in water: case study of the Tietê River, Brazil. **Rev. Ambient. Água**. vol. 12 n. 6 Taubaté – Nov./Dec. 2017.

ROCHA, A.A. A poluição do rio Tietê: a consequência de um sectário processo político. **Rev. São Paulo em Perspectiva**. São Paulo, vol. 6 n(1-2): 93-98, 1992.

RODRIGUES, V.; et al. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). **Science of the Total Environment**, 622–623 (2018) 1553–1561.

RUTKOWSKI, E.W.; JACOBI, P.R.; SOUZA, R.M.G.; TAGNIN, R. (2010). “As águas metropolitanizadas do Alto Tietê”. In: SALDIVA, P. (org.). *Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles*. São Paulo, Ex-Libris Comunicação Integrada.

SANTOS, C.R. Evolução das condições sanitário-ambientais do rio Tietê até o reservatório de Barra Bonita: efeitos da Região Metropolitana de São Paulo. [Dissertação de Mestrado.] São Paulo, Faculdade de Saúde Pública da USP; 2005.

SÃO PAULO. Decreto nº8.468, de 08 de Setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

SÃO PAULO. Lei nº7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. [lei na internet]. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/legislacao/>

SÃO PAULO. Lei nº9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período 1991 e 1995, em conformidade com a Lei nº7.663, de 30 de dezembro de 1991, que institui normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. [lei na internet]. Disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1994_Lei_Est_9034.pdf

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente (SMA). Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHi). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. São Paulo: SMA/CRHi, 2010.

SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Plano Estadual de Recursos Hídricos: relatório de situação dos recursos hídricos do Estado. São Paulo, 2011.

SMA – Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Meio ambiente paulista: Relatório de Qualidade Ambiental 2016**. 1ed. São Paulo, 2016.

SSRH – Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos (São Paulo). Plano Estadual de Recursos Hídricos [recurso eletrônico]: PERH 2016-2019. São Paulo: SSRH, 2017.

UNESCO (2012). The 4th edition of the UN world water development report. Paris: UNESCO. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/> .

VON SPERLING. **Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgoto**. 3.ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG; v.1; 1999.

ZANIRATO, S.H. História da ocupação e das intervenções na várzea do rio Tietê. **Rev. Crítica Histórica**, ano II, n4, dez/